Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!
Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

Негосударственное образовательное учреждение
дополнительного профессионального образования
«Учебно-методический и инженерно-технический центр
«Электро Сервис»

Маньков В. Д.

ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Санкт-Петербург, 2010 г.

УДК 658.382.3:621.3
ББК 31.29 Н
М 247
ISBN 978-5-98187-401-7

Рецензенты: Профессор кафедры «Электроснабжение» ВКА им. А.Ф. Можайского, Почетный энергетик РФ, кандидат технических наук, доцент **Карагодин В.В.**; Главный инженер ООО «Центр экспертизы и сертификации объектов энергетики» **Савченко В.Н.**

Маньков В.Д. **Основы проектирования систем электроснабжения** (формат **А4**). Справочное пособие. - СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2010 - 664 с.

В книге излагаются основы проектирования систем электроснабжения напряжением до 1000 В, включающие в себя: требования к организации проектирования, текстовым и графическим документам, проектирование различных элементов системы электроснабжения, выбор электрооборудования, а также расчеты основных характеристик и элементов электрических сетей.

В отличие от аналогичных изданий, в которых проектирование сводится к выбору электрооборудования и расчету характеристик электрических сетей, в данном справочном пособии сделана попытка рассмотреть все этапы проектирования, начиная с общих требований к организации, оформления пояснительной записки и графических материалов и заканчивая непосредственным выбором электроустановок.

В книге также приведены расчеты характеристик электроустановок и сетей, порядок выбора электрооборудования на основании полученных данных: расчет электрических нагрузок; компенсация реактивной мощности; расчеты при выборе электрических проводов и кабельных линий; расчет защиты от импульсных перенапряжений и выбор защитных устройств; определение потерь мощности и электроэнергии в линиях и трансформаторах; устройство и расчеты характеристик электрических сетей жилых зданий; выбор аппаратов защиты в электрических сетях напряжением до 1000 В; выбор трансформаторов тока для установки расчетных счетчиков электрической энергии; расчеты освещенности и выбор осветительных приборов; расчеты электрических осветительных сетей; расчеты при выборе заземляющих устройств.

В 32 приложениях приведена дополнительная информация, которая не вошла в основной текст, но необходима при проектировании.

Материал изложен с учетом действующих на момент издания законодательных и нормативно-технических документов, а также требований надзорных органов и электроснабжающих организаций.

Справочное пособие предназначено для проектных, монтажных и экспертных организаций. Однако оно будет интересно и другим организациям, проводящим работы в ЭУ, а также специалистам-электроэнергетикам: ответственным за электрохозяйство и энергетикам предприятий, экспертам, инспекторам Ростехнадзора.

Вычитка и корректура произведены автором.

Подписано в печать 10.11.2009. Гарнитура Times.
Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 83,0. Тираж 2000 экз. Заказ № 123.

Материалы соответствуют гигиеническим сертификатам:
обложка - №78.01.06.543.П.13931.04.99 от 16.04.99,
блок - №11.РЦ.09.543.П.000103.03.03 от 03.03.03,
краска - №69.01.38.235.П.000188.05.04 от 06.05.04.

Типография «Ультра–Траст», г. СПб, ул. Цветочная, д. 6

ISBN 978-5-98187-401-7
9 785981 874017

© Маньков В.Д., 2010
© НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Список принятых сокращений 7
Краткий словарь употребляемых терминов 9
Предисловие 22

Глава 1. Общие требования к проектированию систем электроснабжения 26
1.1. Организация процесса проектирования 26
1.2. Техническое предложение, требования к составу и порядок его разработки 32
1.3. Эскизный проект, его состав и требования, предъявляемые к разработке 35
Требования к выполнению документов
1.4. Технический проект, его состав и требования к его разработке 39
Требования, предъявляемые к выполнению документов технического проекта 39
1.5. Технические условия, основные требования к их разработке и составу 42
1.6. Основные требования, предъявляемые к проектной и рабочей документации 44
Общие правила выполнения документации 49
Правила выполнения спецификации на чертежах 58
Состав и содержание пояснительной записки 59
1.7. Нормоконтроль проектно-сметной документации 90

Глава 2. Текстовые и графические документы проектов и порядок их разработки 92
2.1. Требования, предъявляемые к содержанию и разработке текстовых документов 92
2.2. Общие требования к выполнению схем 112
Структурные схемы 114
Функциональные схемы 115
Принципиальные полные схемы 116
Принципиальные схемы ТП 118
Схемы соединения – монтажные 123
Графические обозначения в схемах 126
2.3. Буквенно-цифровые и условные обозначения в электрических схемах 129
2.4. Условные графические обозначения, применяемые в электрических схемах 137
Коммутационные устройства 137
Провода и контактные соединения (зажимы) 145
Источники света 151
Трансформаторы, автотрансформаторы, дроссели 155
Предохранители и разрядники 164
Условные обозначения для счетчиков электрической энергии переменного тока 167
2.5. Рабочие чертежи силового электрооборудования 174
2.6. Рабочие чертежи электрического освещения территорий промышленных предприятий 188
2.7. Рабочие чертежи внутреннего электрического освещения 192

2.8. Условные графические обозначения и изображения электрооборудования и проводов на плане 204
2.9. Порядок внесения изменений в проектную документацию 216

Глава 3. Проектирование электрических сетей, электрооборудования и электроустановок общего назначения 225
3.1. Выбор режима нейтрали электрических сетей 225
3.2. Системы заземления электрических сетей 234
3.3. Проектирование городских электрических сетей 240
Состав проектной документации и её объем 240
Расчетные электрические нагрузки жилых и общественных зданий 242
Нагрузки общественных зданий 246
Расчётные электрические нагрузки распределительных линий напряжением до 1 кВ 254
Электрические нагрузки сетей 10(6) кВ и ЦП 256
Обоснование надёжности электропитания электроснабжения электроприемников 258
Построение питающей сети напряжением 6–20 кВ при питании потребителей первой категории надежности 266
Схемы электроснабжения потребителей второй категории 268
Схемы электроснабжения потребителей третьей категории 276
Схемы распределительных сетей напряжением 0,4–20 кВ 278
Дополнительные требования к проектированию 279
3.4. Проектирование электрических сетей зданий и сооружений 282
3.5. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий 302
3.6. Проектирование электрического освещения 321
3.7. Проектирование систем уравнивания потенциалов 334
Основная система уравнивания потенциалов 334
Система дополнительного уравнивания потенциалов 337
3.8. Проектирование заземляющих устройств 345
Электроустановки и их части, подлежащие защитному заземлению и защитному занулению 349
Требования, предъявляемые к выполнению заземляющих устройств в электроустановках напряжением до 1000 В 357
Особенности заземления электроустановок в электрических сетях системы TN 360
Особенности заземления электроустановок в электрических сетях системы TT 367
Особенности заземления электроустановок в электрических сетях системы IT 370

Глава 4. Расчеты и выбор оборудования при проектировании электроустановок и электрических сетей 376
4.1. Расчет электрических нагрузок 376
Методы расчета электрических нагрузок 378
Расчетные электрические нагрузки жилых зданий 379
Нагрузки общественных зданий 384
4.2. Компенсация реактивной мощности и выбор компенсирующих устройств 393
4.3. Расчеты при выборе электрических проводов и кабельных линий 403
Выбор сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током и экономической плотности тока 403
Длительно допустимая токовая нагрузка проводов и кабелей по нагреву 404
Выбор и проверка проводов и кабелей по нагреву 410

Выбор сечения проводов и кабелей по экономической плотности тока 413
Расчет трехфазных сетей напряжением до 10 кВ по потере напряжения 415
Упрощенные расчеты проводов и кабелей напряжением до 1 кВ 417
4.4. Защита от импульсных перенапряжений и выбор защитных устройств 427
4.5. Определение потерь мощности и электроэнергии в линиях и трансформаторах 443
4.6. Устройство и расчеты характеристик электрических сетей жилых зданий 446
4.7. Выбор аппаратов защиты в электрических сетях напряжением до 1000 В 458
Аппараты защиты и требования, предъявленные к ним 458
Расчет токов короткого замыкания в электроустановках 460
Расчет параметров электрических сетей 465
Выбор автоматических выключателей 476
Выбор предохранителей напряжением до 1000 В 483
Выбор устройств защитного отключения 485
4.8. Выбор трансформаторов тока для установки расчетных счетчиков электрической энергии 499
4.9. Расчеты освещенности и выбор осветительных приборов 502
Расчеты освещенности 502
Расчет освещенности методом коэффициента использования 503
Точечный метод 512
4.10. Расчеты электрических осветительных сетей 522
4.11. Расчеты при выборе заземляющих устройств 552
Определение электрических характеристик грунта 552
Расчет искусственного заземляющего устройства в виде заземляющей сетки . 564
Расчет параметров заземляющих устройств и зануления 570
Расчет сопротивления растеканию электрического тока с заземлителей в неоднородной земле 573
Особенности расчета заземляющих свойств строительных конструкций 579
Упрощенный расчет заземляющих устройств 588

Приложения 596
Приложение П.1. Условные обозначения электрооборудования на планах (по ГОСТ 21.6.14–88) 596
Приложение П.2. План сетей освещения 597
Приложение П.3. Условные графические обозначения электрических аппаратов до 1000 В, применяемые в схемах (ГОСТ 2.755–87, ГОСТ 2.751–73, 2.727–68) 598
Приложение П.4. Однолинейная структурная схема электроснабжения 599
Приложение П.5. Схема электроснабжения объекта 600
Приложение П.6. План сети освещения 601
Приложение П.7. План розеточной сети 602
Приложение П.8. Классификация автоматических выключателей 603
Приложение П.9. Классификация устройств защитного отключения 604
Приложение П.10. Классификация УЗО-Д 605
Приложение П.11. Классификация помещений по характеру окружающей среды . 606
Приложение П.12. Классификация помещений по электробезопасности 606
Приложение П.13. Степени защиты персонала и электротехнических изделий по электробезопасности и их условные обозначения (ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками») 607
Приложение П.14. Минимальные радиусы изгиба кабелей при прокладке 610
Приложение П.15. Общие технические требования, предъявляемые к распределительным щиткам для жилых зданий (извлечения из ГОСТ Р 51628-2000) 611

Приложение П.16. Общие технические требования, предъявляемые к вводно-распределительным устройствам для жилых и общественных зданий (извлечения из ГОСТ Р 51732-2001) 621
Приложение П.17. Рекомендации Управления государственного электроэнергетического надзора Ростехнадзора об использовании технических циркуляров, разработанных Ассоциацией «Росэлектромонтаж», при проверке проектной документации и вводе в работу новых и реконструированных ЭУ 629
Приложение П.18. Дополнительные требования к выполнению основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания 630
Приложение П.19. Дополнительные требования к прокладке электропроводок за подвесными потолками и в перегородках 632
Приложение П.20. Дополнительные требования к схемам временного электроснабжения строительных площадок 633
Приложение П.21. Дополнительные требования к заземляющим электродам и заземляющим проводникам 634
Приложение П.22. Дополнительные требования к электрооборудованию лоджий в жилых и общественных зданиях 636
Приложение П.23. Дополнительные требования к применению кабелей из сшитого полиэтилена в кабельных сооружениях, в том числе во взрывоопасных зонах 638
Приложение П.24. Дополнительные требования к электрическому подключению брони и металлических оболочек кабеля при выполнении концевых заделок во взрывоопасных зонах 639
Приложение П.25. Дополнительные требования к прокладке взаиморезервируемых кабелей в траншеях 640
Приложение П.26. Дополнительные требования к выбору проводов и кабелей в электроустановках до 1 кВ по напряжению изоляции 641
Приложение П.27. Дополнительные требования к схемам электроснабжения центральных тепловых пунктов и индивидуальных тепловых пунктов многоквартирных жилых домов и общественных зданий 643
Приложение П.28. Дополнительные требования к защите от сверхтоков нейтральных (нулевых рабочих) (N) и PEN-проводников в питающих и распределительных сетях 644
Приложение П.29. Дополнительные разъяснения по применению таблицы 7.3.13 ПУЭ шестого издания 646
Приложение П.30. Разъяснение Управления по надзору в электроэнергетике Ростехнадзора о совместном применении "Инструкции по молниезащите зданий и сооружений" (РД 34.21.122-87) и "Инструкции по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций" (СО 153-34.21.122-2003) 647
Приложение П.31. Дополнительные разъяснения о рассмотрении проектной документации при допуске энергоустановок в эксплуатацию по применению 648
Приложение П.32. Порядок организации работ по выдаче разрешений на допуск в эксплуатацию энергоустановок 649
Литература 657

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АВ – автоматический выключатель
АВДТ – автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током со встроенной защитой от сверхтока
АВР – автоматическое включение резерва
АЗ – аппарат защиты
АСКУЭ – автоматизированная система контроля и учета электрической энергии
ВД – ведомость ссылочных документов
ВДТ – выключатель дифференциального тока
ВЛ – воздушные линии электропередач
ВН – высокое напряжение
ВРУ – вводное распределительное устройство
ГЗШ – главная заземляющая шина
ГПП – главная понизительная подстанция
ГРП – главный распределительный пункт
ГРУ – главное распределительное устройство
ГРЩ – главный распределительный щит
ДРЛ – дуговая ртутная лампа
ДЭС – дизель-электрическая станция
ЕСКД – Единая система конструкторской документации
ЗОт – защитное отделение
ЗУ – заземляющее устройство
КБО – комбинат бытового обслуживания
КЗ – короткое замыкание
КЛ – кабельные линии электропередач
КПД – коэффициент полезного действия
КТП – комплектная трансформаторная подстанция
КУ – компенсирующее устройство
КЭ – качество электрической энергии
МЭЗ – мастерские электромонтажных заготовок
НКУ – низковольтное комплектное устройство
НН – низкое напряжение
ОПЧ – открытые проводящие части
ПВ – продолжительность включения
ПЗ – пояснительная записка
ПКР – повторно-кратковременный режим
ПМ – программы и методики
ПРА – пускорегулирующая аппаратура
ПТУ – профессионально-техническое училище
РП – распределительный пункт
РП – распределительный пункт

РУ – распределительное устройство
СМЗ – система молниезащиты
СНиП – строительные нормы и правила
СНиП – строительные нормы и правила
СПДС – Система проектной документации в строительстве
СПЧ – сторонние проводящие части
СЭС – система электроснабжения
ТВЧ – токоведущая часть
ТП – трансформаторная подстанция
ТУ – технические условия
ТЭС – тепловая электростанция
ТЭС – теплоэлектростанция
УДТ – устройство дифференциального тока
УЗО-Д – устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток
ЦП – центр питания
ЦТП – центральный тепловой пункт
ЭБ – электробезопасность
ЭС – электрическая сеть
ЭУ – электроустановка
ЭЭ – электрическая энергия

КРАТКИЙ СЛОВАРЬ УПОТРЕБЛЯЕМЫХ ТЕРМИНОВ

Автоматический выключатель – контактный коммутационный аппарат, предназначенный включать, проводить и отключать электрические токи при нормальном состоянии электрической цепи, а также включать, проводить в течение заданного времени и автоматически отключать токи в указанном аномальном состоянии электрической цепи, например, при коротком замыкании.

Автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током – контактный коммутационный аппарат, предназначенный включать, проводить и отключать электрические токи при нормальном состоянии электрической цепи, а также автоматически отключать электрическую цепь в случае, когда значение дифференциального тока достигает заданной величины в определенных условиях.

Автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током без встроенной защиты от сверхтока (ВДТ) – управляемый дифференциальным током автоматический выключатель, не предназначенный для выполнения функции защиты от сверхтока.

Автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током со встроенной защитой от сверхтока (АВДТ) – управляемый дифференциальным током автоматический выключатель, предназначенный для выполнения функции защиты от сверхтока.

Автоматическое отключение питания – прерывание одного или более линейных проводников при помощи автоматического срабатывания защитного устройства в случае повреждения.

Адресное обозначение – дополнительное обозначение, содержащее информацию о части объекта, сопрягаемое с данной, или о расположении на схеме данной части объекта или сведений о ней.

Барьер – *см.* электрический защитный барьер.

Безопасный разделительный трансформатор – разделительный трансформатор, предназначенный для питания цепей сверхнизким напряжением.

Ввод в ВРУ – место, в котором электроэнергия вводится в ВРУ.

Ввод в электроустановку здания – место, в котором электроэнергия вводится в электроустановку *здания.*

Ввод от воздушной линии электропередачи – распределительная электрическая цепь, которая соединяет ответвление от воздушной линии электропередачи к вводу с внутренними электрическими цепями электроустановки здания, считая от изоляторов, установленных на наружной поверхности здания, до вводных зажимов вводно-распределительного устройства или вводного устройства.

Вводное устройство (ВУ) – низковольтное распределительное устройство, устанавливаемое на вводе в электроустановку здания и обеспечивающее ввод, учет и распределение электроэнергии в электроустановке здания, а также управление и защиту отходящих от него распределительных электрических цепей.

Вводно-распределительное устройство (ВРУ) – низковольтное распределительное устройство, устанавливаемое на вводе в электроустановку здания и обеспечивающее ввод, учет и

распределение электроэнергии в электроустановке здания, а также управление и защиту отходящих от него распределительных и групповых электрических цепей.

Взрывозащищенное электротехническое изделие (электротехническое устройство) – электротехническое изделие (электротехническое устройство, электрооборудование) специального назначения, которое выполнено таким образом, что устранена или затруднена возможность воспламенения окружающей его взрывоопасной среды.

Винтовой вывод – резьбовой вывод, в котором проводник зажимается под головкой винта. Давление зажима передается непосредственно головкой винта или через промежуточный элемент типа шайбы, зажимной пластины или устройства, препятствующего выскальзыванию проводника.

Включение – замыкание ВДТ (АВДТ, автоматического выключателя).

Включенное положение – положение ВДТ (АВДТ, автоматического выключателя), при котором обеспечена предусмотренная непрерывность его главной цепи.

Влажное помещение – помещение, в котором пары или конденсирующаяся влага выделяются лишь кратковременно в небольших количествах, а относительная влажность воздуха более 60 %, но не превышает 75 %.

Воздушная линия электропередачи – электроустановка, предназначенная для передачи и распределения электроэнергии по проводам, расположенным на открытом воздухе и прикрепленным при помощи изоляторов и арматуры к опорам или кронштейнам, стойкам на зданиях и инженерных сооружениях.

Время-токовая характеристика – кривая, отражающая время размыкания АВДТ (автоматического выключателя) в зависимости от величины сверхтока, протекающего в его главной цепи.

Вывод – проводящая часть ВДТ (АВДТ, автоматического выключателя), предназначенная для его электрического соединения с проводниками внешних электрических цепей.

Выравнивание потенциала – снижение разности потенциалов (шагового напряжения) на поверхности земли или пола при помощи защитных проводников, проложенных в земле, в полу или на их поверхности и присоединенных к заземляющему устройству, или путем применения специальных покрытий земли.

Главная заземляющая шина – шина, входящая в состав заземляющего устройства электроустановки здания и предназначенная для присоединения защитных проводников к заземляющему устройству.

Главная заземляющая шина (главный заземляющий зажим) – шина или зажим, являющаяся частью заземляющего устройства электроустановки до 1 кВ и предназначенная для электрического присоединения нескольких проводников с целью заземления и уравнивания потенциалов.

Главный проводник системы уравнивания потенциалов – защитный проводник, соединяющий стороннюю проводящую часть с главной заземляющей шиной.

Главный распределительный щит (ГРЩ) – низковольтное распределительное устройство, обеспечивающее распределение электроэнергии во всей электроустановке здания или его обособленной части, а также управление и защиту отходящих от него распределительных и групповых электрических цепей.

Глухозаземленная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству. Глухозаземленным может быть также вывод источника однофазного переменного тока или полюс источника постоянного тока в двухпроводных сетях, а также средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока.

Глухозаземленная средняя точка – средняя точка в трехпроводных сетях постоянного тока, присоединенная непосредственно к заземляющему устройству.

Глухозаземленный вывод – вывод источника однофазного переменного тока, присоединенный непосредственно к заземляющему устройству.

Групповая электрическая цепь – электрическая цепь от вводно-распределительного устройства главного распределительного щита или других низковольтных распределительных

устройств электроустановки здания до светильников, штепсельных розеток и другого электрооборудования.

Двойная изоляция – изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, состоящая из основной и дополнительной изоляции.

Двойная изоляция электроприемника – совокупность рабочей (основной) и защитной (дополнительной) изоляций, при которой доступные прикосновению части электроприемника не приобретают опасного напряжения при повреждении только рабочей (основной) или только защитной (дополнительной) изоляции (оборудование класса II).

Двунаправленный счетчик – счетчик, предназначенный для измерения электрической энергии в обоих направлениях.

Двухполюсное прямое прикосновение – прикосновение человека или животного к двум токоведущим частям, находящимся под разными потенциалами.

Действующие ЭУ – такие ЭУ или их участки, которые находятся под напряжением полностью или частично или на которые в любой момент может быть подано напряжение включением коммутационной аппаратуры.

Дифференциальный ток – действующее значение векторной суммы электрических токов, протекающих в главной цепи ВДТ (АВДТ, УДТ).

Дифференциальный ток срабатывания – см. отключающий дифференциальный ток.

Дифференциальный трансформатор – трансформатор ВДТ (АВДТ, УДТ), предназначенный для определения векторной суммы электрических токов в его главной цепи.

Дополнительная защита – применение мер для исключения или смягчения электрического удара в случае повреждения основной защиты и/или защиты при повреждении (изоляции).

Дополнительная изоляция – независимая изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, выполняемая дополнительно к основной изоляции для защиты при косвенном прикосновении.

Дополнительная изоляция – независимая изоляция, применяемая совместно с основной изоляцией и предназначенная для обеспечения защиты при повреждении.

Дополнительная система уравнивания потенциалов – система уравнивания потенциалов, в которой открытые проводящие части электрооборудования класса I соединяются проводниками со сторонними проводящими частями здания или между собой.

Дополнительный проводник системы уравнивания потенциалов – защитный проводник, соединяющий открытую проводящую часть со сторонней проводящей частью или две открытые проводящие части между собой.

Естественный заземлитель – сторонняя проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, используемая для целей заземления.

Жаркое помещение – помещение, в котором под воздействием различных тепловых излучений температура превышает постоянно или периодически (более 1 сут.) + 35 °С (например, помещение с сушилками, сушильными и обжигательными печами и т.д.).

Зажим – одна или несколько частей вывода, предназначенных для механического крепления и электрического присоединения одного или нескольких проводников.

Заземление – преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети, электроустановки или оборудования с заземляющим устройством.

Заземленная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземлителю непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформатор тока).

Заземлитель – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

Заземляющее устройство – совокупность заземлителя, заземляющих проводников и главной заземляющей шины.

Заземляющий проводник – защитный проводник, соединяющий заземлитель с главной заземляющей шиной электроустановки здания.

Заземляющий электрод (электрод заземлителя) – проводящая часть, находящаяся в электрическом контакте с локальной землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду, например через слой бетона или проводящее антикоррозионное покрытие.

Замкнутое положение – положение ВДТ (АВДТ, автоматического выключателя), при котором обеспечивается заданная непрерывность его главной цепи.

Замыкание – действие, в результате которого ВДТ (АВДТ, автоматический выключатель) переводится из разомкнутого положения в замкнутое.

Замыкание на землю – случайный электрический контакт между токоведущими частями, находящимися под напряжением, и землей, открытыми, сторонними проводящими частями или защитными проводниками.

Замыкание на корпус – случайное соединение находящихся под напряжением частей ЭУ с их конструктивными частями (ОПЧ – открытыми поводящими частями), нормально не находящимися под напряжением.

Защита от прямого прикосновения – защита от поражения электрическим током, предотвращающая появление прямого прикосновения или используемая при возникновении прямого прикосновения.

Защита при косвенном прикосновении – защита от поражения электрическим током при прикосновении к открытым проводящим частям, оказавшимся под напряжением при повреждении изоляции.

Защита при повреждении – защита от поражения электрическим током при одиночном повреждении.

Защитное автоматическое отключение питания – автоматическое размыкание цепи одного или нескольких фазных проводников (и, если требуется, нулевого рабочего проводника), выполняемое в целях электробезопасности.

Защитное заземление – заземление проводящих частей электроустановки здания или проводящих частей здания, выполняемое с целью обеспечения электробезопасности.

Защитное зануление в электроустановках напряжением до 1 кВ – преднамеренное соединение открытых проводящих частей с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях электробезопасности.

Защитное отключение в электроустановках напряжением до 1 кВ – автоматическое отключение всех фаз (полюсов) участка сети, обеспечивающее безопасные для человека сочетания тока и времени его прохождения при замыканиях на корпус или снижении уровня изоляции ниже определенного значения.

Защитное разделение электрических цепей – отделение одной электрической цепи от других цепей в электроустановках напряжением до 1 кВ при помощи: двойной изоляции или основной изоляции и защитного экрана или усиленной изоляции.

Защитное уравнивание электрических потенциалов – уравнивание электрических потенциалов в целях обеспечения электробезопасности путем устранения разности электрических потенциалов между всеми одновременно доступными прикосновению открытыми проводящими частями стационарного электрооборудования и сторонними проводящими частями, включая металлические части строительных конструкций зданий, достигаемое надежным соединением этих частей друг с другом при помощи проводников.

Защитное устройство от сверхтока – механическое выключающее устройство, способное включать, пропускать и отключать токи при нормальных условиях, а также включать, пропускать и автоматически отключать токи при аварийных условиях работы сети, таких как перегрузка и короткое замыкание.

Защитный заземляющий проводник – защитный проводник, предназначенный для защитного заземления.

Защитный проводник (PE) – проводник, применяемый для защиты людей и животных от поражения электрическим током.

Защитный проводник (PE-проводник) – проводник, применяемый для выполнения защитных мер от поражения электрическим током в случае повреждения и для соединения открытых проводящих частей: с заземлителями, заземляющим проводником или заземленной токоведущей частью; с другими открытыми проводящими частями; со сторонними проводящими частями.

Защитный проводник уравнивания потенциалов – защитный проводник, предназначенный для защитного уравнивания потенциалов

Защитный экран – проводящий экран, предназначенный для отделения одной электрической цепи от проводящих частей других электрических цепей.

Изолированная нейтраль – нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству (ЗУ) или присоединенная к нему через большое сопротивление приборов сигнализации, измерения, защиты и других аналогичных им устройств.

Импульсный ток (I_{imp}) – определяется пиковым значением тока I_{peak} и зарядом Q.

Искусственный заземлитель – заземлитель, специально выполняемый для целей заземления.

Кабельная линия электропередачи (далее – КЛ) – линия для передачи электроэнергии или отдельных импульсов ее, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями, а для маслонаполненных кабельных линий, кроме того, с подпитывающими аппаратами и системой сигнализации давления масла.

Квалифицирующий символ – специальный знак, указывающий тип условного обозначения.

Коммутационный аппарат – электрический аппарат, предназначенный для коммутации электрической цепи и снятия напряжения с части электроустановки (выключатель, выключатель нагрузки, отделитель, разъединитель, автомат, рубильник, пакетный выключатель, предохранитель и т.п.).

Косвенное прикосновение – электрический контакт людей или животных с открытыми или сторонними проводящими частями, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции.

Коэффициент замыкания на землю в трехфазной электрической сети – отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

Коэффициент совмещения максимумов (коэффициент участия в максимуме) нагрузок – отношение расчетного максимума суммарной нагрузки электроприемников к сумме расчетных нагрузок электроприемников: $k_y = \dfrac{P_P}{\sum_{1}^{n} P_{Pi}}$, где P_{Pi} – расчетная нагрузка i-ого электроприемника, кВт; P_P – расчетный максимум суммарной нагрузки электроприемников, кВт.

Коэффициент спроса по нагрузке k_c – отношение расчетной электрической нагрузки к установленной мощности электроприемников (без учета резервных электроприемников и противопожарных устройств): $k_c = \dfrac{P_P}{P_H}$, где P_P – расчетная электрическая нагрузка, кВт; P_H – установленная мощность электроприемников, кВт.

Линия электропередачи (ЛЭП) – ЭУ, предназначенная для передачи электроэнергии.

Магистраль заземления или зануления – заземляющий или нулевой защитный проводник с двумя или более ответвлениями.

Малое (сверхнизкое) напряжение – номинальное напряжение между фазами (полюсами) и по отношению к земле не более 50 В переменного и 120 В постоянного тока, применяемое в ЭУ для обеспечения электробезопасности.

Напряжение прикосновения – напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека или животного.

Напряжение шага – напряжение между двумя точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю, при одновременном касании их ногами человека.

Независимый источник питания – источник питания, на котором сохраняется напряжение в послеаварийном режиме в регламентированных пределах при исчезновении его на другом или других источниках питания. К числу независимых источников питания относятся две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при одновременном соблюдении следующих двух условий: 1) каждая из секций или систем шин в свою очередь имеет питание от независимого источника питания; 2) секции (системы) шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной из секций (систем) шин.

Нейтраль – общая точка соединенных в звезду обмоток (элементов) электрооборудования.

Нейтральная проводящая часть (нейтральный проводник) – часть электроустановки, способная проводить электрический ток, потенциал которой в нормальном эксплуатационном режиме равен или близок к нулю, например корпус трансформатора, шкаф распределительного устройства, кожух пускателя, проводник системы уравнивания потенциалов, PEN-проводник и т.п.

Непроводящие (изолирующие) помещения, зоны, площадки – помещения, зоны, площадки, в которых (на которых) защита при косвенном прикосновении обеспечивается высоким сопротивлением пола и стен и в которых отсутствуют заземленные проводящие части.

Номинальный импульсный разрядный ток (I_H) – пиковое значение тока, протекающего через УЗИП, с формой волны 8/20 мкс.

Нулевой защитный проводник (PE-проводник) в электроустановках напряжением до 1 кВ – проводник, соединяющий зануляемые части с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока (система TN).

Нулевой рабочий (нейтральный) проводник (N-проводник) в ЭУ напряжением до 1 кВ – проводник, используемый для питания электроприемников, соединенный с заземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с заземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной средней точкой источника в сетях постоянного тока (система TN).

Обозначение высшего уровня – дополнительное обозначение, указывающее более крупную часть объекта, в которую входит данная часть объекта.

Обозначение конструктивного расположения (конструктивное обозначение) – дополнительное обозначение, указывающее место расположения части объекта в конструкции.

Обозначение электрического контакта – дополнительное обозначение, содержащее информацию о контакте данной части объекта.

Обозначение элемента (позиционное обозначение) – обязательное обозначение, присваиваемое каждой части объекта и содержащее информацию о виде части объекта, ее номере и, при необходимости, указание о функции данной части в объекте.

Ожидаемое напряжение прикосновения – часть напряжения при повреждении, появляющаяся между доступными прикосновению проводящими частями, которых может одновременно коснуться человек или животное.

Опасные токоведущие части – токоведущие части, которые при определенных условиях могут наносить вредный для здоровья электрический удар (PEN-проводник не относится к опасным токоведущим частям).

Основная защита (защита от прямого прикосновения) – применение мер, предотвращающих прямой контакт с токоведущими частями.

Основная изоляция – изоляция токоведущих частей, обеспечивающая в том числе защиту от прямого прикосновения.

Особо сырое помещение – помещение, в котором относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

Открытая или наружная электроустановка – электроустановка, не защищенная зданием от атмосферных воздействий.

Открытая проводящая часть – доступная прикосновению проводящая часть электроустановки, нормально не находящаяся под напряжением, но которая может оказаться под напряжением при повреждении основной изоляции.

Открытое распределительное устройство (ОРУ) – распределительное устройство, все или основное оборудование которого расположено на открытом воздухе.

Охранная зона воздушных линий электропередачи и воздушных линий связи –

1. Зона вдоль ВЛ в виде земельного участка и воздушного пространства, ограниченная вертикальными плоскостями, отстоящими по обе стороны линии от крайних проводов при неотклоненном их положении на расстоянии, м:

для ВЛ напряжением до 1 кВ и ВЛС – 2;
для ВЛ 1 – 20 кВ – 10;
для ВЛ 35 кВ – 15;
для ВЛ 110 кВ – 20;
для ВЛ 150, 220 кВ – 25;
для ВЛ 330, 500, 400 кВ – 30;

2. Зона вдоль переходов ВЛ через водоемы (реки, каналы, озера и др.) в виде воздушного пространства над водой, поверхностью водоемов, ограниченная вертикальными плоскостями, отстоящими по обе стороны линии от крайних проводов при неотклоненном их положении для судоходных водоемов на расстоянии 100 м, для несудоходных – на расстоянии, предусмотренном для установления охранных зон вдоль ВЛ, проходящих по суше.

Охранная зона кабельных линий электропередачи и кабельных линий связи –

1. Участок земли вдоль подземных КЛ, ограниченный вертикальными плоскостями, отстоящими по обе стороны линии от крайних кабелей на расстоянии 1 м для КЛ и 2 м для КЛС, а для КЛ напряжением до 1000 В, проходящих в городах под тротуарами, на расстоянии 1,0 м и 0,6 м соответственно в сторону проезжей части улицы и противоположную сторону.

2. Часть водного пространства от водной поверхности до дна вдоль подводных КЛ и КЛС, ограниченная вертикальными плоскостями, отстоящими по обе стороны линий от крайних кабелей на расстояние 100 м.

Питающая линия – линия, питающая РП от ЦП.

Подстанция – электроустановка, служащая для преобразования и распределения электроэнергии и состоящая из трансформаторов или других преобразователей энергии, распределительных устройств, устройств управления и вспомогательных сооружений. В зависимости от преобладания той или иной функции подстанций они называются трансформаторными или преобразовательными.

Помещение с химически активной или органической средой – помещение, в котором постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию, токоведущие части электрооборудования и заземляющие устройства электроустановок.

Потенциаловыравнивающий электрод – то же, что и заземляющий электрод, но используемый для выравнивания электрических потенциалов.

Потребитель электрической энергии – электроприемник или группа электроприемников, объединенных технологическим процессом и размещающихся на определенной территории.

Предельно допустимое напряжение при повреждении – наибольшее напряжение, которое допускается на открытых проводящих частях по отношению к зоне нулевого потенциала при повреждении изоляции.

Преобразовательная подстанция – электрическая подстанция, предназначенная для преобразования рода тока или его частоты.

Приемник электрической энергии (электроприемник) – аппарат, агрегат, механизм, предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

Принципиальная электрическая схема электростанции (подстанции) – схема, отображающая состав оборудования и его связи, дающая представление о принципе работы электрической части электростанции (подстанции).

Присоединение – электрическая цепь (оборудование и шины) одного назначения, наименования и напряжения, присоединенная к шинам РУ, генератора, щита, сборки и находящаяся в пределах электростанции, подстанции и т.п. Электрические цепи разного напряжения одного силового трансформатора (независимо от числа обмоток), одного двухскоростного электродвигателя считаются одним присоединением. В схемах многоугольников, полуторных и т.п. схемах к присоединению линии, трансформатора относятся все коммутационные аппараты и шины, посредством которых эта линия или трансформатор присоединены к РУ.

Проводник – часть, предназначенная для проведения электрического тока определенного значения.

Проводящая часть – часть, которая может проводить электрический ток.

Прямое прикосновение – электрический контакт людей или животных с токоведущими частями, находящимися под напряжением.

Пыльное помещение – помещение, в котором по условиям производства выделяется технологическая пыль в таком количестве, что она может оседать на проводниках, проникать внутрь машин, аппаратов и т.п. Пыльные помещения разделяются на помещения с токопроводящей пылью и нетокопроводящей пылью.

Рабочее (функциональное) заземление – заземление точки или точек токоведущих частей электроустановки, выполняемое для обеспечения работы электроустановки (не в целях электробезопасности).

Рабочее заземление – заземление какой-либо точки токоведущих частей ЭУ, необходимое для обеспечения работы ЭУ.

Разделительный (разделяющий) трансформатор – трансформатор, первичная обмотка которого отделена от вторичных обмоток при помощи защитного электрического разделения цепей. Он предназначен для отделения сети, питающей электроприемник, от первичной электрической сети, а также от сети заземления или зануления.

Разностный (дифференциальный) ток – векторная сумма токов, протекающих через дифференциальное токовое устройство, такое как УЗО-Д.

Распределительное устройство – электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

Распределительное устройство (РУ) – электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая сборные и соединительные шины, коммутационные аппараты, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

Распределительное устройство закрытое – распределительное устройство, оборудование которого расположено в здании.

Распределительное устройство комплектное – распределительное устройство, состоящее из полностью или частично закрытых шкафов или блоков со встроенными в них аппаратами, устройствами защиты и электроавтоматики, поставляемое в собранном или полностью подготовленном для сборки виде.

Распределительный пункт (РП) городской электрической сети – распределительное устройство напряжением 10(6) кВ, предназначенное для приема электроэнергии от ЦП и передачи ее в распределительную сеть.

Расчетная электрическая нагрузка P_p потребителя или элемента сети принимается равной ожидаемой максимальной нагрузке за 30 мин.

Сверхнизкое (малое) напряжение (СНН) – напряжение, не превышающее 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

Сверхток – ток, значение которого превосходит наибольшее рабочее значение тока ЭУ.

Силовая электрическая цепь – электрическая цепь, содержащая элементы, функциональное назначение которых состоит в производстве или передаче основной части электрической энергии, ее распределении, преобразовании в другой вид энергии или в электрическую энергию с другими значениями параметров.

Система заземления (заземляющая система) – совокупность заземляющих устройств подстанции, открытых проводящих частей потребителя и нейтрального проводника в электроустановке до 1 кВ.

Система сборных шин – комплект элементов, связывающих присоединения электрического распределительного устройства.

Система сверхнизкого безопасного напряжения (БСНН, ЗСНН, ФСНН) – совокупность технических мер защиты от прямого и косвенного прикосновений, которые характеризуются применением сетей с напряжением, не превышающим 50 В переменного тока или 120 В постоянного тока, питаемых от источников питания по ГОСТ 50571.3–94 и устройством электрических цепей, обеспечивающих необходимую степень безопасности (оборудование класса III).

Система электроснабжения – совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электрической энергией.

Совмещенный нулевой защитный и нулевой рабочий проводник (PEN-проводник) – проводник в сети с системой заземления TN, который присоединен к заземленной нейтрали источника и одновременно выполняет функции нулевого защитного проводника (PE-проводника) и нулевого рабочего проводника (N-проводника).

Сопровождающий ток (I_f) – ток, подаваемый электрической силовой системой и проходящий через УЗИП после разрядного токового импульса.

Сопротивление заземляющего устройства – это отношение напряжения на ЭУ к току, стекающему с заземлителя в землю.

Составное обозначение – обозначение, состоящее из обязательного и дополнительного обозначений различного типа и передающее совокупность сведений о части объекта.

Статический счетчик электрической энергии – счетчик электрической энергии, в котором ток и напряжение воздействуют на твердотельные (электронные) элементы для создания выходных импульсов, количество и частота которых пропорциональны соответственно энергии и мощности.

Сторонние проводящие части – проводящие части, которые не являются частью ЭУ, но могущие приобретать потенциал при определенных условиях.

Сухое помещение – помещение, в котором относительная влажность воздуха не превышает 60 %. При отсутствии в таком помещении условий, указанных во влажном, сыром, особо сыром, жарком, пыльном, с химически активной и органической средой помещениях.

Филиал
ОАО "ВНИПИнефть"
г. Пермь

Схема объединенная – схема, когда на одном конструкторском документе выполняют схемы двух или более типов, выпущенных на одно изделие (установку).

Схема подключения – схема, показывающая внешние подключения изделия.

Схема принципиальная (полная) – схема, определяющая полный состав элементов и связей между ними и, как правило, дающая детальное представление о принципах работы изделия (установки).

Схема расположения – схема, определяющая относительное расположение составных частей изделия (установки), а при необходимости, также жгутов, проводов, кабелей, трубопроводов и т.п.

Схема соединений (монтажная) – схема, показывающая соединения составных частей изделия (установки) и определяющая провода, жгуты, кабели или трубопроводы, которыми осуществляются эти соединения, а также места их присоединений и ввода (разъемы, платы, зажимы и т.п.).

Схема структурная – схема, определяющая основные функциональные части изделия, их назначение и взаимосвязь.

Схема функциональная – схема разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия (установки) или в изделии (установке) в целом.

Счетчик вар-часов – прибор, предназначенный для измерения реактивной энергии путем интегрирования реактивной мощности по времени.

Счетчик ватт-часов – прибор, предназначенный для измерения активной энергии путем интегрирования активной мощности по времени.

Счетчик вольт-ампер часов – прибор, предназначенный для измерения полной энергии путем интегрирования полной мощности по времени.

Счетчик излишков электрической энергии – счетчик электрической энергии, предназначенный для измерения излишка электрической энергии в течение того времени, когда значение мощности превышает заранее определенное значение.

Счетчик максимума – счетчик, снабженный указателем максимума.

Сырое помещение – помещение, в котором относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %.

Тип системы заземления – показатель, характеризующий отношение к земле нейтрали трансформатора на подстанции и открытых проводящих частей у потребителя, а также устройство нейтрального проводника. Обозначение типов систем заземления – по ГОСТ 30331.2 / ГОСТ Р 50571.2. Различают TN-, TT- и IT-системы, две первых из которых имеют заземленную нейтраль на трансформаторной подстанции, а третья – изолированную. TN-система по устройству нейтрального проводника в свою очередь делится на TN-S-, TN-C- и TN-C-S-системы.

Ток замыкания на землю – ток, стекающий в землю через место замыкания.

Ток короткого замыкания – сверхток, обусловленный повреждением с малым сопротивлением между точками, находящимися под разными потенциалами в нормальных рабочих условиях.

Ток перегрузки – сверхток в электрической цепи электроустановки при отсутствии электрических повреждений.

Ток повреждения – ток, появившийся в результате повреждения или перекрытия изоляции.

Ток прикосновения – ток, который может протекать через тело человека или тело животного, когда человек или животное касаются одной или более доступных проводящих частей. Ток прикосновения может протекать при нормальных или аварийных условиях.

Ток утечки – ток, который протекает в землю или на сторонние проводящие части в электрически неповрежденной сети.

Ток утечки в сети с заземленной нейтралью – ток, протекающий по участку электрической цепи, соединенному параллельно с нулевым рабочим проводником, а при отсутствии пулевого рабочего проводника – ток нулевой последовательности.

Ток утечки в сети с изолированной нейтралью – ток, протекающий между фазой и землей в сети с изолированной нейтралью.

Токоведущая часть – проводящая часть электроустановки, находящаяся в процессе ее работы под рабочим напряжением, в том числе нулевой рабочий проводник (но не PEN-проводник).

Токопровод – устройство, выполненное в виде шин или проводов с изоляторами и поддерживающими конструкциями, предназначенное для передачи и распределения электрической энергии в пределах электростанции, подстанции или цеха.

Трансформаторная подстанция – электрическая подстанция, предназначенная для преобразования электрической энергии одного напряжения в электрическую энергию другого напряжения с помощью трансформаторов.

Трансформаторная подстанция (ТП) городской распределительной сети – подстанция, в которой электроэнергия трансформируется с высшего напряжения 10(6) кВ на низшее 0,4 кВ и распределяется на этом напряжении.

УЗИП комбинированного типа – УЗИП, содержащие элементы как коммутирующего, так и ограничивающего типов, которые могут коммутировать и ограничивать напряжение, а также выполнять обе функции; их действие зависит от характеристик подаваемого напряжения.

Уравнивание потенциалов – снижение разности потенциалов между доступными одновременному прикосновению открытыми проводящими частями (ОПЧ), сторонними проводящими частями (СПЧ), заземляющими и защитными проводниками (PE-проводниками), а также PEN-проводниками, путем электрического соединения этих частей между собой.

Уровень защиты (U_P) – максимальное значение падения напряжения на защитном устройстве при протекании через него импульсного тока разряда.

Усиленная изоляция – изоляция в электроустановках напряжением до 1 кВ, обеспечивающая степень защиты от поражения электрическим током, равноценную двойной изоляции.

Установка – условное наименование объекта в энергетических сооружениях, на который выпускается схема, например, главные цепи

Устройство – совокупность элементов, представляющая единую конструкцию (блок, плата, шкаф, механизм, распределительная панель и т.п.).

Устройство для защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) – устройство, которое предназначено для ограничения переходных перенапряжений и отвода импульсов тока.

Устройство защитного отключения или УЗО-Д – механическое выключающее устройство, предназначенное для включения, прохождения и отключения токов при нормальных условиях эксплуатации, и которое может обеспечивать размыкание контактов, когда разностный ток достигает заданного значения при определенных условиях.

Формат (фр. format, лат. Forma – вид, наружность) – длина и высота книги, бумажного лита, полосы набора и т.д.

Функциональная группа – совокупность элементов, выполняющих в изделии определенную функцию и не объединенных в единую конструкцию.

Функциональная цепь – линия, канал, тракт определенного назначения (канал звука, видеоканал, тракт СВЧ и т.п.).

Функциональная часть – элемент, устройство, функциональная группа.

Функциональное заземление – заземление, для обеспечения нормального функционирования аппарата, на корпусе которого по требованию разработчика не должен присут-

ствовать даже малейший электрический потенциал (иногда для этого требуется наличие отдельного электрически независимого заземлителя).

Функциональный заземляющий проводник (FE-проводник) – заземляющий проводник в электроустановке до 1 кВ, служащий для функционального заземления.

Центр питания (ЦП) городской сети – электростанция или подстанция, от РУ 10(6) кВ которой электрическая энергия распределяется по сети.

Централизованное электроснабжение – электроснабжение потребителей электрической энергии от энергосистемы.

Часть нетоковедущая – часть электроустановки, которая может оказаться под напряжением в аварийных режимах работы, например, корпус электрической машины.

Часть токоведущая – часть электроустановки, нормально находящаяся под напряжением.

Щит управления электростанции (подстанции) – совокупность пультов и панелей с устройствами управления, контроля и защиты электростанции (подстанции), расположенных в одном помещении.

Эквивалентное удельное сопротивление земли с неоднородной структурой – такое удельное сопротивление земли с однородной структурой, в которой сопротивление заземляющего устройства имеет то же значение, что и в земле с неоднородной структурой. Термин «удельное сопротивление» для земли с неоднородной структурой следует понимать как «эквивалентное удельное сопротивление».

Эксплуатация – стадия жизненного цикла изделия, на которой реализуется, поддерживается или восстанавливается его качество.

Электрическая подстанция – электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электрической энергии.

Электрическая сеть – совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, токопроводов, воздушных и кабельных линий электропередачи, работающих на определенной территории.

Электрическая сеть с эффективно заземленной нейтралью – трехфазная электрическая сеть напряжением выше 1 кВ, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4.

Электрическая часть энергосистемы (система электроснабжения) – совокупность ЭО объектов энергосистемы.

Электрический распределительный пункт – электрическое распределительное устройство, не входящее в состав подстанции.

Электрическое распределительное устройство – электроустановка, служащая для приема и распределения электроэнергии и содержащая коммутационные аппараты, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства (компрессорные, аккумуляторные и др.), а также устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Электрозащитное средство – средство защиты, предназначенное для обеспечения электробезопасности.

Электрооборудование – совокупность электрических устройств, объединенных общими признаками. Признаками объединения в зависимости от задач могут быть: назначения, например, технологическое; условия применения, например, в тропиках; принадлежность объекту, например, станку, цеху.

Электрооборудование с нормальной изоляцией – электрооборудование, предназначенное для применения в электроустановках, подверженных действию грозовых перенапряжений, при обычных мерах защиты от перенапряжений.

Электрооборудование с облегченной изоляцией – электрооборудование, предназначенное для применения в электроустановках, не подверженных действию грозовых перенапряжений, или при специальных мерах защиты, ограничивающих амплитуду грозовых перенапряжений.

Электропомещение – помещение или отгороженные (например, сетками) части помещения, в которых расположено электрооборудование, доступное только для квалифицированного обслуживающего персонала.

Электроприемник – ЭУ, предназначенная для приема и использования электроэнергии.

Электроприемник (приемник электрической энергии) – аппарат, агрегат и др., предназначенный для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

Электропроводка – совокупность проводов и кабелей с относящимися к ним креплениями, установочными и защитными деталями, проложенных по поверхности или внутри конструктивных строительных элементов зданий и сооружений.

Электроснабжение – обеспечение потребителей электрической энергией.

Электроустановка – совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид энергии. ЭУ по условиям ЭБ разделяются на ЭУ до 1000 В и ЭУ выше 1000 В (по действующему значению напряжения).

Электроустановка выше 1 кВ – электроустановка, номинальное значение напряжения в которой равно или выше 1 кВ.

Электроустановка действующая – электроустановка или ее часть, которые находятся под напряжением либо на которые напряжение может быть подано включением коммутационных аппаратов.

Электроустановка до 1 кВ – электроустановка, номинальное значение напряжения в которой не превышает 1 кВ.

Электроустановка с простой наглядной схемой – распределительное устройство напряжением выше 1000 В с одиночной секционированной или несекционированной системой шин, не имеющей обходной системы шин, все ВЛ и КЛ, все электроустановки напряжением до 1000 В.

Элемент схемы – составная часть схемы, которая выполняет определенную функцию в изделии и не может быть разделена на части, имеющие самостоятельное назначение (резистор, трансформатор, насос, распределитель, муфта и т.п.).

Светлой памяти моей дочери
Екатерине (Эллиане) посвящается эта книга

ПРЕДИСЛОВИЕ

Экономический подъем, наметившийся в последние годы в России, вызвал рост темпов строительства зданий, сооружений и промышленных предприятий различного назначения, что привело к увеличению потребления электроэнергии, созданию новых и реконструкции действующих электроустановок.

Электроустановки, так же, как и другие технические устройства в процессе их создания проходят стадии проектирования, монтажа, наладки и допуска в эксплуатацию. В представленном справочном пособии будет рассмотрена только стадия проектирования, так как проектирование электроустановок является трудоемким процессом, требующим от проектировщиков не только хорошей инженерной подготовки, но и прочных знаний Правил устройства электроустановок и большого количества других нормативно-технических документов, применяемых в электроэнергетике.

Электроэнергетика же является одной из наиболее опасных отраслей хозяйства, но в то же время необходимой для обеспечения жизнедеятельности людей. Качество проектирования непосредственно влияет практически на все стадии жизненного цикла электроустановок, от него зависят надежность, работоспособность, долговечность и другие не менее важные характеристики.

Однако качество проектов не улучшается, несмотря на меры, принимаемые органами Ростехнадзора. В последнее время были приняты постановления Правительства Российской Федерации, посвященные вопросам проектирования:

– Постановление Правительства РФ № 1454 от 5 марта 2007 года «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий»;

– Постановление Правительства РФ № 87 от 18 февраля 2008 года «О составе разделов проектно документации и требованиях к их содержанию»

Это достаточно показательный факт, подтверждающий важность для государства в целом качества проектных и изыскательских работ. С другой стороны, это свидетельствует о реальном состоянии дел в области проектировании, и если решения принимаются на уровне правительства, то состояние дел плохое, а органы, которые должны регулировать вопросы проектирования, или не способны улучшить положение, или не могут, потому что все настолько плохо. Однако одних организационных мер недостаточно, необходимо создавать систему подготовки специалистов-проектировщиков. И, конечно же, разрабатывать и издавать техническую и справочную литературу.

В представленном справочном пособии излагаются основы проектирования систем электроснабжения напряжением до 1000 В, составной частью которых являются электроустановки.

В первой главе изложены общие требования к проектированию систем электроснабжения, показано, как организовывать процесс проектирования, рассмотрены этапы проектирования и основные требования, предъявляемые к проектной и рабочей документации.

Вторая глава посвящена порядку разработки текстовых и графических документов, в ней представлены требования, предъявляемые к содержанию и разработке текстовых документов. Особое внимание уделено обозначениям, принятым в электрических схемах и при изображении электрооборудования на планах, а также рабочим чертежам.

Проектированию электрических сетей и электроустановок общего назначения посвящена третья глава.

В ней рассмотрены вопросы проектирования как внешнего, так и внутреннего электроснабжения, а также проектирование устройств и систем, обеспечивающих электробезопасность.

В четвертую главу сведены расчеты сетей и характеристик электроустановок и порядок выбора электрооборудования на основании полученных расчетов.

В приложениях приведена дополнительная информация, которая не вошла в основной текст, но необходима при проектировании.

Автор понимает, что такая предметная область в электроэнергетике как проектирование столь обширна, что вместить ее в одно справочное пособие невозможно. Данное пособие не лишено недостатков, и автор будет благодарен за замечания и пожелания конструктивного характера.

В целях сокращения объема в книге не рассматриваются вопросы принятия технических решений по обеспечению электробезопасности, сочетанию видов защит от поражения электрическим током. Весьма сжато изложен вопрос применения защитного заземления.

Более подробно особенности применения заземления и других видов защит от поражения электрическим током рассмотрены в серии справочников и справочных пособий:

– Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и зануление электроустановок. Справочник (твердый переплет) – СПб.: Политехника, 2009 г. – 400 с.;

– Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток. Справочное пособие. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2010 г. – 164 с.;

– Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. «Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок» (в трех частях). Справочное пособие. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2010 г.:

Часть 1. «Общие требования. Основная защита», 108 с.;

Часть 2. «Защита при косвенном прикосновении. Дополнительная защита», 108 с.;

Часть 3. «Защита при нарушении режимов работы ЭУ», 108 с.

(аннотация всех этих книг представлена на стр. 660 – 662).

Автор выражает благодарность начальнику кафедры «Электроснабжения» ВКА им. Александра Федоровича Можайского Почетному энергетику РФ, к.т.н., доценту Пешехонову Николаю Егоровичу., профессору кафедры Почетному энергетику РФ, к.т.н., доценту Карагодину Владимиру Викторовичу за предоставленный материал, который был использован в п. 4.2, 4.5, а также заместителю директора НОУ ДПО УМИТЦ по развитию Горяйнову Владимиру Григорьевичу, предоставившему в распоряжение автора материалы по составу пояснительной записки.

Особую благодарность автор выражает коллеге и соратнику в деле совершенствования системы и уровня подготовки специалистов-электроэнергетиков заместителю директора по научной работе Санкт-Петербургского НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис» Почетному энергетику РФ Заграничному Сергею Филипповичу, без которого данное пособие вышло бы в свет намного позднее и менее полное.

На информационно-рекламных листах № № 1 - 7, размещенных на стр. 24 - 25, 660 - 664, представлена информация об основных пособиях, разработанных **НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис»** в сериях ***«В помощь проектировщику»*** и ***«Ответственному за электрохозяйство»*** **в 2007 - 2009 г.г.** и местах их продажи.

Санкт-Петербургская объединенная группа «Электро Сервис»

НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭЛЕКТРО СЕРВИС»
ООО «ЭЛЕКТРО СЕРВИС»

Предлагает специалистам–электроэнергетикам ***С Е Р И Ю К Н И Г***

В помощь

проектировщику

и другим специалистам-электроэнергетикам

❖ *ISBN 978-5-7325-0911-3* **Защитное заземление и зануление электроустановок.** Справочник (твердый переплет). – 400 с. – **2009 г.**

❖ ***НОВИНКА!*** *ISBN 978-5-98187-401-7* **Маньков В.Д. Основы проектирования систем электроснабжения** (формат **А4**). Справочное пособие. - 664 с. – **2010 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-090-3* **Практическое руководство по контролю электроустановок при проведении авторского надзора и визуального осмотра** (формат **А4**). (***41 дополн. приложение***). Четвертое изд., испр. и доп. – 304 с. - **2009 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-047-7* **Справочно–методическое пособие по изучению и применению СП 31–110–2003 Свода правил по проектированию и строительству «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» (с дополнительными нормативными, справочными и методическими материалами)** (формат **А4**). (***45 дополнительных приложений***). Четвертое изд., испр. и дополн. – 212 с. – **2010 г.**

❖ **Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях):**

➢ *ISBN 978-5-98187-048-4* **Часть 1. Общие требования. Основная защита.** Справочное пособие. Шестое изд., испр. и дополн. – 108 с. – **2010 г.**

➢ *ISBN 978-5-98187-049-1* **Часть 2. Защита при косвенном прикосновении. Дополнительная защита.** Справ. пос. Шестое изд., испр. и доп. – 108 с. – **2010 г.**

➢ *ISBN 978-5-98187-050-7* **Часть 3. Защита при нарушении режимов работы ЭУ.** Справочное пособие. Шестое изд., испр. и дополн. – 108 с. – **2010 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-104-7* **Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток.** Справ. пос. Третье изд., испр. и доп. – 164 с. – **2010 г.**

AD VITAM
ВО ИМЯ ЖИЗНИ

Авторы: Директор по развитию Почетный энергетик РФ доцент **Маньков В.Д.** и Заместитель директора по научной работе Почетный энергетик РФ **Заграничный С.Ф.**

Выпуск справочно–методических и справочных пособий указанной серии обусловлен потребностью в разъяснении и комментарии основных положений измененных руководящих и нормативно-технических документов по устройству, проектированию и монтажу ЭУ (**РД-01-10-2004, ПУЭ, СП 31–110–2003, ППБ 01-03, НПБ 105-03, технических циркуляров** и др.), введенных в действие в 2003 – 2009 г.г.

Книги серии предназначены для проектировщиков и монтажников электрических сетей, ЭУ и ЭО зданий и сооружений, а также будут полезны для ответственных за электрохозяйство, руководителей предприятий и организаций, осуществляющих организацию эксплуатации и эксплуатирующих ЭУ, т.к. в пособия вошли *разъяснения и практические рекомендации по изучению и применению вновь введенных НТД.*

Приобрести книги и разместить в них рекламу при очередных изданиях можно по адресу:
198188, г. СПб, ***ул. Возрождения д. 19/38*** (*м. «Кировский завод»*), тел./факс: 784-79-01, 784-17-15, 784-14-98, 785-02-97, e-mail: **elservice@mail.ru**, http://**www.els-group.ru**.

Во первом полугодии 2010 года **УМИТЦ «ЭЛЕКТРО СЕРВИС»** планирует начать проведение **технических семинаров с проектировщиками** электрических сетей напряжением до 1000 В.

Семинары будут проводить преподаватели **Центра**, а также ведущие специалисты–электроэнергетики города и предприятий–изготовителей электротехнической продукции.

Информацию по комплектованию групп, темам семинаров и датам их проведения можно получить у секретаря по телефонам:

784-79-01, 784-17-15, 784-14-98, 785-02-97, e-mail: **elservice@mail.ru**, http://**www.els-group.ru**

Санкт-Петербургская объединенная группа «Электро Сервис»

НОУ ДПО «УМИТЦ «ЭЛЕКТРО СЕРВИС»
ООО «ЭЛЕКТРО СЕРВИС»

Предлагает справочную и учебно–методическую литературу из

С Е Р И И К Н И Г

Ответственному

за электрохозяйство

Авторы: сотрудники Центра Почетный энергетик РФ, доцент **Маньков В. Д.** и Почетный энергетик РФ **Заграничный С. Ф.**

❖ *ISBN 978-5-98187-044-6* **Опасность поражения человека электрическим током и порядок оказания первой помощи при несчастных случаях на производстве.** Практическое руководство. Десятое изд., испр. и дополн. – 84 с. – **2010 г.**

❖ **Методические рекомендации по изучению и применению «Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей» (ПТЭЭП)** (в трех частях) Шестое изд., испр. и дополн. (***91 дополн. прил.***):

➢ *ISBN 978-5-98187-056-9* **Часть 1. «Раздел 1. Организация эксплуатации электроустановок».** (***33 дополн. прил.***).– 152 с. – **2009 г.**

➢ *ISBN 978-5-98187-057-6* **Часть 2. «Раздел 2. Электрооборудование и электроустановки общего назначения».** (***27 дополн. прил.***). – 152 с. – **2009 г.**

➢ *ISBN 978-5-98187-058-3* **Часть 3. «Раздел 3. Электроустановки специального назначения».** (***31 дополн. прил.***). – 152 с. – **2009 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-045-3* **Справочно–методическое пособие по изучению и применению «Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок»** (с измен. и доп. матер.). (***32 дополн. прил.***). Восьмое изд., испр. и доп. – 224 с. – **2009 г.**

❖ **Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок** (в трех частях). Справочное пособие. Шестое изд., испр. и дополн. – **2010 г.**:

➢ *ISBN 978-5-98187-048-4* **Часть 1. Общие требования. Основная защита.** – 108 с.

➢ *ISBN 978-5-98187-049-1* **Часть 2. Защита при косвенном прикосновении. Дополнительная защита.** – 108 с.

➢ *ISBN 978-5-98187-050-7* **Часть 3. Защита при нарушении режимов работы ЭУ.** – 108 с.

❖ *ISBN 978-5-98187-047-7* **Справочно–методическое пособие по изучению и применению СП 31–110–2003 Свода правил по проектированию и строительству «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий»** (с доп. норм., справ. и метод. мат.) (формат **А4**) (***45 дополнительных приложений***). Пятое изд., испр. и доп. – 212 с. – **2010 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-077-4* **Методические рекомендации по изучению «Инструкции по применению и испытанию средств защиты, используемых в электроустановках»** (***10 дополн. приложений***). Четвертое изд., испр. и дополн. – 132 с. – **2008 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-090-3* **Практическое руководство по контролю электроустановок при проведении авторского надзора и визуального осмотра** (формат **А4**) (***41 дополнительное приложение***). Четвертое изд., испр. и дополн. – 304 с. – **2009 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-099-6* **Безопасность эксплуатации ЭУ. Справочно-методическое пособие по подготовке к проверке знаний норм и правил работы в ЭУ (вопросы, билеты, ответы на II, III, IV и V группы по ЭБ).** Шестое изд., испр. и доп. – 224 с. – **2009 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-104-7* **Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток.** Справочное пос. Третье изд., испр. и дополн. – 164 с. – **2010 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-052-1* **Инструктивные материалы по оказанию первой помощи при поражении человека электрическим током и при других несчастных случаях на производстве.** Практическое руководство. Пятое изд., испр. и дополн. – 36 с. – **2009 г.**

❖ *ISBN 978-5-98187-151-1* **Средства защиты, применяемые в ЭУ. Устройство, испытания, эксплуатация.** Справочное пос. Второе изд., испр. и дополн. – 132 с. – **2008 г.**

Купить книги можно по адресу: 198188, г. СПб, ***ул. Возрождения д. 19/38, т./ф.:*** 784-79-01, 784-17-15, 784-14-98, 785-02-97, e-mail: **elservice@mail.wplus.net**, http://**www.els-group.ru**
(более подробно *места продажи книг* ***указанных серий*** приведены на стр. 663 – 664).

1. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

1.1. Организация процесса проектирования

Для упорядочивания процесса проектирования в Российской Федерации разработана Система проектной документации для строительства (СПДС).

Система проектной документации для строительства – это комплекс нормативных организационно-методических документов, устанавливающих общетехнические требования, необходимые для разработки, учета, хранения и применения проектной документации для строительства и строительно-монтажных работ объектов различного назначения.

Основное назначение стандартов СПДС заключается в установлении единых правил выполнения проектной документации для строительства, обеспечивающих:

– унификацию состава, правил оформления и обращения документации с учетом назначения проектных документов;

– комплектность выдаваемой заказчику документации с учетом специализации подрядчика, вида и назначения используемых им документов;

– максимально необходимый объем документации для производства строительно-монтажных работ;

– общие правила выполнения чертежей и текстовых документов независимо от назначения проектируемого объекта и вида проектных решений;

– унификацию форм проектных документов и графических изображений с исключением не требующейся потребителю информации;

– унификацию терминов и понятий, применяемых в СПДС;

– применение проектной документации в автоматизированных системах проектирования и управления строительным производством;

– возможность качественного выпуска проектной продукции и ее репрографии.

Кроме того, требования стандартов СПДС должны быть взаимосвязаны с требованиями стандартов соответствующих унифицированных систем документации, в т.ч. государственных стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), стандартов системы репрографии и системы фото документирования (СФД), международных стандартов ИСО и МЭК, а также с другими взаимосвязанными нормативными документами.

Стандарты СПДС для облегчения работы с ними распределены по классификационным группам. Коды и наименования классификационных групп стандартов приведены в табл. 1.1.1.

Обозначения стандартов СПДС строятся по классификационному признаку и составляются из:

– сокращенного наименования категории нормативного документа;

– двузначного цифрового кода СПДС по классификатору;

– порядкового номера стандарта (после точки) в данной системе;

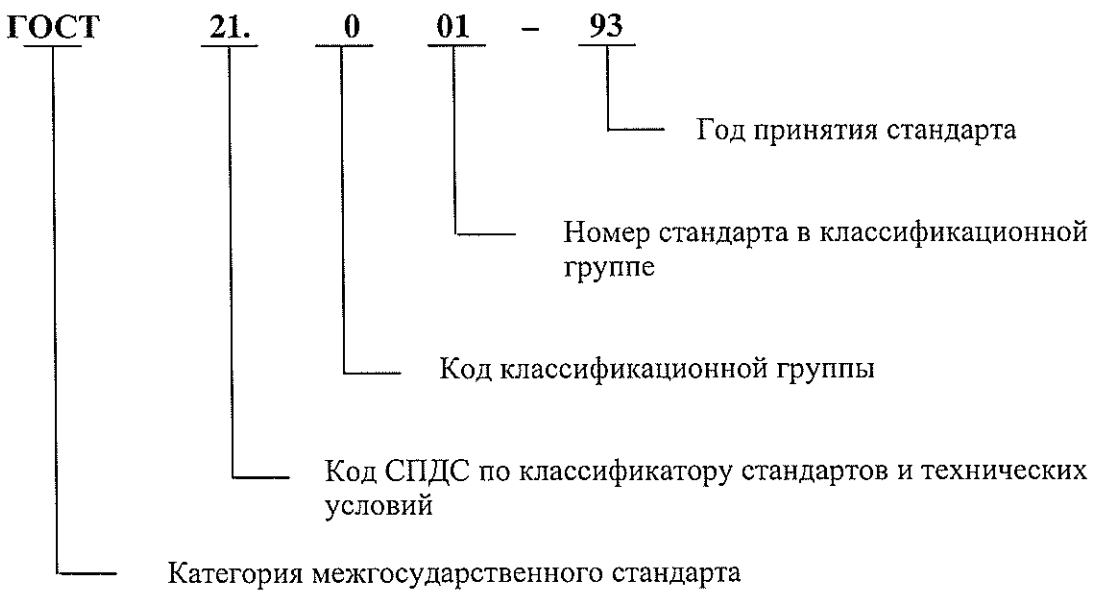
– двух последних цифр (после тире), указывающих год принятия стандарта.

Таблица 1.1.1

Классификационные группы стандартов СПДС

Код классификационной группы	Наименование классификационной группы
0	Общие положения
1	Общие правила выполнения чертежей и текстовых документов
2	Условные обозначения и изображения на чертежах и схемах
3	Правила выполнения документации инженерных изысканий
4	Правила выполнения технологической проектной документации
5	Правила выполнения архитектурно-строительной проектной документации
6	Правила выполнения проектной документации инженерного обеспечения зданий и сооружений
7	Правила выполнения проектной документации инженерных сооружений, наружных сетей и коммуникаций
8	Правила выполнения планировочной и градостроительной проектной документации
9	Прочие стандарты

Пример обозначения стандарта:



При проектировании кроме СПДС используются и ряд стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

ЕСКД – комплекс стандартов, устанавливающих взаимосвязанные нормы и правила по разработке, оформлению и обращению проектной (конструкторской) документации, разрабатываемой и применяемой на всех стадиях жизненного цикла изделия (при проектировании системы, объекта, изготовлении, монтаже, эксплуатации, ремонте и др.).

Конструкторская и проектная документация является товаром и на нее распространяются все нормативно-технические акты, как на товарную продукцию.

Основное назначение стандартов ЕСКД состоит в установлении единых оптимальных правил выполнения, оформления и обращения конструкторской и проектной документации, которые обеспечивают:

1) применение своевременных методов и средств при проектировании изделий, систем (объектов);

2) возможность взаимообмена конструкторской и проектной документации без ее переоформления;

3) оптимальную комплектность конструкторской документации;

4) механизацию и автоматизацию обработки конструкторских и проектных документов и содержащейся в них информации;

5) высокое качество проектируемых изделий, систем, объектов;

6) наличие в документации требований, обеспечивающих безопасность использования изделий и систем для жизни и здоровья потребителей, окружающей среды, а также предотвращение причинения вреда имуществу;

7) возможность расширения унификации и стандартизации при проектировании;

8) возможность проведения сертификации изделий, систем, объектов;

9) упрощение форм конструкторских документов и графических изображений;

10) возможность создания единой информационной базы автоматизированных систем (САПР, АСУП и др.);

11) гармонизацию с соответствующими международными стандартами.

Установленные стандартами ЕСКД нормы и правила по разработке, оформлению и обращению документации распространяются на следующую документацию:

1) все виды конструкторских документов, в том числе и проектных;

2) учетно-регистрационную документацию для конструкторских документов;

3) документацию по внесению изменений в конструкторские документы;

4) нормативно-техническую, технологическую, программную документацию, а также научно-техническую и учебную литературу, в той части, в которой они могут быть для них применимы и не регламентируются другими стандартами и нормативами, например форматы и шрифты для печатных изданий и т.п.

Межгосударственные стандарты ЕСКД распределяются по классификационным группировкам, приведенным в табл. 1.1.2.

Таблица 1.1.2

Классификационные группы ЕСКД

Номер группы	Наименование классификационной группы стандартов
0	Общие положения
2	Основные положения
3	Классификация и обозначение изделий и конструкторских документов
4	Общие правила выполнения чертежей
5	Правила выполнения чертежей различных изделий
6	Правила изменения и обращения конструкторской документации
7	Правила выполнения эксплуатационной и ремонтной документации
8	Правила выполнения схем
9	Правила выполнения документов при монетном методе проектирования
10	Прочие стандарты

Обозначение стандартов ЕСКД состоит из:

– индекса категории стандарта – ГОСТ;

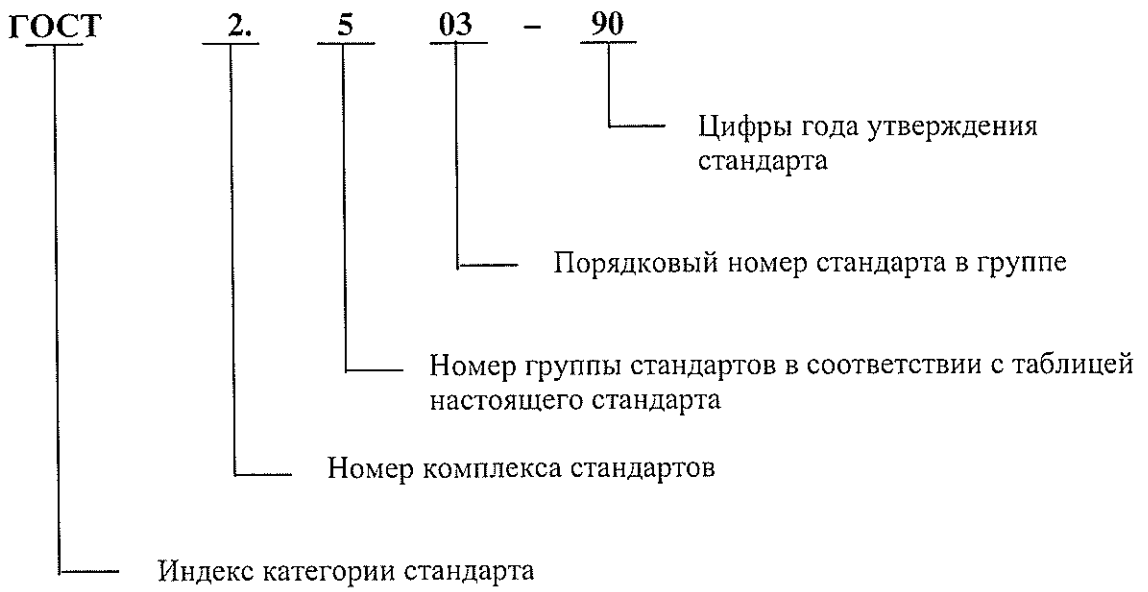
– цифры 2, присвоенной комплексу стандартов ЕСКД;

– цифры (после точки), обозначающей номер группы стандартов в соответствии с таблицей;

– двузначного числа, определяющего порядковый номер стандарта в данной группе;

– двух последних цифр (после тире), указывающих две последние цифры года утверждения стандарта.

Рассмотрим обозначение стандарта на примере ГОСТ 2.500 03–99 «ЕСКД. Правила внесения изменений»:



При проектировании систем электроснабжения используются и другие нормативно-технические и эксплуатационные документы. При дальнейшем изложении материала в той или иной мере они будут рассмотрены.

Проектирование систем электроснабжения (СЭС) выполняется в несколько стадий.

Первая стадия – *разработка технического задания*, его согласование и утверждение. Техническое задание разрабатывается на основе *технических условий*, выдаваемых электроснабжающими организациями.

Следующие стадии состоят из разработки технического предложения, эскизного проекта, технического проекта и рабочей документации.

Техническое предложение предусматривает выявление дополнительных или уточненных требований, которые не могли быть указаны в техническом задании.

На стадии *эскизного проекта* устанавливают и обосновывают принципиальные решения.

Технический проект разрабатывают для определения окончательных технических решений, дающих полное представление о проектируемом объекте. Для этой стадии характерны конструктивные решения объекта в целом и его основных частей, расчет экономических показателей, выполнение принципиальных схем, разработка вопросов монтажа, эксплуатации, транспортировки.

Рабочая документация используется непосредственно при сооружении проектируемого объекта.

При проектировании системы электроснабжения объекта, как правило, рассматриваются следующие вопросы:

1. Особенности технологического процесса проектируемого объекта (сооружения), классификация и общие характеристики потребителей электроэнергии (по роду тока, напряжению, надежности и т.п.).
2. Характеристика окружающей среды помещений.
3. Определение электрических нагрузок по группам приемников электроэнергии, помещениям и сооружению в целом.
4. Выбор рационального напряжения для питающей сети сооружения.
5. Выбор числа, мощности и типа силовых трансформаторов главной понизительной подстанции (ГПП) и объектовых подстанций.
6. Выбор схемы электроснабжения сооружения, технико-экономические сопоставления возможных вариантов.
7. Выбор схем электрических соединений ГПП, ГРП – главного распределительного пункта (в зависимости от выбранного в проекте решения).

8. Выбор конструкции распределительного устройства (РУ) высшего напряжения (ВН) ГПП (ГРП) и конструкции объектовой трансформаторной подстанции – ТП.

9. Расчет токов КЗ и выбор коммутационной аппаратуры в сети ВН.

10. Выбор и расчет релейной защиты и автоматики элементов системы электроснабжения сооружения.

11. Расчет сети низшего напряжения (НН).

12. Выбор схемы питания приемников электроэнергии на НН, способа и системы прокладки сети НН в сооружении.

13. Расчет токов в сети НН и выбор коммутационно-защитной аппаратуры.

14. Выбор режима нейтрали в сооружении с учетом технологических особенностей потребителей электроэнергии.

15. Расчет заземления и молниезащиты сооружения.

В каждом конкретном случае объем и содержание проекта определяет руководитель проекта (или заказчик) в зависимости от глубины проработки отдельных вопросов.

Для выполнения проекта необходимы следующие *исходные данные*:

1. План объекта (сооружения) проектирования, на котором обозначены инженерные коммуникации.

2. Характеристики технологического оборудования и его технологическая взаимосвязь. Оценка влияния внезапных перерывов электроснабжения на технологический процесс.

3. Электрические нагрузки по сооружению в виде паспортных данных отдельных приемников электроэнергии (номинальная мощность, коэффициент мощности, КПД, номинальное напряжение, для приемников с повторно-кратковременным режимом работы дополнительно – продолжительность включения).

Перспективы роста электрических нагрузок проектируемого сооружения (за счет реконструкции, ввода новых мощностей и т.д.).

4. Графики активных и реактивных нагрузок сооружения за характерные летние и зимние сутки.

5. Характеристика потребителей электроэнергии с точки зрения их влияния на качество электроэнергии.

6. План расположения оборудования в сооружении или его части, подробно рассматриваемой в проекте; сведения о характере окружающей среды (степень возгораемости строительных материалов и конструкций, влажность среды помещения, наличие химически активных веществ и т.д.). При подробном рассмотрении электрического освещения данного помещения требуются дополнительные сведения: разрез освещаемого помещения с указанием размеров световых проемов и характера отражающей поверхности стен, потолка, рабочей поверхности или пола (например, побеленный потолок, бетонные стены с окнами и т.п.).

7. Сведения об источниках электроснабжения объекта:

– схема существующего питания с указанием мощности источников питания (генераторов или силовых трансформаторов). При отсутствии таких данных необходимы сведения о возможных источниках питания и их мощности;

– реактивное сопротивление источников питания или мощность КЗ на шинах источников питания; если эти данные отсутствуют, необходимо знать отключающую мощность выключателя источника питания;

– расстояние от источников питания до проектируемого объекта;

– напряжения на сборных шинах источников питания;

– мощности, которые могут быть получены от источников питания (электростанций, энергосистемы) при проектировании электроснабжения данного объекта.

8. Значения реактивных мощностей, которые могут быть переданы из энергосистемы в сеть проектируемого объекта в режиме ее наибольшей и наименьшей активной нагрузки.

9. Акт о технологическом присоединении к электрическим сетям.

10. Техническое задание на проектирование.

11. При выполнении проектов по реконструкции систем электроснабжения объектов (сооружений) дополнительно к указанным выше материалам необходимо иметь существующую схему электроснабжения, типы установленного силового оборудования, марки и сечения проводов, жил кабелей, токопроводов.

12. Другие данные, необходимые для разработки специальных вопросов (определяются руководителем проекта).

При проектировании СЭС несложных объектов с простой схемой (жилые и общественные здания относятся именно к таким объектам) проектирование осуществляется в одну стадию, в которой разрабатываются:

1. Техническое задание.
2. Рабочий проект.
3. Рабочая документация.

Рабочий проект системы электроснабжения должен содержать:

1. общие данные (ведомость рабочих чертежей, основные показатели проекта);
2. пояснительная записка;
3. расчет электрических нагрузок и других характеристик СЭС;
4. принципиальную однолинейную схему электроснабжения объекта;
5. схемы ГРЩ, распределительных и групповых щитов;
6. планы этажей (помещений) с электропроводками и расстановкой электрооборудования;
7. сборник спецификаций оборудования и материалов.

Графические материалы проекта должны соответствовать требованиям ЕСКД.

В прил. П.1 – П.3 приведены некоторые условные обозначения, применяемые при оформлении планов размещения электрооборудования и электрических схем электроснабжения. В прил. П.4 – П.7 приведены примеры оформления однолинейных электрических схем, планов размещения электрооборудования.

1.2. Техническое предложение, требования к составу и порядок разработки

Техническое предложение разрабатывается в случае, если это предусмотрено техническим заданием.

Техническое предложение разрабатывается с целью выявления дополнительных или уточненных требований к проектируемой СЭС (технических характеристик, показателей качества и др.), которые не могли быть указаны в техническом задании, и это целесообразно сделать на основе предварительной проработки и анализа различных вариантов схемных решений.

Перечень работ, выполняемых на стадии технического предложения, устанавливается на основе технического задания и определяется разработчиком в зависимости от характера и назначения СЭС.

В общем случае при разработке технического предложения проводят следующие работы:

а) выявление вариантов возможных решений, установление особенностей вариантов (принципов действия, размещения функциональных составных частей и т.п.), их конструкторскую проработку. Глубина такой проработки должна быть достаточной для сравнительной оценки рассматриваемых вариантов;

б) проверку вариантов на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения;

в) проверку соответствия вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии;

г) сравнительную оценку рассматриваемых вариантов. Сравнение проводится по показателям качества, например, надежности, экономическим, эстетическим, эргономическим. Сопоставление вариантов может проводиться также по показателям технологичности (ориентировочной удельной трудоемкости монтажа, ориентировочной удельной материалоемкости и др.), стандартизации и унификации. При этом следует учитывать конструктивные и эксплуатационные особенности проектируемой и существующей СЭС, тенденции и перспективы развития отечественной и зарубежной техники в данной области, вопросы метрологического обеспечения (возможности выбора методов и средств измерения).

д) выбор оптимального варианта (вариантов) схем, обоснование выбора; установление требований к СЭС (технических характеристик, показателей качества и др.) и к последующей стадии разработки схемы СЭС (необходимые работы, варианты возможных решений, которые следует рассмотреть на последующей стадии и др.);

В текстовых документах большой по объему текст, содержащий различные для разных вариантов сведения, излагают последовательно для каждого варианта одним из следующих способов:

а) в каждом разделе документа приводят сведения раздельно для каждого варианта, располагая их по подразделам;

б) после разделов, содержащих общие для всех вариантов сведения, вводят раздел, в котором приводят сведения, характеризующие различия вариантов, располагая текст этого раздела по подразделам.

В конце документа может быть помещен раздел (или приложение) с заголовком «Сравнительная характеристика», где в удобной для сопоставления форме (в виде текста или таблицы) приводят обобщенные сравнительные сведения по всем рассматриваемым вариантам.

На чертежах и схемах изображения, относящиеся к различным вариантам, размещают на одном листе или на отдельных листах чертежа или схемы.

Таблица составных частей изделия на чертеже общего вида, а также перечень элементов на схеме, в случае если варианты отличаются составными частями, выполняют одним из следующих способов:

– в виде одной таблицы, в которой графу «Кол.» делят на части по числу вариантов. Для вариантов, в которых данная составная часть отсутствует, графу прочеркивают;

– в виде отдельных таблиц для каждого варианта.

Наименование варианта, приводимое в таблице, в наименовании подраздела или в заголовке над изображением или таблицей должно быть кратким и содержать сокращенное наименование разрабатываемого изделия и характерную особенность варианта, отличающую его от других вариантов.

Допускается при выполнении таблиц обозначать варианты римскими цифрами с соответствующим пояснением в том же документе.

Чертеж общего вида. Чертеж общего вида в техническом предложении в общем случае должен содержать:

а) изображения вариантов изделия, текстовую часть и надписи, необходимые для сопоставления рассматриваемых вариантов, и установления требований к разрабатываемой СЭС, а также позволяющие получить представление о компоновочных и основных конструктивных исполнениях ЭУ, входящих в состав;

б) наименования, а также обозначения (если они имеются) тех составных частей изделия, для которых необходимо указать данные (технические характеристики, количество и др.) или запись которых необходима для пояснения изображений схемы (чертежа) общего вида; описания режимов работы СЭС;

в) размеры и другие наносимые на изображение данные (при необходимости);

г) схему, если она требуется, но оформлять ее отдельным документом нецелесообразно;

д) технические характеристики изделия, если это необходимо для удобства сопоставления вариантов по схеме (чертежу) общего вида. В этом случае технические характеристики в пояснительной записке можно не приводить, а сделать ссылку на схему (чертеж) общего вида.

Изображения выполняют с максимальными упрощениями, предусмотренными стандартами Единой системы конструкторской документации для рабочих чертежей. Допускается также:

– изображать контурными очертаниями любые составные части СЭС;

– изображать только те составные части изделия, которые рассматриваются при сопоставлении вариантов;

– не показывать связи между составными частями изделия, если они не рассматриваются при сопоставлении вариантов.

Наименования и обозначения составных частей СЭС на схеме (чертеже) общего вида указывают одним из следующих способов:

– на полках линий-выносок;

– в таблице, размещаемой на том же листе, что и изображение изделия. В этом случае на полках линий-выносок указывают номера позиций составных частей, включенных в таблицу.

Таблица, в общем случае, состоит из граф «Поз.», «Обозначение», «Кол.», «Дополнительные указания».

Элементы схемы (чертежа) общего вида (номера позиций, текст технических требований, надписи и др.) выполняются по правилам, установленным стандартами Единой системы конструкторской документации для рабочих чертежей.

Ведомость технического предложения. В ведомость технического предложения записывают все включенные в комплект документов технического предложения проектные и конструкторские документы в порядке, установленном ГОСТ 2.106–68, независимо от того, к какому варианту относят документ.

Допускается в графе «Примечание» указать соответствующий данному документу вариант.

Пояснительная записка. Пояснительную записку технического предложения выполняют согласно требований к текстовым документам с учетом следующих основных требований к содержанию разделов:

а) в разделе «Введение»" указывают наименование, номер и дату утверждения технического задания;

б) в разделе «Назначение и область применения разрабатываемой СЭС» приводят соответствующие сведения из технического задания, а также сведения, конкретизирующие и дополняющие техническое задание, в частности:

– краткую характеристику области и условий эксплуатации СЭС;

– общую характеристику объекта, для применения в котором предназначена данная СЭС (при необходимости);

в) в разделе «Техническая характеристика» приводят:

– основные технические характеристики СЭС (мощность, режим нейтрали, категория надежности электроснабжения, расход электроэнергии, топлива, коэффициент полезного действия и другие параметры, характеризующие СЭС и ЭУ, входящие в нее), установленные техническим заданием, а также характеристики, установленные дополнительно к техническому заданию;

– сведения о соответствии или отклонениях от требований, установленных техническим заданием, с обоснованием отклонений;

– данные сравнения основных характеристик СЭС с характеристиками аналогов (отечественных и зарубежных);

г) в разделе «Описание и обоснование выбранной схемы» приводят:

– описание и обоснование вариантов схемы, рассматриваемых на данной стадии и, при необходимости, иллюстрации;

– сведения об использовании в данной разработке изобретений о поданных заявках на новые изобретения;

– сведения о соответствии вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии;

д) в разделе «Расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции» приводят ориентировочные расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность электроснабжения;

е) в разделе «Уровень стандартизации и унификации» приводят предварительные сведения о примененных в разрабатываемой СЭС стандартных и унифицированных сборочных единицах.

В конце пояснительной записки помещают выявленные в процессе разработки технического предложения дополнительные требования к разработке изделия.

В приложении к пояснительной записке приводят:

– копию технического задания;

– перечень работ, которые следует провести на последующей стадии разработки СЭС (при необходимости);

– материалы художественно-конструкторской проработки, не являющиеся конструкторскими документами;

– перечень использованной литературы и т.п.;

– перечень документов, используемых при разработке технического предложения и получаемых разработчиком СЭС от других предприятий и организаций (авторские свидетельства, отчет о патентных исследованиях, при этом документы в приложении к пояснительной записке не включают, а в содержании записки могут быть приведены необходимые сведения из этих документов.

1.3. Эскизный проект, его состав и требования, предъявляемые к его разработке

Эскизный проект разрабатывают, если это предусмотрено техническим заданием или протоколом рассмотрения технического предложения.

Эскизный проект разрабатывают с целью установления принципиальных (конструктивных, схемных и др.) решений СЭС, дающих общее представление о принципе работы и (или) ее устройстве, когда это целесообразно сделать до разработки технического проекта или рабочей документации.

На стадии разработки эскизного проекта рассматривают варианты СЭС и (или) ее составных частей. Эскизный проект может разрабатываться без рассмотрения на этой стадии различных вариантов.

При разработке эскизного проекта выполняют работы, необходимые для обеспечения предъявляемых к изделию требований и позволяющие установить принципиальные решения. Перечень необходимых работ определяется разработчиком в зависимости от характера и назначения СЭС, ее элементов и согласовывается с заказчиком.

Примерный перечень работ будет ниже.

На стадии эскизного проекта не повторяют работы, приведенные на стадии технического предложения, если они не могут дать дополнительных данных. В этом случае результаты ранее проведенных работ отражают в пояснительной записке.

В комплект документов эскизного проекта включают конструкторские документы, в соответствии с ГОСТ 2.102–68 предусмотренные техническим заданием и протоколом рассмотрения технического предложения.

Конструкторские документы, разрабатываемые для изготовления макетов, в комплект документов эскизного проекта не включают.

На рассмотрение, согласование и утверждение представляют копии документов эскизного проекта, скомплектованные по ГОСТ 2.106–68. Допускается по согласованию с заказчиком представлять подлинники документов эскизного проекта.

Требования к выполнению документов

Конструкторские документы, содержащие различные варианты изделия, выполняют по ГОСТ 2.118–73 в части размещения сведений о различных вариантах, размещения изображений вариантов, построения таблиц, содержащих данные различных вариантов и т.п.

Чертеж (схема) общего вида. Чертеж общего вида эскизного проекта в общем случае должен содержать:

а) изображения СЭС (элементов СЭС) (виды, разрезы, сечения), текстовую часть и надписи, необходимые для понимания устройства, взаимодействия ее составных частей и принципа работы СЭС в целом;

б) наименования, а также обозначения (если они имеются) тех составных частей СЭС, для которых необходимо указать данные (технические характеристики, количество, указания о материале, принципе работы и др.) или запись которых необходима для пояснения изображений чертежа общего вида, описания принципа работы СЭС, указания о составе и др.;

в) размеры и другие наносимые на изображение данные (при необходимости);

г) схему, если она требуется, но оформлять ее отдельным документом нецелесообразно;

д) технические характеристики изделия, если это необходимо для удобства сопоставления вариантов по чертежу общего вида.

Изображения выполняют с максимальными упрощениями, предусмотренными стандартами Единой системы конструкторской документации для рабочих чертежей. Составные части СЭС, в том числе и заимствованные (ранее разработанные) и покупные, изобра-

жают с упрощениями (иногда в виде контурных очертаний), если при этом обеспечено понимание конструктивного устройства разрабатываемой СЭС, взаимодействия ее составных частей и принципа работы.

Отдельные изображения составных частей СЭС размещаются на одном общем листе.

Наименования и обозначения составных частей СЭС на чертежах общего вида указывают одним из следующих способов:

– на полках линий-выносок;

– в таблице, размещаемой на том же листе, что и изображение СЭС в целом;

– в таблице, выполненной на отдельных листах формата А4 по ГОСТ 2.301–68 в качестве последующих листов чертежа общего вида.

При наличии таблицы на полках линий-выносок указывают номера позиций составных частей, включенных в таблицу.

Таблица в общем случае состоит из граф: «Поз.», «Обозначение», «Кол.», «Дополнительные указания».

Запись составных элементов в таблицу рекомендуется производить в следующем порядке:

– заимствованные изделия;

– покупные изделия;

– вновь разрабатываемые изделия.

Элементы чертежа (схемы) общего вида (номера позиций, текст технических требований, надписи и др.) выполняют по правилам, установленным стандартами Единой системы конструкторской документации для рабочих чертежей.

Ведомость эскизного проекта. В ведомость эскизного проекта записывают все включенные в комплект документов эскизного проекта конструкторские документы в порядке, установленном ГОСТ 2.106–68, независимо от того, к какому варианту относится документ. Допускается в графе «Примечание» указывать соответствующий данному документу вариант.

Пояснительная записка. Пояснительную записку эскизного проекта выполняют по ГОСТ 2.106–68 с учетом следующих основных требований к содержанию разделов:

а) в разделе «Введение» указывают наименование, номер и дату утверждения технического задания. Если разработка эскизного проекта предусмотрена не техническим заданием, а протоколом рассмотрения технического предложения, то делают запись по типу: «Разработка эскизного проекта предусмотрена техническим предложением...» и указывают номер и дату протокола рассмотрения технического предложения;

б) в разделе «Назначение и область применения разрабатываемой СЭС» приводят соответствующие сведения из технического задания и технического предложения, а также сведения, конкретизирующие и дополняющие техническое задание и техническое предложение, в частности:

– краткую характеристику области и условий применения СЭС и ее элементов;

– общую характеристику объекта, для применения в котором предназначено данное изделие (при необходимости);

в) в разделе «Техническая характеристика» приводят:

– основные технические характеристики СЭС и ее элементов (мощность, число оборотов, производительность, расход электроэнергии, топлива, коэффициент полезного действия и другие параметры, характеризующие изделие);

– сведения о соответствии или отклонениях от требований, установленных техническим заданием и техническим предложением, если оно разрабатывалось, с обоснованием отклонений;

– данные сравнения основных характеристик СЭС и ее элементов с характеристиками аналогов (отечественных и зарубежных) или дают ссылку на карту технического уровня и качества;

г) в разделе «Описание и обоснование выбранной конструкции (схемы)» приводят:

– описание конструкции (схемы), обоснование принимаемых на данной стадии принципиальных решений (конструктивных, схемных и др.). При необходимости приводят иллюстрации;

– сведения о назначении макетов (если они изготавливались), программу и методику испытаний (или ссылку на отдельный документ – программу и методику испытаний), результаты испытаний и данные оценки соответствия макетов заданным требованиям, в том числе эргономики и технической эстетики;

– фотографии макетов (при необходимости);

– обозначения основных конструкторских документов, по которым изготавливались макеты, номер и дату отчета (или протокола) по испытаниям и др. (для справок);

– сведения о технологичности;

– данные проверки принятых решений на патентную чистоту и конкурентоспособность;

– сведения об использовании в данной разработке изобретений, о поданных заявках на новые изобретения;

– сведения о соответствии изделия требованиям техники безопасности и производственной санитарии;

– технические требования к применяемым в разрабатываемой СЭС новым изделиям и материалам, которые должны разрабатываться другими организациями. Такие технические требования могут быть приведены в приложении к пояснительной записке;

– сведения о соответствии применяемых в СЭС заимствованных (ранее разработанных) составных частей, покупных изделий и материалов разрабатываемому изделию по техническим характеристикам, режимам работы, гарантийным срокам, условиям эксплуатации;

– основные вопросы технологии изготовления изделий;

д) в разделе «Расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность конструкции» приводят:

– ориентировочные расчеты, подтверждающие работоспособность СЭС и ее элементов (кинематические, электрические, тепловые, расчеты гидравлических систем и др.);

– ориентировочные расчеты, подтверждающие надежность изделия (расчеты показателей долговечности, ремонтопригодности, сохраняемости и др.).

При большом объеме расчетов они могут быть оформлены в виде отдельных документов, при этом в данном разделе приводят только результаты расчетов;

е) в разделе «Описание организации работ СЭС с применением ее элементов» приводят предварительные сведения об организации работ с изделием на месте эксплуатации, в том числе:

– описание приемов и способов работы с элементами СЭС в режимах и условиях, предусмотренных техническим заданием;

– описание порядка и способов монтажа и хранения элементов СЭС и ввод их в действие на месте эксплуатации, а также обслуживания при хранении и эксплуатации;

– сведения о квалификации и количестве обслуживающего персонала;

ж) в разделе «Ожидаемые технико-экономические показатели» приводят ориентировочные расчеты экономических показателей (экономическую эффективность от внедрения в народное хозяйство и др.);

з) в разделе «Уровень стандартизации и унификации» приводят предварительные сведения по использованию в разрабатываемой СЭС стандартных, унифицированных и заимствованных сборочных единиц и деталей.

В приложении к пояснительной записке приводят:

– копию технического задания;

– при необходимости, перечень работ, которые следует провести на последующей стадии разработки изделия;

– материалы художественно-конструкторской проработки, не являющиеся конструкторскими документами;

– перечень использованной литературы и т.п.;

– перечень документов, используемых при разработке эскизного проекта и получаемых разработчиком изделия от других предприятий и организаций (авторские свидетельства, отчет о патентных исследованиях; при этом документы в приложении к пояснительной записке не включают, но в пояснительной записке могут быть приведены необходимые сведения из этих документов, а также номер и дата документа или сопроводительного письма.

Перечень работ, выполняемых при разработке эскизного проекта. В общем случае при разработке эскизного проекта проводят следующие работы:

а) выполнение вариантов возможных решений, установление особенностей вариантов (характеристики вариантов составных частей и т.п.), их конструкторскую проработку. Глубина такой проработки должна быть достаточной для сопоставления рассматриваемых вариантов;

б) изготовление и испытания макетов с целью проверки принципов работы изделия и (или) его составных частей;

в) разработку и обоснование технических решений, направленных на обеспечение показателей надежности, установленных техническим заданием и техническим предложением;

г) оценку СЭС в целом на технологичность и правильность выбора средств и методов контроля (испытаний, анализа, измерений);

д) оценку изделия по показателям стандартизации и унификации;

е) оценку изделия в отношении его соответствия требованиям эргономики, технической эстетики. При необходимости, для установления эргономических, эстетических характеристик элементов СЭС и для удобства сопоставления различных вариантов по этим характеристикам изготовляют макеты;

ж) проверку вариантов на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения;

з) проверку соответствия вариантов требованиям техники безопасности и производственной санитарии;

и) сравнительную оценку рассматриваемых вариантов, вопросы метрологического обеспечения разрабатываемой СЭС (возможности выбора методов и средств измерения).

Сравнение проводят по показателям качества изделия (назначения, надежности, технологичности, стандартизации и унификации, экономическим, эстетическим, эргономическим).

При этом следует учитывать конструктивные и эксплуатационные особенности разрабатываемой и существующих СЭС, тенденции и перспективы развития отечественной и зарубежной техники в данной области;

к) выбор оптимального варианта (вариантов) СЭС, обоснование выбора; принятие принципиальных решений; подтверждение (или уточнение) предъявляемых к СЭС требований (технических характеристик, показателей качества и др.), установленных техническим заданием и техническим предложением, и определение технико-экономических характеристик и показателей, не установленных техническим заданием и техническим предложением;

л) выявление на основе принятых принципиальных решений новых изделий и материалов, которые должны быть разработаны другими предприятиями (организациями), составление технических требований к этим изделиям и материалам;

м) составление перечня работ, которые следует провести на последующей стадии разработки, в дополнение или уточнение работ, предусмотренных техническим заданием и техническим предложением;

н) проработку основных вопросов технологии изготовления (при необходимости).

1.4. Технический проект, его состав и требования, предъявляемые к его разработке

Технический проект разрабатывают, если это предусмотрено техническим заданием, протоколом рассмотрения технического предложения или эскизного проекта.

Технический проект разрабатывают с целью выявления окончательных технических решений, дающих полное представление о составе СЭС, когда это целесообразно сделать до разработки рабочей документации.

При необходимости технический проект может предусматривать разработку вариантов отдельных составных частей СЭС.

В этих случаях выбор оптимального варианта осуществляется на основании результатов сравнения схемных решений анализа режимов их работы.

При разработке технического проекта выполняют работы, необходимые для обеспечения предъявляемых к СЭС и ее частям требований и позволяющие получить полное представление о составе и режимах работы СЭС разрабатываемого изделия, оценить ее соответствие требованиям технического задания, технологичность, степень сложности монтажа, возможности монтажа на месте применения, удобство эксплуатации, целесообразность и возможность ремонта и т.п.

Перечень необходимых работ определяется разработчиком в зависимости от характера и назначения СЭС и согласовывается с заказчиком.

На стадии технического проекта не повторяют работы, проведенные на предыдущих стадиях, если они не могут дать дополнительных данных. В этом случае результаты ранее проделанных работ отражают в пояснительной записке.

Макеты должны быть предназначены для проверки (в необходимых случаях – на объекте заказчика или потребителя) конструктивных и схемных решений разрабатываемой СЭС и (или) ее составных частей, а также для подтверждения окончательно принятых решений. Испытания макетов должны проводиться в соответствии с программой и методикой испытаний, разработанной по ГОСТ 2.106–68.

В технический проект включают конструкторские документы в соответствии с ГОСТ 2.102–68, предусмотренные техническим заданием и протоколом рассмотрения технического предложения, эскизного проекта.

При разработке технического проекта могут быть использованы отдельные документы, разработанные на предыдущих стадиях, если эти документы соответствуют требованиям, предъявляемым к документам технического проекта или, если в них внесены изменения с целью обеспечения такого соответствия. Использованным документам присваивают литеру «Т».

Конструкторские документы, разрабатываемые для изготовления макетов, в комплект документов технического проекта не включают.

На рассмотрение, согласование и утверждение представляют копии документов технического проекта, скомплектованные по ГОСТ 2.106–68. Допускается по согласованию с заказчиком представлять подлинники документов технического проекта.

Требования, предъявляемые к выполнению документов технического проекта

Чертеж общего вида для технического проекта выполняют по ГОСТ 2.119–73. Кроме того, на чертеже общего вида при необходимости приводят:

– технические требования к изделию, например, о применении определенных покрытий, способов пропитки обмоток, методов сварки, обеспечивающих необходимое качество элементов СЭС (эти требования должны учитываться при последующей разработке рабочей документации);

– технические характеристики изделия, которые необходимы для последующей разработки чертежей.

В ведомость технического проекта записывают все включенные в технический проект конструкторские проектные документы в порядке, установленном ГОСТ 2.106–68.

Пояснительную записку технического проекта выполняют по ГОСТ 2.106–68 с учетом следующих основных требований к содержанию разделов:

а) в разделе «Введение» указывают наименование, номер и дату утверждения технического задания. Если разработка технического проекта предусмотрена не техническим заданием, а протоколом рассмотрения технического предложения или эскизного проекта, то делают запись по типу: «Разработка технического проекта предусмотрена эскизным проектом ...» и указывают номер и дату протокола рассмотрения эскизного проекта;

б) в разделе «Назначение и область применения разрабатываемой СЭС» указывают:

– краткую характеристику области и условий применения СЭС;

– общую характеристику объекта, для электроснабжения которого предназначена данная СЭС (при необходимости);

– основные данные, которые должны обеспечивать стабильность показателей качества электрической энергии в условиях эксплуатации;

в) в разделе «Техническая характеристика» приводят:

– основные технические характеристики элементов СЭС и системы в целом (мощность, число оборотов, производительность, расход электроэнергии, топлива, коэффициент полезного действия и другие параметры, характеризующие изделие);

– сведения о соответствии или отклонениях от требований, установленных техническим заданием и предыдущими стадиями разработки, если они проводились, с обоснованием отклонений;

г) в разделе «Описание и обоснование выбранной схемы» приводят:

– описание и обоснование выбранных схем, упаковки (если упаковка предусмотрена) и других технических решений, принятых и проверенных на стадии разработки технического проекта. При необходимости приводят иллюстрации;

– данные сравнения основных характеристик элементов СЭС с характеристиками аналогов (отечественных или зарубежных) или дают ссылку на карту технического уровня и качества;

– оценку технологичности элементов СЭС, в том числе обоснование необходимости разработки или приобретения нового оборудования;

– оценку окончательных технических решений на соответствие требованиям по обеспечению патентной чистоты и конкурентоспособности;

– сведения об использованных изобретениях (номера авторских свидетельств или номера заявок на изобретения с указанием даты приоритета);

– сведения о соответствии применяемых в СЭС заимствованных (ранее разработанных) составных частей, покупных изделий и материалов разрабатываемой СЭС по техническим характеристикам, режимам работы, гарантийным срокам, условиям эксплуатации;

– обоснование необходимости применения дефицитных изделий и материалов;

– сведения о соответствии СЭС и ее элементов требованиям техники безопасности и производственной санитарии;

д) в разделе «Расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность электроснабжения» приводят:

– расчеты, подтверждающие работоспособность СЭС и ее элементов (кинематические, электрические, тепловые, расчеты гидравлических и пневматических систем и др.);

– расчеты, подтверждающие надежность элементов СЭС (расчеты показателей долговечности, ремонтопригодности, сохраняемости и др.).

При большом объеме расчетов они могут быть оформлены в виде отдельных документов; при этом в данном разделе приводят только результаты расчетов;

е) в разделе «Описание организации работ с применением СЭС» приводят сведения об организации работ, СЭС и ее элементов на месте эксплуатации, в том числе:

– описание специфических приемов и способов работы СЭС в режимах и условиях, предусмотренных техническим заданием;

– описание порядка и способов монтажа и ввода СЭС в эксплуатацию;

– оценку эксплуатационных данных СЭС (взаимозаменяемости элементов, удобства обслуживания, ремонтопригодности, устойчивости против воздействия внешней среды и возможности быстрого устранения отказов);

– сведения о квалификации и количестве обслуживающего персонала;

ж) в разделе «Ожидаемые технико-экономические показатели» приводят:

– экономические показатели (экономическую эффективность от внедрения в народное хозяйство и др.), необходимые расчеты;

– ориентировочный расчет затрат на организацию и эксплуатацию;

з) в разделе «Уровень стандартизации и унификации» приводят:

– сведения о стандартных, унифицированных и заимствованных элементах и деталях, которые были применены при разработке СЭС, а также показатели уровня унификации и стандартизации конструкции элементов СЭС;

В приложении к пояснительной записке приводят:

– копию технического задания, а также, при необходимости, данные (технические требования, правила приемки, методы контроля и другие сведения), подлежащие включению в технические условия, если последние на данной стадии не разрабатывались;

– материалы художественно-конструкторской проработки, не являющиеся конструкторскими документами;

– перечень работ, которые следует провести на стадии разработки рабочей документации;

– уточнение или разработку сетевого графика по дальнейшей разработке и ввод в эксплуатацию элементов СЭС и СЭС в целом;

– перечень использованной литературы и т.п.;

– перечень документов, используемых при разработке технического проекта и получаемых разработчиком от других предприятий и организаций (авторские свидетельства, экспертное заключение о патентной чистоте, справка потребителя о необходимом объеме производства разрабатываемых изделий и т.п.); при этом документы в приложении к пояснительной записке не включают, но в пояснительной записке могут быть приведены необходимые сведения из этих документов (например, предмет изобретения, потребные количества изделий на квартал, на год, на пятилетку), а также номер и дата документа или сопроводительного письма.

Перечень работ, выполняемых при разработке технического проекта. В общем случае при разработке технического проекта проводят следующие работы:

а) разработку конструктивных (схемных) решений СЭС и ее основных составных частей;

б) выполнение необходимых расчетов, в том числе подтверждающих технико-экономические показатели, установленные техническим заданием;

в) выполнение необходимых принципиальных схем, схем соединений и др.;

г) разработку и обоснование технических решений, обеспечивающих показатели надежности, установленные техническим заданием и предшествующими стадиями разработки (если эти стадии разрабатывались);

д) оценку изделия в отношении его соответствия требованиям экономики, технической эстетики;

е) оценку эксплуатационных данных элементов СЭС (взаимозаменяемости, удобства обслуживания, ремонтопригодности, устойчивости против воздействия внешней среды, возможности быстрого устранения отказов, контроля качества работы изделия, обеспеченность средствами контроля технического состояния и др.);

ж) окончательное оформление заявок на разработку и изготовление новых элементов СЭС (в том числе средств измерения) и материалов, применяемых в разрабатываемой СЭС;

з) проведение мероприятий по обеспечению заданного в техническом задании уровня стандартизации и унификации изделия;

и) проверку элементов СЭС на патентную чистоту и конкурентоспособность, оформление заявок на изобретения;

к) разработку чертежей элементов СЭС и деталей, если это вызывается необходимостью ускорения выдачи задания на разработку специализированного оборудования для их изготовления;

л) проверку соответствия применяемых решений требованиям техники безопасности и производственной санитарии;

м) составление перечня работ, которые следует провести на стадии разработки рабочей документации, в дополнение и (или) уточнение работ, предусмотренных техническим заданием, техническим предложением и эскизным проектом.

1.5. Технические условия, основные требования к их разработке и составу

Технические условия (ТУ) являются техническим документом, который разрабатывается электроснабжающей организацией (подразделением электрических сетей), к сетям которых должна подсоединиться разрабатываемая СЭС.

Технические условия разрабатываются (выдаются), как правило, на каждую разрабатываемую СЭС объекта.

Требования, устанавливаемые ТУ, не должны противоречить обязательным требованиям государственных (межгосударственных) стандартов на системы электроснабжения и электроустановки, входящие в ее состав.

Если отдельные требования установлены в стандартах или других технических документах, распространяющихся на данную СЭС, то в ТУ эти требования не повторяют, а в соответствующих разделах ТУ дают ссылки на эти стандарты и документы.

Технические условия оформляют на листах формата А4 по требованиям, предъявляемым к текстовым документам. Схемы, чертежи и таблицы, иллюстрирующие отдельные положения, выполняют на листах и по требованиям определенным ЕСКД.

Правила построения и изложения технических условий. Как правило, ТУ должны содержать вводную часть и разделы, расположенные в следующей последовательности:

– технические требования;
– требования безопасности;
– требования охраны окружающей среды;
– правила приемки;
– методы контроля;
– транспортирование и хранение;
– указания по эксплуатации;
– гарантии изготовителя.

Состав разделов и их содержание определяет разработчик в соответствии с особенностями объекта. При необходимости ТУ, в зависимости от вида и назначения СЭС, могут быть дополнены другими разделами (подразделами) или в них могут не включаться отдельные разделы (подразделы), или отдельные разделы (подразделы) могут быть объединены в один.

Вводная часть должна содержать наименование СЭС объекта, ее назначение, область применения (при необходимости) и условия эксплуатации.

Наименование СЭС должно соответствовать наименованию, указанному в основном документе – ПУЭ или ГОСТе определяющем классификацию СЭС.

Изложение вводной части должно начинаться словами:

«Настоящие технические условия распространяются на _____

_____».

наименование, условное обозначение СЭС, предназначенной (ую, ое) для электроснабжения объекта

В *разделе "Технические требования"* должны быть приведены требования и нормы, определяющие показатели качества и потребительские (эксплуатационные) характеристики СЭС и ее отдельных элементов.

Раздел должен начинаться словами: «_____

наименование СЭС объекта

должен (на, но) соответствовать требованиям настоящих технических условий и комплекта документации согласно _____

_____».

обозначение основного конструкторского (проектного) или другого технического документа

При отсутствии конструкторской (проектной) или другой технической документации раздел должен начинаться словами: «_____

наименование СЭС объекта

должен (на, но) соответствовать требованиям настоящих технических условий». При наличии стандартов общих технических условий, а также стандартов на конкретные элементы СЭС тут же должна быть ссылка на них.

Раздел в общем случае должен состоять из следующих подразделов:

– основные параметры и характеристики (свойства);

– требования к материалам, элементам и т.д.;

– комплектность;

– маркировка;

В *подразделе «Основные параметры и характеристики (свойства)»* помещают:

– основные параметры и характеристики, характеризующие тип (вид) СЭС и, при необходимости, дают ее схему или дают ссылку на конструкторские или другие технические документы с указанием обозначений. При необходимости, чертежи изделий схемы, на которые даны ссылки, допускается помещать в приложении к ТУ;

– требования назначения, характеризующие свойства СЭС, определяющие ее основные функции, для выполнения которых она предназначена в заданных условиях, требования совместимости и взаимозаменяемости ее элементов, например: требования к производительности, точности, быстроте обработки и т.п.; требования к составу и структуре, физико-химическим, механическим и другим свойствам (прочность, твердость, теплостойкость, износоустойчивость и т.п.); требования по функциональной, геометрической, биологической, электромагнитной, электрической, прочностной, программной, технологической, метрологической, диагностической, организационной, информационной и другим видам совместимости;

– требования радиоэлектронной защиты к элементам СЭС по обеспечению помехозащищенности, защиты от электромагнитных и ионизирующих излучений как собственных, так и посторонних, преднамеренных электромагнитных излучений и других электронных излучений естественного и искусственного происхождения;

– требования технологичности, определяющие приспособленность элементов СЭС к изготовлению, эксплуатации, ремонту с минимальными затратами при заданных значениях показателей качества.

Требования, помещаемые в подразделе «Основные параметры и характеристики (свойства)» указываются применительно к режимам и условиям ее эксплуатации (применения) и испытаний.

Если отдельные требования не могут быть выражены определенными показателями, а могут быть достигнуты при условии однозначного соблюдения каких-либо других требований (санитарно-гигиенические требования к производственным помещениям и исполнителям, использование определенного технологического процесса, покрытия, специального технологического оборудования или оснастки, длительная тренировка, приработка, выдержка готовых изделий или материалов и т.д.), то эти требования должны быть приведены в этом подразделе.

В *разделе «Требования безопасности»* устанавливают требования, которые должны содержать все виды допустимой опасности и устанавливаться таким образом, чтобы обеспечивалась безопасность продукции в течении срока ее службы (годности).

В разделе указывают: требования электробезопасности; требования пожарной безопасности; требования взрывобезопасности; требования радиационной безопасности; требования безопасности от воздействия химических и загрязняющих веществ, в том числе предельно допустимые концентрации веществ или входящих в него компонентов; требования безопасности при обслуживании машин и оборудования; требования к защитным средствам и мероприятиям обеспечения безопасности, в том числе к устройству ограждений, ограничений хода, блокировок, концевых выключателей подвижных элементов, креплений и фиксаторов подвижных частей, оснащению рабочих мест, органам управления и приборам контроля, аварийной сигнализации, требования к нанесению сигнальных цветов и знаков безопасности, требования по удалению, снижению, локализации опасных и вредных производственных факторов в местах их образования. При необходимости, приводят класс опасности, допустимые уровни опасных и вредных производственных факторов, создаваемых оборудованием и машинами.

В *разделе «Требования охраны окружающей среды»* устанавливают требования для предупреждения вреда окружающей природной среде, здоровью и генетическому фонду человека при испытании, хранении, транспортировании, эксплуатации (применении) и утилизации продуктов, выделяющихся при эксплуатации, опасных в экологическом отношении.

В раздел включают показатели и нормы, определяющие:

– требования по допустимым (по уровню и времени), электромагнитным, термическим и биологическим воздействиям на окружающую среду;

– требования по устойчивости загрязняющих, ядовитых веществ в объектах окружающей среды (водная среда, атмосферный воздух, почва, недра, флора, ионосфера и т.д.).

1.6. Основные требования, предъявляемые к проектной и рабочей документации

Проектная документация. Проектную документацию, предназначенную для утверждения (стадия-проект, утверждаемая часть рабочего проекта), комплектуют в тома, как правило, по отдельным разделам, предусмотренным строительными нормами и правилами. Каждый том нумеруют арабскими цифрами, например:

– Том 1 – Общая пояснительная записка;

– Том 2 – Генеральный план и транспорт;

– Том 3 – Электроснабжение.

При необходимости тома делят на части. В этом случае тома нумеруют по следующим образцам: Том 1.1, Том 1.2, Том 3.1, Том 3.2.

Текстовые и графические материалы, включаемые в том, комплектуют, как правило, в следующем порядке:

– обложка;

– титульный лист;

– содержание;

– состав проекта;
– пояснительная записка;
– основные чертежи, предусмотренные СНиПами;
– планы этажей помещений (этажей с электропроводками, расстановкой электрооборудования, размещения внутреннего контура заземления и системы уравнивания потенциалов).

Правила оформления обложки, титульного листа, содержания и состава проекта будут рассмотрены в подпункте «Правила оформления сброшюрованной документации».

Каждому текстовому и графическому документу, включенному в том, присваивают обозначение, которое указывают на титульном листе и в основных надписях.

В состав обозначения включают базовое обозначение, устанавливаемое по действующей в организации системе, и через дефис – марку и/или шифр раздела проекта. Марки разделов проекта принимают по аналогии с марками основных комплектов рабочих чертежей, приведенными в табл. 1.6.1.

Таблица 1.6.1

Марки разделов проекта

Наименование основного комплекта рабочих чертежей	Марка	Примечание
Технология производства	ТХ	–
Технологические коммуникации	ТК	При объединении рабочих чертежей всех технологических коммуникаций
Генеральный план и сооружения транспорта	ГТ	При объединении рабочих чертежей генерального плана и сооружений транспорта
Генеральный план	ГП	–
Архитектурные решения	АР	–
Интерьеры	АИ	Рабочие чертежи могут быть объединены с основным комплектом марки АР и АС
Конструкции железобетонные	КЖ	–
Конструкции деревянные	КД	–
Архитектурно-строительные решения	АС	При объединении рабочих чертежей архитектурных решений и строительных конструкций
Конструкции металлические деталировочные	КМД	–
Водопровод и канализация	ВК	–
Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха	ОВ	–
Тепломеханические решения котельных	ТМ	–
Воздухоснабжение	ВС	–
Пылеудаление	ПУ	–
Холодоснабжение	ХС	–
Газоснабжение (внутренние устройства)	ГСВ	–
Силовое электрооборудование	ЭМ	–
Электрическое освещение (внутреннее)	ЭО	–
Системы связи	СС	–
Радиосвязь, радиовещание и телевидение	РТ	–
Пожаротушение	ПТ	–
Пожарная сигнализация	ПС	–
Охранная и охранно-пожарная сигнализация	ОС	–
Гидротехнические решения	ГР	–
Автоматизация …	А…	Многие заменяют наименованием и маркой соответствующего основного комплекта рабочих чертежей

Продолжение табл. 1.6.1

Наименование основного комплекта рабочих чертежей	Марка	Примечание
Автоматизация комплексная	АК	При объединении рабочих чертежей различных технологических процессов и инженерных систем
Антикоррозионная защита конструкций, сооружений	АЗ	–
Антикоррозионная защита технологических аппаратов, газоходов и трубопроводов	АЗО	–
Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов	ТИ	–
Автомобильные дороги	АД	–
Железнодорожные пути	ПЖ	–
Сооружения автотранспорта	ТР	При объединении рабочих чертежей автомобильных, железных и других дорог
Наружные сети водоснабжения	НВ	–
Наружные сети канализации	НК	–
Наружные сети водоснабжения и канализации	НВК	При объединении рабочих чертежей наружных сетей водоснабжения и канализации
Тепломеханические решения тепловых сетей	ТС	–
Наружные газопроводы	ГСН	–
Наружное электроосвещение	ЭН	–
Электроснабжение.	ЭС	–

Примечание. При необходимости могут быть назначены дополнительные марки основных комплектов рабочих чертежей. При этом для марок применяют прописные буквы (не более трех) русского алфавита, соответствующие, как правило, начальным буквам наименований основного комплекта рабочих чертежей.

Примеры:

1. **2345-ПЗ Раздел «Общая пояснительная записка».**
2. **2345-ГТ Раздел «Генеральный план и транспорт».**
3. **2345-12-АС Раздел «Архитектурно-строительные решения».**
4. **2345-12-ЭС Раздел «Электроснабжение».**

В примерах, приведенных выше:

– 2345 – номер договора (контракта) или шифр объекта строительства;

– 12 – номер здания или сооружения по генеральному плану;

– 2345-12 – базовое обозначение;

– ПЗ – шифр раздела проекта;

– ГТ, АС и ЭС – марки разделов проектов.

Текстовые и графические документы, как правило, включают в том на листах, сложенных по формату А4.

В каждый том включают не более 250 листов формата А4, 150 листов формата А3, 75 листов формата А2 и 30 листов формата А1.

Рассмотрим общие требования к проектной документации.

Общие требования к выполнению проектной документации. При выполнении проектной, рабочей и другой технической документации при проектировании электроснабжения и инженерных сетей следует руководствоваться требованиями соответствующих стандартов Системы проектной документации в строительстве (СПДС), а также стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Рабочие чертежи, предназначенные для производства строительных и монтажных работ всех типов, объединяют в комплекты (или основные комплекты) по маркам согласно табл. 1.6.2.

Основной комплект рабочих чертежей любой марки может быть разделен на несколько основных комплектов той же марки (с добавлением к ней порядкового номера) в соответствии с процессом организации строительных и монтажных работ.

***Пример* – АС1; АС2; КЖ1; КЖ2; ЭС1; ЭС2.**

Каждому основному комплекту рабочих чертежей присваивают обозначение, в состав которого включают базовое обозначение, устанавливаемое по действующей в организации системе, и через дефис – марку основного комплекта.

***Пример* – 2345–12–АР; 2345–12–ЭС,**

где 2345 – номер договора (контракта) или шифр объекта строительства;

12 – номер здания или сооружения по генеральному плану;

2345–12 – базовое обозначение;

АР – марка основного комплекта рабочих чертежей (архитектурные решения);

ЭС – электроснабжение.

В состав основных комплектов рабочих чертежей включают общие данные по рабочим чертежам, а также чертежи и схемы, предусмотренные стандартами СПДС.

На первых листах основного комплекта рабочих чертежей приводят основные данные по ним, включающие:

а) ведомость рабочих чертежей основного комплекта по форме 1, ГОСТ 21.101–97 (рис. 1.6.1) ;

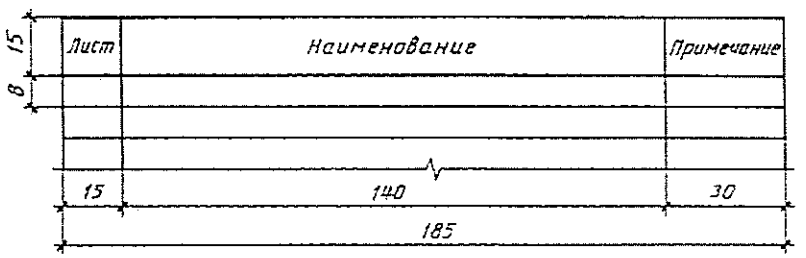


Рис. 1.6.1. Форма 1. Ведомости рабочих чертежей основного комплекта и спецификаций

б) ведомость ссылочных и прилагаемых документов по форме 2, ГОСТ 21.101–97 (рис. 1.6.2);

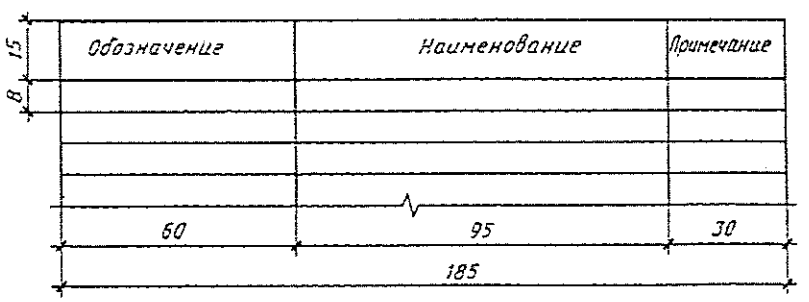


Рис.1.6.2. Форма 2. Ведомости ссылочных и прилагаемых документов

в) ведомость основных комплектов рабочих чертежей по форме 2 (рис. 1.6.2);

г) ведомость спецификаций, выполняемую по форме 1 (рис. 1.6.1);

д) условные обозначения, не установленные государственными стандартами, и значения которых не указаны на других листах основного комплекта рабочих чертежей;

е) общие указания;

ж) другие данные, предусмотренные соответствующими стандартами СПДС.

Ведомость рабочих чертежей основного комплекта содержит последовательный перечень основного комплекта. В ней указываются общие данные по рабочим чертежам.

В ведомости рабочих чертежей основного комплекта указывают:

а) в графе «Лист» – порядковый номер листа основного комплекта рабочих чертежей;

б) в графе «Наименование» – наименование изображений, помещенных на листе, в точном соответствии с наименованиями, приведенными в основной надписи листа;

в) в графе «Примечание» – дополнительные сведения, например, об изменениях, вносимых в рабочие чертежи основного комплекта.

Ведомость спецификаций ведется аналогично ведомости рабочих чертежей, в ней указывают:

а) в графе «Лист» – номер листа основного комплекта рабочих чертежей, на котором помещена спецификация;

б) в графе «Наименование» – наименование спецификации в точном соответствии с ее наименованием, указанным на чертеже;

в) в графе «Примечание» – дополнительные сведения, в том числе об изменениях, вносимых в спецификации.

Ведомость ссылочных и прилагаемых документов составляют по разделам:

а) ссылочные документы;

б) прилагаемые документы.

В раздел «Ссылочные документы» указывают документы, на которые приведены ссылки в рабочих чертежах, в том числе:

а) чертежи типовых конструкций, изделий и узлов с указанием наименования и обозначения серии и номера выпуска;

б) стандарты, в состав которых включены чертежи, предназначенные для изготовления изделий, с указанием их наименования и обозначения.

Ссылочные документы проектная организация выдает заказчику только по отдельному договору.

В раздел «Прилагаемые документы» указывают документы, разработанные в дополнение к рабочим чертежам основного комплекта, в том числе:

– рабочую документацию на строительные изделия;
– эскизные чертежи общих видов нетиповых изделий;
– спецификацию оборудования, изделий и материалов;
– локальную смету;
– другую документацию, предусмотренную соответствующими стандартами СПДС.

Прилагаемые документы проектная организация также выдает заказчику одновременно с основным комплектом рабочих чертежей.

В ведомости ссылочных и прилагаемых документов указывают:

а) в графе «Обозначение» – обозначение документа и при необходимости, наименование или различительный индекс организации, выпустившей документ;

б) в графе «Наименование» – наименование документа в полном соответствии с наименованием, указанным на титульном листе или в основной надписи;

в) в графе «Примечание» – дополнительные сведения, в том числе о внесенных изменениях в записанные документы, входящие в состав рабочей документации.

Ведомость основных комплектов рабочих чертежей приводят на листах общих данных основного комплекта ведущей марки *.

---

* Основной комплект рабочих чертежей в качестве ведущей марки назначает генеральный проектировщик.

При наличии нескольких основных комплектов рабочих чертежей одной марки составляют ведомость комплектов этой марки по форме 2 (рис. 1.6.2), которую приводят на листе общих данных для каждого из этих комплектов.

Ведомость основных комплектов рабочих чертежей ведется аналогично ведомости ссылочных и прилагаемых документов, в ней указывается:

а) в графе "Обозначение" – обозначение основного комплекта рабочих чертежей и, при необходимости, наименование или различительный индекс организации, выпустившей документ;

б) в графе "Наименование" – наименование основного комплекта рабочих чертежей;

в) в графе "Примечание" – дополнительные сведения, в том числе об изменениях в составе основных комплектов рабочих чертежей.

В общих указаниях приводят:

а) основание для разработки рабочей документации (задание на проектирование, утвержденный проект);

б) отметку, принятую в рабочих чертежах здания или сооружения условно за нулевую (как правило, приводят на архитектурно-строительных чертежах);

в) запись о результатах проверки на патентоспособность и патентную чистоту впервые применяемых или разработанных в проекте технологических процессов, оборудования, приборов, конструкций, материалов и изделий, а также номера авторских свидетельств и заявок, по которым приняты решения о выдаче авторских свидетельств на используемые в рабочей документации изобретения;

г) сертификаты соответствия на оборудование и материалы;

д) запись о том, что рабочие чертежи разработаны в соответствии с действующими нормами, правилами и стандартами;

е) перечень видов работ, для которых необходимо составлять акты освидетельствования скрытых работ;

ж) сведения о том, кому принадлежит данная интеллектуальная собственность (при необходимости);

з) другие необходимые указания.

В общих указаниях не следует повторять технические требования, помещенные на других листах основного комплекта рабочих чертежей, и давать описание принятых в рабочих чертежах технических решений.

Общие правила выполнения документации

При выполнении проектной, рабочей и другой технической документации, предназначенной для строительства предприятий, зданий и сооружений, следует руководствоваться требованиями соответствующих стандартов СПДС, а также стандартов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД).

Документация, предназначенная для микрофильмирования, должна соответствовать требованиям системы стандартов "Репрография".

Чертежи выполняют в оптимальных масштабах с учетом их сложности и насыщенности информацией.

Масштабы на чертежах не указывают, за исключением чертежей изделий и других случаев, предусмотренных в соответствующих стандартах СПДС.

Перечень сокращений слов, допускаемых в основных надписях, технических требованиях, таблицах, чертежах и спецификациях приведен в табл. 1.6.2.

Таблица 1.6.2

Допускаемые по ГОСТ 21.101–97 сокращения слов в основных надписях технических требований

Полное наименование	Сокращение
Автомобильная дорога	а.д.
Альбом	альб. (ц)
Антисейсмический шов	а.с.ш. (и)
Архитектор	арх. (*)
Асфальтобетон	асф. бет.
Бетон, бетонный	бет.
Ведущий	вед. (*)
Вентиляционная камера	венткамера
Выпуск	вып. (ц)
Главный инженер	Гл. инж. (*)
Главный инженер (архитектор) проекта	ГИП (ГАП) (*)
Главный специалист	Гл. спец. (*)
Группа	гр. (т,*)
Деформационный шов	д.ш. (и)
Диаметр	диам.
Директор	Дир. (*)
Документ	док. (т.*)
Допускаемый	допуск.
Единица измерения	ед. изм. (т)
Емкость	емк. (ц, т)
Железная дорога	ж.д.
Железобетон, железобетонный	ж.б.
Заведующий	Зав. (*)
Изоляция, изоляционный	изол.
Институт	ин-т (*)
Конструкция	констр.
Коэффициент	коэфф.
Коэффициент полезного действия	К.П.Д.
Лестница, лестничный	лестн.
Мастерская (в проектных организациях)	маст. (*)
Масштаб	М(ц)
Материалы	мат-лы (т)
Монтажный	монт.
Нормативная нагрузка	норм. нагр.
Оборудование	оборуд.
Общий	общ.
Отметка	отм. (ц)
Проверил	Пров. (*)
Раздел	разд. (ц)
Размер	разм. (ц)
Расчетная нагрузка	расч. нагр.
Санитарно-технический	сан. техн.
Санитарный узел	сан. узел
Сборный	сб.
Сектор	сек. (ц)
Скважина	скв. (ц)
Снеговой	снег.
Температурный шов	т.ш. (и)

Продолжение табл. 1.6.2

Полное наименование	Сокращение
Технологический	технол.
Техник	Техн. (*)
Типовой	тип.
Труба	тр.
Уровень головки рельса	ур. г. р. (и)
Уровень земли	ур. з. (и)
Уровень чистого пола	ур. ч. п. (и)
Участок	уч. (и, ц)
Фундаментный	фунд.
Цемент, цементный	цем.
Цементобетон	цем. бет.
Часть	ч. (ц)
Шаг	ш. (ц, т)
Штука	шт. (ц,. т)
Штукатурка	штукат.
Щебень, щебеночный	щеб.
Электрический	эл.
Элемент	эл-т (и, Т)
Этаж	эт. (ц)
Примечание – Сокращения, отмеченные знаком (*), применяют только в основной надписи; (т) – в таблицах; (ц) – с цифрами или шифрами; (и) – на графических изображениях	

Изображения планов, разрезов, фасадов. Координационные оси на изображении каждого здания, сооружения или помещения при выполнении проектов марок ЭС, ЭМ, ЭО указываются только на планах размещения оборудования. Указанным осям присваивают самостоятельную систему обозначений.

Координационные оси наносят на изображения здания, сооружения или помещения тонкими штрихпунктирными линиями с длинными штрихами, обозначают арабскими цифрами и прописными буквами русского алфавита (за исключением букв: Ё, З, Й, О, Х, Ц, Ч, Щ, Ъ, Ы, Ь) в кружках диаметром 6–12 мм.

Пропуски в цифровых и буквенных (кроме указанных) обозначениях координационных осей не допускаются.

Цифрами обозначают координационные оси по стороне здания и сооружения с большим количеством осей. Если для обозначения координационных осей не хватает букв алфавита, последующие оси обозначают двумя буквами.

Пример: **АА; ББ; ВВ.**

Последовательность цифровых и буквенных обозначений координационных осей принимают по плану слева направо и снизу вверх (рис. 1.6.3, *а*) или как показано на рис. 1.6.3, *б, в*.

Обозначение координационных осей, как правило, наносят по левой и нижней сторонам плана здания и сооружения.

При несовпадении координационных осей противоположных сторон плана обозначения указанных осей в местах расхождения дополнительно наносят по верхней и/или правой сторонам.

Для отдельных элементов, расположенных между координационными осями основных несущих конструкций, наносят дополнительные оси и обозначают их в виде дроби:

– над чертой указывают обозначение предшествующей координационной оси;

– под чертой – дополнительный порядковый номер в пределах участка между смежными координационными осями в соответствии с рис. 1.6.3, *г*.

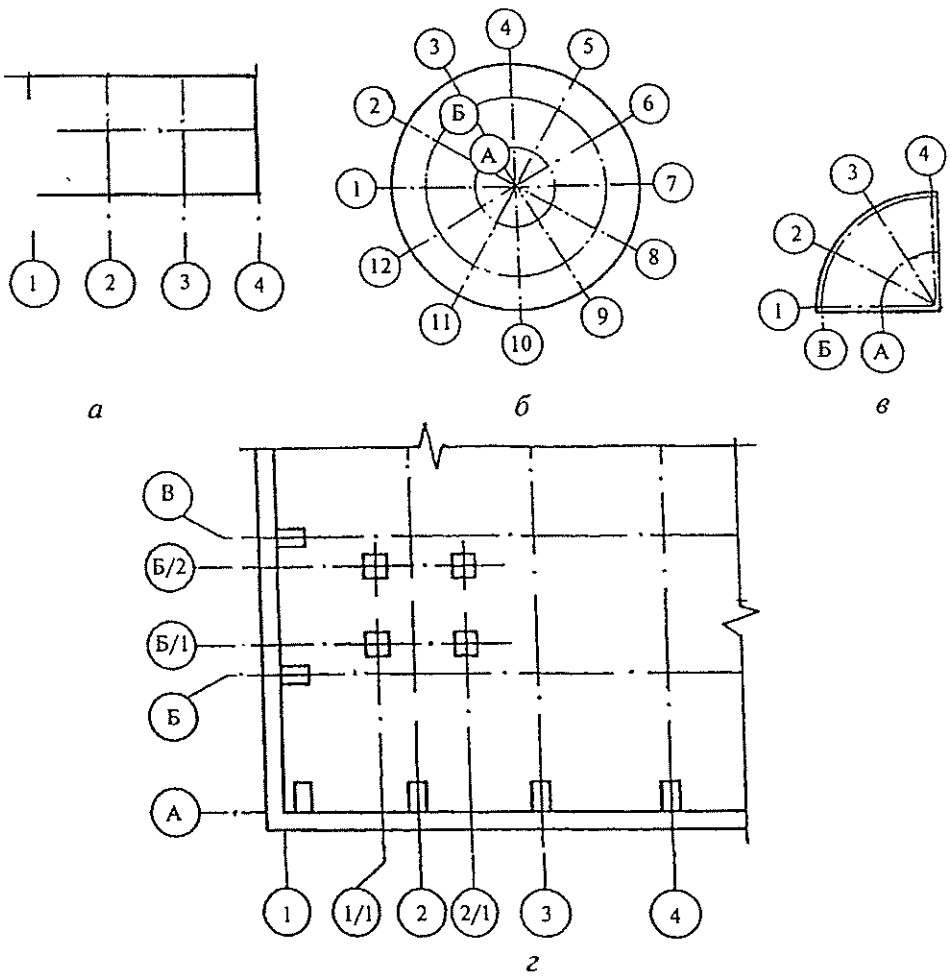


Рис. 1.6.3. Примеры обозначения координатных осей

На изображении повторяющегося элемента, привязанного к нескольким координационным осям, координационные оси обозначают в соответствии с рис. 1.6.4:

«*а*» – при числе координационных осей не более 3;

«*б*» – » » » » более 3;

«*в*» – при всех буквенных и цифровых координационных осях.

При необходимости, ориентацию координационной оси, к которой привязан элемент, по отношению к соседней оси, указывают в соответствии с рис. 1.6.4, *г*.

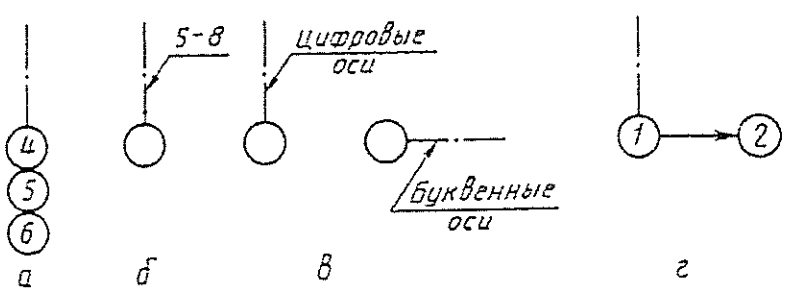


Рис. 1.6.4. Примеры обозначения координатных осей повторяющихся элементов

Для обозначения координационных осей блок-секций жилых зданий применяют индекс «с».

Примеры: **1с, 2с, Ас, Бс.**

На планах жилых зданий, скомпонованных из блок-секций, наносят обозначения крайних координационных осей блок-секций указывают без индекса в соответствии с рис. 1.6.5.

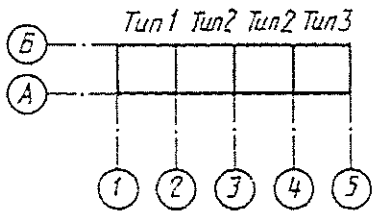


Рис. 1.6.5. Примеры обозначения координатных осей зданий из блок-секций

Фрагменты планов, разрезов, фасадов, как правило, отмечают фигурной скобкой в соответствии с рис. 1.6.6.

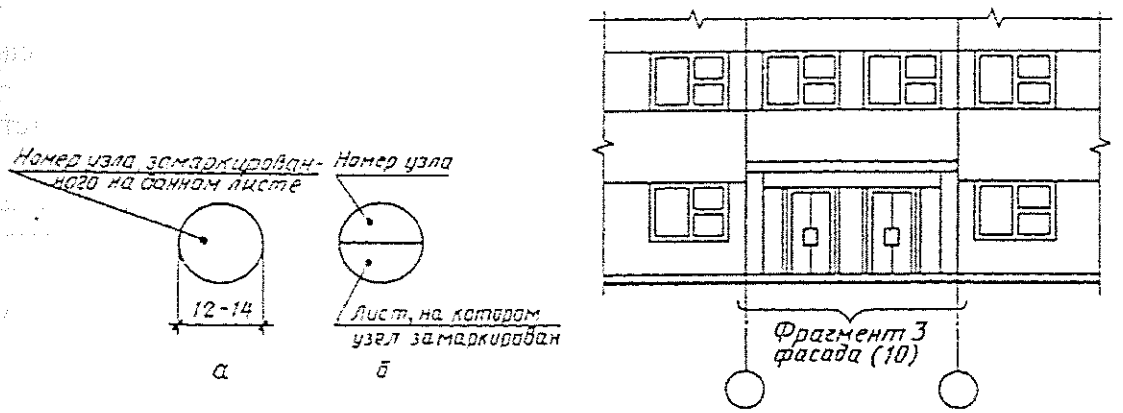


Рис. 1.6.6. Обозначение фрагмента фасада

Под фигурной скобкой, а также над соответствующим фрагментом наносят наименование и порядковый номер фрагмента. Если фрагмент помещен на другом листе, то дают ссылку на этот лист.

Допускается ссылку на фрагмент помещать на полке линии-выноски.

Изображения до оси симметрии симметричных планов и фасадов зданий и сооружений, схем расположения элементов конструкций, планов расположения технологического, энергетического, санитарно-технического и др. оборудования не допускаются.

Если изображение (например, план) не помещается на листе принятого формата, то его делят на несколько участков, размещая их на отдельных листах.

В этом случае на каждом листе, где показан участок изображения, приводят схему целого изображения с необходимыми координационными осями и условным обозначением (штриховкой) показанного на данном листе участка изображения в соответствии с рис.1.6.7.

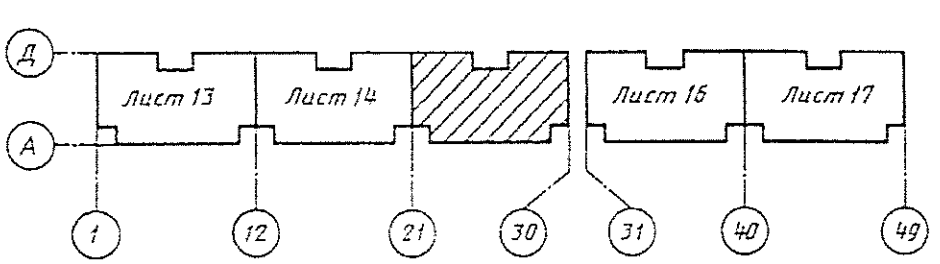


Рис. 1.6.7. Разделение плана на участки

Если планы этажей многоэтажного здания имеют небольшие отличия друг от друга, то полностью выполняют план одного из этажей, для других этажей выполняют только те части плана, которые необходимы для показа отличия от плана, изображенного полностью.

Под наименованием частично изображенного плана приводят запись:

«Остальное см. план (наименование полностью изображенного плана)».

В названиях планов этажей здания и сооружения указывают отметку чистого пола или номер этажа, или обозначение соответствующей секущей плоскости.

Примеры:

1. План на отм. 0,000.
2. План 2–9 этажей.
3. План 3–3.

При выполнении части плана в названии указывают оси, ограничивающие эту часть плана.

Пример: План на отм. 0,000 между осями 1–8 и А–Д.

Допускается в названии плана этажа указывать назначение помещений, расположенных на этаже.

В названиях разрезов здания (сооружения) указывают обозначение соответствующей секущей плоскости.

Пример: Разрез 1–1.

В названиях фасадов здания и сооружения указывают крайние оси, между которыми расположен фасад.

Пример: Фасад 1–12.

Основные надписи. Каждый лист рабочего чертежа и текстового документа должен иметь основную надпись и дополнительные графы к ней. Формы основных надписей и указания по их заполнению приведены в ГОСТ 21.101–97.

В проектной и рабочей документации основную надпись оформляют:

а) на листах основных комплектов рабочих чертежей и основных чертежах проектной документации – по форме 3 (рис. 1.6.8);

б) на первом листе чертежей строительных изделий – по форме 4 (рис. 1.6.9);

в) на первых листах текстовых документов и эскизных чертежей общих видов нетиповых изделий – по форме 5 (рис. 1.6.10);

г) на последующих листах чертежей строительных изделий, текстовых документов и эскизных чертежей общих видов – по форме 6 (рис. 1.6.11).

Допускается на первом листе чертежа строительного изделия основную надпись выполнять по форме 5 (рис. 1.6.10).

В отчетной технической документации по результатам инженерных изысканий основную надпись оформляют:

а) на листах графических документов, используемых в проектировании в качестве подосновы – по форме 3 (рис. 1.6.8);

б) на первых листах других графических и текстовых документов – по форме 5 (рис. 1.6.10), на последующих листах – по форме 6 (рис. 1.6.11).

Расположение основной надписи и дополнительных граф к ней, а также размерных рамок на листах приведены в на рис.1.6.12.

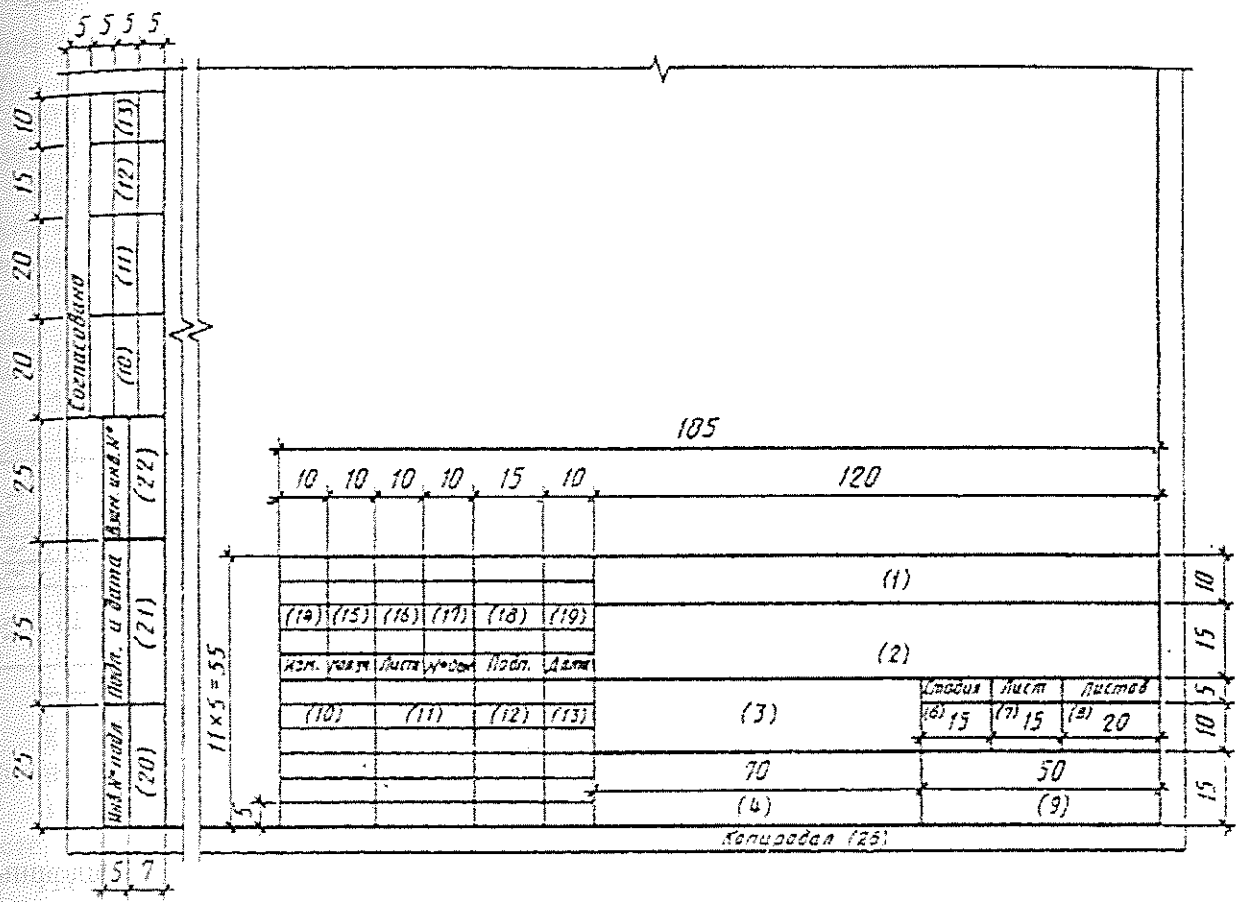


Рис. 1.6.8. Форма основной надписи для листов:
– основных комплектов рабочих чертежей;
– основных чертежей разделов проектной документации;
– графических документов по инженерным изысканиям.

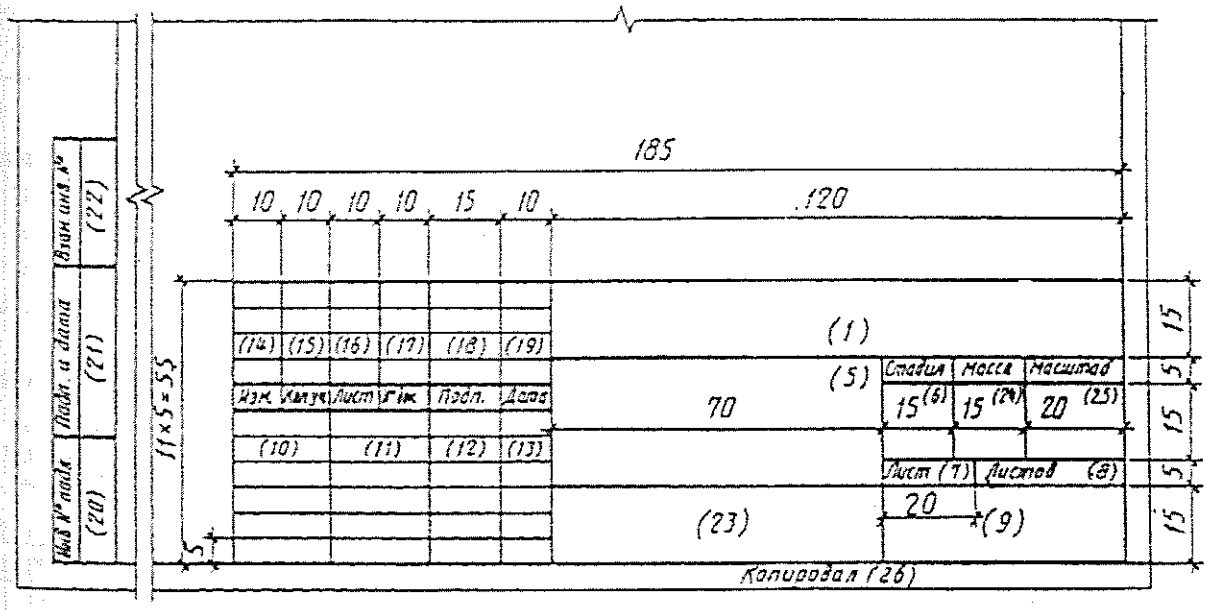


Рис. 1.6.9. Форма основной надписи для чертежей строительных изделий (первый лист)

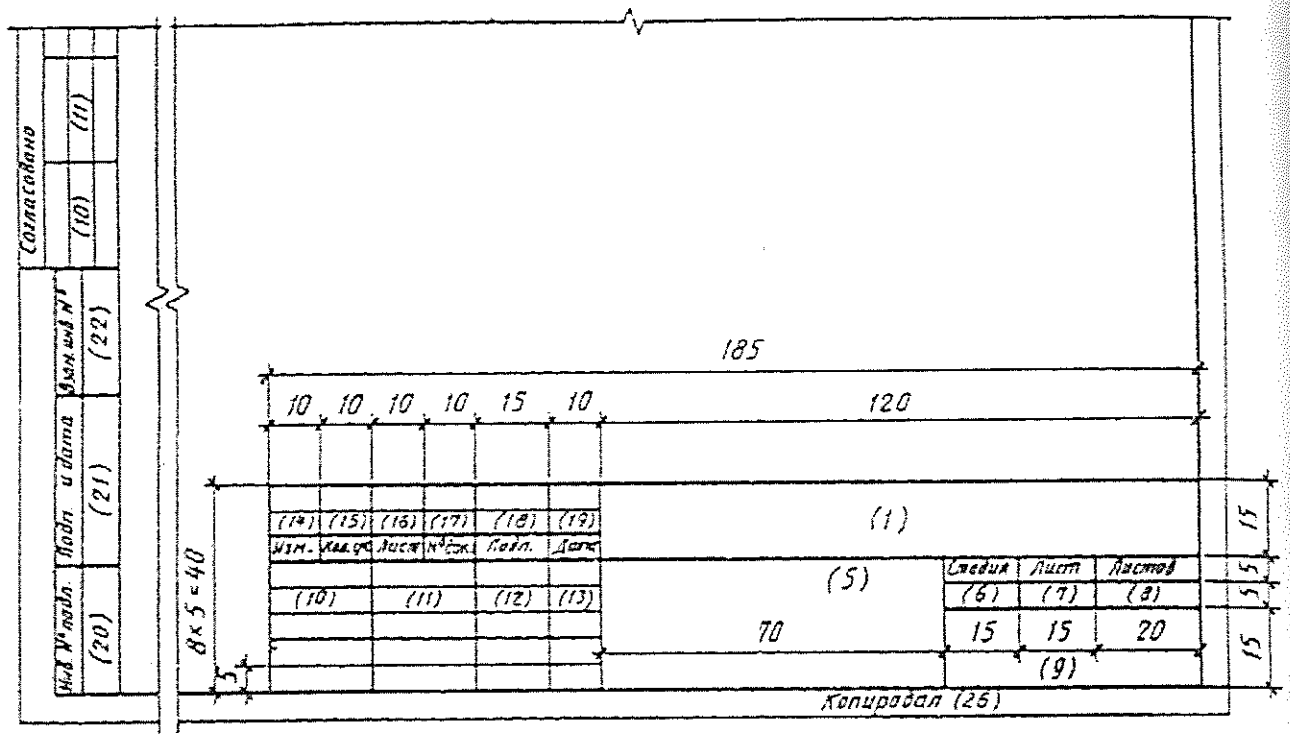


Рис. 1.6.10. Форма основной надписи для всех видов текстовых документов, входящих в проектную документацию

Основные надписи, дополнительные графы к ним и рамки выполняют сплошными толстыми основными и сплошными тонкими линиями по ГОСТ 2.303.

Графические и текстовые документы, брошюруемые в виде тома, альбома, выпуска или в другой издательской форме, оформляют с титульным листом.

Правила выполнения титульного листа приведены в п. 2.1.

Допускается титульный лист не выполнять и не брошюровать текстовые рабочие документы небольшого объема. В этом случае первый лист документа оформляют основной надписью по форме 3 (рис. 1.6.8), последующие – по форме 6 (рис. 1.6.11).

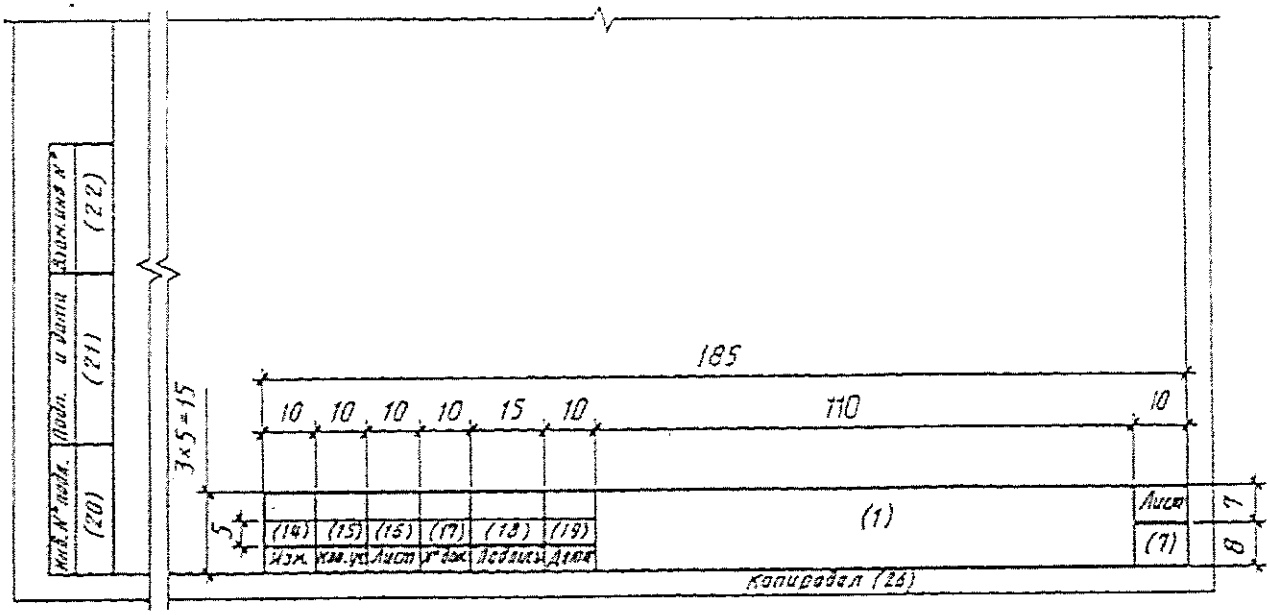


Рис. 1.6.11. Основная надпись для строительных изделий и всех видов текстовых документов (последующие листы)

Порядок заполнения основной надписи и дополнительных граф к ней. В графах основной надписи и дополнительных графах к ней (номера граф указаны в скобках) приводят:

а) в графе 1 – обозначение документа, в том числе раздела проекта, основного комплекта рабочих чертежей, чертежа изделия, текстового документа и др.;

б) в графе 2 – наименование предприятия, жилищно-гражданского комплекса или другого объекта строительства, в состав которого входит здание (сооружение), или наименование микрорайона;

в) в графе 3 – наименование здания (сооружения) и при необходимости, вид строительства (реконструкция, расширение, техническое перевооружение, капитальный ремонт);

г) в графе 4 – наименование изображений, помещенных на данном листе, в точном соответствии с наименованием на чертеже.

Наименования спецификаций и других таблиц, а также текстовых указаний, относящихся к изображениям, в графе не указывают;

д) в графе 5 – наименование изделия и/или наименование документа;

е) в графе 6 – условное обозначение стадии проектирования:

1) П – для проектной документации, в том числе утверждаемой части рабочего проекта;

2) Р – для рабочей документации;

ж) в графе 7 – порядковый номер листа или страницы текстового документа при двусторонней печати. На документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют;

и) в графе 8 – общее число листов документа. Графу заполняют только на первом листе.

На первом листе текстового документа при двусторонней печати указывают общее число страниц;

к) в графе 9 – наименование или различительный индекс организации, разработавшей документ;

л) в графе 10 – характер выполненной работы (разработал, проверил, нормоконтроль).

В зависимости от стадии проектирования, сложности и значимости документа допускается свободные строки заполнять по усмотрению руководства организации (указать должности лиц, ответственных за разработку документа (чертежа);

м) в графах 11–13 – фамилии и подписи лиц, указанных в графе 10, и дату подписания.

Подписи других должностных лиц и согласующие подписи размещают на поле для подшивки листа;

н) в графах 14–19 – графы таблицы изменений (см. п. 1.7);

п) в графе 20 – инвентарный номер подлинника;

р) в графе 21 – подпись лица, принявшего подлинник на хранение, и дату приемки (число, месяц, год);

с) в графе 22 – инвентарный номер подлинника документа, взамен которого выпущен подлинник;

т) в графе 23 – обозначение материала детали (графу заполняют только на чертежах деталей);

у) в графе 24 – массу изделия, изображенного на чертеже, в килограммах без указания единицы измерения. Массу изделия в других единицах измерения приводят с указанием единицы измерения.

Пример: 2,4 т;

ф) в графе 25 – масштаб (проставляют в соответствии с ГОСТ 2.302);

ш) в графе 26 – подпись лица, копировавшего чертеж (при необходимости).

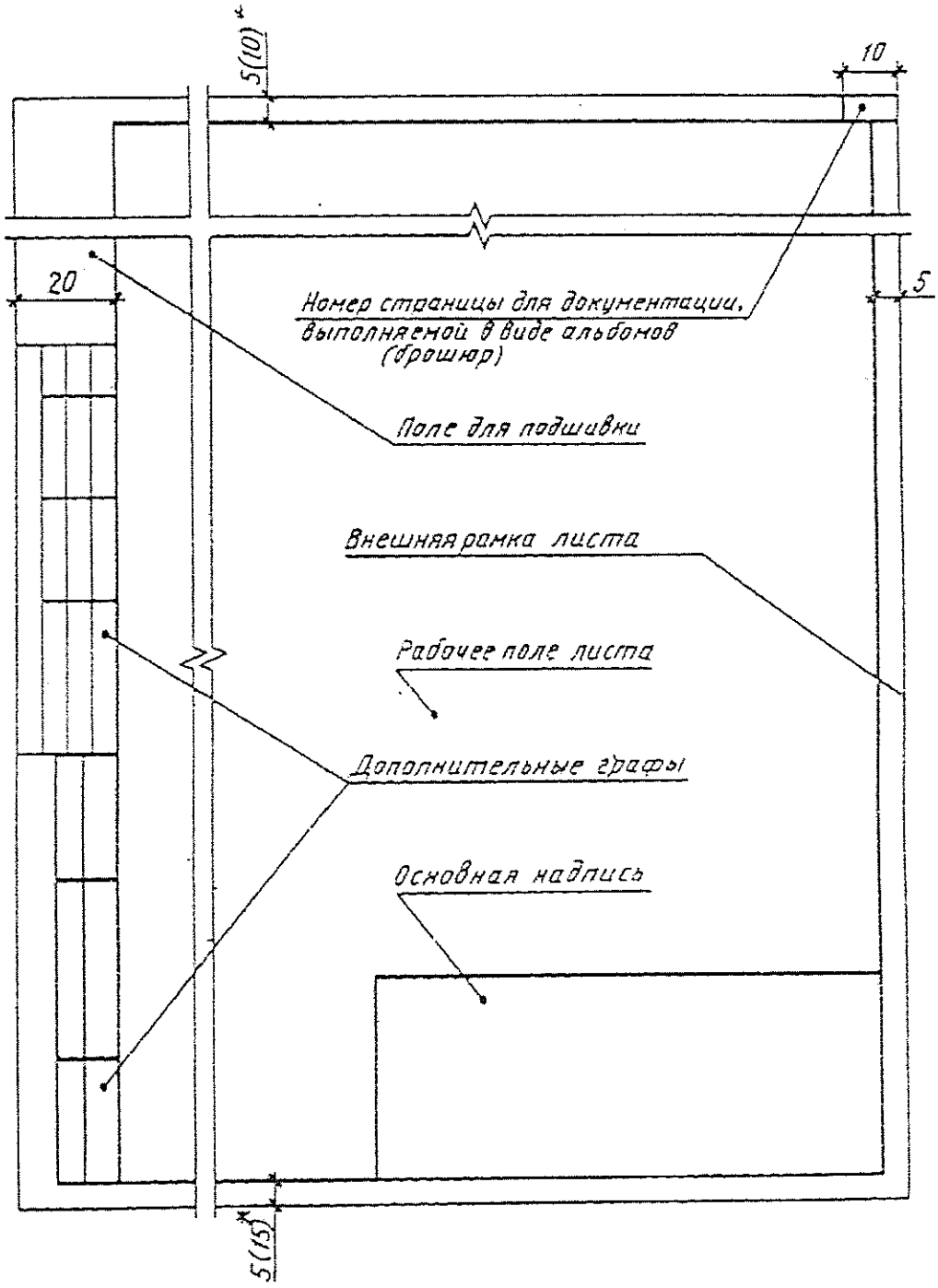


Рис. 1.6.12. Расположение основной надписи и дополнительных граф к ней и размерных рамок на листах

Размеры в скобках указаны для рамок типовой проектной документации.

Правила выполнения спецификации на чертежах

К схеме расположения элементов сборной конструкции, монолитной железобетонной конструкции, к чертежам установок (блоков) технологического, санитарно-технического, электротехнического и др. оборудования составляют спецификацию по форме 7, рис. 1.6.13.

При выполнении чертежей групповым методом составляют групповые спецификации по форме 8, рис. 1.6.14.

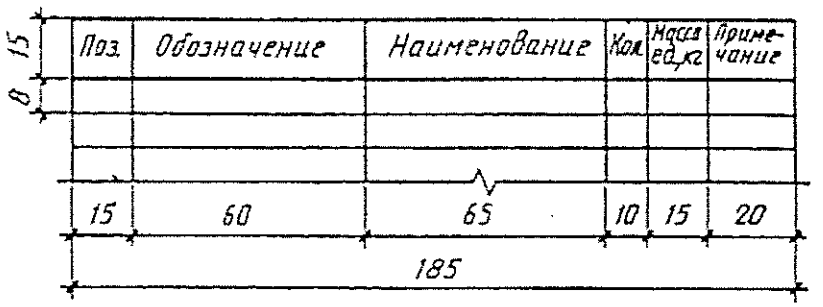


Рис. 1.6.13. Форма спецификации оборудования и конструкций

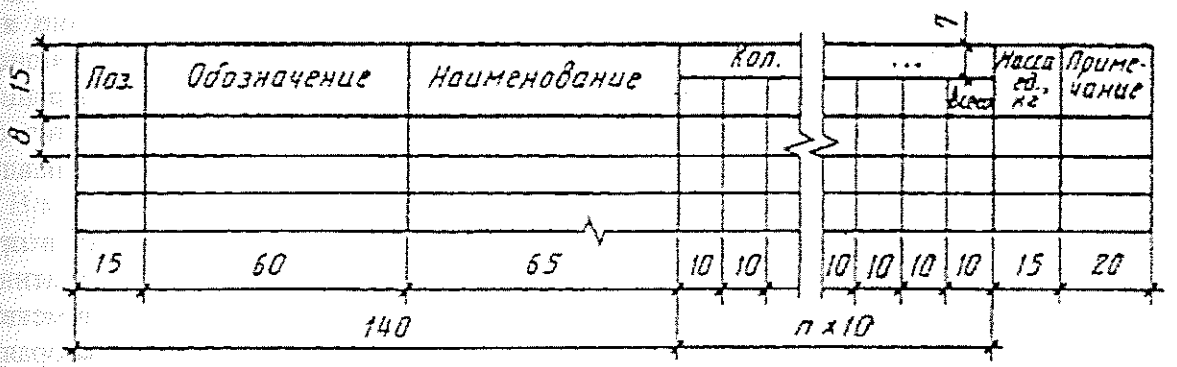


Рис. 1.6.14. Форма групповой спецификации оборудования и конструкций

Порядок заполнения спецификации и групповой спецификации. В спецификациях указывают:

а) в графе «Поз.» – позиции (марки) элементов конструкций, установок;

б) в графе «Обозначение» – обозначение основных документов на записываемые в спецификацию элементы конструкций, оборудование и изделия или стандартов (технических условий) на них;

в) в графе «Наименование» – наименования элементов конструкций, оборудования и изделий и их марки.

Допускается на группу одноименных элементов указывать наименование один раз и подчеркивать;

г) в графе «Кол.» формы 7 – количество элементов. В графе «Кол…» формы 8 вместо многоточия записывают «по схеме», «на этаж» и т.п., а ниже – порядковые номера схем расположения или этажей;

д) в графе «Масса, ед. кг» – массу в килограммах. Допускается приводить массу в тоннах, но с указанием единицы измерения;

е) в графе «Примечание» – дополнительные сведения, например, единицу измерения массы или дополнительный размер.

Состав и содержание пояснительной записки

С 1 июля 2008 года вступило в силу Постановление правительства РФ от 18 февраля 2008 года № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях по их содержанию». Постановление не отменяет ранее принятые нормативно-технические документы, а дополняет их и конкретизирует некоторые положения применительно к

современным условиям. Проектная документация состоит из текстовой и графической частей.

Текстовая часть должна содержать сведения об объектах проектирования, описание принятых технических и иных решений, пояснения, ссылки на нормативные и технические документы, используемые при разработке проектной документации,и результаты расчета, обосновывающие принятые решения. Графическая часть отображает принятые технические и иные решения и выполняется в виде чертежей, схем, планов и других документов в графической форме.

В состав текстовой части (пояснительной записки) проекта электроснабжения должны входить следующие подразделы.

Общая часть. В общей части дается характеристика объекта, для которого проектируется электроустановка (система электроснабжения – внутренняя и (или) внешняя), если электроустановка допускается в эксплуатацию по частям, то необходимо обосновать разбивку проекта на очереди указанием электрооборудования, допускаемое в первую и последующие очереди. Далее указываются исходные данные на проектирование, являющиеся основанием для начала работ, технические условия на технологическое присоединение, акт о технологическом присоединении к электрическим сетям, акт разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности потребителя и электроснабжающей организации. Техническое задание на проектирование, правоустанавливающие документы на объект проектирования.

В общей части приводится перечень документов, на основании которых в проекте принимались технические и иные решения. В первую очередь перечисляют нормативные и технические документы, а затем методики и рекомендации различных ведомств. При использовании типового проекта необходимо указать его шифр и ту часть, которая взята без изменений. Привязка типового проекта к разрабатываемому определяется ГОСТом 21.101–97.

Характеристика источников электроснабжения. Характеристика указывается в соответствии с техническими условиями на подключение к системам электроснабжения общего пользования. Указывается диспетчерское наименование источника электрической энергии (адрес, место расположения), его основные характеристики: напряжение, мощность и режимы работы, если они влияют на надежность электроснабжения и качество электроэнергии. Напряжение источника указывается в соответствии со стандартными напряжениями, определенными ГОСТ 29322–92. В данном подразделе также указываются характеристики дополнительных и резервных источников электроэнергии, режимы их работы, как автономно, так и совместно с основным источником электроснабжения.

Надежность электроснабжения и качество электроэнергии. Надежность электроснабжения потребителей регламентируется ПУЭ, СП 31-110–2003, нормами технологического проектирования предприятий различного профиля, а так же Инструкцией по проектированию городских электрических сетей (РД 34.20.185–94). При отсутствии документа, регламентирующего надежность электроснабжения потребителей предприятия данного профиля, необходимо пользоваться рекомендациями ПУЭ, для жилых и общественных зданий пользоваться данными, изложенными в СП 31-110–03.

Требования ПУЭ распространяются на проектирование систем электроснабжения. Требования СП 31-110–2003 распространяются на проектирование электроснабжения, электрического освещения и силового электрооборудования вновь строящихся, реконструируемых и капитально ремонтируемых жилых зданий (домов, общежитий) и общественных зданий в городах, поселках и сельских населенных пунктах, а также домов на участках садоводческих товариществ.

В соответствии с требованиями ПУЭ в отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на следующие три категории.

Электроприемники первой категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, угрозу для безо-

пасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется *особая группа электроприемников*, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Электроснабжение электроприемников первой категории с особо сложным непрерывным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление нормального режима, при наличии технико-экономических обоснований рекомендуется осуществлять от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса.

Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания.

В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников первой категории могут быть использованы местные электростанции, электростанции энергосистем (в частности, шины генераторного напряжения), предназначенные для этих целей агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т.п.

Если резервированием электроснабжения нельзя обеспечить непрерывность технологического процесса или если резервирование электроснабжения экономически нецелесообразно, должно быть осуществлено технологическое резервирование, например, путем установки взаимно резервирующих технологических агрегатов, специальных устройств безаварийного останова технологического процесса, действующих при нарушении электроснабжения.

Электроприемники второй категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Электроприемники третьей категории – все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.

Для электроприемников третьей категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток.

При проектировании электрооборудования жилых и общественных зданий необходимо также руководствоваться требованиями действующих строительных норм и правил, других нормативных документов, утвержденных (согласованных) Госстроем России (СССР) и Госкомархитектуры, а также ПУЭ.

Настоящие нормы не распространяются на проектирование электропривода и электрооборудования специальных электротехнических установок (лифты, подъемники, кино-

технологическое оборудование, обучающие счетные устройства и п.т.), а также на проектирование устройств автоматизации, санитарно-технических, противопожарных и других технологических установок.

Применяемые в электротехнических установках оборудование и материалы должны соответствовать требованиям государственных и отраслевых стандартов, а также техническим условиям, утвержденным в установленном порядке, и выпускаться промышленностью. Электрооборудование и другие изделия, не освоенные серийным производством, допускается предусматривать в проектах только по согласованию с заказчиками и соответствующими министерствами или предприятиями-изготовителями.

Конструкция, исполнение, способ установки, класс изоляции и степень защиты электрооборудования должны соответствовать номинальному напряжению сети и условиям окружающей среды.

Для хранения и ремонта светильников и электрооборудования в общественных зданиях необходимо предусматривать отдельные помещения (при числе светильников 300 и более) из расчета 10 м^2 на каждые 1000 светильников, но не мене 15 м^2.

Следует также предусматривать помещение для хранения технических средств для обслуживания светильников, установленных на высоте более 5 м от пола.

Каналы, ниши, закладные детали для электропроводок с каналами для электропроводок, плинтусы и наличники с каналами для электропроводок, а также электропроводки, замоноличиваемые в строительные элементы при их изготовлении, должны быть предусмотрены в архитектурно-строительных чертежах, проектах и чертежах строительных изделий по заданиям, разработанным проектировщиками электротехнической части проекта.

Степени (категории) обеспечения надежности электроснабжения электроприемников жилых и общественных зданий представлены в табл. 1.6.3.

Таблица 1.6.3

Степени (категории) обеспечения надежности электроснабжения электроприемников жилых и общественных зданий

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабжения
Жилые дома:	
противопожарные устройства (пожарные насосы, системы подпора воздуха, дымоудаления, пожарной сигнализации и оповещения о пожаре), лифты, аварийное освещение, огни светового ограждения	I
Комплекс остальных электроприемников:	
жилые дома с электроплитами (кроме 1–8– квартирных домов)	II
дома 1–8– квартирные с электроплитами	III
дома св. 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе	II
дома до 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе	III
на участках садоводческих товариществ	III
Общежития общей вместимостью, чел.:	
до 50	III
св. 50	II
Отдельно стоящие и встроенные центральные тепловые пункты (ЦТП), индивидуальные тепловые пункты (ИТП) многоквартирных жилых домов	I
Здания учреждений управления, проектных и конструкторских организаций, научно-исследовательских институтов:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I

Продолжение табл. 1.6.3

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабжения
Комплекс остальных электроприемников:	
здания с количеством работающих св. 2000 чел. независимо от этажности, здания высотой более 16 этажей, а также здания учреждений областного, городского и районного значения с количеством работающих св. 50 чел.	I
здания с количеством работающих св. 50 чел., а также здания областного, городского и районного значения до 50 чел.	II
здания с количеством работающих до 50 чел.	III
Здания лечебно-профилактических учреждений[1]*:*	
электроприемники операционных и родильных блоков, отделений анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии, кабинетов лапароскопии, бронхоскопии и ангиографии, противопожарных устройств и охранной сигнализации, эвакуационного освещения и больничных лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования:	
федерального и республиканского подчинения:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации, лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников учреждений краевого, областного, городского и районного подчинения	II
Библиотеки и архивы:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации зданий с фондом св. 1000 тыс.ед. хранения	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников зданий с фондом, тыс.ед. хранения:	
св. 100 до 1000	II
до 100	III
Учреждения образования, воспитания и подготовки кадров:	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия торговли[2]*:*	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации, лифтов универсамов, торговых центров и магазинов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия общественного питания[2]*:*	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II

Продолжение табл. 1.6.3

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабжения
Предприятия бытового обслуживания:	
комплекс электроприемников салонов-парикмахерских с количеством рабочих мест св. 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест св. 50, прачечных и химчисток производительностью св. 500 кг белья в смену, бань с числом мест св. 100	II
то же, парикмахерских с количеством рабочих мест до 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест до 50, прачечных и химчисток производительностью до 500 кг белья в смену, мастерских по ремонту обуви, металлоизделий, часов, фотоателье, бань и саун с числом мест до 100	III
Гостиницы, дома отдыха, пансионаты и турбазы:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Музеи и выставки:	
комплекс электроприемников музеев и выставок федерального значения	I
музеи и выставки республиканского, краевого и областного значения:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников музеев и выставок местного значения и краеведческих музеев	III
Конференц-залы и актовые залы, в том числе со стационарными кинопроекционными установками и эстрадами во всех видах общественных зданий, кроме постоянно используемых для проведения платных зрелищных мероприятий	В соответствии с категорией электроприемников зданий, в которые встроены указанные залы

[1]Для электроприемников ряда медицинских помещений, например операционных, реанимационных (интенсивная терапия), палат для недоношенных детей, может потребоваться третий независимый источник. Необходимость третьего независимого источника определяется заданием на проектирование в зависимости от типа применяемого медицинского оборудования.

[2]Для временных сооружений, выполняемых в соответствии с 7.12 , а также встроенных помещений площадью до 100 м^2 – III категория электроснабжения.

Примечания

1 Схемы питания противопожарных устройств и лифтов, предназначенных для перевозки пожарных подразделений, должны выполняться в соответствии с требованиями 7.8–7.10 настоящего Свода правил, независимо от их категории надежности.

2 В комплекс электроприемников жилых домов входят электроприемники квартир, освещение общедомовых помещений, лифты, хозяйственные насосы и др. В комплекс электроприемников общественных зданий входят все электрические устройства, которыми оборудуется здание или группа помещений.

3 Категория электроснабжения может быть повышена по заданию заказчика.

Обоснование принятой схемы электроснабжения. Схема электроснабжения объекта выбирается с учетом:

– технических условий на подключение к электрическим сетям электроснабжающей организации;

– назначения объекта (жилой, общественный, промышленный, строительная площадка);

– вида строительной части (временное, мобильное, капитальное);
– категории надежности электроснабжения.

В зависимости от расстояния от объекта до источника электропитания выбирается величина питающего напряжения, что в свою очередь может существенно повлиять и на схему электроснабжения.

При расстояниях до источника электропитания более 1000–1500 м, как правило, применяют напряжения 6–10 кВ с последующим его понижением. Рассмотрим схемы электроснабжения наиболее встречающихся объектов.

Схемы электроснабжения потребителей третьей категории. Стремление к сохранению питания всех потребителей при повреждении в любом элементе сети повлекло бы за собой необходимость неоправданного резервирования линий и трансформаторов и увеличение стоимости сети. Поэтому городские сети для питания потребителей III категории выполняются по радиальным нерезервируемым линиям напряжением 6–20 кВ и 0,4 кВ (рис. 1.6.15), а также по петлевым резервируемым линиям напряжением 6–20 кВ с целью обеспечения двухстороннего питания каждой ТП и радиальным резервируемым линиям напряжением 0,4 кВ к потребителям (рис. 1.6.16), Особенность прокладки линий напряжением 6–20 кВ в городской сети состоит в заходе магистралей в каждую ТП, что создает условия для выделения поврежденного участки линии и последующей подачи напряжения части ТП.

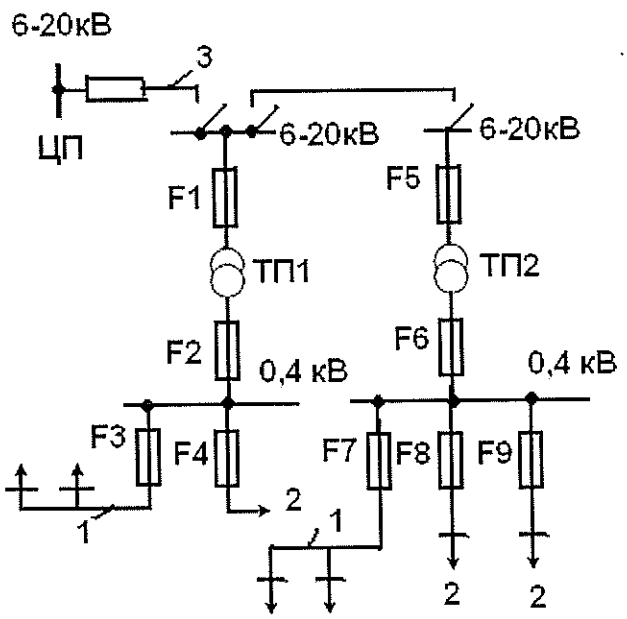


Рис. 1.6.15. Радиальная нерезервированная сеть:
1 – распределительная линия напряжением 0,4 кВ; 2 – вводы к потребителям; 3 – распределенная линия напряжением 6–20 кВ; 4 – ЦРП – центральный распределительный пункт; 5 – F1–F9 – предохранители; 6 – ТП – трансформаторная подстанция

Схема, сети, приведенная на рис. 1.6.15, применяется в малых городах, где линии напряжением 6–20 кВ выполняются воздушными с нагрузкой, меньшей 400 кВ*А. Эта сеть наиболее дешевая. Длина высоковольтной магистрали составляет до 2 км при максимальной нагрузке до 1,5 МВт. Здесь при повреждении любого элемента распределительной сети питание потребителей может быть восстановлено лишь после ремонта этого элемента или его замены, так как в сети отсутствуют резервные элементы. Каждая ТП используется для питания своего района сети напряжением 0,4 кВ, которые между собой не связываются. Параметры элементов сети выбирают исходя из нормального режима, т.е. сечение ли-

нии напряжением 6–20 кВ определяется суммарной нагрузкой потребителей, питаемых от ТП1 и ТП2. Сечение линий напряжением 0,4 кВ выбирается по нагрузке присоединенных к ней потребителей. Мощность трансформаторов ТП1 и ТП2 выбирается в зависимости от суммарной нагрузки потребителей, питаемых от этих ТП.

Поскольку группы приемников электроэнергии суммарной мощностью свыше 400 кВ·А относятся к приемникам II категории, наибольшее распространение получила схема, приведенная на рис. 1.6.16. Петлевая линия – это не что иное, как линия с двухсторонние питанием, которая работает по разомкнутой схеме. Работа линий в замкнутом режиме экономически не оправдана из-за необходимости установки большого количества выключателей и устройств релейной защиты от повреждений. Схема, показанная на рис. 1.6.16, предназначена для электроснабжения приемников III категории, так как питание отдельных потребителей осуществляется по радиальной сети напряжением 0,4 кВ. В связи с тем, что совокупность потребителей с суммарной нагрузкой более 400 кВ·А должна рассматриваться как приемник II категории, питание ТП по сети напряжением 6–20 кВ осуществляется с резервированием Резерв трансформаторной мощности в ТП не предусматривается.

Схема сети, показанная на рис. 1.6.16, применяется в малых городах и поселках городского типа при выполнении сети напряжением 6–20 кВ воздушными линиями. В нормальном режиме линия Л1, отходящая от ЦП1, питает ТП1 и ТП2, а линия Л2, отходящая от ЦП2, питает ТП3.

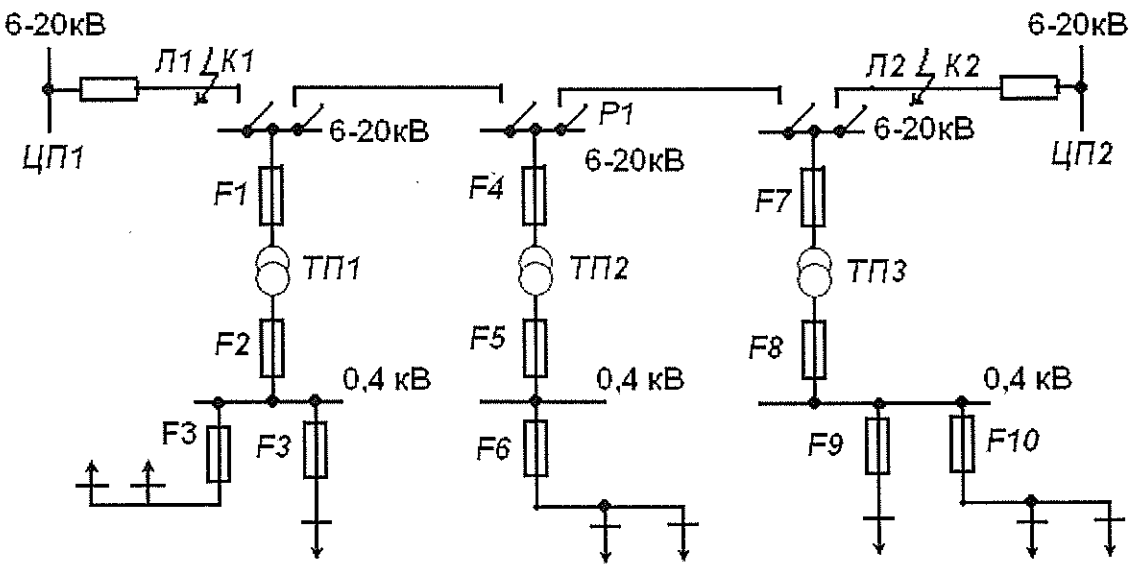


Рис. 1.6.16. Петлевая линия напряжением 6–20 кВ и нерезервируемые линии напряжением 0,4 кВ; ЦП – центр питания

Разъединитель Р1 отключен. При коротком замыкании в точке $К_1$ автоматически отключается выключатель в ЦП1 и: прекращается подача электроэнергии ТП1 и ТП2. После нахождения места повреждения и его локализации (отключения разъединителя распределительного устройства (РУ) 6–20 кВ ТП1) включается разъединитель Р1 и питание ТП1 и ТП2 восстанавливается от ЦП2 до линии Л2. Заметим, что операции разъединителями проводятся при ненагруженных трансформаторах ТП. Аналогичная ситуация характерна и при коротком замыкании на головном участке линии Л2 (точка А3). Здесь для локализации поврежденного участка должен быть отключен выключатель ЦП2 (после чего прекращена подача электроэнергии к ТП3) и разъединитель 6–20 кВ в РУ ТП3. Питание ТП3 восстанавливается по линии Л1 от ЦП1 включением разъединителя Р1.

Таким образом, сечение участков линии Л1, Л2 должно быть рассчитано на пропуск всей мощности ТП, подключенные к петлевой линии. В связи с этим петлевая линия на всем протяжении выполняется одного и того же сечения. Резерв трансформаторной мощности в ТП не предусматривается.

Петлевая линия может работать и в замкнутом режиме (разъединитель Р1 нормально включен). Однако в этом случае при коротком замыкании в какой-либо точке линии, например $К_1$ или $К_2$, должны отключиться выключатели обоих центров питания, т.е. ЦП1 и ЦП2, и на все ТП будет прекращена подача электроэнергии на время поиска и локализации поврежденного участка. При работе петлевой линии в разомкнутом режиме, как покачано выше, погашается при повреждениях на линии лишь часть ТП. Данное обстоятельство имеет решающее значение при выборе режима работы схемы сети.

Схемы электроснабжения потребителей второй категории. Для обеспечения надежного электроснабжения электроприемников II категории схема сети должна иметь резервные элементы, которые вводятся в работу (после повреждения основных элементов) оперативным персоналом. При этом может быть непосредственное резервирование линий напряжением 6–20 кВ, трансформаторов и линий 0,4 кВ, а также взаимное резервирование отдельных элементов сети (трансформаторов через сеть 0,4 кВ, резервирование линий 6–20 кВ и трансформаторов через сеть 0,4 кВ). Поэтому основной принцип построения распределительной сети для электроснабжения приемников II категории состоит в сочетании петлевых линий напряжением 6–20 кВ, обеспечивающих двухстороннее питание каждой ТП, и петлевых линий напряжением 0,4 кВ, присоединяемых к одной или разным ТП для питания: потребителей. Допускается также использование автоматизированных схем (многолучевой, двухлучевой), если их применение увеличивает приведенные затраты городской электрической сети не более чем на 5 %.

Схема, показанная на рис. 1.6.17, предусматривает возможность двухстороннего питания ТП по сети напряжением: 6–20 кВ и вводов 0,4 кВ, присоединенных к петлевым линиям напряжением 0,4 кВ, и предназначена для питания приемников II и Ш категорий.

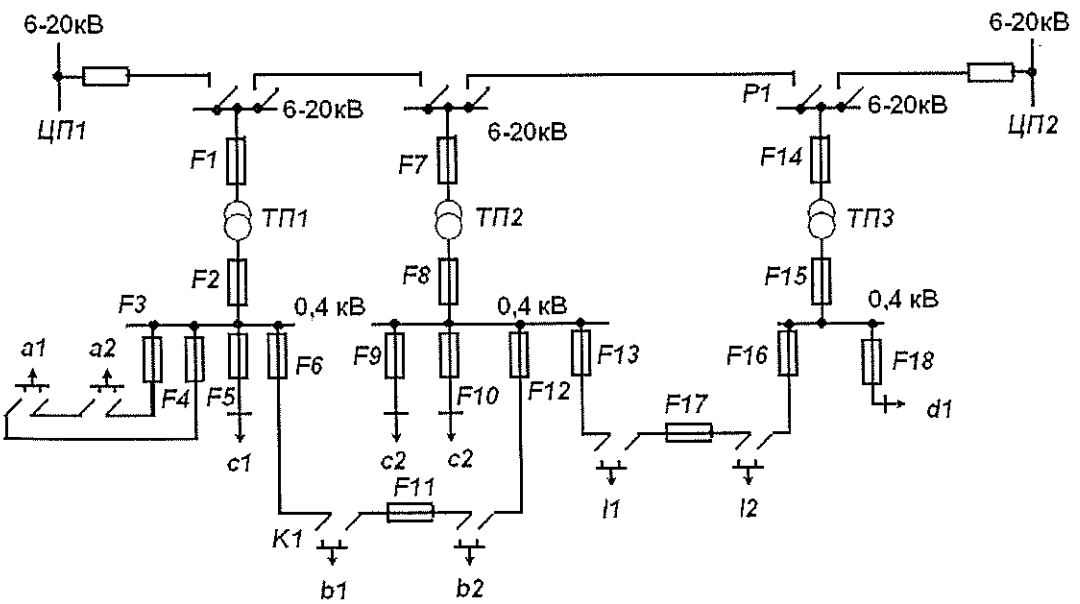


Рис 1.6.17. Схема электроснабжения потребителей II категории (петлевая схема сети напряжением 6–20 кВ и 0,4 кВ)

Мощность трансформаторов ТП выбирается с резервом на случай питания потребителей, подключенных к петлевым линиям 0,4 кВ, отходящим от одной ТП, т.е. мощности

трансформатора должно быть достаточно для обеспечения ограниченного резервирования питания потребителей. Сеть напряжением 0,4 кВ может работать в замкнутом режиме, и, следовательно, трансформаторы ТП окажутся параллельно работающими через сеть напряжением 0,4 кВ. В этом случае питание ТП по линиям 6–20 кВ должно осуществляться от одного источника, а. в цепи 0,4 кВ трансформаторов устанавливают автоматы обратной мощности.

На рис. 1.6.17 петлевые распределительные линии напряжением 0,4 кВ питают приемники II категории (a_1, a_2, b_1, b_2, l_1, l_2, c_2). Приемники III категории (c_1, d_1) питаются по радиальным нерезервированным линиям или отдельным вводам к ним.

Для питания потребителя II категории c_2 предусмотрены два ввода от ТП2, а для потребителей a_1 и a_2 петлевая линия от одного источника (ТП1). Такая схема питания допустима при наличии в городской сети централизованного резерва трансформаторов и возможности замены поврежденного трансформатора в течение суток.

Питание потребителей b_1, b_2 и l_1, l_2 осуществляется от петлевых линий напряжением 0,4 кВ, соединяющих ТП1 и ТП2. а также ТП2 и ТП3.

Петлевые линии напряжением 0,4 кВ содержат специальное распределительное устройство, так называемый соединительный пункт (П1, П2), конструкция которого предусматривает возможность установки предохранителей на подходящих к нему линиях.

В нормальном режиме распределительная сеть напряжением 0,4 кВ в соединительном пункте разомкнута и каждая ТП питает свой район сети. По этим условиям выбираются сечения проводов линий напряжением 6– 20 кВ и 0,4 кВ и мощности трансформаторов ТП. Выбранные параметры проверяются далее в условиях, возникающих при нарушениях нормального режима. Так, сечение линий напряжением 6–20 кВ должно обеспечить пропуск всей мощности ТП, присоединенных к петлевой линии. Аналогичным образом выбирается сечение линий напряжением 0,4 кВ, т.е. сечение проводов должно обеспечить пропуск всей мощности, подключенной к петлевой линии напряжением 0,4 кВ (в нашем примере это мощности потребителей a_1 и a_2, или l_1 и l_2 ,или b_1 и b_2). Сечение вводов к потребителю c_2 принимается по условию питания этого потребителя по одному вводу при аварийном отключении второго.

Мощность трансформаторов в ТП выбирается с учетом поочередного выхода соседних трансформаторов из работы и резервирования электроснабжения потребителей, питающихся только петлевым линиям напряжением 0,4 кВ. Так, при выходе из строя трансформатора ТП2 нагрузка потребителя b_2 должна получить питание от ТП1 после установки предохранителя F 11, а нагрузка потребителя l_1 – от ТП3 после установки предохранителя F 17. При повреждении трансформатора ТП3 нагрузка потребителя l_2 получает питание от ТП2, а нагрузка d_1 отключается на время ремонта или замены поврежденного трансформатора ТП3.

Таким образом, мощность трансформатора ТП1 должна быть определена с учетом необходимости питания потребителя b_2, а мощность трансформатора ТП3 – с учетом необходимости питания потребителя l_1. Мощность трансформатора ТП2 должна определяться с учетом необходимости питания наибольшей из мощностей нагрузок потребителей b_1 и l_2 (см. рис. 1.6.17). Резервная мощность трансформатора определяется конфигурацией сети напряжением 0,4 кВ, и в принципе можно установить в ТП трансформаторы такой мощности, которой было бы достаточно для удовлетворения потребностей всех потребителей отключившихся ТП. Однако в этом случае резко возрастет стоимость сооружения сети.

Если *в* соединительном пункте П1 установить предохранитель, то петлевая линия напряжением 0,4 кВ окажется замкнутой и трансформаторы ТП (если они удовлетворяют условию параллельной работы) будут связаны между собой параллельной работой через сеть напряжением 0,4 кВ. Сеть в таком случае называется *полузамкнутой.* В такой сети минимален уровень потерь энергии улучшается качество подаваемой потребителю энергии, повышается надежность работы сети.

Как видно из рис. 1.6.17, на параллельную работу включаются трансформаторы, связанные только с одной линией напряжением 6–20 кВ. На параллельную работу могут включаться также трансформаторы, питание которых производится от разных распределительных линий напряжением 6–20 кВ, отходящих только от одного источника (рис 1.6.18), Во избежание подпитки точки короткого замыкания в сети напряжением 6–20 кВ через сеть напряжением 0,4 кВ от параллельно работающего трансформатора в цепях 0,33 кВ трансформаторов должны устанавливаться автоматы обратной мощности.

При работе сети напряжением 0,4 кВ в замкнутом режиме в соединительных пунктах устанавливаются предохранители с номинальным током на две-три ступени меньше, чем на головных участках петлевой линии 0,4 кВ и ТП, При повреждении участка петлевой линии 0,4 кВ, например в точке $К_1$ (см. рис. 1.6.17), перегорает предохранитель П1 и предохранитель на головном участке этой линии в ТП1. Потребитель b_2 при этом продолжает получать питание от ТП2. Нахождение места и определение характера повреждений, а также необходимые переключения в сети производятся обслуживающим персоналом.

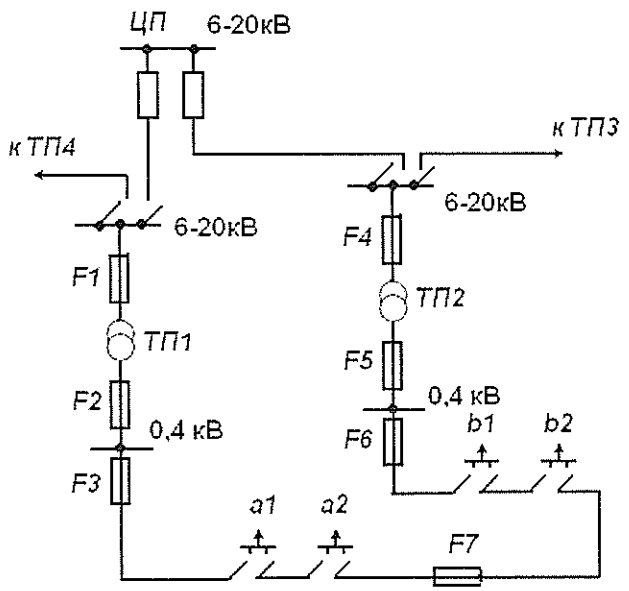


Рис. 1.6.18. Петлевая схема сети напряжением 6–20 кВ и 0,4 кВ

При отсутствии в замкнутой сети напряжением 0,4 кВ предохранителя П1 и повреждении а точке $К_1$ должны перегореть предохранители на головных участках петлевой линии в ТП1 и ТП2, в результате чего прекращается подача электроэнергии потребителям.

В схеме, приведенной на рис. 1.6.17, выпадение любого элемента сети связано с нарушением электроснабжения отдельных потребителей. При повреждении, например, на головном участке линии напряжением 6–20 кВ от ЦП1 эта линия вместе с ТП1 и ТП2 отключается релейной защитой со стороны ЦП1. Одновременно перегорает предохранитель П1. В результате нарушается электроснабжение потребителей, питаемых от ТП1 и ТП2. После выявления и локализации поврежденного участка включается разъединитель Р1 и петлевая линия получает питание от ЦП2; тем самым восстанавливается электроснабжение ТП1 и ТП2. При повреждении трансформатора в любой из ТП перегорают предохранители со стороны 6–20 кВ и предохранители соединительных пунктов, В результате нарушается электроснабжение потребителей, питаемых от ТП.

Заметим, что местонахождение нормального размыкания петлевой линии 6–20 кВ (разъединителем Р1) выявляется в результате расчета на основе минимума потерь мощности или энергии в схеме сети.

Отметим особенности построения замкнутых сетей напряжением 0,4 кВ, получивших широкое распространение за рубежом. Наличие замкнутой сети напряжением 0,4 кВ обес-

печивает параллельную работу всех трансформаторов сети. Распределительная сеть 6–20 кВ должна при этом выполняться радиальными линиями одностороннего питания. Резервирование отдельных элементов сети при их повреждении производится автоматически через замкнутую сеть 0,4 кВ, При этом обеспечивается бесперебойное питание потребителей при повреждении линий 6–20 кВ и трансформаторов, а также линий 0,4 кВ в зависимости от принятого способа их защиты (рис. 1.6.19).

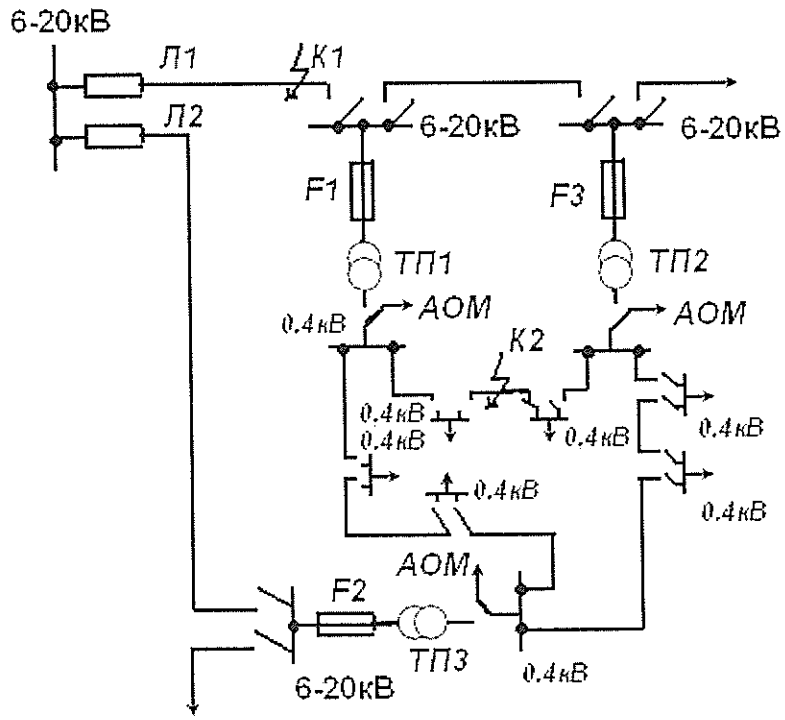


Рис. 1.6.19. Замкнутая сеть напряжением 0,4 кВ без применения защиты

Как было показано, при защите замкнутых линий 0,4 кВ плавкими предохранителями происходит отключение потребителей в случае повреждения самих линий. Если бы защита сети базировалась на принципе самоликвидации места повреждения за счет выгорания кабеля и запекания его изоляции с обеих сторон, как это имело место в первых глухо замкнутых сетях США, то бесперебойность электроснабжения потребителей нарушалась бы только в случае повреждений: на вводах 0,4 кВ к ним. Указанный принцип защиты оказался наиболее приемлемый для сетей с одножильными кабелями с искусственной изоляцией, прокладываемыми в блоках. В сетях е четырехжильными кабелями с бумажно-масляной изоляцией, используемыми в нашей стране, применение подобного принципа вызывает затруднения.

Самоликвидация места повреждения происходит за счет того, что дуга, возникающая в месте короткого замыкания, через несколько периодов гаснет сама собой вследствие образования большого количества неионизированных газов, выделяющихся при горении изоляции кабеля и низкого напряжения сети, не способного поддерживать дугу. Надежное гашение дуги происходит при напряжении 0,4 кВ и токе через дугу 2,5–18 А. В месте повреждения кабель выгорает, концы его оказываются заизолированными спекшейся массой из изоляции кабеля. Однако с увеличением мощности короткого замыкания и ухудшением условий выгорания кабеля в сетях США стали применяться ограничители (грубые предохранители), локализующие поврежденный участок при затяжном процессе гашения дуги в месте повреждения кабеля.

В отличие от петлевой схемы выбор параметров отдельных элементов сети производится по условию питания всех ее потребителей в нормальном и послеаварийном режимах, возникающих в сети при повреждениях ее элементов. Сечение линий напряжением 0,4 кВ

и мощность трансформаторов должны определяться с учетом потокораспределения в замкнутой сети и проверяться по условиям послеаварийного режима при выходе из работы одной да распределительных линий 6–20 кВ вместе с трансформаторами. При этом пропускная способность линий и мощность оставшихся в работе трансформаторов должны быть достаточными для обеспечения работы всех потребителей сети без ограничения их мощности на время послеаварийного режима. Сечение линий напряжением 6–20 кВ также должно определяться с учетом выхода из работы других линий 6–20 кВ.

Сеть напряжением 0,4 кВ, показанная на рис. 1.6.20, выполнена замкнутой без применения защиты. Сеть напряжением 6–20 кВ состоит из отдельных распределительных линий Л1 и Л2. На стороне 0,4 кВ трансформаторов устанавливаются автоматы обратной мощности (АОМ), отключающиеся при повреждениях в сети 6–20 кВ (линии или трансформаторов) и подпитке места повреждения $К_1$ от неповрежденной линии Л2 через трансформатор ТП3 и замкнутую сеть напряжением 0,4 кВ. Отключение автомата производится только при изменении направления потока энергии на обратное.

При повреждении распределительной линии напряжением 6–20 кВ в точке $К_1$ линия Л1 отключается со стороны ЦП. Трансформаторы ТШ и ТШ, связанные с данной линией, отключаются от сети напряжением 0,4 кВ автоматами обратной мощности, установленными в ТП на напряжении 0,4 кВ, Мести повреждения таким образом локализуется, а питание потребителей 0,4 кВ осуществляется от Л2 и ТП3.

При повреждении в точке $К_2$ сети напряжением 0,4 кВ, место повреждения должно самоликвидироваться за счет выгорания кабеля, и электроснабжение может быть нарушено лишь при повреждениях на вводах к потребителю.

Так как использование явления самовыгорания четырехжильного кабеля с изоляцией с вязкой пропиткой встретило значительные затруднения, для защиты сети стали применять автоматы обратной мощности с селективными предохранителями, которые устанавливаются на всех линиях 0,4 кВ. При повреждении линии 0,4 кВ перегорают предохранители, установленные на ее концах, и электроснабжение потребителей, подключенных к данной линии, нарушается. Поскольку объем отключений потребителей небольшой, то сочетание автоматов обратной мощности, с предохранителями при наличии замкнутой сети напряжением 0,4 кВ наиболее распространено в городах Европы.

Замкнутые сети напряжением 0,4 кВ применяются у нас в стране и за рубежом с питанием от одного источника. Это позволяет использовать простейшее устройство автомата обратной мощности. При питании замкнутой сети от разных источников и кратковременном снижении напряжения на шинах одного из ЦП происходит изменение направления потока мощности через автоматы обратной мощности. Последние отключаются, следовательно, отключаются все ТП, связанные с этим источником. Автоматы обратной мощности в этой случае должны быть оборудованы устройствами автоматического повторного включения, работающими в зависимости от уровня напряжения на вторичной стороне трансформаторов. При восстановлении напряжения отключенные автоматы обратной мощности автоматически включаются и схема замкнутой сети восстанавливается. Устройство автоматического повторного включения значительно усложняет автоматы обратной мощности, так как необходимы автоматический привод для воздушного выключения и специальное реле напряжений. Поэтому схемы замкнутой сети с питанием от разных источников распространения не получили.

Замкнутая сеть напряжением 0,4 кВ обеспечивает более надежное электроснабжение потребителей, пониженные потери электроэнергии в сети и лучшее качество напряжения у потребителей. Поскольку питание такой сети осуществляется от одного источника, она может быть использована лишь для электроснабжения потребителей II категории.

На основе замкнутой схемы сети напряжением 0,4 кВ была разработана ее модификация, предусматривающая дополнительную установку устройств автоматического ввода резерва (АВР) в сети напряжением 6–20 кВ, пусковым органом которых служат автоматы обратной мощности. При этом сеть 0,4 кВ защищается предохранителями.

Схемы электроснабжения потребителей первой категории. Основной схемой распределительной сети для электроприемников I категории должна быть двухлучевая схема с двухсторонним питанием с АВР на напряжении 0,38 кВ двухтрансформаторных ТП при условии подключения взаимно резервируемых линий 6–20 кВ к разным независимым источникам питания и устройства АВР непосредственно на вводе 0,4 кВ электроприемника (рис. 1.6.20). В схеме, приведенной на рисунке, в каждой ТП устанавливаются по два трансформатора, которые питаются по самостоятельным линиям напряжением 6–20 кВ, отходящим от не зависящих друг от друга ЦП и присоединяемым к самостоятельным секциям сборных шин ТП. Устройство АВР осуществляется на напряжении 0,4 кВ с помощью контакторных станций. Независимые вводы к электроприемнику I категории выполняются от обоих трансформаторов. Схема электроснабжения (см. рис. 1.6.20) имеет дублирование всех элементов (линий 6–20 кВ, трансформаторов и вводов 0,4 кВ к электроприемнику). В нормальном режиме каждый трансформатор через нормально включенный контактор основного питания КО1 или КО2 питает свою 1руппу потребителей.

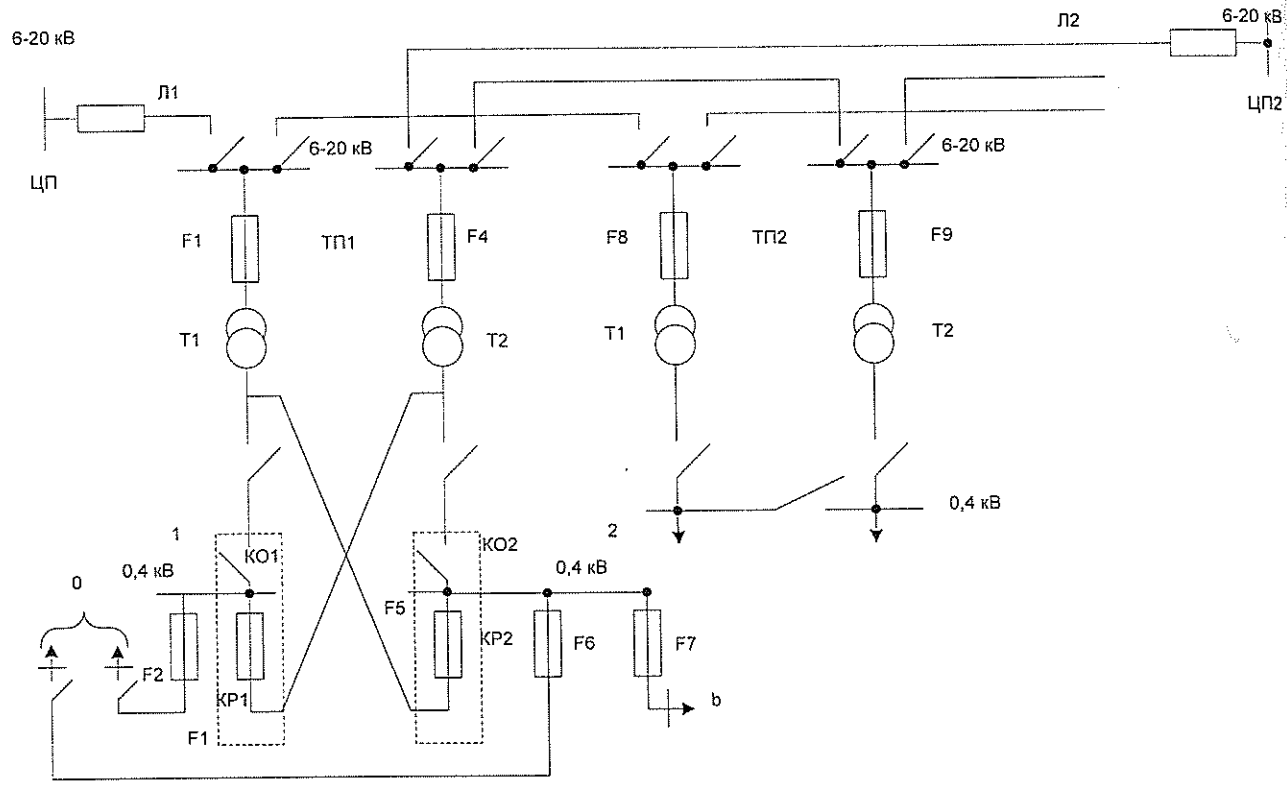


Рис. 1.6.20. Двулучевая схема сети с АВР на напряжение 0,4 кВ

При повреждении любой из линий 6–20 кВ (Л1 или Л2) либо связанного с ней трансформатора (Т1 или Т2) напряжение на соответствующей секции шин 0,4 кВ исчезает, контактор основного питания КО1 или КО2 отключается, после чего включается контактор резервного литания КР1 или КР2. В результате нагрузка отключившегося трансформатора автоматически переключается на оставшийся в работе второй трансформатор.

Например, при повреждении линии Л2 или трансформатора Т2 ТП1 напряжение на секции II шин 0,4 кВ исчезает, нормально включенный контактор основного питания КО2 отключается, после чего включается контактор резервного питания КР2. В результате питание секции *II* шин 0,4 кВ переводится на трансформатор Т1. Аналогично при повреждении линии Л1 или трансформатора Т1 питание секции 1 шин 0,4 кВ переводится на трансформатор Т2. Время работы контакторной станции – до 0,1 с.

Схема, приведенная на рис. 1.6.20, по существу представляет собой две не связанные между собой системы электроснабжения. Устройство АВР 0,4 кВ в ТП позволяет обеспе-

чить питание всех потребителей (a и b), присоединенных к данной ТП, в случае повреждения трансформаторов и линий 6–20 кВ.

После восстановления питания ТП со стороны основного источника контакторные станции управления возвращаются в исходное положение, т.е. происходит так называемое самовосстановление схемы сети. Это обстоятельство используется при управлении режимом работы распределительных сетей в период суточного или сезонного снижения нагрузки, когда можно отключить незагруженные трансформаторы. Здесь отключаются соответствующие линии 6–20 кВ в ЦП. Вместе с линиями 6–20 кВ обесточиваются и присоединенные к ним трансформаторы. Нагрузки ТП с помощью контакторных станций в таких режимах будут переводиться на вторые трансформаторы в каждом ТП. При включении линии со стороны источника питания схема в ТП будет самовосстанавливаться за счет работы контакторных станций.

Для снижения стоимости сети подключают трансформаторы к распределительным линиям с помощью отпаек и применяют шины 0,4 кВ каждого трансформатора с двумя секциями, к одной из которых подключаются потребители I категории, а к другой – II или III категории (рис. 1.6.21). При выходе из работы линии 6–20 кВ или трансформатора питание секций I и II переключается на оставшийся в работе трансформатор, а секция III или IV отключается, следовательно, отключаются потребители II и III категорий (b и c).

В этом случае мощность трансформаторов выбирается из их нагрузки в нормальном режиме, т.е. резерв трансформаторной мощности, не закладывается. В схеме, показанной на рис. 1.6.20. нагрузка нормального режима должна составить не более 90% номинальной мощности трансформаторов. Электроснабжение электроприемников небольшой мощности на напряжении 0,4 кВ может быть осуществлено от двух соседних ТП, питающихся от разных ЦП, с помощью вводов 0,4 кВ от указанных ТП с установкой контактор ной станции непосредственно у потребителя (рис. 1.6.22). Основное питание осуществляется от ТП1 через нормально включенный основной контактор КО. При повреждении линии 6–20 кВ или трансформатора ТП1 контактор КО отключается, а КР включается. В результате питание электроприемника происходит от ТП2.

Внутренние сети напряжением 0,4 кВ коммунально-бытовых потребителей, конструируемые по радиальной схеме (рис. 1.6.23), включают вводно-распределительное устройство, выполненное в виде одной или двух-трех специальных панелей, питающие (от вводного устройства до силовых или групповых щитов) и распределительные (от силовых или групповых щитов до электроприемников) сети. Для силовых установок (лифты, вентиляторы, пожарные насосы) и приемников освещения предусматриваются самостоятельные сети. Вводно-распределительное устройство оснащается коммутационной аппаратурой (автоматы, или рубильники) и предохранителями, а также устройством для подавления радиопомех и в отдельных случаях устройством автоматического управления освещением лестниц. Вертикальные участки линий 0,4 кВ между этажами здания называются *стояками*. Питание жилого дома (см. рис. 1.6.23) осуществляется по двум вводам Л1 и Л2, подключаемым к вводно-распределительному устройству 1. Взаимное резервирование вводов выполняется с помощью переключателя 2. Питание приемников I категории предусматривается непосредственно от вводов Л1 и Л2, взаимное резервирование которых обеспечивается контакторной станцией 4. При исчезновении напряжений контактор основного питания КО отключается, и включается контактор резервного питания КР. Силовая нагрузка питается по отдельной линии от ввода Л2. Осветительная нагрузка питается от ввода. Л1. К междуэтажному квартирному стояку на этаже присоединяются этажные и квартирные щитки 3.

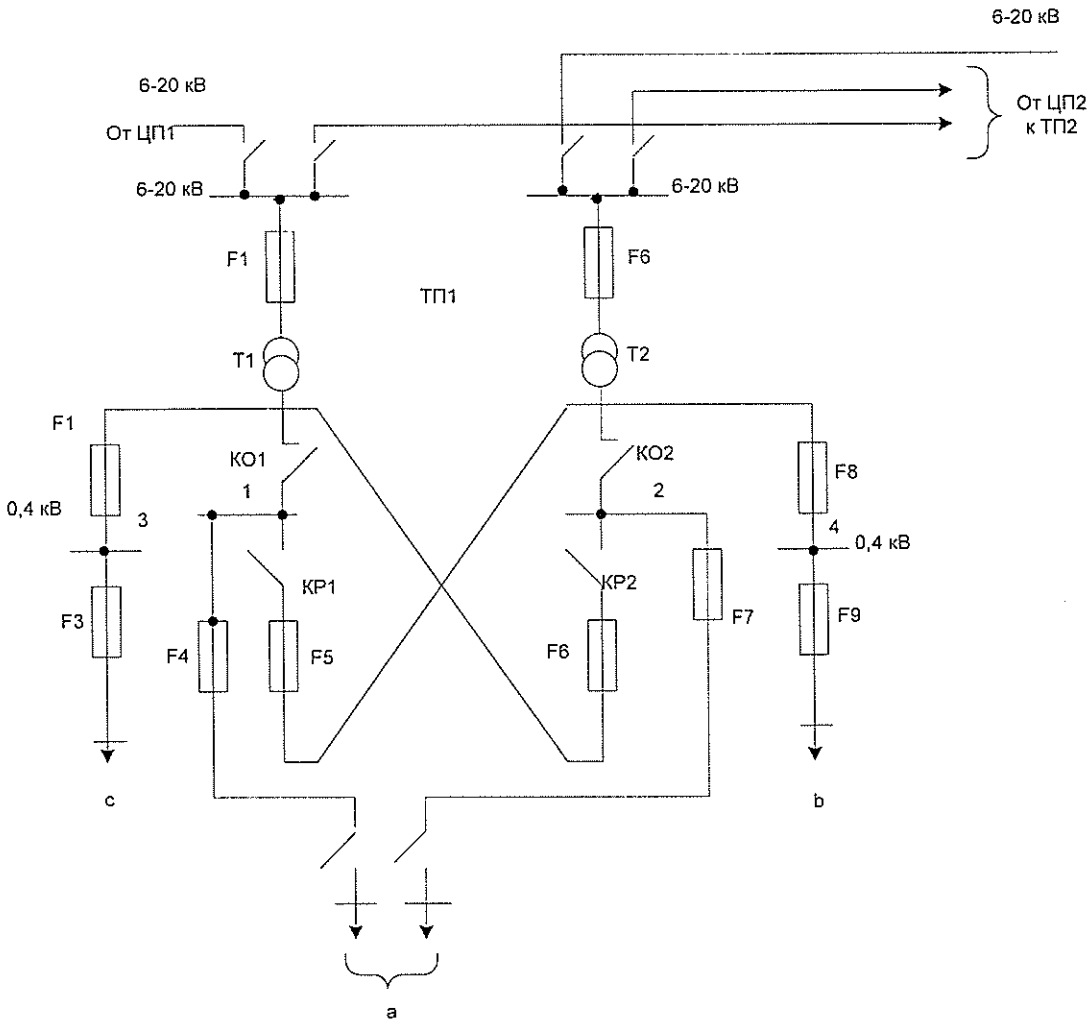


Рис. 1.6.21. Двухлучевая схема сети с АВР на напряжении 0,4 кВ при частичном резервировании потребителей

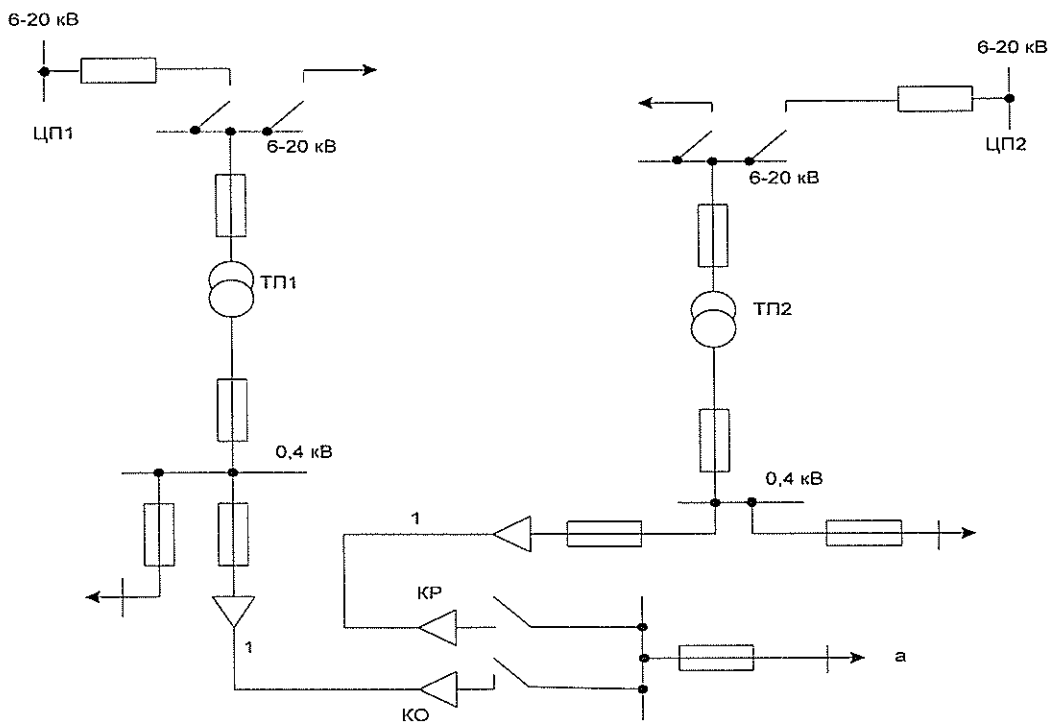


Рис. 1.6.22. Схема электроснабжения электроприемников I категории небольшой мощности (а – потребитель I категории; I – кабельные линии напряжением 0,4 кВ)

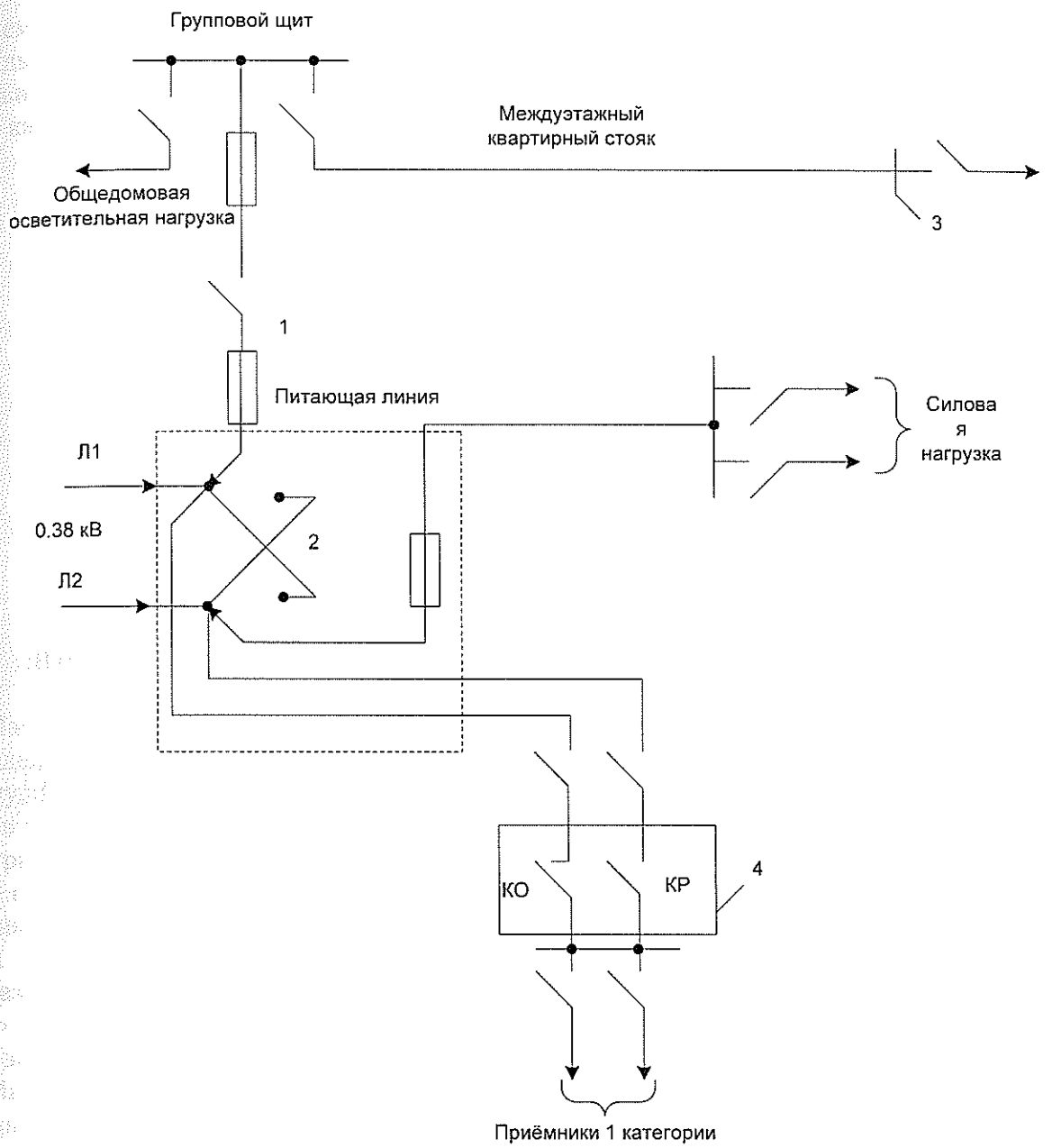


Рис. 1.6.23. Основные элементы внутренней сети напряжением 0,4 кВ жилого дома

Схемы межцеховых и внутрицеховых сетей напряжением до 1000 В. Питание приемников электроэнергии в цехах промышленных предприятий осуществляется цеховыми электрическими сетями напряжением до 1000 В, источниками питания которых служат цеховые трансформаторы. Схемы сетей выбирают в зависимости от мощности отдельных приемников, их количества, размещения на территории цеха, требуемой степени надежности.

Цеховые электрические сети выполняются радиальными и магистральными (рис. 1.6.24–1.6.26). Линии, отходящие от шин напряжением 0,4–0,66 кВ цеховых трансформаторов к цеховым распределительным пунктам, называются *питающими*. Линии от цеховых распределительных пунктов к приемникам электроэнергии называются *распределительными*.

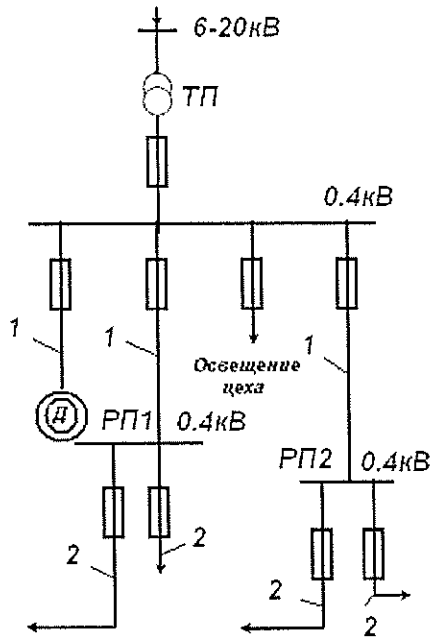


Рис.1.6.24. Радиальная схема питающей цеховой сети напряжением до 1000 В:
1 – питающие линии; 2 – распределительные линии

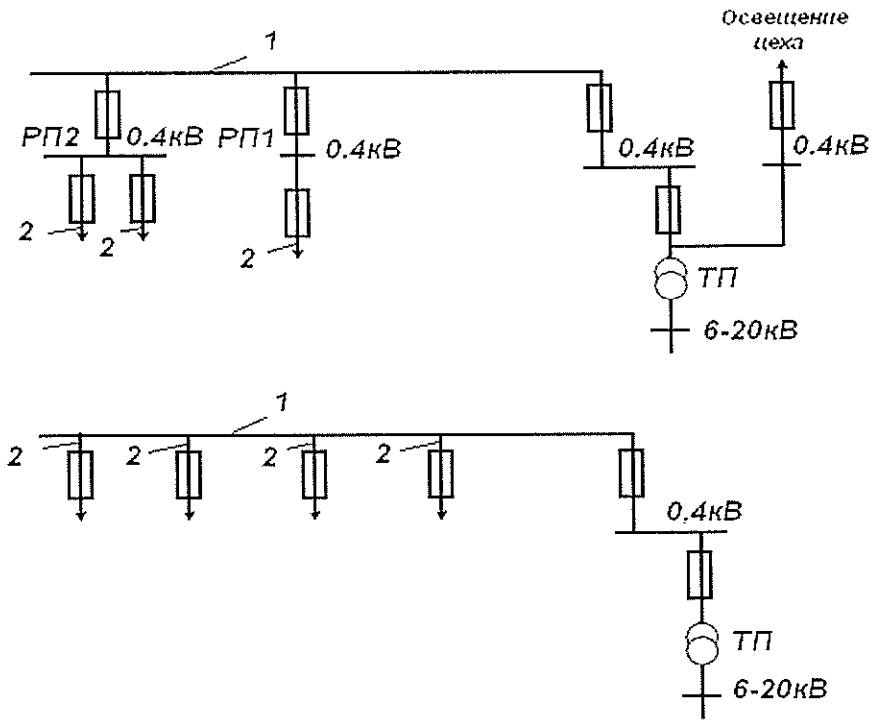


Рис. 1.6.25. Магистральная схема питающей цеховой сети напряжением до 1000 В
с сосредоточенными нагрузками: 1 – магистральная питающая линия; 2 – распределительные линии с равномерно распределительной нагрузкой

В радиальных схемах (рис. 1.6.24) от источника питания отходят линии, питающие мощные электроприемники (двигатели Д) или групповые РП, от которых в свою очередь отходит распределительные линии, питающие электроприемники малой мощности. Радиальная схема обеспечивает высокую надежность питания (при повреждении питающей линии прекращается подача электроэнергии отдельному приемнику или ограниченной груп-

ле приемников), гибкость сети в отношении расширения (для новых групп приемников прокладываются самостоятельные питающие линии), возможность автоматизации. Однако радиальные схемы требуют больших затрат на. установку распределительных щитов, прокладку кабеля и проводов.

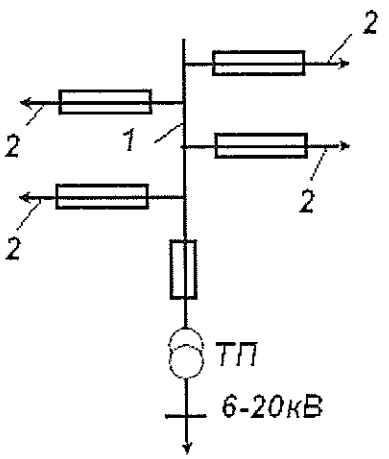


Рис. 1.6.26. Схема блока «трансформатор-магистраль»:
1 – питающая магистраль; 2 – распределительная магистраль

Магистральная схема питания (рис. 1.6.25) применяется в основном для равномерно распределенной нагрузки в цехах, когда приемники расположены достаточно близко друг к другу. При такой схеме питания удобно производить перегруппировку механизмов, станков без переделок, сети и без перерыва энергоснабжения (в случае выполнения сети магистральными и распределительными шинопроводами). Распределительная сеть выполняется по радиальной схеме, что дает возможность оперативно заменять или переносить приемники электроэнергии, не оказывая влияния на общецеховую систему электроснабжения.

Разновидностью магистральной схемы служит схема блока «трансформатор-магистраль» (рис. 1.6.26), обеспечивающая универсальность цеховой сети, высокую надежность, экономию материалов и аппаратуры, простую конструкцию стороны 0,4 кВ ТП.

Магистральные схемы отличаются относительно небольшими первоначальными капитальными затратами на сооружение сети, возможностью сооружения сети без распределительных щитов или со щитами на малое количество присоединений. Однако при повреждении магистрали прекращается электроснабжение многих потребителей.

Учитывая особенности радиальных и магистральных сетей, обычно применяют смешанные схемы в зависимости от характера производства, условий окружающей среды и т.п. Например, при системе блока «трансформатор-магистраль» электроснабжение осуществляется магистральным шинопроводом, к которому присоединяются распределительные штепсельные шинопроводы, а от них по радиальным линиям питаются все электроприемники цеха.

Осветительные нагрузки цехов при радиальных схемах силовой сети питаются отдельными линиями от щитов ТП. При магистральных схемах осветительные нагрузки питаются от головных участков магистралей.

В крупных цехах от щита подстанции до распрёделительного щита, установленного в цехе, может прокладываться самостоятельная осветительная сеть, которая называется питающей. От распределительных щитов питаются групповые щитки, в небольших цехах распределительные щиты могут не устанавливаться, а питающая сеть от источника питания подводится непосредственно к групповым щиткам.

Резервирование в цеховых сетях применяют только для приемников 1 категории. Схемы резервирования предусматривают подвод питания от разных ТП или от двух

трансформаторов одной ТП. Нормально и работе должны быть все питающие линии. При подводе питания к сети цеха от нескольких блоков «трансформатор-магистраль» между шинными магистралями в местах их сближения выполняют нормально разомкнутые перемычки с пропускной способностью 40–70 % мощности трансформатора. Перемычки обеспечивают частичное резервирование и позволяют в часы малых нагрузок питать сеть от одной подстанции, отключив остальные.

Здесь же указываются мероприятия по резервированию электроэнергии, к ним будет относиться применение АВР, блоков автоматического переключения, агрегатов бесперебойного питания, систем гарантированного электропитания. К указанным мероприятиям будет относиться резервирование с помощью дизельной электрической станции, газогенератора, газовой турбины и т.д.

В данном подразделе указываются и требования к показателям качества электрической энергии.

Основные требования, предъявляемые к качеству электроэнергии. От качества электроэнергии в значительной мере зависят условия работы её потребителей и при соблюдении соответствующих норм КЭ обеспечивается электромагнитная совместимость СЭС и потребителей. В противном случае потребителям может быть нанесен ущерб, непосредственно связанный с каким-либо свойством электроэнергии, табл. 1.6.4 представлены виды ущерба потребителям ЭЭ из-за несоответствия показателей КЭ нормированным ГОСТом 13109–97.

Таблица 1.6.4

Виды ущерба потребителям из-за несоответствия показателей КЭ нормированным

Свойства электроэнергии	Вид ущерба
Отклонение частоты	Недовыпуск и брак продукции
Отклонение напряжения	Недовыпуск и брак продукции, сокращение срока службы электрооборудования, дополнительные потери мощности и энергии
Провал напряжения	Сбой работы электронного оборудования, брак продукции, угроза безопасности жизни человека
Импульс напряжения	Выход из строя оборудования, угроза безопасности жизни, здоровья человека
Временное перенапряжение	Выход из строя оборудования
Несимметрия трехфазной системы напряжения: в 4– проводной сети; в 3– проводной сети	Дополнительные потери мощности и энергии, невозможность использования оборудования. Дополнительные потери мощности и энергии, сокращение срока службы и выход из строя оборудования
Несимметрия трехфазной системы напряжения: в 4– проводной сети; в 3– проводной сети	Дополнительные потери мощности и энергии, невозможность использования оборудования. Дополнительные потери мощности и энергии, сокращение срока службы и выход из строя оборудования
Несинусоидальность напряжения	Дополнительные потери мощности и энергии, сокращение срока службы электрооборудования, сбой работы и выход из строя оборудования
Колебания напряжения	Неблагоприятное воздействие на зрение человека, сбой работы и выход из строя оборудования

В электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трёхфазного и однофазного тока частотой 50 Гц установлены следующие одиннадцать показателей КЭ:

установившееся отклонение напряжения δU_y;

размах изменения напряжения δU_t;

доза фликера (доза колебаний напряжения) P_t;

коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U;

коэффициент n – й гармонической составляющей $K_{U(n)}$;

коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U};

коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U};

отклонение частоты Δf;

длительность провала напряжения Δt_n;

импульсное напряжение $U_{имп}$;

коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$

Отдельные свойства электроэнергии и характеризующие их показатели КЭ приведены в табл. 1.6.5.

Таблица 1.6.5

Свойства электрической энергии и показатели КЭ

№ п/п	Свойства электрической энергии	Показатель КЭ
1	Отклонение напряжения	Установившееся отклонение напряжения
2	Колебания напряжения	Размах изменения напряжения. Доза фликера
3	Несинусоидальность напряжения	Коэффициент искажения несинусоидальности кривой напряжения. Коэффициент n – й гармонической составляющей напряжения
4	Несимметрия трёхфазной системы напряжения	Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности. Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности
5	Отклонение частоты	Отклонение частоты
6	Провал напряжения	Длительность провала напряжения
7	Импульс напряжения	Импульсное напряжение
8	Временное перенапряжение	Коэффициент временного перенапряжения

Причинами ухудшения качества электроэнергии, оцениваемого приведёнными в табл. 1.6.5 показателями, являются как электроэнергетические системы (энергоснабжающие организации), так и приёмники электроэнергии, обладающие неблагоприятными характеристиками. К таким приёмникам относятся вентильные преобразователи (ртутные и полупроводниковые), электротермические установки, газоразрядные лампы и другие элементы, вольт-амперная характеристика которых нелинейная, а также потребители с несимметричной фазной нагрузкой трёхфазной сети и с переменной нагрузкой.

К числу показателей КЭ, обусловленных режимами работы электроэнергетической системы, относятся показатели 1, 5 ... 8 (табл. 1.6.5), а остальные 2, 3, 4 (табл. 1.6.6) зависят от характеристик приёмников электроэнергии, подключаемых к СЭС.

При определении значений некоторых показателей КЭ используются шесть вспомогательных параметров:

частота повторения изменений напряжения $F_{\delta Ut}$;

интервал между изменениями напряжения $\Delta t_{i,i+1}$;

глубина провала напряжения δU_n;

частота появления провалов напряжения F_n;

длительность импульса по уровню 0,5 его амплитуды $\Delta t_{имп0,5}$;

длительность временного перенапряжения $\Delta t_{имп0.5}$;

Рассмотрим *нормы качества* ЭЭ. Нормы КЭ, установленные в рассматриваемом стандарте, являются уровнями электромагнитной совместимости для кондуктивных электромагнитных помех, т.е. помех, распространяющихся по элементам электрической сети СЭС общего назначения. При соблюдении норм КЭ обеспечивается электромагнитная совместимость электрической сети СЭС и сети потребителей.

Установлено два вида норм КЭ: нормально допустимые и предельно допустимые. Оценка соответствия показателей КЭ сети нормам проводится в течении минимального периода, равного 24 ч. Рекомендуемая общая продолжительность измерений показателей КЭ составляет 7 суток с учетом обязательного включения характерных рабочих и выходных дней.

Нормы КЭ приведены в табл. 1.6.6, в которой даны ссылки на соответствующие приложения ГОСТа 13109–97, устанавливающие нормы КЭ для таких сложных показателей КЭ, как размах изменения напряжения, доза фликера, импульсы напряжения (грозовые, коммутационные) и др.

Требования приведенного ГОСТа распространяются на системы электроснабжения общего назначения, к которым можно отнести системы внешнего и внутреннего электроснабжения.

Таблица 1.6.6

Нормы КЭ для отдельных показателей КЭ

№ п/п	Показатель КЭ, един. изм.	Нормы КЭ	
		Нормально допустимые	Предельно допустимые
1	Установившееся отклонения напряжения δU_y,%	5	10
2	Размах изменения напряжения δU_t,%	ГОСТ 13109–97 п.п. 5.31...5.3.4	
3	Доза фликера, отн. ед.: кратковременная P_{st} длительная P_{Lt}		1,38; 1,0 1,0; 0,74
4	Коэффициент искажения синусоидальности напряжения K_U,%: для сети 0,38 кВ для сети 6,10 кВ для сети 35 кВ для сети 110 кВ	8,0 5,0 4,0 2,0	12,0 8,0 6,0 3,0
5	Коэффициент n-й гармонической составляющей $K_{U(n)}$: для гармоник не кратных трём для гармоник кратных трём для четных гармоник	6 ... 0.2 5 ... 0.2 2 ... 0.2	В 1,5 раза больше
6	Коэффициент несимметрии по обратной последовательности K_{2U}	2	4
8	Отклонение частоты, Гц	+0,2	±0,4

Продолжение табл. 1.6.6

№ п/п	Показатель КЭ, един. изм.	Нормы КЭ	4
		Нормально допустимые	Предельно допустимые
9	Длительность провала напряжения Δt_n,с (12 провалов в году)	ГОСТ 13109–97, приложение Д	
10	Импульсное напряжение $U_{имп}$, кВ (грозовое, коммутационное)	ГОСТ 13109–97, приложение Д	
11	Коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$, отн. Ед. (до 30 перенапряжений в году)	ГОСТ 13109–97, приложение Д	

Обеспечение электроснабжения электроприемников в рабочем и аварийном режимах. Описание решений по обеспечению необходимо выполнять отдельно для потребителей 1, 2 и 3 категории. Для потребителей 1 категории особой представить схемы для рабочего и аварийных режимов.

Характеристика электроприемников и расчет электрических нагрузок. В подразделе указывается количество электроприемников их краткая характеристика: тип, назначение, электрическая мощность и другие. Допускается сводить данные рассматриваемого раздела в таблицу, при этом электрические нагрузки рассчитываются по каждому вводу, по щитам и щиткам и по объекту в целом. В табл. 1.6.7 приведен пример таблицы расчета электрических нагрузок.

Таблица 1.6.7

Пример представления расчетов электрических нагрузок объекта

№п/п	Наименование электроприемников	Установленная мощность групп Руст.гр., Квт	Коэффициент спроса, Кс	Коэффициент мощности cosφ	φ, рад.	tgφ	Расчетная мощность			Расчётный ток, Iрасч, А
							Активная Рр, кВт	Реактивная, Qр, кВАр	Полная Sр, кВА	
	ЩС 26–1									
1.	Гильетина	0,50	0,30	0,87	0,52	0,57	0,15	0,09	0,17	
2.	Ножовка	1,00	0,30	0,85	0,55	0,62	0,30	0,19	0,35	
3.	пила Гиллера	1,00	0,30	0,85	0,55	0,62	0,30	0,19	0,35	
4.	Вальце-испытательный стенд	2,00	0,20	0,92	0,40	0,43	0,40	0,17	0,43	
5.	электродвигатель	0,80	0,50	0,85	0,55	0,62	0,40	0,25	0,47	
6.	**итого ЩС 26–1**	**5,30**	**0,29**	**0,87**	**0,51**	**0,56**	**1,55**	**0,88**	**1,78**	
	ЩС 26–2									
7.	Сварочный аппарат	12,00	0,30	0,65	0,86	1,17	3,60	4,21	5,54	
8.	Молот, гибочный станок	0,80	0,30	0,85	0,55	0,62	0,24	0,15	0,28	
9.	Розетка	0,60	0,80	0,95	0,32	0,33	0,48	0,16	0,51	
10.	Тедьфер	0,40	0,50	0,85	0,55	0,62	0,20	0,12	0,24	
11.	Вентиляция	0,25	0,80	0,85	0,55	0,62	0,20	0,12	0,24	
12.	Вентиляция сварочного участка	0,35	0,30	0,85	0,55	0,62	0,11	0,07	0,12	
13.	Вентиляция	0,25	0,80	0,85	0,55	0,62	0,20	0,12	0,24	
14.	Муфельная печь	13,00	0,50	0,98	0,20	0,20	6,50	1,32	6,63	
15.	Аргонная сварка	15,00	0,20	0,91	0,43	0,46	3,00	1,37	3,30	
16.	**итого ЩС 26–2**	**42,65**	**0,34**	**0,89**	**0,48**	**0,53**	**14,53**	**7,64**	**16,41**	

Продолжение табл. 1.6.7

№п/п	Наименование электроприемников	Установленная мощность групп Руст.гр., Квт	Коэффициент спроса, Кс	Коэффициент мощности cosφ	φ, рад.	tgφ	Расчетная мощность			Расчётный ток, Iрасч, А
							Активная Рр, кВт	Реактивная, Qр, кВАр	Полная Sр, кВА	
	ЩС 26–2–1									
17.	Токарный станок	2,50	0,30	0,88	0,49	0,54	0,75	0,40	0,85	
18.	Фрезерный станок	2,10	0,30	0,88	0,49	0,54	0,63	0,34	0,72	
19.	Зуборезный станок	1,70	0,30	0,88	0,49	0,54	0,51	0,28	0,58	
20.	Зуборезный станок	2,70	0,30	0,88	0,49	0,54	0,81	0,44	0,92	
21.	**итого ЩС 26–2–1**	**9,00**	**0,30**	**0,88**	**0,49**	**0,54**	**2,70**	**1,46**	**3,07**	
	ЩС 26–2–2									
22.	Токарный станок	2,30	0,30	0,88	0,49	0,54	0,69	0,37	0,78	
23.	Токарный станок	2,30	0,30	0,88	0,49	0,54	0,69	0,37	0,78	
24.	Токарный станок	0,70	0,30	0,88	0,49	0,54	0,21	0,11	0,24	
25.	**итого ЩС 26–2–2**	**5,30**	**0,30**	**0,88**	**0,49**	**0,54**	**1,59**	**0,86**	**1,81**	
	ЩС 26–2–3									
26.	Розетка 380 В	0,60	0,80	0,95	0,32	0,33	0,48	0,16	0,51	
27.	Точильный станок	0,40	0,30	0,88	0,49	0,54	0,12	0,06	0,14	
28.	Расточной станок	0,40	0,30	0,88	0,49	0,54	0,12	0,06	0,14	
29.	Кран-балка	1,00	0,50	0,88	0,49	0,54	0,50	0,27	0,57	
30.	Токарный станок	0,70	0,30	0,88	0,49	0,54	0,21	0,11	0,24	
31.	**итого ЩС 26–2–3**	**3,10**	**0,46**	**0,91**	**0,44**	**0,47**	**1,43**	**0,67**	**1,58**	
	ЩС 26–2–4									
32.	Токарный станок	2,00	0,30	0,88	0,49	0,54	0,60	0,32	0,68	
33.	Электроплиты	1,00	0,50	0,98	0,20	0,20	0,50	0,10	0,51	
34.	Бойлеры раздевалки	1,70	0,30	1,00	0,00	0,00	0,51	0,00	0,51	
35.	Дольежный станок	1,00	0,30	0,88	0,49	0,54	0,30	0,16	0,34	
36.	Токарный станок	0,70	0,30	0,88	0,49	0,54	0,21	0,11	0,24	
37.	**итого ЩС 26–2–4**	**6,40**	**0,33**	**0,95**	**0,32**	**0,33**	**2,12**	**0,70**	**2,23**	
	ЩС 26–3									
38.	Наждаки	1,00	0,50	0,87	0,52	0,57	0,50	0,28	0,57	
39.	Большой радиально-сверлильный станок	0,40	0,50	0,88	0,49	0,54	0,20	0,11	0,23	
40.	Вентиляция кузницы	0,25	0,80	0,85	0,55	0,62	0,20	0,12	0,24	
41.	Отрезной станок	0,35	0,30	0,88	0,49	0,54	0,11	0,06	0,12	
42.	Вентиляция от наждаков	0,50	0,50	0,85	0,55	0,62	0,25	0,15	0,29	
43.	Розетка 380 В	0,50	0,80	0,95	0,32	0,33	0,40	0,13	0,42	
44.	Сверлильный станок	3,50	0,20	0,88	0,49	0,54	0,70	0,38	0,80	
45.	Розетка 380 В	0,35	0,60	0,95	0,32	0,33	0,21	0,07	0,22	
46.	**итого ЩС 26–3**	**6,85**	**0,37**	**0,89**	**0,47**	**0,51**	**2,57**	**1,31**	**2,88**	
	ЩС 26–4									
47.	Розетка 380 В	0,50	0,80	0,95	0,32	0,33	0,40	0,13	0,42	
48.	Сверлильный станок	0,50	0,20	0,88	0,49	0,54	0,10	0,05	0,11	
49.	Трансформатор 380/36 В	0,20	1,00	0,65	0,86	1,17	0,20	0,23	0,31	
50.	Стенд испытательный	0,50	0,50	0,92	0,40	0,43	0,25	0,11	0,27	
51.	Сверлильный станок	0,50	0,20	0,88	0,49	0,54	0,10	0,05	0,11	
52.	Сверлильный станок	1,00	0,20	0,88	0,49	0,54	0,20	0,11	0,23	
53.	**итого ЩС 26–4**	**3,20**	**0,39**	**0,88**	**0,50**	**0,55**	**1,25**	**0,69**	**1,43**	

Продолжение табл. 1.6.7

№п/п	Наименование электроприемников	Установленная мощность групп Руст.гр., Квт	Коэффициент спроса, Кс	Коэффициент мощности cosφ	φ, рад.	tgφ	Расчетная мощность			Расчётный ток, Iрасч, А
							Активная Рр, кВт	Реактивная, Qр, кВАр	Полная Sр, кВА	
	ЩС 26–5									
54.	Уличное освещение	1,50	1,00	0,91	0,43	0,46	1,50	0,68	1,65	
55.	Тельфер	1,20	0,50	0,88	0,49	0,54	0,60	0,32	0,68	
56.	Подогрев масла	2,50	0,50	1,00	0,00	0,00	1,25	0,00	1,25	
57.	Розетка 380 В	1,50	0,50	0,95	0,32	0,33	0,75	0,25	0,79	
58.	Розетка 220 В	0,50	0,80	0,95	0,32	0,33	0,40	0,13	0,42	
59.	**итого ЩС 26–5**	**7,20**	**0,63**	**0,96**	**0,30**	**0,31**	**4,50**	**1,39**	**4,71**	
	ЩО–1									
60.	Осв. левой стороны токарного уч-ка	0,40	0,80	0,92	0,40	0,43	0,32	0,14	0,35	
61.	Осв. сварочной	0,10	0,80	0,92	0,40	0,43	0,08	0,03	0,09	
62.	Осв. правой стороны токарного уч-ка	0,50	0,80	0,92	0,40	0,43	0,40	0,17	0,43	
63.	Осв. теплоцентра, нождаков	0,10	0,50	0,92	0,40	0,43	0,05	0,02	0,05	
64.	Осв. правой стороны слесарного уч-ка	0,50	0,80	0,92	0,40	0,43	0,40	0,17	0,43	
65.	Розетки	0,24	0,80	0,95	0,32	0,33	0,19	0,06	0,20	
66.	Осв. левой стороны слесарного уч-ка	0,50	0,80	0,92	0,40	0,43	0,40	0,17	0,43	
67.	Дежурное осв.	0,10	1,00	1,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10	
68.	Дежурное осв.	0,10	1,00	1,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,10	
69.	Осв. сварочной	0,50	0,50	0,92	0,40	0,43	0,25	0,11	0,27	
70.	**итого ЩО–1**	**3,04**	**0,75**	**0,93**	**0,36**	**0,38**	**2,29**	**0,87**	**2,45**	
	ЩО–2									
71.	Осв. пр. стор. раздевалки	0,40	0,80	0,92	0,40	0,43	0,32	0,14	0,35	
72.	Осв. лев. стор. раздевалки	0,40	0,80	0,92	0,40	0,43	0,32	0,14	0,35	
73.	Осв. лестницы	0,10	0,80	0,92	0,40	0,43	0,08	0,03	0,09	
74.	Розетка на щите	0,06	0,10	0,95	0,32	0,33	0,01	0,00	0,01	
75.	Осв. мастерской, лестницы, туалета	0,30	1,00	0,92	0,40	0,43	0,30	0,13	0,33	
76.	Розетка 380 В	0,12	0,50	0,95	0,32	0,33	0,06	0,02	0,06	
77.	**итого ЩО–2**	**1,38**	**0,79**	**0,92**	**0,40**	**0,42**	**1,09**	**0,46**	**1,18**	
	ЩО–2А									
78.	Осв. и роз. кухни	0,50	0,20	0,95	0,32	0,33	0,10	0,03	0,11	
79.	Осв. к.1, роз. к.2,1.	0,90	0,80	0,92	0,40	0,43	0,72	0,31	0,78	
80.	Роз. компьютерные	0,48	1,00	0,95	0,32	0,33	0,48	0,16	0,51	
81.	Вентиляция к.3	0,50	0,80	0,85	0,55	0,62	0,40	0,25	0,47	
82.	Осв. туалета, душа	0,40	0,50	1,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,20	
83.	Осв. и роз. коридора	0,22	0,80	0,98	0,20	0,20	0,18	0,04	0,18	
84.	Осв. к.2	0,20	0,80	0,92	0,40	0,43	0,16	0,07	0,17	
85.	Роз. к.5	0,36	0,50	0,95	0,32	0,33	0,18	0,06	0,19	
86.	Роз. к.4	0,48	0,50	0,95	0,32	0,33	0,24	0,08	0,25	
87.	Осв. к.5	0,30	0,80	0,92	0,40	0,43	0,24	0,10	0,26	
88.	Осв. к.4	0,30	0,80	0,92	0,40	0,43	0,24	0,10	0,26	
89.	**итого ЩО–2А**	**4,64**	**0,68**	**0,93**	**0,36**	**0,38**	**3,14**	**1,19**	**3,35**	**5,16**
90.	**Итого**	**55,41**	0,70	**0,97**	0,26	**0,27**	38,74	10,46	**40,00**	61,54

Компенсация реактивной мощности, управление, автоматизация и диспетчеризация СЭС. Данные величины реактивной мощности берутся из таблицы расчета электрических нагрузок. Как правило, в проекте освещаются следующие вопросы:

– виды компенсации;
– обоснование точки подключения компенсирующей установки;
– выбор типа компенсирующего устройства;
– расчет необходимой мощности установки.

Компенсировать реактивную мощность возможно синхронными компенсаторами, синхронными двигателями, косинусными конденсаторами (конденсаторными установками). В настоящее время для компенсации реактивной мощности широкое применение получили конденсаторные установки КРМ (УКМ58, УККРМ, АКУ), обладающие рядом преимуществ перед другими устройствами компенсации реактивной мощности:

– малые потери активной мощности;
– отсутствие вращающихся частей, подверженных механическому износу;
– невысокие капиталовложения и затраты при эксплуатации;
– отсутствии шума во время работы;
– простота в монтаже и эксплуатации.

Выбор оборудования для компенсации реактивной мощности зависит от типа подключенного у сети оборудования.

Компенсация реактивной мощности может быть индивидуальной (местной) и централизованной (общей). В первом случае параллельно нагрузке подключают один или несколько (батарею) косинусных конденсаторов, во втором – некоторое количество конденсаторов (батарей) подключается к главному распределительному щиту.

Индивидуальная компенсация – самый простой и наиболее дешевый способ компенсации реактивной мощности. Число конденсаторов (конденсаторных батарей) соответствует числу нагрузок и каждый конденсатор расположен непосредственно у соответствующей нагрузки (рядом с двигателем и т.п.). Такая компенсация хороша только для постоянных нагрузок (например, один или несколько асинхронных двигателей с постоянной скоростью вращения вала), то есть там, где реактивная мощность каждой из нагрузок (во включенном состоянии нагрузок) с течением времени меняется незначительно и для ее компенсации не требуется изменения номиналов подключенных конденсаторных батарей. Поэтому индивидуальная компенсация ввиду неизменного уровня реактивной мощности нагрузки и соответствующей реактивной мощности компенсаторов называется также *нерегулируемой*.

Централизованная компенсация – компенсация реактивной мощности с помощью одной регулируемой установки КРМ (УКМ–58), подключенной к главному распределительному щиту. Применяется в системах с большим количеством потребителей (нагрузок), имеющих большой разброс коэффициента мощности в течение суток, то есть для переменной нагрузки (например, несколько двигателей, размещенных на одном предприятии и подключаемых попеременно). В таких системах индивидуальная компенсация неприемлема, так как, во-первых, становится слишком дорогостоящей (при большом количестве оборудования устанавливается большое количество конденсаторов), и, во-вторых, возникает вероятность перекомпенсации (появление в сети перенапряжения). В случае централизованной компенсации конденсаторная установка оснащается специализированным контроллером (автоматическим регулятором реактивной мощности) и коммутационно-защитной аппаратурой (контакторами и предохранителями). При отклонении значения *cos* от заданного значения контроллер подключает или отключает определенные конденсаторные батареи (компенсация осуществляется ступенчато). Таким образом, контроль осуществляется автоматически, а мощность подключенных конденсаторов соответствует потребляемой в данный конкретный момент времени реактивной мощности, что исключает генерацию реактивной мощности в сеть и появление в сети перенапряжения.

Расчеты параметров компенсирующих устройств приведены в п. 4.2.

Электрическое освещение. В рассматриваемом разделе дается описание рабочего и аварийного освещения. Рабочее освещение выбирается в зависимости от назначения задания или помещения с учетом требований ПУЭ разделе 6 и СНИП 23–05–95. Светильники выбирают исходя из классификации помещения по электробезопасности (ПУЭ п.п. 1.1.5, 1.1.13) и требуемой степени защищенности светильников для данного помещения. Аварийное освещение также проектируется с учетом требований ПУЭ и СНИП 23–05–95.

Способ реализации аварийного освещения определяется, в первую очередь, величиной необходимого светового потока, который должен обеспечивать источник аварийного освещения, и длительностью предполагаемого резервирования.

Конструктивно установка ламп аварийного освещения и устройств резервного электропитания может быть выполнена компактно – для небольших мощностей, или раздельно – для больших мощностей или длительного времени резервирования. В качестве резервного источника энергии, как правило, используются аккумуляторные батареи.

В реальных проектах используются три класса систем аварийного освещения:

– использующие раздельные источники света для основного и аварийного режимов;

– использующие одни и те же лампы накаливания для основного и аварийного режимов;

– использующие одни и те же лампы любых типов для основного и аварийного режимов;

Система аварийного освещения должна включать:

– источник аварийного питания;

– источники освещения;

– коммутирующие элементы.

Следует обратить внимание на то, что переключатели в системах аварийного освещения коммутируют две цепи: источников основного и аварийного питания. При этом для пользователя включение и выключение источников света не должно отличаться независимо от режима работы системы освещения.

Использование раздельных источников освещения для основного и аварийного режимов. Системы этого класса используются, преимущественно, при проектировании аварийного освещения небольшой мощности. Использование независимых источников освещения для основного и аварийного режимов позволяют дополнить существующую систему без ее изменения.

Работу системы поясняет схема на рис. 1.6.27.

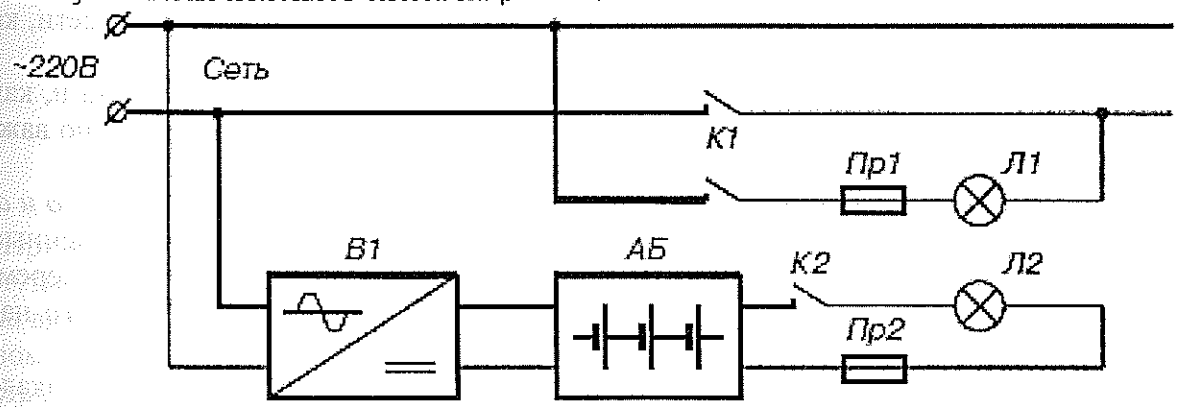


Рис. 1.6.27. Схема аварийного освещения, использующая независимый и основной источники и отдельные лампы для основного и аварийного режимов

Схема содержит: лампы накаливания (Л1 – основная, Л2 – аварийная), контакты реле (К1, К2), предохранители (Пр1, Пр2), выпрямитель (В1) и аккумуляторную батарею (АБ). В основном режиме включается лампа Л1 через замкнутый контакт реле К1 от сети. Аккумуляторная батарея подключена к выпрямителю В1 и находится в режиме постоянного подразряда. При отключении напряжения сети автоматически замыкаются контакты К2, и постоянное напряжение подается на лампу Л2 от аккумуляторной батареи.

При монтаже независимых источников освещения прокладываются две линии питания: к основному и резервному источнику освещения. Для основного источника света используются лампы любых типов. Для аварийного режима, как правило, используются лампы накаливания меньшей мощности, чем лампы основного освещения.

Использование одного источника освещения (ламп накаливания) для основного и аварийного режимов. В случаях, когда в качестве источников освещения используются только лампы накаливания, а в аварийном режиме освещенность должна оставаться неизменной – используют один источник в качестве основного и аварийного. Такие системы обеспечивают переход обычного режима к аварийному без мигания ламп.

Работу системы поясняет схема на рис. 1.6.28.

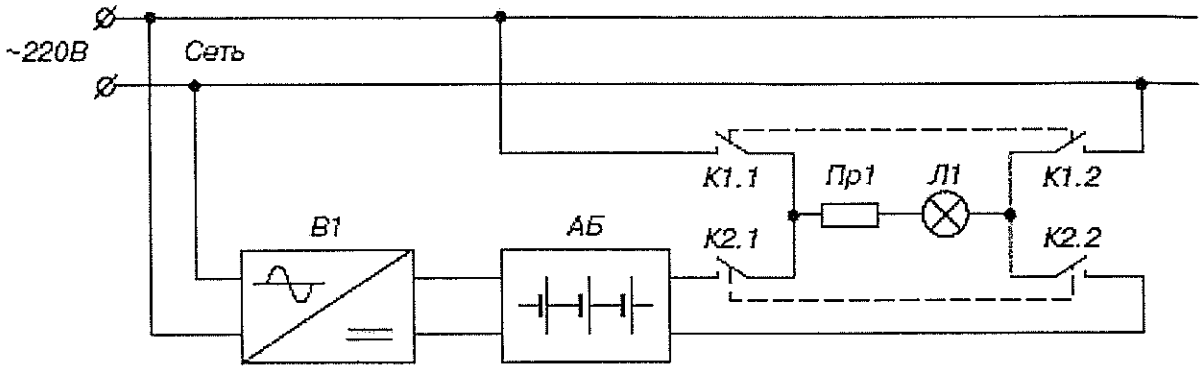


Рис. 1.6.28. Схема аварийного освещения, использующая один источник для основного и аварийного режимов питания только ламп накаливания

Схема содержит: лампу накаливания (Л1 – основная и аварийная), контакты реле (К1, К2), предохранитель (Пр1), выпрямитель (В1) и аккумуляторную батарею (АБ).

Питание лампы Л1, в нормальном режиме, осуществляется от сети через контакты К1.1 и К1.2. выпрямитель В1 постоянно подключен к сети переменного тока и поддерживает аккумулятор в режиме постоянного подзаряда. При отключении сетевого напряжения размыкаются контакты К1.1 и К1.2, а замыкаются К2.1 и К2.2. Питание лампы Л1 осуществляется от аккумуляторной батареи АБ. При этом напряжение аккумуляторной батареи выбирается приблизительно равным действующему значению напряжения в сети, как правило, 220 В.

Преимуществом такой схемы является отсутствие дополнительных ламп и, как следствие, при аварийном режиме освещенность остается неизменной, что особенно важно, например, в операционных.

Использование одного источника освещения (все типы ламп) для основного и аварийного режимов. Этот класс систем аварийного освещения обеспечивает неизменные условия питания источников освещения. Лампы независимо от режима питаются переменным напряжением. Схема включения ламп обеспечивает стабилизацию переменного напряжения в случае выбросов и провалов напряжения.

Работу системы поясняет схема на рис. 1.6.29. Схема содержит: лампу накаливания (Л1 – основная и аварийная), контакты реле (К1, К2), предохранитель (Пр1), выпрямитель (В1), аккумуляторную батарею (АБ) и инвертор (И1).

Схема отличается от предыдущей наличием инвертора, преобразующего заряд аккумуляторной батареи в переменный ток. В условиях нестабильного напряжения сети питание лампы Л1 осуществляется от сети через выпрямитель и инвертор. Благодаря такому включению исключается мигание и преждевременный выход ламп из строя. Отдельную группу этого класса составляют системы, в составе которых имеется устройство автоматического включения резерва (АВР).

Схема рис. 1.6.30 поясняет работу системы с АВР. Схема содержит три ввода напряжения – <<Сеть 1>>, <<Сеть 2>>, <<Сеть 3>>; автоматические токовые выключатели

F1...F9; управляемые контакты KM1...KM3; реле контроля сетевого напряжения UR1, UR2; основную шину питания Ш1; аварийную шину питания Ш2.

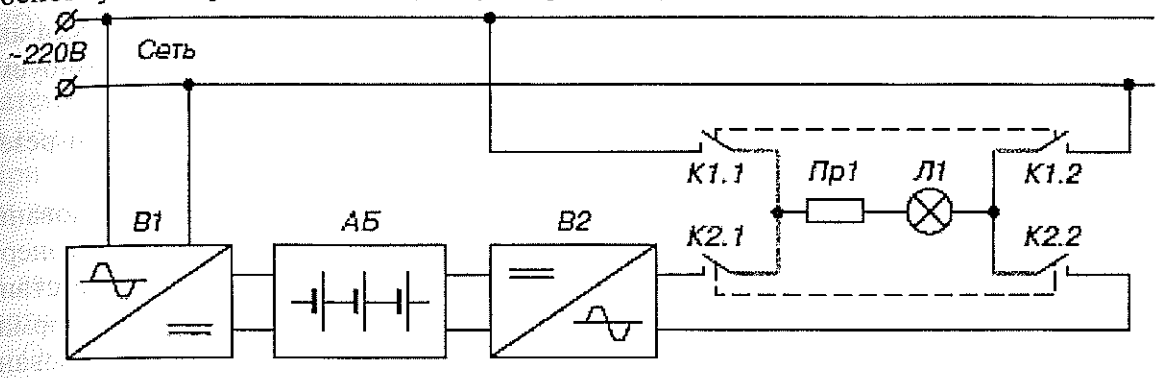


Рис. 1.6.29. Схема аварийного освещения, использующая один источник для основного и аварийного режимов и лампы всех типов

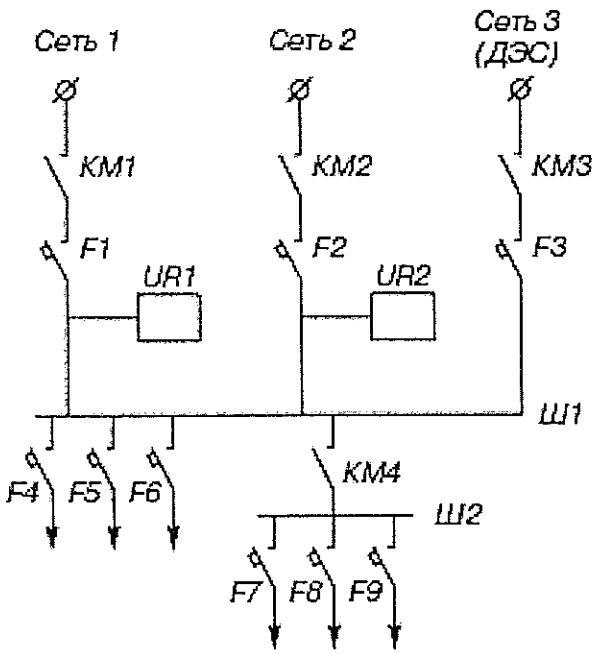


Рис. 1.6.30. Схема аварийного освещения, содержащая устройство автоматического включения резерва

При наличии напряжения на вводе <<Сеть 1>> напряжение питания подается через замкнутые контакты KM1 и токовый автомат F1 на шину Ш1. После отключения напряжения на вводе <<Сеть 1>> размыкаются контакты KM1 и замыкаются контакты KM2. Таким образом, источники освещения, подключенные к шине Ш1. Получают питание от ввода <<Сеть 2>>. При отсутствии напряжения на обоих вводах <<Сеть 1>> и <<Сеть 2>> вырабатывается сигнал на запуск дизель-электростанции (ДЭС) и замыкается контакт KM3. Шина Ш1 питается от ввода <<Сеть 3>>. Напряжение на вводах контролируется с помощью реле UR1, UR2, которые отслеживают не только его абсолютное значение, а и динамику изменения во времени (частые провалы и выбросы напряжения). Последнее исключает частые переключения и, как следствие, мигание освещения.

Осветительные приборы подключаются к шине Ш1 через автоматы защиты F4...F6, а к шине Ш2 через автоматы F7...F9, а Ш2 подключается к шине Ш1 через контакты KM4. При переходе питания на ДСЭ часть осветительных приборов автоматически отключается контакт KM4. В качестве источника <<Сеть 2>> может использоваться отдельная фаза электросети, либо отдельная система электропитания, например, инвертор, преобразую-

щий заряд аккумуляторной батареи в переменное напряжение. Подобные системы проектируются и монтируются для освещения стадионов.

Несомненным преимуществом систем аварийного освещения такого класса является защита источников света от нестабильности сетевого напряжения и прогнозируемая надежность резервирования.

Рассмотренные системы аварийного освещения обеспечивают все случаи резервирования освещения на практике.

Выбор и проектирование конкретной схемы следует осуществлять на основании анализа условий эксплуатации, времени резервирования и мощности потребителей энергии.

Выбор электрооборудования. Электрооборудование выбирается в соответствии с рекомендациями, изложенными в методиках, правилах, ГОСТах и других нормативно-технических документах. В проекте расчеты могут не приводиться, но по требованию заказчика, экспертных, надзорных и других организации, согласовывающих проект, расчеты должны представляться. Практика проектирования показывает, что для сокращения сроков согласования и исключения недоразумений при экспертизе и согласовании проектов лучше расчеты приводить.

Методики выбора электрооборудования будут приведены в Гл.4.

В данном разделе также приводятся сведения о типе. марке проводов и осветительной арматуры, которые подлежат применению. Применяемые технические решения и выбор проводов и осветительной арматуры должны обязательно обосновываться. При принятии нестандартных технических решений желательно указывать ссылку на нормативный документ или технические условия на разработку данного изделия.

Технические средства и способы защиты от поражения электрическим током. При разработке данного подраздела используют требования, изложенные в ГОСТах, правилах, руководящих и технических документах. Как правило, в подразделе обосновывается применение видов защит, приведенных в главе 1.7 ПУЭ.

Разбирать условия применения защит и порядок расчета их характеристик не входит в тематику справочного пособия. Подробно все виды защит рассмотрены в справочном пособии Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. *Виды защит, применяемые в электроустановках.*

В зависимости от назначения электроустановки состав технических средств и способов защиты от поражения электрическим током будет меняться. Однако, практически всегда рассматриваются защитное заземление и молниезащита.

При проектировании защитного заземления обосновывается: тип заземляющего устройства, геометрические размеры вертикальных и горизонтальных заземлителей, расстояния между вертикальными заземлителями и от заземляющего устройства до капитальных зданий и сооружений, а также приводятся расчеты.

Приводятся рекомендации по монтажу заземляющего устройства и по вводу в эксплуатацию.

По уравниванию потенциалов приводятся обоснования:

– основной и дополнительной систем уравнивания потенциалов;
– сечения и типы присоединения нулевых защитных проводников;
– использование сторонних проводящих частей в системе уравнивания потенциалов;
– геометрические размеры и материал главной заземляющей шины.

Обоснование применения молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникации должно содержать:

– категорию здания, сооружения по молниезащите;
– состав внешней и внутренней системы молниезащиты;
– выбор (расчет) молниеприемников и токопроводов;
– выбор типа и расчет параметров заземляющего устройства;
– указания по монтажу.

Учет и экономия электроэнергии. В подразделе указывается тип и технические характеристики узла учета, режимы его работы. При наличии достаточного количества суб-

абонентов или потребителей электроэнергии здесь же приводятся данные по выбору и расчету элементов автоматизированной системы учета и контроля электрической энергии (АСКУЭ). Технические условия на разработку АСКУЭ выдаются электроснабжающей организацией.

Затем приводятся расчеты годового потребления электроэнергии по месяцам и ее потерь за год.

При расчете потерь электроэнергии необходимо пользоваться официальными методиками или рекомендованными электроснабжающими компаниями и надзорными органами.

В данном подразделе также должны быть приведены мероприятия по экономии электроэнергии. Для жилых помещений такими мероприятиями могут быть следующие:

1. Окраска стен и потолка в светлые тона, если окна помещения выходят на север и частично на запад и восток;

2. Своевременное мытье стекол, т.к. запыленные стекла поглощают до 30% естественного освещения;

3. Применение при определенных работах местного освещения лампами направленного света;

4. Применение в световых приборах криптоновых ламп и светорегуляторов;

5. Установка холодильных приборов у самой холодной стены и своевременная их разморозка.

Для промышленных предприятий могут рекомендоваться следующие мероприятия:

1. Равномерное распределение нагрузок по фазам;

2. Проведение периодических испытаний электрооборудования для выявления его состояний, влияющих на потери электроэнергии.

3. Поддержание в порядке контактов электрической сети. Они должны быть плотными и надежными. Нагревание контактов чревато не только лишним расходом электроэнергии, но и может привести к пожару или потере проводами изоляционных свойств.

4. Применение экономичных источников электрического света. Лампы накаливания весьма просты, удобны и надежны, но являются самыми крупными «расхитителями» электроэнергии – ведь на освещение идет здесь всего 2...4% затрачиваемой энергии, остальная часть пропадает, особенно летом, когда тепло, выделяемое лампой, вовсе не требуется. Более экономичными являются люминесцентные лампы, хотя и их КПД весьма невысок: 10...20 %, и в случаях, когда это не вредит архитектурному облику интерьера, рекомендуется применять именно люминесцентные лампы. Для наружного освещения рекомендуются еще более экономичные газоразрядные лампы высокого давления, например ДРЛ – ртутная (голубоватого цвета) или ДНаТ – натриевая (оранжевого цвета).

5. Окраска в светлые тона, содержание в чистоте стен, потолков и полов помещений, а также осветительной аппаратуры. Известно, что отражающая способность поверхности, на которую падает световой поток, существенно зависит от цвета и способа окраски поверхности. Рекомендуется, если это не противоречит архитектуре и стилю помещения, окрашивать его поверхности в светлые тона. Следует также помнить, что осветительная арматура, даже чистая, задерживает большую часть светового потока лампы (до 35...45 %). Это действие, конечно, усугубляется запыленностью светильника.

6. Применение фотореле или реле времени для автоматического управления наружным освещением при смене дня и ночи.

7. Применение электронных регуляторов освещенности для снижения при необходимости светового потока ламп (а вместе с ним и потребляемой мощности). Кстати, такой регулятор может быть использован и для постепенного зажигания ламп накаливания. Мгновенное включение обычными выключателями часто приводит к перегоранию ламп, т.к. сопротивление холодной лампы накаливания значительно ниже раскаленной, и ток при включении иногда в несколько раз превышает норму.

1.7. Нормоконтроль проектно-сметной документации

При проектировании систем электроснабжения и электрических сетей необходимо чтобы проектно-сметная документация соответствовала действующим нормативно-техническим документам. Для указанной цели в проектных организациях создается нормоконтроль, его осуществление поручается подготовленному специалисту, который назначается письменным приказом руководителя организации.

Проведение нормоконтроля должно быть направлено на:

а) обеспечение применения при разработке проектно-сметной документации действующих инструкций, государственных, отраслевых и республиканских стандартов, стандартов предприятий, строительных норм и правил и других нормативных документов по проектированию и строительству (далее именуемых нормативными документами);

б) достижение в проектируемых зданиях, сооружениях и конструкциях высокого уровня стандартизации и типизации на основе широкого применения типовых проектов и проектных решений, стандартизированных и типовых конструкций, изделий и узлов;

в) обеспечение комплектности проектно-сметной документации, передаваемой заказчику, в объеме, установленном соответствующими инструкциями и стандартами системы проектной документации для строительства, а также высокого качества оформления проектно-сметной документации.

Нормоконтролю подлежат проектно-сметная документация на всех стадиях проектирования, а также изменения, внесенные в ранее разработанную и выданную заказчику проектно-сметную документацию.

Содержание нормоконтроля в зависимости от вида проектно-сметной документации приведено в табл. 1.7.1.

Нормоконтроль является завершающим этапом разработки проектно-сметной документации (проекта).

Проектно-сметная документация предъявляется на нормоконтроль в подлинниках (или копиях с подлинников) комплектно, например, «Электроснабжение полиграфического комплекса ООО «Крокус»: пояснительная записка, комплект рабочих схем, планы размещения электрооборудования, спецификация оборудования и материалов. Во всех документах должны быть установлены подписи, кроме подписей руководства организации: Генерального директора (директора), технического директора (главного инженера) и их заместителей.

Специалист, осуществляющий нормоконтроль, наносит в проверяемой документации (в местах, где должны быть внесены исправления) пометки карандашом в виде условных обозначений. Сделанные пометки снимает специалист, осуществивший нормоконтроль, при подписании им подлинников.

В перечне замечаний и предложений специалист, осуществляющий нормоконтроль, против каждой пометки кратко и ясно излагает замечаний и предложений.

Образец перечня замечаний и предложений специалиста, осуществившего нормоконтроль, и пример заполнения перечня приведены в справочном приложении.

Проектно-сметную документацию, подлежащую подписанию руководством проектной организации, визирует специалист, осуществивший нормоконтроль, и подписывает после подписания ее руководством проектной организации. Внесение изменений в подлинники проектно-сметной документации, подписанные специалистом, осуществившим нормоконтроль, но не сданные в технический архив, не допускается без его ведома.

Замечания и предложения специалиста, осуществившего нормоконтроль проектно-сметной документации, учитывают при оценке качества выполнения этой документации.

При проведении нормоконтроля проектно-сметной документации специалист, осуществляющий нормоконтроль, обязан руководствоваться только действующими в момент проведения нормоконтроля нормативными документами.

Таблица 1.7.1

Содержание нормоконтроля

Виды документов	Что проверяется
1. Проектно-сметная документация всех видов	а) соответствие обозначений, присвоенных проектным документам и сметам, установленной системе обозначений проектной документации и смет; б) комплектность и состав проектно-сметной документации; в) наличие и правильность ссылок на нормативные документы; г) правильность выполнения проектной документации и смет в соответствии со стандартами системы проектной документации для строительства; д) возможность сокращения объема проектно-сметной документации
2. Проекты (рабочие проекты), рабочие чертежи	а) данные, указанные в п. 1; б) правильность применения типовых проектов, проектных решений, конструкций и узлов. Возможность замены индивидуальных конструкций, изделий и узлов типовыми, стандартизированными или ранее разработанными; в) соответствие предусмотренного в проектной документации оборудования указанному в действующих каталогах; г) правильность нанесения номеров позиций на сборочных чертежах, марок оборудования и элементов конструкций – на схемах их расположения
3. Ведомости, спецификации и другие таблицы	а) данные, указанные в п. 1 (кроме п.1б, д); б) соблюдение правил заполнения форм ведомостей, спецификаций и других таблиц; в) правильность наименований и обозначений изделий, материалов и документов, записанных в ведомостях, спецификациях и других таблицах.

Вопрос о соблюдении требований нормативных документов, срок введения в действие которых к моменту проведения нормоконтроля еще не наступил, в каждом отдельном случае решается руководством проектной организации в зависимости от установленных сроков разработки проектно-сметной документации, осуществления строительства объекта и освоения в производстве проектируемых изделий.

Специалист, осуществляющий нормоконтроль, имеет право:

а) возвращать проектно-сметную документацию разработчику без рассмотрения в случаях:

– нарушения установленной комплектности;

– отсутствия обязательных подписей;

– нечеткого выполнения текстового и графического материала.

б) требовать от разработчиков проектно-сметной документации разъяснения и необходимые материалы по вопросам, возникающим при проведении нормоконтроля.

Исправление в проектно-сметной документации ошибок, вызванных нарушением требований нормативных документов и указанных специалистом, осуществившим нормоконтроль, обязательно.

Предложения, касающиеся замены индивидуальных конструкций, изделий и узлов типовыми, стандартизированными или ранее разработанными учитывают в проектно-сметной документации при согласии разработчиков этой документации.

Разногласия между специалистом, осуществляющим нормоконтроль, и разработчиком проектно-сметной документации разрешаются руководителем проектной организации, выпустившей эту документацию.

Специалист, осуществивший нормоконтроль, несет ответственность за соблюдение в проектно-сметной документации требований нормативных документов по указанным выше вопросам, наравне с разработчиками указанной документации.

Достаточно важными являются вопросы правильного оформления текстовых и графических документов, что обеспечивает однозначное понимание при пользовании ими и существенно сокращает время их изучения и реализации.

2. ТЕКСТОВЫЕ И ГРАФИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ ПРОЕКТОВ

2.1. Общие требования к текстовым документам и порядок их разработки

В Единой системе конструкторской документации изложены требования к правилам выполнения:

– пояснительной записки;
– спецификации;
– ведомости ссылочных документов;
– таблиц;
– расчетов;
– программы и методики испытаний;
– инструкций и прочих документов.

Рассмотрим требования, предъявляемые к разработке указанных выше документов в той последовательности, в которой они приведены выше.

Пояснительная записка. Пояснительные записки (ПЗ) оформляют на листах любых форматов, установленных ГОСТ 2.301–68 , составляют их по форме 9 и 9а (рис. 2.1 и 2.2). При этом основную надпись и дополнительные графы к ней необходимо выполнять по ГОСТ 2.104–68 по форме 2а (см. основные надписи).

ПЗ в общем случае должна состоять из следующих разделов:

– введение (с указанием, на основании каких документов разработан проект);
– наименование и назначение проектируемой СЭС (ЭУ);
– техническая характеристика;
– описание и обоснование выбранных технических решений с указанием, какие элементы заимствованы из типовых проектов;
– расчеты, подтверждающие работоспособность и надежность работы СЭС (ЭУ):

- расчет электрических нагрузок;
- расчеты по выбору линий электроснабжения, коммутационных аппаратов, основного электрооборудования;
- расчеты внешнего и внутреннего электрического освещения;
- расчеты по выбору узла учета электрической энергии;
- расчеты по обеспечению безопасности от атмосферного электричества, от электрического тока и т.д.

– описание организации эксплуатации ЭУ с расчетом численности персонала для эксплуатации;
– ожидаемые технико-экономические показатели.

В зависимости от особенностей СЭС (ЭУ) отдельные разделы допускается объединять или исключать, а также вводить новые разделы.

Спецификация. Спецификацию составляют на отдельных листах на каждую ЭУ объекта или СЭС по форме 1 и 1а (рис. 2.3 и 2.4). В спецификацию вносят составные части и элементы, из которых будут монтироваться ЭУ (СЭС).

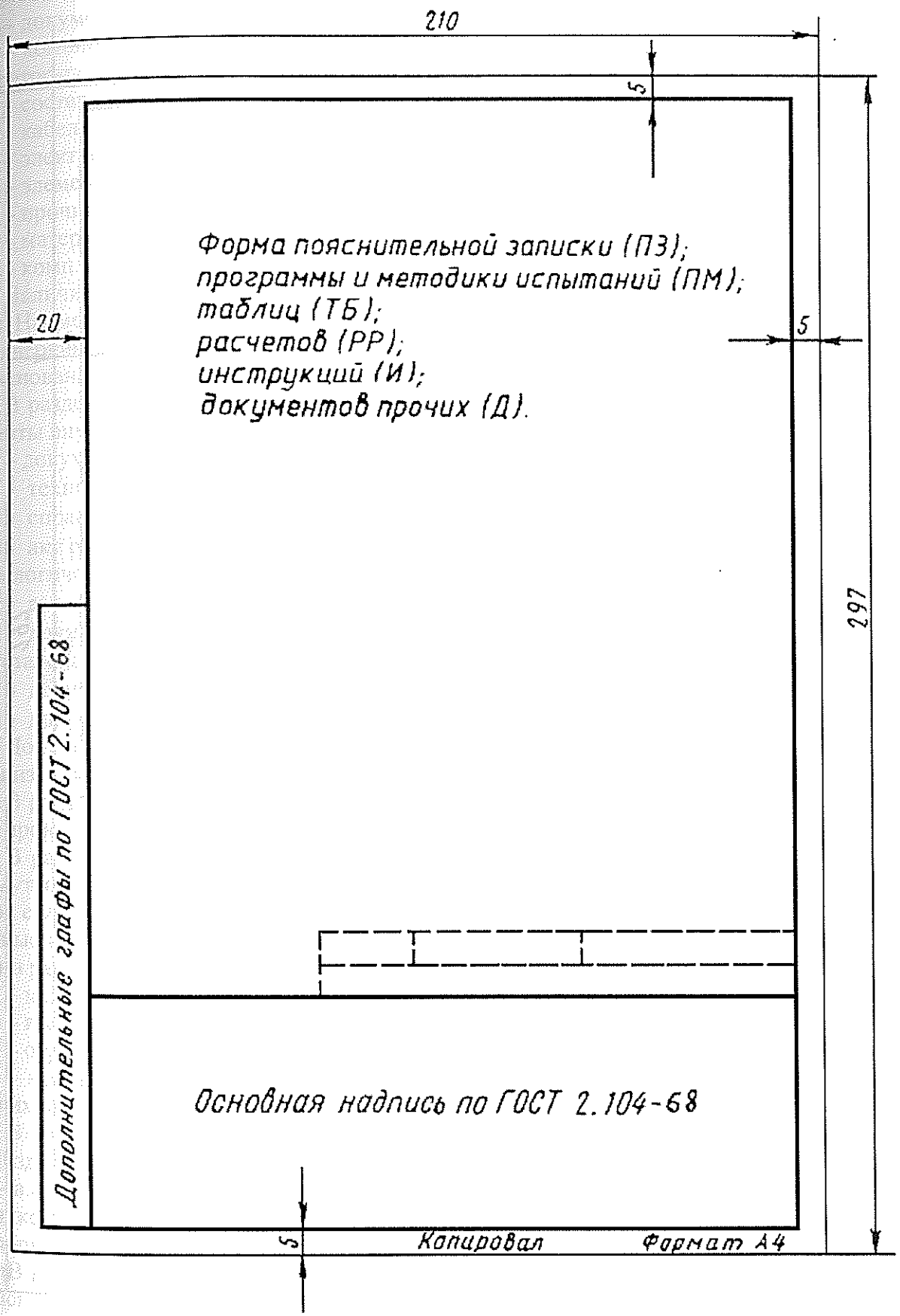


Рис. 2.1. Форма 9 пояснительной записки – заглавный лист

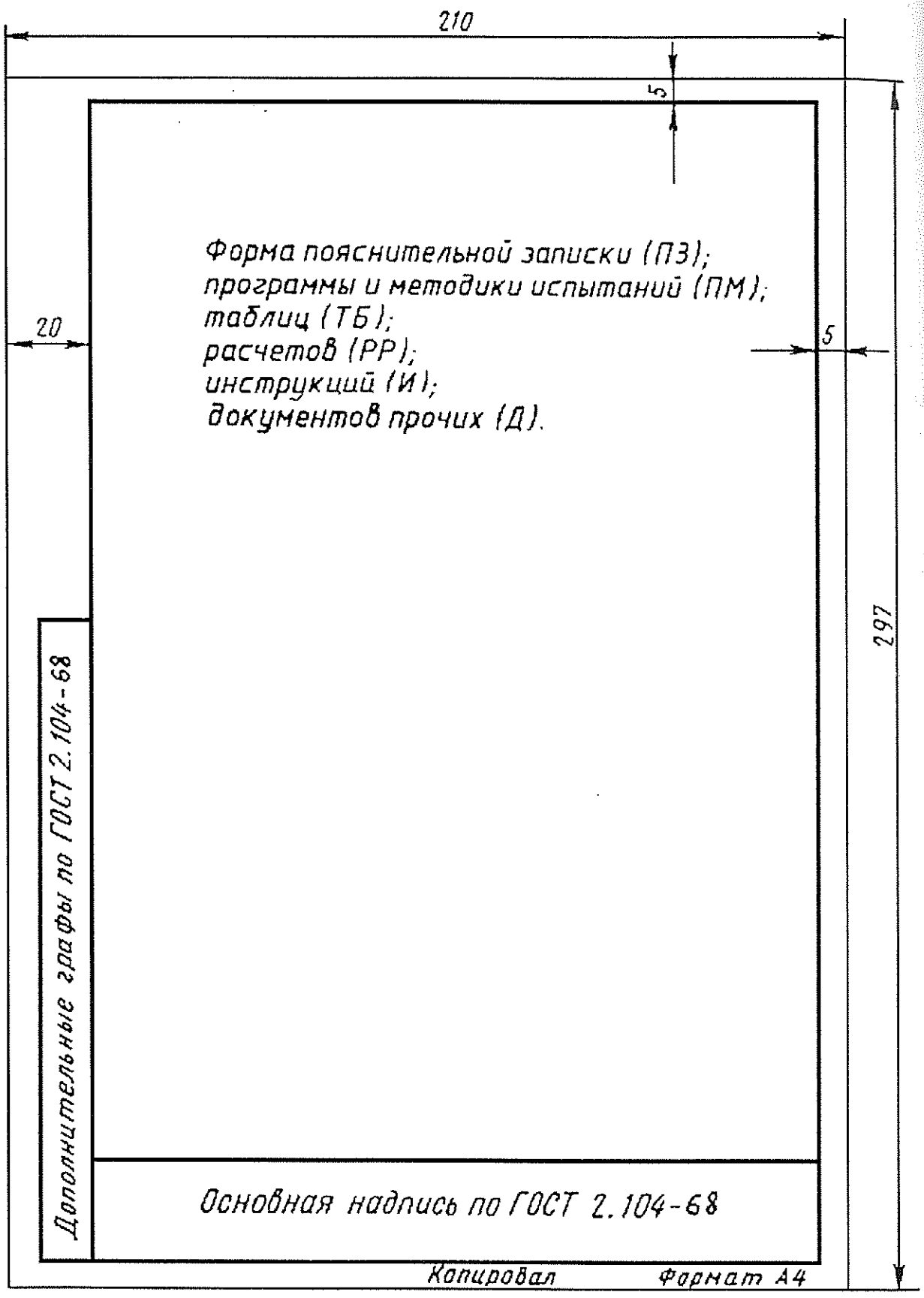


Рис. 2.2. Форма 9а пояснительной записки – последующие листы

В общем случае спецификация должна состоять из разделов, которые располагаются в следующей последовательности:

– документация;
– комплексы (дизель-электрические станции, агрегаты бесперебойного питания, газогенераторы и т.д.);
– составные части (щит управления дизель-генератором и т.д.);
– кабельная продукция и провода;
– электроустановочные устройства и коммутационные аппараты;
– элементы системы освещения;
– прочие изделия;
– материалы;
– комплекты.

Наличие тех или иных разделов определяется назначением, типом и составом СЭС (ЭУ). Наименование каждого раздела указывают в виде заголовка в графе «Наименование» и подчеркивают. Допускается объединять разделы «Прочие изделия» и «Материалы» под наименованием «Прочие изделия».

В раздел «Документация» вносят документы, составляющие основной комплект. Документы внутри раздела записывают в следующей последовательности:
– документы на проектирование:
• технические условия на присоединение к сетям электроснабжающей организации;
• справку на электрическую мощность;
• акт разграничения сетей по балансовой и эксплуатационной ответственности (акт о технологическом присоединении);
• акт выполнения технических условий;
• документы на изделия (комплексы, составные части, кабельную продукцию, электроустановочные устройства и коммутационные аппараты; элементы систем освещения);
• документы на материалы (металлические уголок и полоса и т.д.);
• документы на комплекты (средства защиты, пожаротушения и безопасности).

Документы рекомендуется записывать в алфавитном порядке сочетания букв кодов организаций разработчиков (изготовителей).

В разделах «Комплексы» и «Составные части» запись указанных изделий рекомендуется производить также в алфавитном порядке, как и для раздела «Документы».

В разделах «Кабельная продукция и провода», «Электроустановочные устройства и коммутационные аппараты» и «Элементы систем освещения» вносят марки кабелей и проводов с указанием их длин, типы установочных изделий: выключатели, розетки, разветвительные коробки, типы коммутационных аппаратов и т.п. Иногда эти разделы объединяют в один раздел «Стандартные изделия», т.к. их выполняют по стандартам:
– межгосударственным;
– государственным;
– отраслевым;
– предприятий (для вспомогательного производства, инициативных разработок или если их применение установлено договором на разработку изделия).

В пределах каждой категории стандартов запись рекомендуется производить по группам изделий, объединенных по их функциональному назначению в пределах каждой группы – в алфавитном порядке наименований изделий, в пределах каждого наименования – в порядке возрастания обозначений стандартов, а в пределах каждого обозначения стандарта – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Прочие изделия» вносят изделия, примененные по техническим условиям. Запись изделий рекомендуется производить по группам, объединенным по их функциональному назначению, в пределах каждой группы – в алфавитном порядке наименований изделий, а в пределах каждого наименования – в порядке возрастания основных параметров или размеров изделия.

В раздел «Материалы» вносят все материалы, непосредственно входящие в специфицируемое изделие, относящееся к СЭС (ЭУ) объекта.

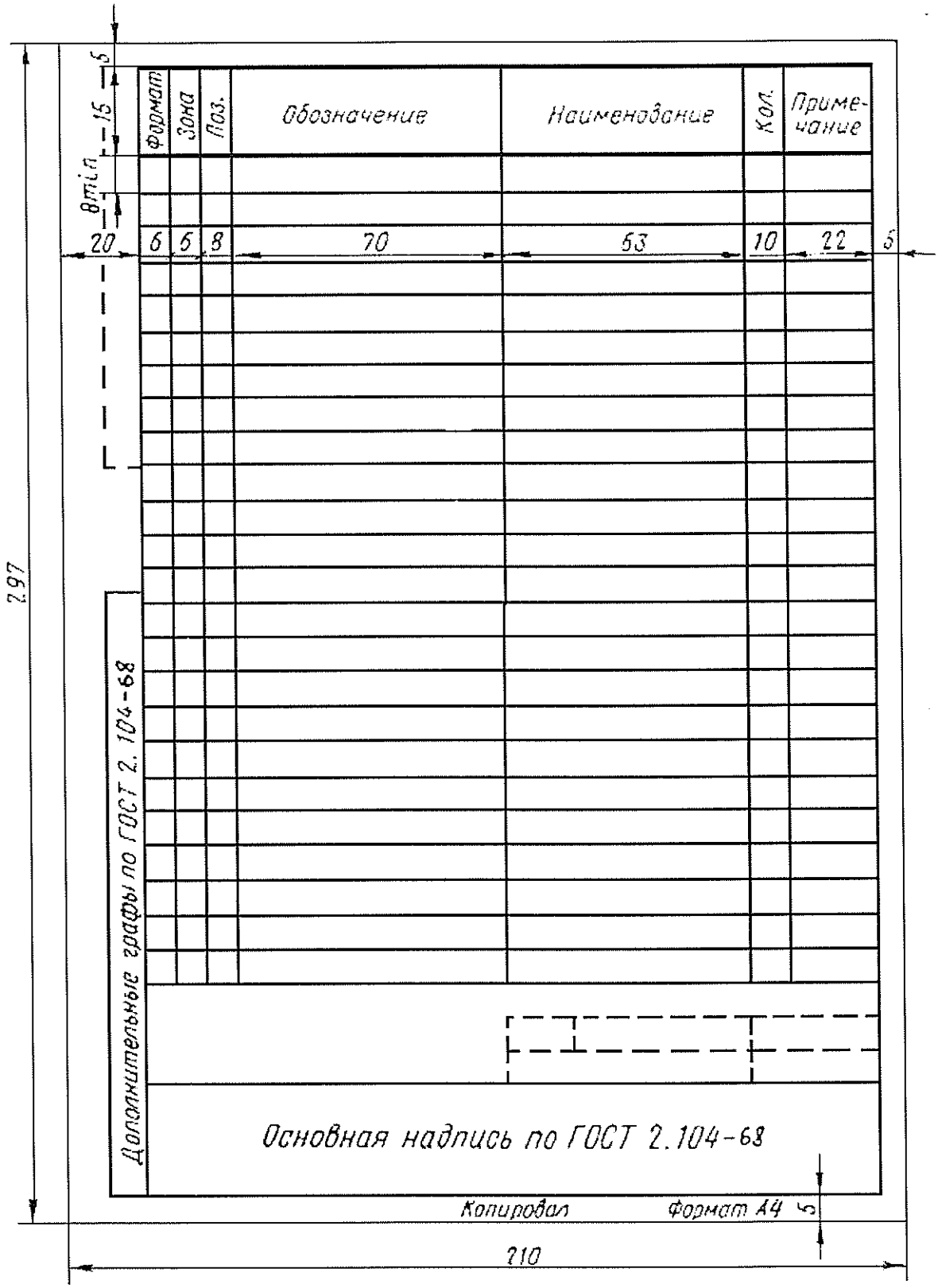


Рис. 2.3. Форма 1 спецификации – заглавный лист.

Материалы рекомендуется записывать по видам в следующей последовательности:
– металлы черные;
– металлы магнитоэлектрические и ферромагнитные;
– металлы цветные;
– пластмассы и пресс-материалы;
– резиновые и кожевенные материалы;

– минеральные, керамические и стеклянные материалы;
– лаки, краски, нефтепродукты и химикаты;
– прочие материалы.

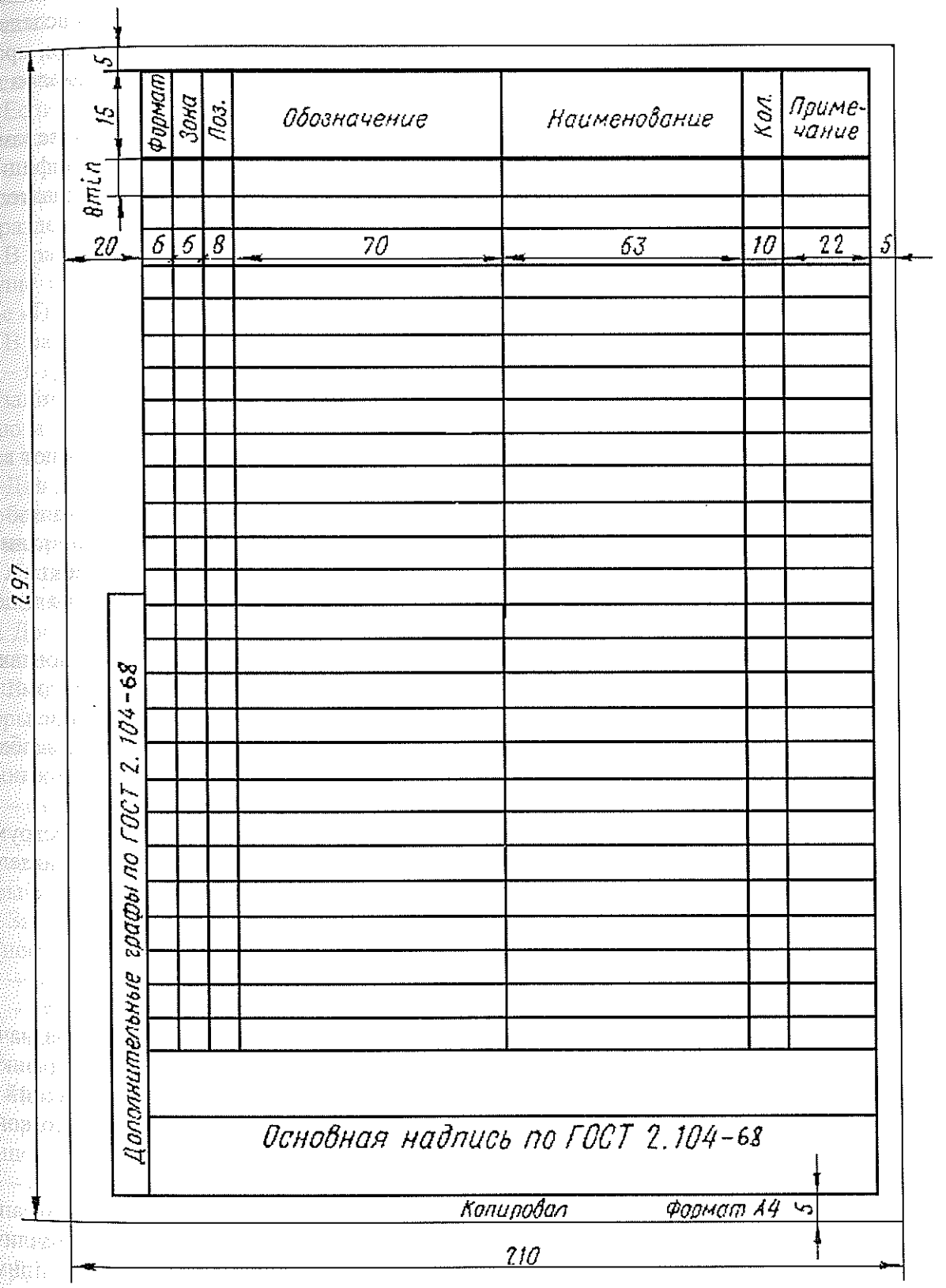


Рис. 2.4. Форма 1а спецификации – последующие листы

В пределах каждого вида материала рекомендуется записывать в алфавитном порядке наименований, а в пределах каждого наименования – по возрастанию размеров или других технических параметров.

В раздел «Материалы» не записывают материалы, необходимое количество которых не может быть определено проектировщиком по размерам элементов изделия и вследствие этого устанавливается технологом. К таким материалам относят, например: лаки, краски, клей, смазки, замазки, припои, электроды. Указание о применении таких материалов дают в технических требованиях на поле чертежа.

В раздел «Комплекты» вносят ведомость эксплуатационных документов, ведомость документов для ремонта и комплекты, которые непосредственно входят в специфицируемое изделие и поставляются вместе с ним и записывают их в следующей последовательности:

– ведомость эксплуатационных документов;
– ведомость документов для ремонта;
– комплект монтажных частей;
– комплект запасных частей;
– комплект инструмента и принадлежностей;
– комплект средств пожаротушения и защиты персонала;
– прочие комплекты (за присвоенными им наименованиями).

Если комплектов одного и того же наименования несколько, то их записывают в пределах одного наименования в порядке возрастания обозначений.

Если в состав комплекта входит не более трех наименований, то спецификацию комплекта можно не составлять, а изделия, входящие в комплект, должны быть записаны непосредственно в спецификацию соответствующего изделия в разделе «Комплекты». При этом наименование комплекта, к которому относятся вносимые в спецификацию изделия, записывают в графу «Наименование» в виде заголовка и не подчеркивают.

Спецификацию комплекта монтажных частей составляют на комплект монтажных частей изделий и материалов, предназначенных для связи составных частей комплекса между собой и монтажа комплекса или сборочной единицы на месте эксплуатации.

В спецификацию комплекта запасных частей вносят изделия и материалы, необходимые для замены пришедших в негодность соответствующих составных частей изделия при эксплуатации.

В спецификацию комплекта инструмента и принадлежностей вносят инструмент, принадлежности, приспособления и материалы, используемые при эксплуатации изделия.

Запись по разделам можно производить в следующей последовательности:

– инструмент;
– принадлежности;
– приспособления;
– материалы.

Если комплекты поставляют отдельно от изделия, для которого они предназначены, то в спецификацию изделия их не записывают. При необходимости в конце спецификации изделия помещают примечание, в котором приводят обозначения всех спецификаций комплектов, которые предназначены для эксплуатации и ремонта соответствующего количества экземпляров (групп) данного изделия, но поставляемых отдельно от него.

Графы спецификации заполняют следующим образом:

– в графе «Формат» указывают форматы документов, обозначения которых записывают в графе «Обозначение». Если документ выполнен на нескольких листах различных форматов, то в графе «Формат» проставляют «звездочку» со скобкой, а в графе «Примечание» перечисляют все форматы в порядке их увеличения.

Для документов, записанных в разделе «Стандартные изделия», «Прочие изделия» и «Материалы», графу «Формат» не заполняют.

Для деталей, на которые не выпущены чертежи, в графе «Формат» указывают БЧ (без чертежей).

Для документов, изданных типографским, литографским и подобными способами на форматах, предусмотренных соответствующими государственными стандартами для типографских изданий, в графе «Формат» ставят прочерк;

– в графе «Зона» указывают обозначение зоны, в которой находится номер позиции записываемой составной части (при разбивке поля чертежа на зоны по ГОСТ 2.104–68).

Если имеются повторяющиеся номера позиций, то в спецификации в графе «Зона» проставляют «звездочку» со скобкой, а в графе «Примечание» указывают все зоны;

– в графе «Поз.» указывают порядковые номера составных частей, непосредственно входящих в специфицируемое изделие, в последовательности записи их в спецификации. Для разделов «Документация», «Комплекты» графу «Поз.» не заполняют.

В разделе «Материалы» – общее количество материалов на одно специфицируемое изделие с указанием единиц измерения. Допускается единицы измерения записывать в графе «Примечание» в непосредственной близости от графы «Кол.».

В разделе «Документация» графу не заполняют;

– в графе «Примечание» указывают дополнительные сведения для планирования и организации производства, а также другие сведения, относящиеся к записанным в спецификацию изделиям, материалам и документам, например, для деталей, на которые не выпущены чертежи, – массу.

Для документов, выпущенных на двух и более листах различных форматов, указывают обозначение форматов, перед перечислением которых проставляют знак «звездочки», например, *) А4, А3.

После каждого раздела спецификации допускается оставлять несколько свободных строк для дополнительных записей (в зависимости от стадии разработки, объема записей и т.п.). Допускается резервировать и номера позиций, которые проставляют в спецификацию при заполнении резервных строк.

В проекте обязательно должна быть ведомость ссылочных документов, документов на которые делались ссылки в пояснительной записке. Ведомость ссылочных документов ВД составляют по формам 4 и 4а (рис. 2.5 и 2.6). В ВД перечисляют документы, на которые имеются ссылки в конструкторских документах изделия, например:

– отраслевые стандарты и стандарты предприятий;

– технические условия на покупные изделия и материалы;

– технологические инструкции, устанавливающие отдельные требования к изделию (к покрытию, термообработке, сварке и т.п.).

Запись ссылочных документов в ВД производят по разделам в следующей последовательности:

– документы предприятий;

– отраслевые документы;

– государственные документы;

– межгосударственные документы.

Наименование разделов записывают в виде заголовков в графе «Наименование» и подчеркивают. В каждом разделе документы рекомендуется группировать по видам в следующей последовательности:

– стандарты;

– технические условия на покупные изделия и материалы;

– инструкции и т.п.

Документы одного вида рекомендуется записывать в порядке возрастания обозначений.

Графы ВД заполняют следующим образом:

– в графе «Обозначение» указывают обозначение документа;

– в графе «Наименование» указывают наименование документа.

В ВД комплекса не перечисляют ссылочные документы составных частей комплекса, на которые имеются свои ВД. В этом случае в конце ведомости дают ссылку на ВД входящих составных частей.

Таблицы. Таблицы выполняют на формах 9 и 9а, допускается применять форматы А3, при этом основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104–68 (формы 2 и 2а).

Расчеты. Расчеты выполняют на формах 9 и 9а, допускается применять форматы, при этом основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют также в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104–68.

Порядок изложения расчетов определяется характером рассчитываемых величин.

Расчеты в общем случае должны содержать:

– эскиз или схему рассчитываемого изделия;
– задачу расчета (с указанием, что требуется определить при расчете);
– данные для расчета;
– условия расчета;
– расчет;
– заключение.

Эскиз или схему допускается вычерчивать в произвольном масштабе, обеспечивающем четкое представление о рассчитываемом изделии.

Программы и методики испытаний (ПМ).

ПМ выполняют на формах 9 и 9а (рис. 2.1 и 2.2), необходимые схемы, таблицы и чертежи допускается выполнять на форматах А3, при этом основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют в соответствии с ГОСТ 2.104–68 (форма 1а).

Содержание ПМ обеспечивает объективную оценку качества изделия, в общем случае должна состоять из следующих разделов:

– общие положения;
– общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний;
– требования безопасности;
– определяемые показатели (характеристики) и точность их измерения;
– режимы испытаний изделия;
– методы испытаний и (или) измерений;
– отчетность.

В разделе «Общие положения» помещают:

– наименование и обозначение изделия в соответствии с основным конструкторским документом (проектом);
– цель испытаний;
– вид (виды) испытаний, которым подвергается изделие;
– условия предъявления изделия на испытания (порядок отбора, количество, комплектность, документальное сопровождение при предъявлении);
– порядок взаимодействия предъявителя изделия с представителем заказчика и другими предприятиями, участвующими в испытаниях.

В разделе «Общие требования к условиям, обеспечению и проведению испытаний» помещают требования:

– к месту проведения испытаний (цех, лаборатория и т.п.);
– к средствам проведения испытаний (приспособлениям, стендам, измерительной и вычислительной технике и т.п.);
– к условиям проведения испытаний (состояние окружающей, искусственно создаваемой или моделируемой среды и т.п.);
– к основным и дублирующим видам топлива, масел, охлаждающей жидкости, газов и т.п.;
– к подготовке изделия к испытаниям;
– к порядку работы на изделии по завершении испытаний;

– к персоналу, осуществляющему подготовку к испытанию и испытание.

В разделе «Требования безопасности» помещают:

– требования безопасности при подготовке изделия к испытаниям;

– требования безопасности при проведении испытаний;

– требования безопасности при выполнении работ по завершению испытаний.

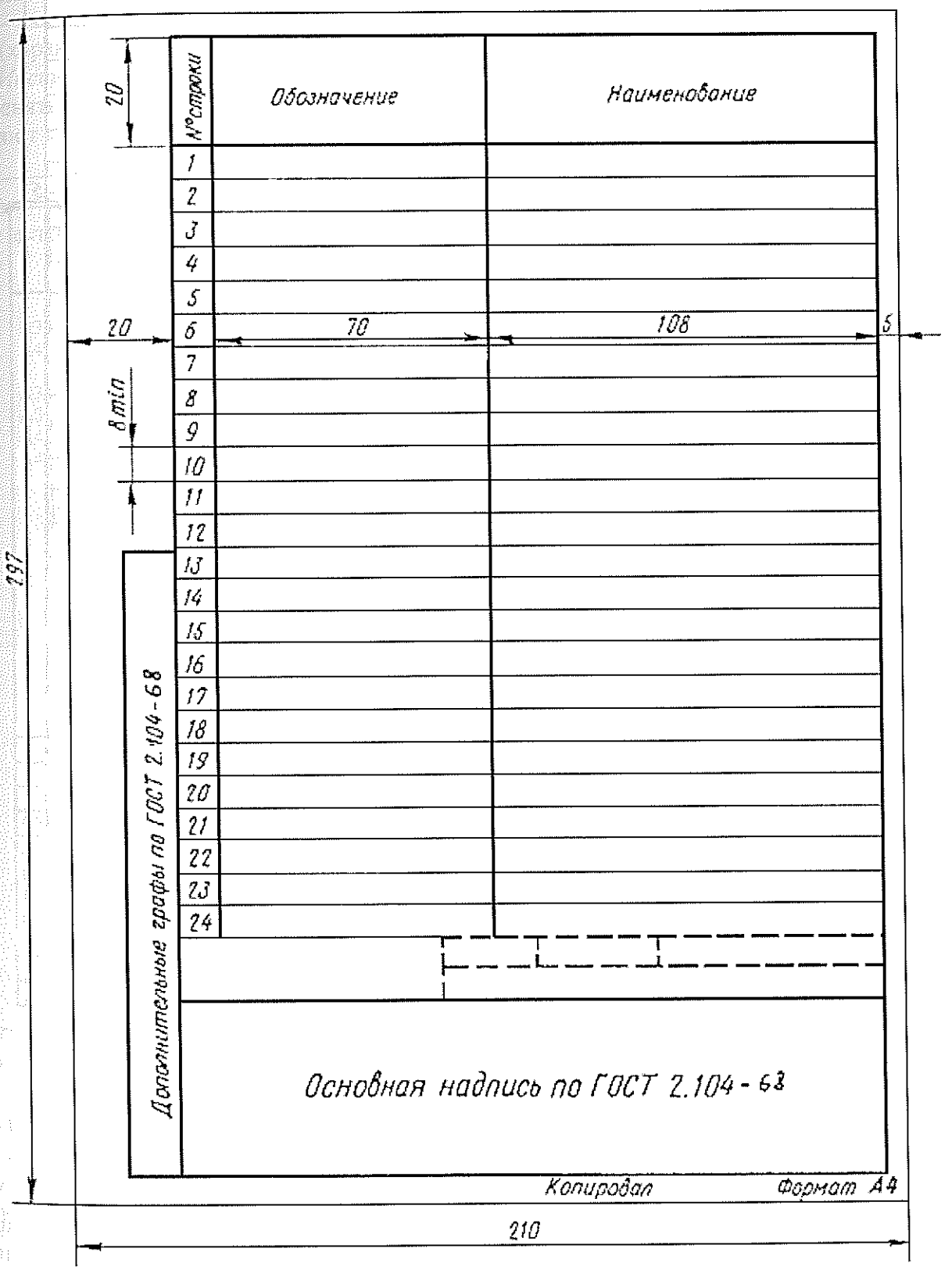


Рис. 2.5. Форма 4 ведомости ссылочных документов – заглавный лист

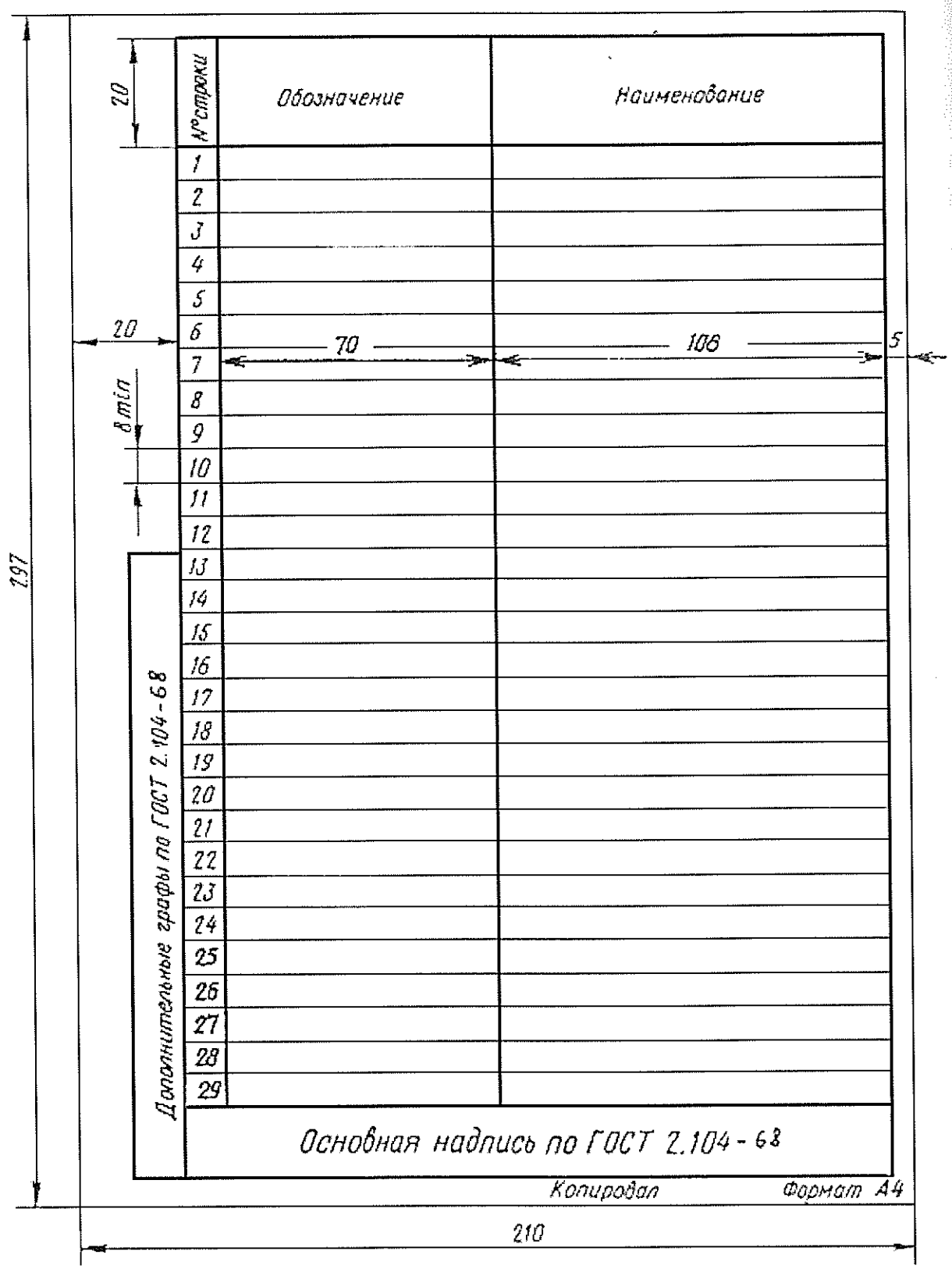


Рис. 2.6. Форма 4а ведомости ссылочных документов – последующие листы

В последние годы появилось большое количество новых коммутационных аппаратов и других электротехнических изделий, которые ранее не эксплуатировались. Для таких изделий в разделе «Организация эксплуатации ЭУ» могут представляться программы и методики испытаний.

В разделе «Определяемые показатели (характеристики) и точность их измерений» помещают:

– перечень определяемых показателей (характеристик) с указанием наименования, обозначения (при наличии), единицы измерения;

– номинальные значения показателей (характеристик) и предельные отклонения от номинальной величины или пределы изменения;

– указания, на каких видах и на каких этапах видов испытаний определяются показатели (характеристики).

Инструкции. Инструкции выполняют на формах 9 и 9а (рис. 2.1 и 2.2), допускается применять форматы А3, при этом основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.104–68 (формы 2 и 2а).

Ф-Т	ЗОНА	ПОЗ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	НАИМЕНОВАНИЕ	КОЛ.	ПРИМЕЧАНИЕ
А3			АБВГ.291439.015 СБ	Сборный чертеж		
А4			АБВГ.291439.015 РЭ	Руководство по эксплуатации		
А3		1	АБВГ.711322.003	Фланец	1	
А3		2	АБВГ.721112.013	Валик-шестерня	1	
А4		3	АБВГ.751812.001	Рейка	1	
А4		4	АБВГ.753741.004	Рукоятка	1	
		5		Винт М5–6gх10.66.05 ГОСТ 1491–80	4	
		6		Штифт 3m6x20 ГОСТ 3128–70	2	
		7		Масленка ЕГОС.301521.005 ТУ	1	

					АБВГ.291439.015		
ИЗМ.	Л	№ ДОКУМ	ПОДП.	ДАТА			
РАЗРАБ.					Зажим реечный	ЛИТ.	Л / Л-В
ПРОВ.						0 /	1
Н.КОНТР.							
УТВ.							

ИНВ № ПОДЛ	ПОДП И ДАТА	ВЗАМ ИНВ №	ИНВ № ДУБЛ	ПОДП И ДАТА

Формат А4

Рис. 2.7. Пример заполнения спецификации

Порядок изложения инструкций определяется характером излагаемых требований.

Прочие документы. Документы прочие выполняют также на формах указанных выше, допускается применять формат А3, при этом основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ и форм, указанных выше.

Порядок изложения документов прочих определяется характером излагаемых требований.

Примеры заполнения текстовых документов приведены на рис. 2.7, 2.8 (примеры выполнены на ЭВМ). Обозначения в примерах указаны условно.

Основные надписи в текстовых документах выполняются по ГОСТ 12.104–68. Основные надписи, дополнительные графы к ним и рамки выполняют сплошными основными и сплошными тонкими линиями по ГОСТ 2.303–68. Основные надписи располагают в правом нижнем углу разрабатываемых документов.

№ С-КИ	ОБОЗНАЧЕНИЕ	НАИМЕНОВАНИЕ
1	СТП 1501.02.005–93	Регулировка и пуск распределителей. Инструкция
2	СТП 1501.02.005–93	Отливка в кокиль алюминиевых сплавов. Инструкция
		(и т.д.)
3	ОСТ 35.1182–93	Общие требования к контролю отливок
4	ТАПК.432831.005ТУ	Лампа ГС–45Б. Технические условия
5	ТАПК.433825.001ТУ	Лампа СК–25. Технические условия
6	ЦВАА.296156.015ТУ	Приспособления для пайки алюминия и его сплавов. Технические условия
		(и т.д.)

					АГБВ.318231.114 ВД			
ИЗМ.	Л	№ ДОКУМ	ПОДП.	ДАТА				
РАЗРАБ.					Распределитель автоматический	ЛИТ.	Л	Л-В
ПРОВ.						0		1
Н.КОНТР.					Ведомость ссылочных документов			
УТВ.								

ИНВ № ПОДЛ	ПОДП И ДАТА	ВЗАМ ИНВ №	ИНВ № ДУБЛ	ПОДП И ДАТА

Формат А4

Рис. 2.8. Пример заполнения ссылочных документов

Содержание, расположение и размеры граф основных надписей, дополнительных граф к ним, а также размеры рамок на чертежах и схемах должны соответствовать форме 1 основных надписей представляемых на рис. 2.9, а в текстовых документах – формам 2, 2а и 2б (рис. 2.10, 2.11 и 2.12).

На листах формата А4 по ГОСТ 2.301–68 основные надписи располагаются вдоль короткой стороны листа.

Таблица изменений в основной надписи при необходимости может продолжаться вверх или влево от основной надписи (при наличии графы 33 – влево от нее).

При расположении таблицы изменений слева от основной надписи наименование граф 14 – 18 повторяют.

Расположение дополнительных граф показано на рис. 2.13.

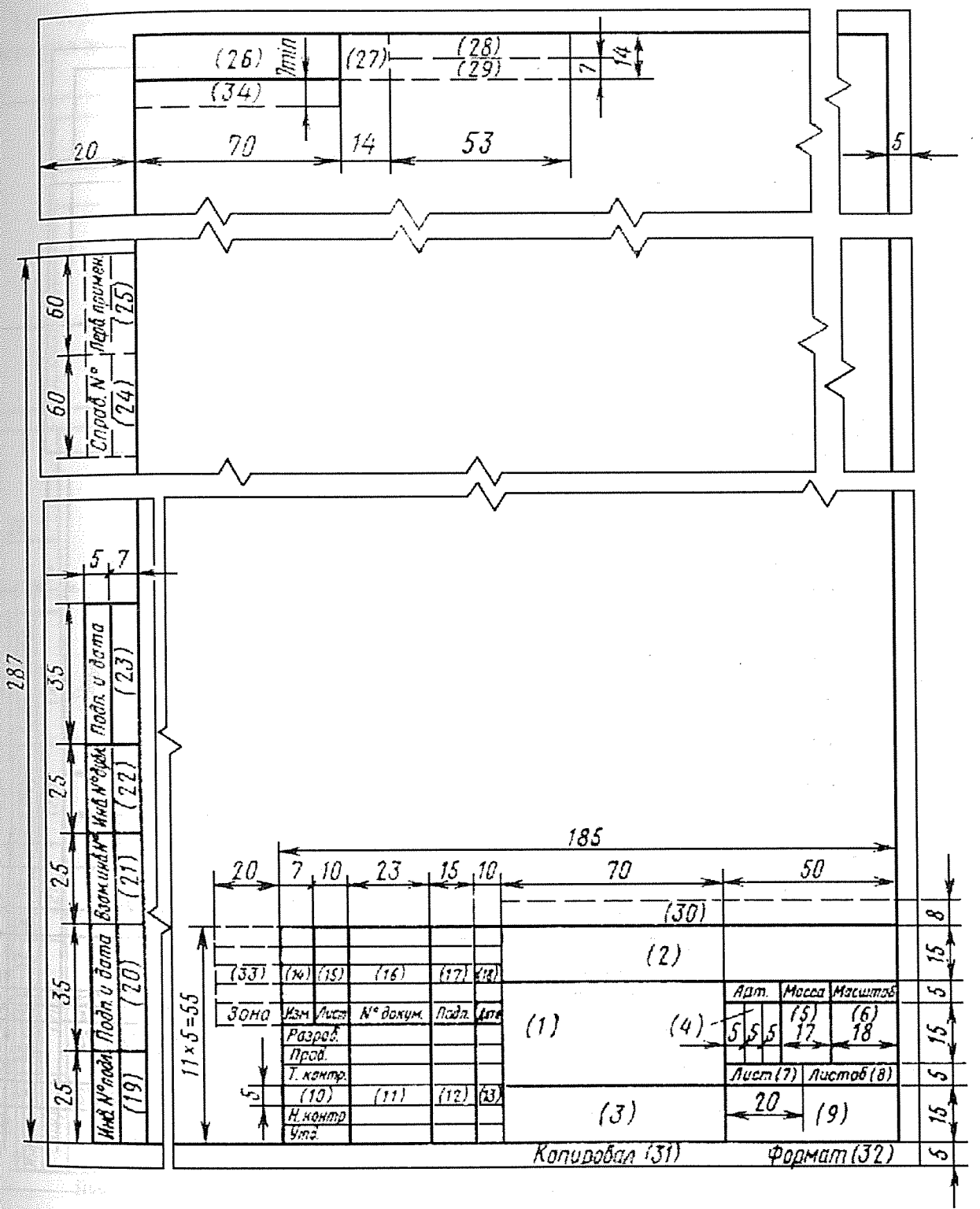


Рис. 2.9. Форма 1 основных надписей для чертежей и схем – первый лист

Для быстрого нахождения на чертеже (схеме) составной части изделия или его элемента рекомендуется разбивать поле чертежа (схемы) на зоны. Отметки, разделяющие чертеж (схему) на зоны, рекомендуется наносить на расстоянии, равном одной из сторон формата А4 (рис. 2.14а, б).

– в графе 1 – наименование изделия (в соответствии с требованиями ГОСТ 2.109–73), а также наименование документа, если этому документу присвоен код. Для изделий народнохозяйственного назначения, допускается не указывать наименование документа, если его код определен ГОСТ 2.102–68, ГОСТ 2. 601–95, ГОСТ 2.602–95, ГОСТ 2.701–84;

– в графе 2 – обозначение документа;

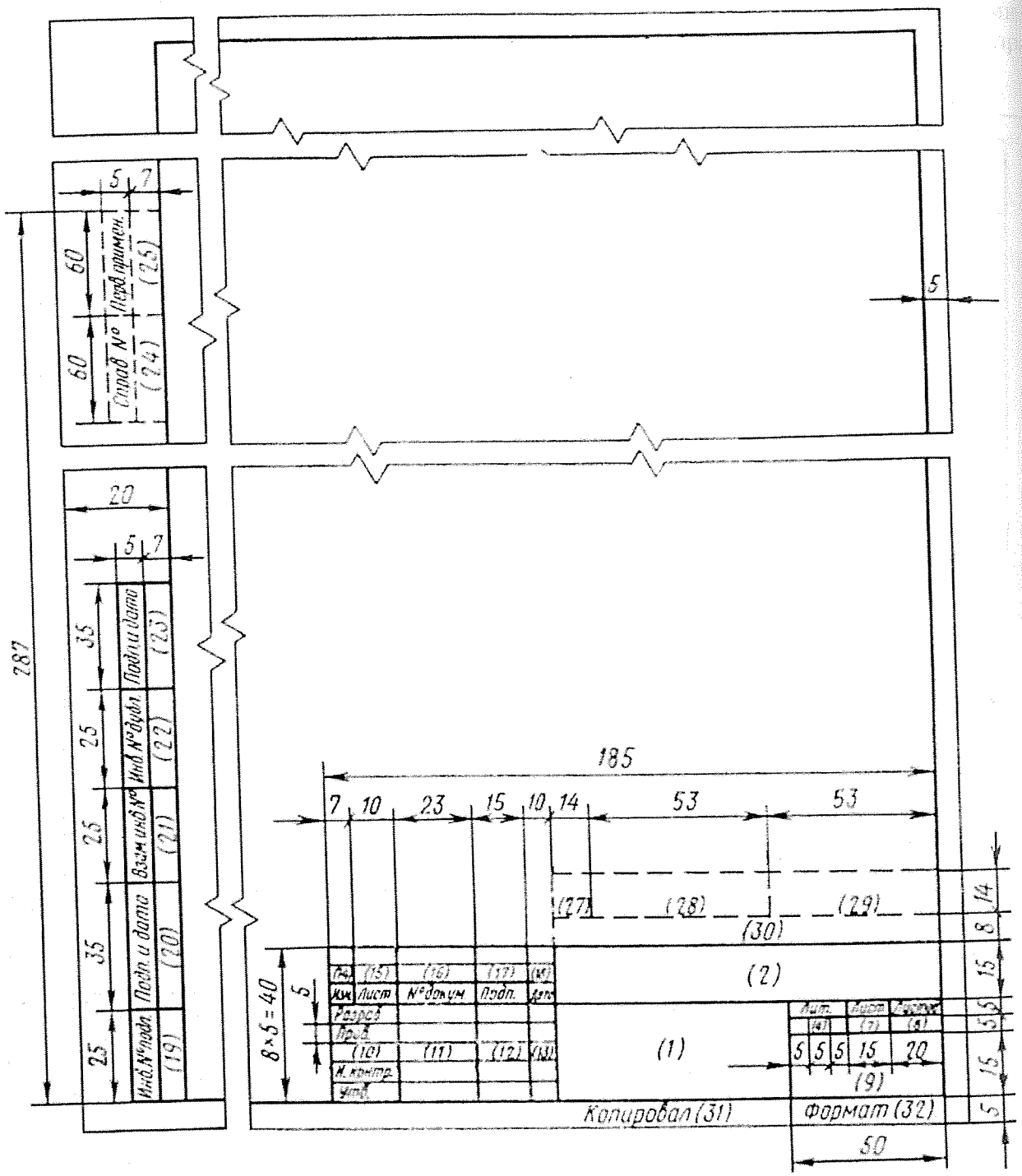


Рис. 2.10. Форма 2 основных надписей для текстовых документов – первый или заглавный лист

– в графе 3 – обозначение материала детали (графу заполняют только на чертежах деталей);

– в графе 4 – литеру, присвоенную данному документу (графу заполняют последовательно, начиная с крайней левой клетки).

Отметки наносят:

по горизонтали – арабскими цифрами справа налево;

по вертикали – прописными буквами латинского алфавита снизу вверх.

Зоны обозначают сочетанием цифр и букв, например: 1А, 2А, 3А, 1В, 2В, 3В и т.д.

На чертежах (схемах) с одним обозначением, выполненных на нескольких листах, нумерация зон по горизонтали должна быть сквозной в пределах всех листов.

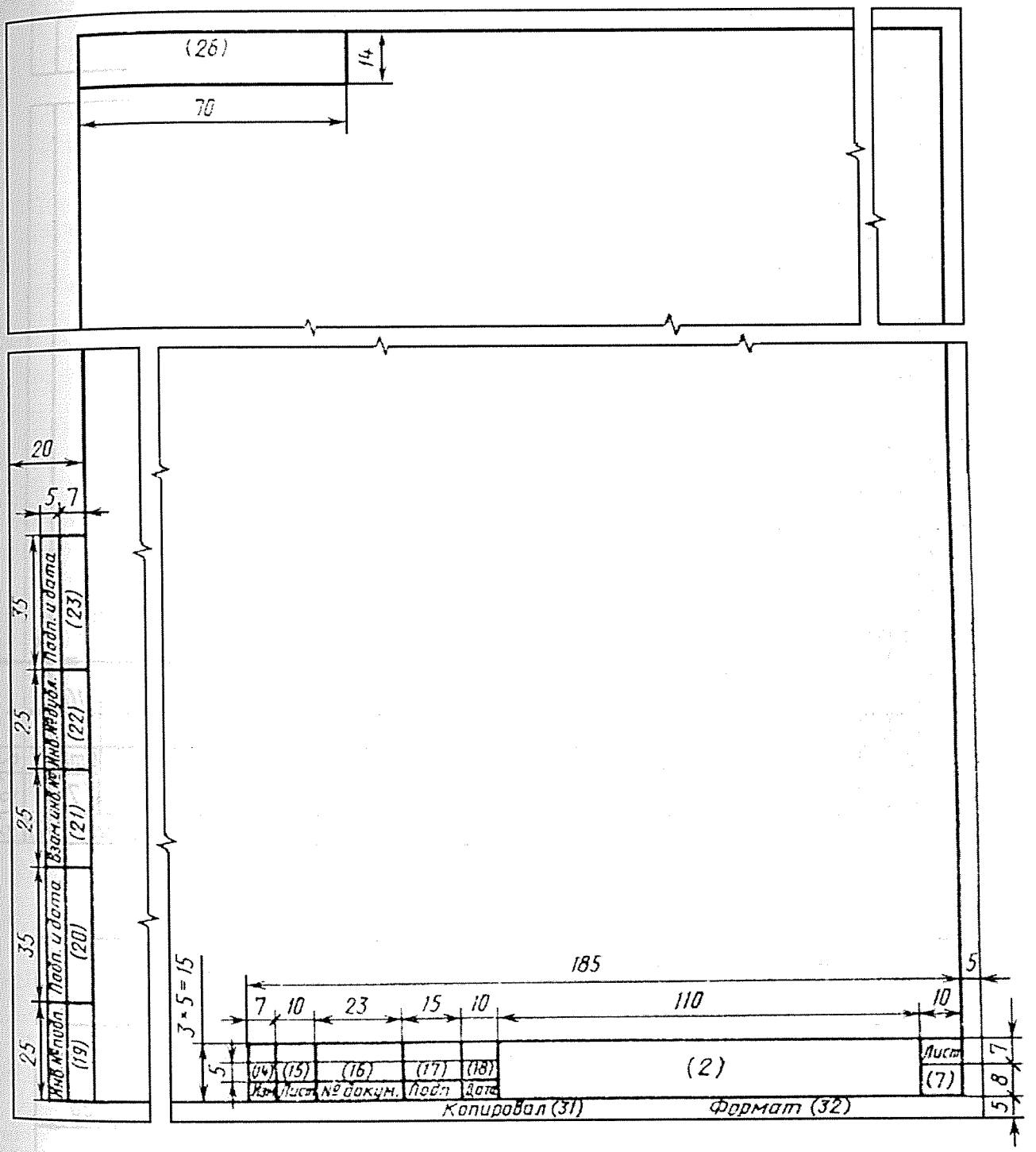


Рис. 2.11. Форма 2а основных надписей для чертежей (схем) и текстовых документов – последующие листы

В графах основной надписи и дополнительных графах (номера граф на формах показаны в скобках) указывают:

Допускается в рабочей документации литеру проставлять только в спецификациях и технических условиях.

Для изделий, разрабатываемых по заказу, перечень документов, на которых должна обязательно проставляться литера, согласуется с заказчиком (представителем заказчика);

– в графе 5 – массу изделия по ГОСТ 2.109–73;

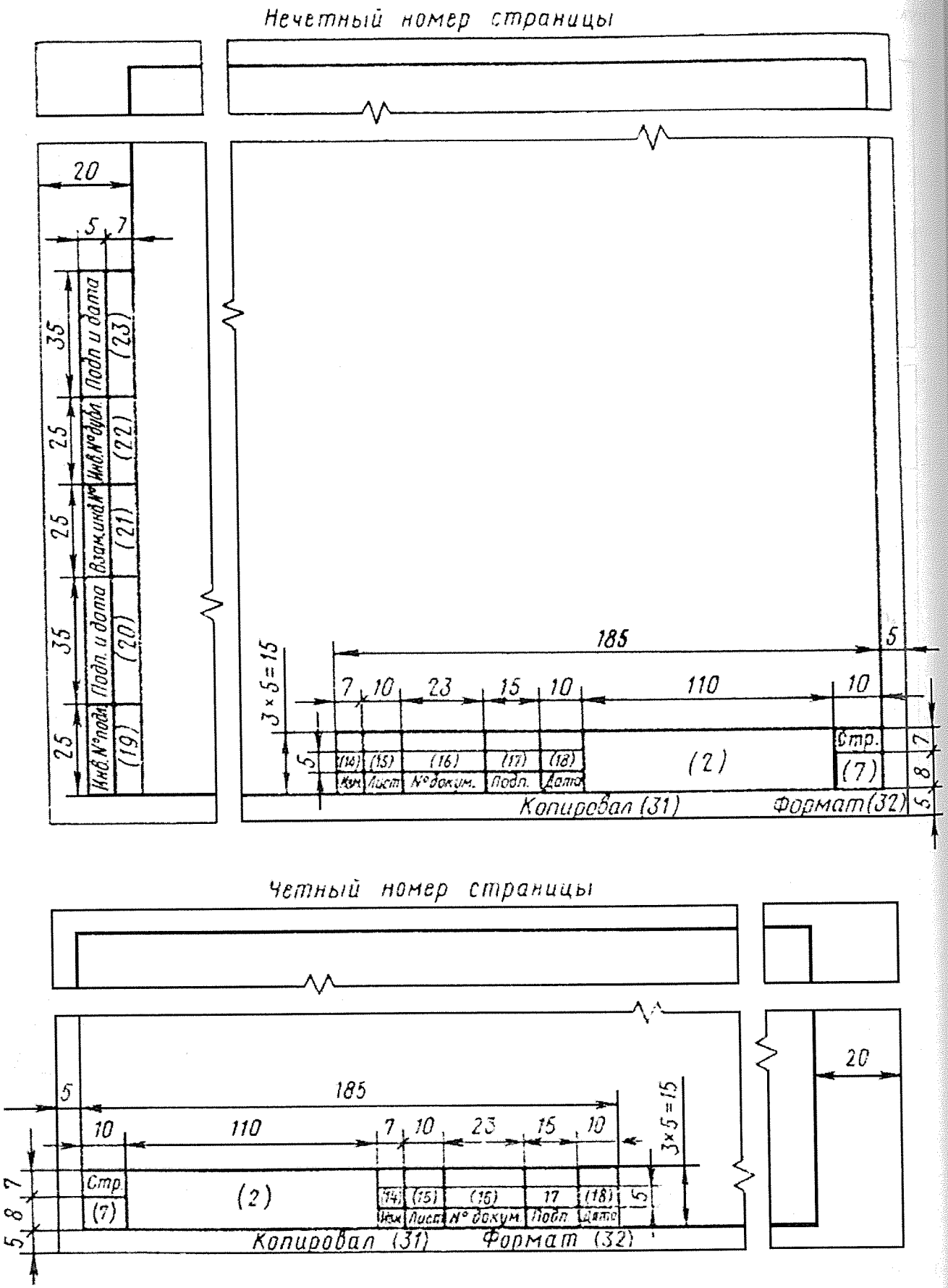
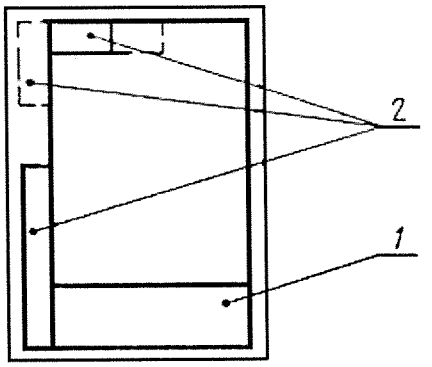
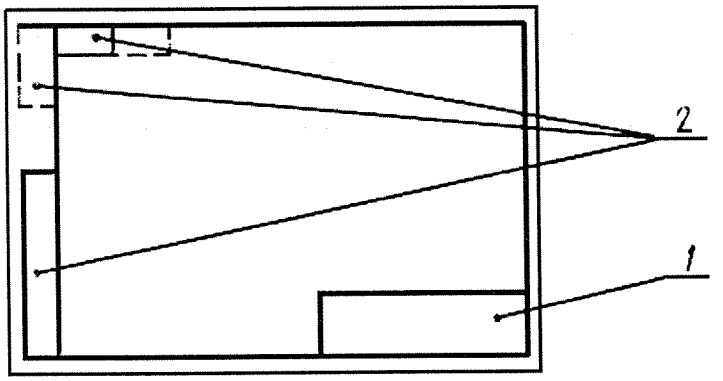


Рис. 2.12. Форма 2б основной надписи для текстовых документов при двухстороннем копировании – последующие листы

Для формата А4



Для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа



Для формата больше А4 при расположении основной надписи вдоль короткой стороны листа

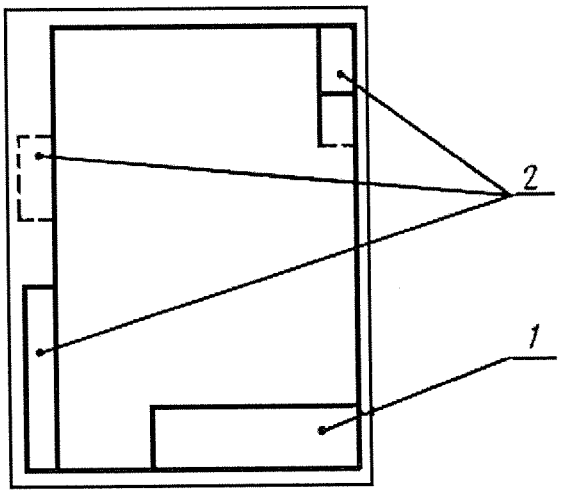
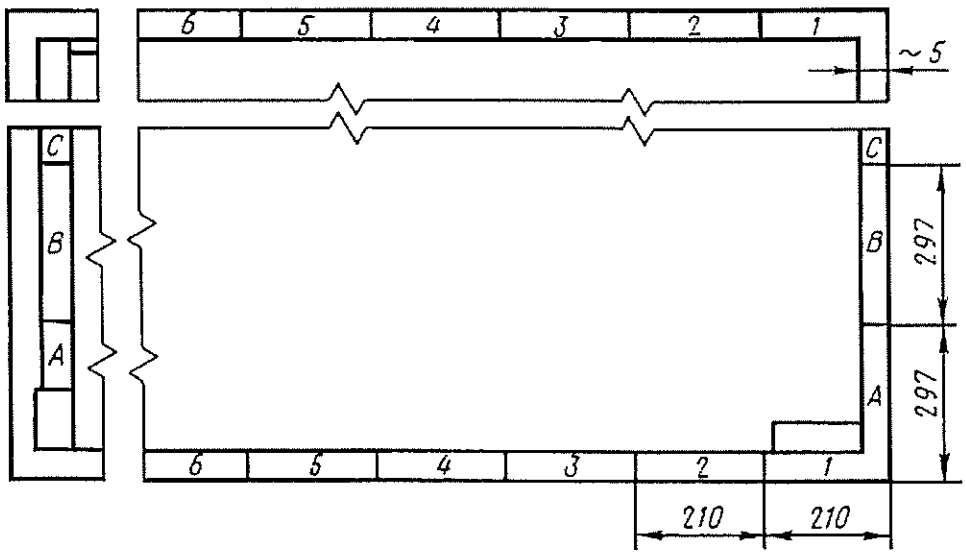
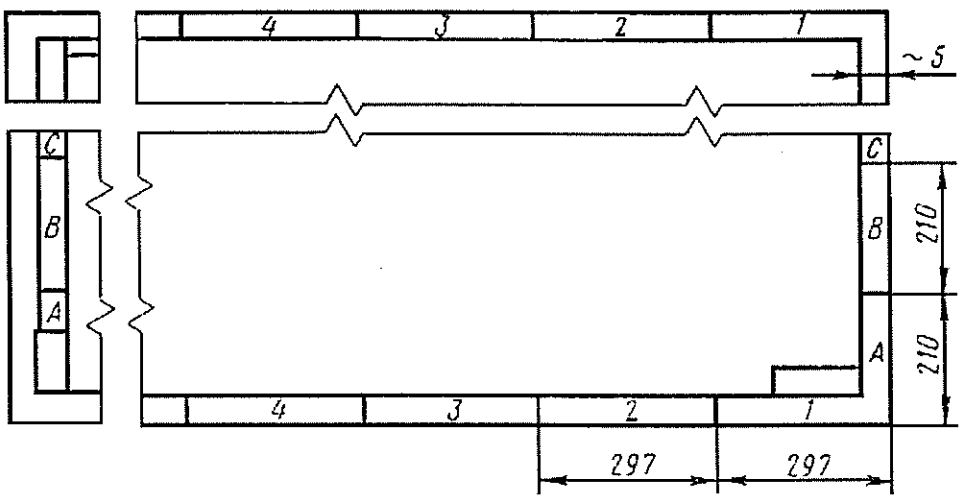


Рис. 2.13. Расположение дополнительных граф на схемах и текстовых документах:
1 – основная надпись, 2 – дополнительные графы



а)



б)

Рис. 2.14. Примеры разбивки поля чертежа на зоны: а – разделение на зоны равные меньшей стороне листа формата А4, б – разделение на зоны равные большей стороне листа формата А4

– в графе 6 – масштаб (проставляется в соответствии с ГОСТ 2.302–68 и ГОСТ 2.109–73);

– в графе 7 – порядковый номер листа (на документах, состоящих из одного листа, графу не заполняют);

– в графе 8 – общее количество листов документа (графу заполняют только на первом листе);

– в графе 9 – наименование или различительный индекс предприятия, выпускающего документ (графу не заполняют, если различительный индекс содержится в обозначении документа);

– в графе 10 – характер работы, выполняемой лицом, подписывающим документ, в соответствии с формами 1 и 2. Свободную строку заполняют по усмотрению разработчика, например: «Начальник отдела», «Начальник лаборатории», «Рассчитал»;

– в графе 11 – фамилии лиц, подписавших документ;

– в графе 12 – подписи лиц, фамилии которых указаны в графе 11;

Подписи лиц, разработавших данный документ и ответственных за нормоконтроль, являются обязательными.

При отсутствии титульного листа допускается подпись лица, утвердившего документ, размещать на свободном поле первого или заглавного листа документа в порядке, установленном для титульных листов по ГОСТ 2.105–95.

Если необходимо на документе наличие визы должностных лиц, то их размещают на поле для подшивки первого или заглавного листа документа;

– в графе 13 – дату подписания документа;

– в графах 14 – 18 – графы таблицы изменений, которые заполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.503–90;

– в графе 19 – инвентарный номер подлинника по ГОСТ 2.501–88;

– в графе 20 – подпись лица, принявшего подлинник в отдел (бюро) технической документации, и дату приемки;

– в графе 21 – инвентарный номер подлинника, взамен которого выпущен данный подлинник по ГОСТ 2.503–90;

– в графе 22 – инвентарный номер дубликата по ГОСТ 2.502–68;

– в графе 23 – подпись лица, принявшего дубликат в отдел (бюро) технической документации, и дату приемки;

– в графе 24 – обозначение документа, взамен или на основании которого выпущен данный документ. Допускается также использовать графу для указания обозначения документа аналогичного изделия, для которого ранее изготовлена технологическая оснастка, необходимая для данного изделия;

– в графе 25 – обозначение соответствующего документа, в котором впервые записан данный документ;

– в графе 26 – обозначение документа, повернутое на 180° для формата А4 и для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль длинной стороны листа и на 90° для форматов больше А4 при расположении основной надписи вдоль короткой стороны листа;

– в графе 27 – знак, установленный заказчиком в соответствии с требованиями нормативно-технической документации и проставляемый представителем заказчика;

– в графе 28 – номер решения и год утверждения документации соответствующей литеры;

– в графе 29 – номер решения и год утверждения документации;

– в графе 30 – индекс заказчика в соответствии с нормативно-технической документацией;

– в графе 31 – подпись лица, копировавшего чертеж;

– в графе 32 – обозначение формата листа по ГОСТ 2.301–68;

– в графе 33 – обозначение зоны, в которой находится изменяемая часть изделия;

– в графе 34 – номера авторских свидетельств на изобретения, использованные в данном изделии.

Рассмотрим общие правила выполнения чертежей и схем, более подробно указанные правила можно рассматривать только на примере конкретного проекта, что превратит справочник в инструкцию, в которой сделана попытка дать ответы проектировщику на все вопросы, что в принципе не возможно.

Примечания:

1. Графа 26 на форме 2а является обязательной только для чертежей и схем

2. Графы, выполненные штриховой линией, вводят при необходимости. Графы 27–30 обязательны для документов, утверждаемых заказчиком.

3. При использовании для последующих листов чертежей и схем формы 1 графы 1, 3, 4, 5, 6, 9 не заполняют.

В нормативно-технических документах изложены достаточно четкие требования и к выполнению схем. Рассмотрим эти требования.

2.2. Общие требования к выполнению схем

Основными техническими документами, которые дают целостное наглядное представление об электрической сети и т.п. являются чертежи или электрические схемы.

Основными техническими документами, в которых должен хорошо разбираться каждый проектировщик, электромонтажник и электромонтер, являются чертежи и электрические схемы.

Чертеж дает представление о форме, размере, материале и составе изделия (установки). Однако во многих случаях, когда данное изделие (установка) состоит из целого ряда элементов (деталей), по чертежу не всегда можно понять взаимную (функциональную) связь между этими элементами. Чтобы разобраться в этих связях, служит схема, что особо важно при пользовании чертежами электрических установок.

Электрической схемой называют упрощенное и наглядное изображение связи между отдельными элементами электрической цепи, выполненное при помощи условных обозначений и позволяющее понять принцип действия данного электрического устройства, определить его состав и (с некоторым приближением) его стоимость.

Электрическая схема облегчает ознакомление с любой электроустановкой и с любым электрическим аппаратом, как в натуре, так и в чертежах, а при аварии помогает найти место повреждения в электрической цепи, является руководством при монтаже любых видов электропроводок, а также дает указание о способе и порядке соединений отдельных участков цепи.

Согласно ГОСТ 2.701–84 схемы в зависимости от видов элементов и связей, входящих в состав изделия (установки), подразделяют на следующие виды:

- электрические;
- гидравлические;
- пневматические;
- газовые (кроме пневматических);
- кинематические;
- вакуумные;
- оптические;
- энергетические;
- деления;
- комбинированные.

Для изделия, в состав которого входят элементы разных видов, разрабатывают несколько схем соответствующих видов одного типа, например, схема электрическая принципиальная и схема гидравлическая принципиальная или одну комбинированную схему, содержащую элементы и связи разных видов.

На схеме одного вида допускается изображать элементы схем другого вида, непосредственно влияющие на работу схемы этого вида, а также элементы и устройства, не входящие в изделие (установку), на которое (которую) составляют схему, но необходимые для разъяснения принципов работы изделия (установки).

В данном параграфе будем рассматривать общие требования к выполнению схем всех видов, но более подробно будут рассмотрены схемы электрические.

Кроме рассмотренной классификации схемы в зависимости от основного назначения подразделяются на следующие типы:

- структурные;
- функциональные;
- принципиальные;
- соединений;
- подключения;
- общие;

- расположения;
- объединенные.

Электрические схемы кроме указанных типов бывают: принципиальные – полные, а схемы соединений – монтажные.

Наименование и код схем определяют их видом и типом. Наименование схемы комбинированной определяют комбинированными видами схем и типов схемы.

Наименование схемы объединенной определяют видом схемы и объединенными типами схемы.

Код схемы должен состоять из буквенной части, определяющей вид схемы, и цифровой части, определяющей тип схемы. Виды схем обозначают буквами:

электрические	– Э;
гидравлические	– Г;
пневматические	– П;
газовые (кроме пневматических)	– Х;
кинематические	– К;
вакуумные	– В;
оптические	– Л;
энергетические	– Р;
деления	– Е;
комбинированные	– С.

Типы схем обозначают цифрами:

структурные	– 1;
функциональные	– 2;
принципиальные (полные)	– 3;
соединений (монтажные)	– 4;
подключения	– 5;
общие	– 6;
расположения	– 7;
объединенные	– 8;

Например, схема электрическая принципиальная – Э3; схема гидравлическая соединений – Г4; схема деления структурная – Е1; схема электрогидравлическая принципиальная – С3; схема электрогидропневмокинематическая принципиальная – С3; схема электрическая соединений и подключения – Э0; схема гидравлическая структурная, принципиальная и соединений – Г0.

К схемам или взамен схем в случаях, установленных правилами выполнения конкретных видов схем, выпускают в виде самостоятельных документов таблицы, содержащие сведения о расположении устройств, соединениях, местах подключения и другую информацию. Таким документам присваивают код, состоящий из буквы Т и кода соответствующей схемы. Например, код таблицы соединений к электрической схеме соединений – ТЭ4.

В основной надписи (графа 1) документа указывают наименование изделия, а также наименование документа «Таблица соединений». Таблицы соединений записывают в спецификацию после схем, к которым они выпущены, или вместо них.

Допускается разрабатывать схемы совмещенные, когда на схемах одного типа помещают сведения, характерные для схемы другого типа, например, на схеме соединений изделия (установки) показывают его внешние подключения. При выполнении схем совмещенных должны быть соблюдены правила, установленные для схем соответствующих типов. Номенклатура, наименования и коды совмещенных схем должны быть установлены в отраслевых стандартах.

Если в связи с особенностями изделия (установки) объем сведений, необходимых для его проектирования, регулировки, контроля, ремонта и эксплуатации, не может быть пере-

дан в комплекте документации в схемах установленных видов и типов, то допускается разрабатывать схемы прочих видов и типов.

Номенклатура, наименования и коды прочих схем должны быть установлены в отраслевых стандартах.

На изделие (установку) допускается выполнять схему определенного вида и типа на нескольких листах или вместо одной схемы определенного вида и типа выполнять совокупность схем того же вида и типа. При этом каждая схема должна быть оформлена как самостоятельный документ.

При выпуске на изделие (установку) нескольких схем определенного вида и типа в виде самостоятельных документов допускается в наименовании схемы указывать название функциональной цепи или функциональной группы (например, схема электрическая принципиальная привода, схема электрическая принципиальная цепей питания; схема гидравлическая принципиальная привода, схема гидравлическая принципиальная смазки, схема гидравлическая принципиальная охлаждения).

В этом случае каждой схеме присваивают обозначение по ГОСТ 2.201–80, как самостоятельному конструкторскому документу и, начиная со второй схемы, к коду схемы в обозначении добавляют через точку арабскими цифрами порядковые номера (например, АБВГ.ХХХХХХ.ХХХЭ3, АБВГ.ХХХХХХ.ХХХЭ3.1; АБВГ.ХХХХХХ.ХХХГ3, АБВГ.ХХХХХХ.ХХХГ3.1, АБВГ.ХХХХХХ.ХХХГ3.2).

Соответствия кодов типов электрических схем по ГОСТ 2.701–84 приведено в табл. 2.2.1.

Таблица 2.2.1

Информационные данные о соответствии кодов типов схем

Наименование типов схем	Код типа схемы по ГОСТ 2.701–84
Структурные	1
Функциональные	2
Принципиальные (полные)	3
Эквивалентные	–
Соединений (монтажные)	4
Подключения	5
Общие	6
Расположения	7
Электрооборудования и проводки на планах	–
Электроснабжения и связи	–
Объединенные	0

Более подробно рассмотрим содержание и назначение структурных, функциональных, принципиальных, принципиальных полных, соединений монтажных электрических схем.

Структурные схемы

Схемы этого типа определяют основные элементы установки или изделия и разрабатываются на первой стадии проектирования (например, в проектном задании) для первоначальных решений.

Их используют иногда для общего ознакомления с установкой или изделием. Поэтому на этих схемах дают упрощенное изображение основных элементов в виде прямоугольников и линии связи между этими элементами. Внутри прямоугольников обычно вписывают наименование элемента, а иногда и другие данные (например, мощность, напряжение и

др.). Таким образом, структурная схема дает только общее представление об установке (или системе установок).

На рис. 2.15 показана структурой схема крупного производственного предприятия, имеющего собственную теплоэлектростанцию ТЭС, а также получающего энергию от районной энергосистемы через главную понижающую подстанцию (ГПП), электроэнергия напряжением 220 кВ подается из района по двум линиям электропередачи. Генераторы собственной ТЭС имеют напряжение 10 кВ.

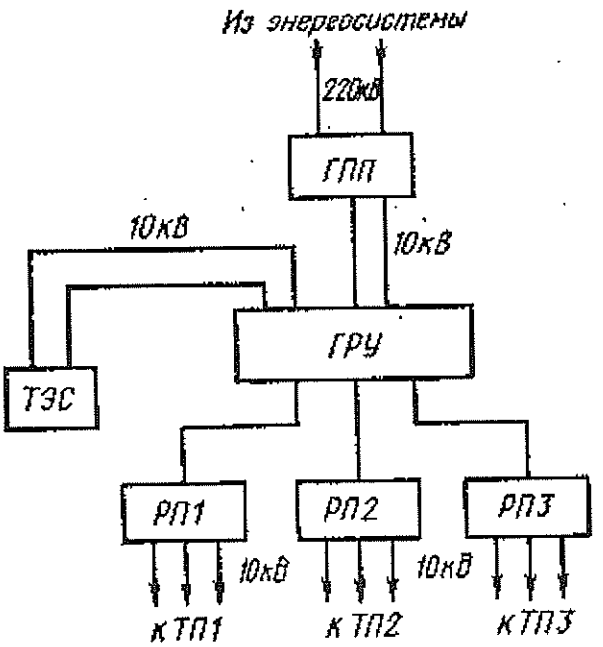


Рис. 2.15. Структурная схема электроснабжения промышленного предприятия

Для возможности параллельной работы ТЭС и районной энергосистемы на ГПП должны быть установлены один или несколько понижающих трансформаторов напряжением 220/10 кВ. Кабели 10 кВ от ГПП и ТЭС подводятся к распределительным шинам 10 кВ главного распределительного устройства ГРУ, откуда энергия под напряжением 10 кВ распределяется через соответствующие распределительные пункты (РП) по цеховым трансформаторным подстанциям ТП.

Обычно структурные схемы дают, только качественное понятие об общей структуре установки. Как видно из рис. 2.15, никакой информации о мощности и количестве генераторов и трансформаторов в отдельных элементах схемы не приводится.

Функциональные схемы

Схемы этого типа разъясняют определенные процессы в отдельных элементах установок или энергетических устройств, являются дальнейшим развитием структурных схем и служат для более углубленного ознакомления с ними.

В этих схемах дается значительно более широкая и полная характеристика всех элементов установки. Внутри каждого прямоугольника изображают, пользуясь условными обозначениями, все энергоисточники (генераторы) и преобразователи (трансформаторы) с указанием их мощности. Связи между отдельными элементами конкретизируются, т.е. указываются количество и типы соединительных линий.

Для примера на рис. 2.16 показана функциональная схема электроснабжения крупного производственного предприятия, структурная схема которого была приведена на рис. 2.15. Из рис. 2.16 видно, что на функциональной схеме в отличие от структурной каждый круп-

ный элемент системы электроснабжения (ГПП, ТЭС, ГРУ и РП) изображен с большими подробностями и с нанесением в пределах соответствующего прямоугольника отдельных, относящихся к нему агрегатов (генераторов и трансформаторов) с указанием их мощности, что позволяет понять назначение этих элементов и их роль в процессе электроснабжения.

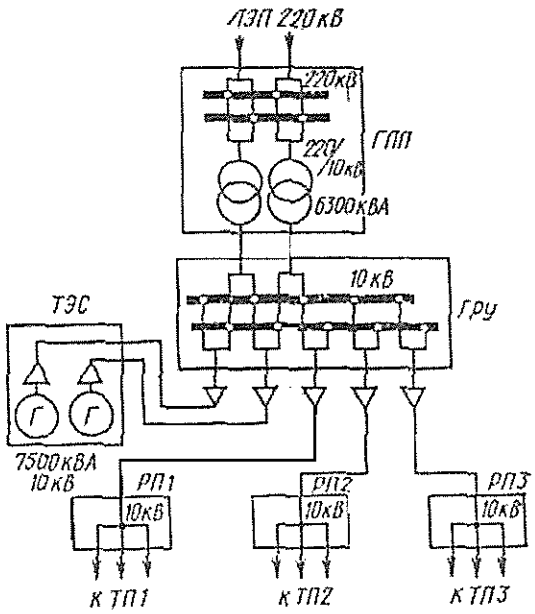


Рис. 2.16. Функциональная схема электроснабжения промышленного предприятия

Функциональные схемы дают более конкретную картину установки и часто используются при проектировании электроснабжения, например при расчете токов короткого замыкания и выборе основного оборудования на распределительных устройствах и трансформаторных подстанциях.

Как видно из рис. 2.16, электропередачи 220 кВ подключаются к двойной системе шин ГПП, на которой устанавливаются два трансформатора 220/10 кВ мощностью по 6300 кВ·А, а на ТЭС – два генератора по 7500 кВ·А напряжением 10 кВ. Для обеспечения высокой надежности снабжения предприятия электроэнергией на главном распределительном устройстве (ГРУ) предусматривается также двойная система шин, к которой подсоединяются кабели от генераторов ТЭС и сторона 10 кВ трансформаторов ГПП. К ним присоединяются также три распределительных пункта (РП1, РП2 и РП3) с одинарной системой шин, через которые электроэнергия распределяется по цеховым трансформаторным подстанциям.

Принципиальные полные схемы

Схемы этого типа выполняют значительно подробнее структурных и функциональных. Их назначение не только облегчить понимание принципа действия устройства во всех подробностях, но и дать исходный материал для составления схем соединений, спецификаций и заявок на основное оборудование, приборы и аппараты, а также для разработки конструктивных чертежей распределительных устройств и щитов.

На принципиальной схеме изображают все электрические элементы, необходимые для нормальной работы установки (все аппараты включения и выключения, измерительные трансформаторы тока и напряжения), а также все электрические связи между ними.

Все элементы схемы вычерчиваются в отключенном положении в виде условных графических обозначений в соответствии с действующими ГОСТами. Условные графические

обозначения изображают на схеме либо в положении, в котором они даны *q* стандарте, либо повернутыми на угол 90° против часовой стрелки.

Принципиальные схемы бывают в однолинейном и многолинейном изображениях. При однолинейном способе все пени одной и той же системы (например, три фазы трехфазной цепи) изображают одной линией. Аналогично все три ножа рубящего трехполюсного выключателя или разъединителя и многофазную линию связи обозначают на схеме одной линией, При многолинейном способе каждую цепь одной и той же системы (фазы) изображают отдельной линией, а элементы каждого аппарата в их условном изображении дают отдельно для каждой цепи (фазы).

Линии связи должны быть показаны, как правило, полностью. Обрывать их допускается лишь в схемах очень большого размера или в случае второстепенных линий связи (например, цепи накала вакуумных электронных ламп), если полное изображение этих связи затруднило бы чтение основной схемы. Линии связи должны иметь толщину от 0,2 до 0,6 мм (в отдельных случаях допускается до 1 мм). Толщина линий силовых цепей должна быть толще линий вспомогательных цепей (цепей напряжения, цепей реле и автоматики и т.п.).

Каждый элемент, входящий в схему, должен иметь буквенно-цифровое обозначение согласно ГОСТ 2.709–89. Буквенное обозначение должно представлять собой сокращенное наименование элемента, составленное из его начальных букв, например: трансформатор – Тр, трансформатор тока – ТТ, трансформатор напряжения – Тн, реле – Р и т.д.

Следует отметить, что в соответствии с ГОСТ 2.710–81 обозначения элементов должны выполняться латинскими буквами (в связи с расширением международных торговых связей). Однако в настоящем учебном пособии использованы русские буквы, так как читатель книги – в основном молодежь, не имеющая еще среднего образования, следовательно, латинские буквы для нее станут лишним усложнением.

Для пояснения функционального назначения некоторых элементов рекомендуется присвоение этим элементам дополнительных буквенных обозначений, например: КнП – кнопка «Пуск», КнС – кнопка «Стоп», РВ – реле вращения, РСк – реле скорости, Кл – контактор линейный.

Цифры порядковых номеров, которые на схеме присвоены одинаковым элементам, должны быть выполнены одним размером шрифта с буквенными обозначениями элемента и следовать за буквенным обозначением (например, Р1, Р2, ..., В1, В2, ... и т.д.).

В зависимости от назначения цепей принципиальные схемы разделяются на:

- схемы силовых цепей (цепей главного тока);
- схемы вспомогательных цепей (к ним относятся схемы цепей электрических измерений, управления электрическими аппаратами, сигнализации, автоматики и др.);
- объединенные схемы, где на одном чертеже изображаются цепи силовые и вспомогательные.

В принципиальных схемах условные графические обозначения выполняют совмещенным и разнесенным способами.

При совмещенном способе некоторые элементы схемы (например, катушки и кнопки управления, реле, трансформаторы тока и др.) размещают так, как эти элементы расположены в натуре, т.е. – в непосредственной близости от основных элементов изделия (например, втягивающие катушки контактора рядом с условным обозначением контактов).

При разнесенном способе условные графические изображения составных частей элементов располагают в разных местах схемы, исходя из порядка прохождения по ним тока (т.е. последовательно), так чтобы отдельные цепи электрического аппарата были изображены наиболее наглядно. Разнесенным способом допускается вычерчивать как всю схему, так и ее отдельные части.

Отдельные цепи должны быть расположены одна под другой и образовывать параллельные строки (строчный способ выполнения разнесенной схемы). Допускается распола-

гать строки на схеме и в вертикальном направлении. При выполнении схемы строчным способом рекомендуется параллельные строки нумеровать.

Для возможности чтения схем с разнесенным изображением все элементы одного и того же аппарата должны иметь одинаковое обозначение.

Принципиальные схемы ТП

Принципиальные схемы силовых цепей чаще всего выполняются в однолинейном изображении, хотя иногда можно встретить и многолинейные схемы.

На принципиальных схемах, приведенных на рис. 2.17 и 2.18 показаны главные силовые цепи небольшой трансформаторной подстанции соответственно в многолинейном и однолинейном изображениях.

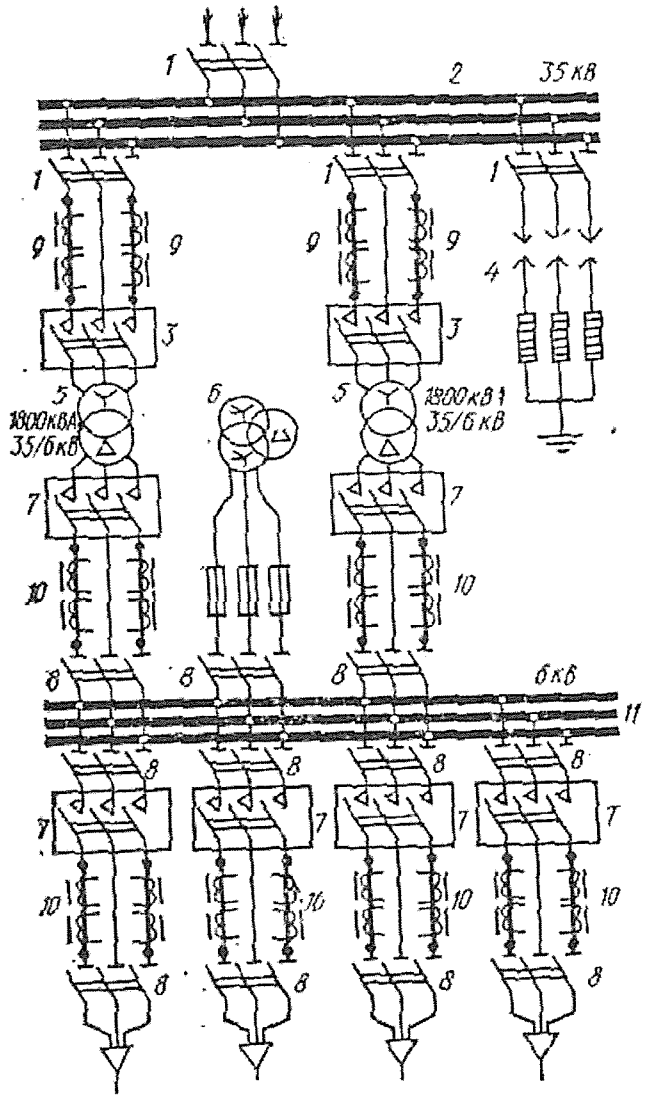


Рис. 2.17 Принципиальная схема главных цепей трансформаторной подстанции в многолинейном изображении

Для упрощения схемы управления и измерительных приборов на рисунках не показаны.

Из схем видно, что в качестве аппаратов для включения и выключения нагрузки с обеих сторон каждого трансформатора 5 установлены высоковольтные выключатели 3 и 7. Кроме того, для отключения выключателей от шин 35 и 6 кВ (2 и 11) имеются трехполюсные разъединители 7 и 8. Присоединение к шинам 11 отходящих фидеров производят посредством высоковольтных выключателей 7 и двух комплектов разъединителей 8, при по-

мощи которых можно отсоединить каждый масляный выключатель как от шин 6 кВ, так и от отходящих фидеров. Для присоединения реле и измерительных приборов на сторонах 35 и 6 кВ установлены трансформаторы тока 9 и 10.

Для измерения напряжения, контроля изоляции и питания обмоток напряжения счетчиков имеется трехфазный пятистержневой трансформатор напряжения 6. Такой трансформатор имеет две вторичные обмотки: одна включена в звезду (ее используют для присоединения измерительных приборов), а другая – в открытый треугольник (для контроля изоляции). Для защиты от перенапряжения па шинах 35 кВ установлен комплект разрядников 4.

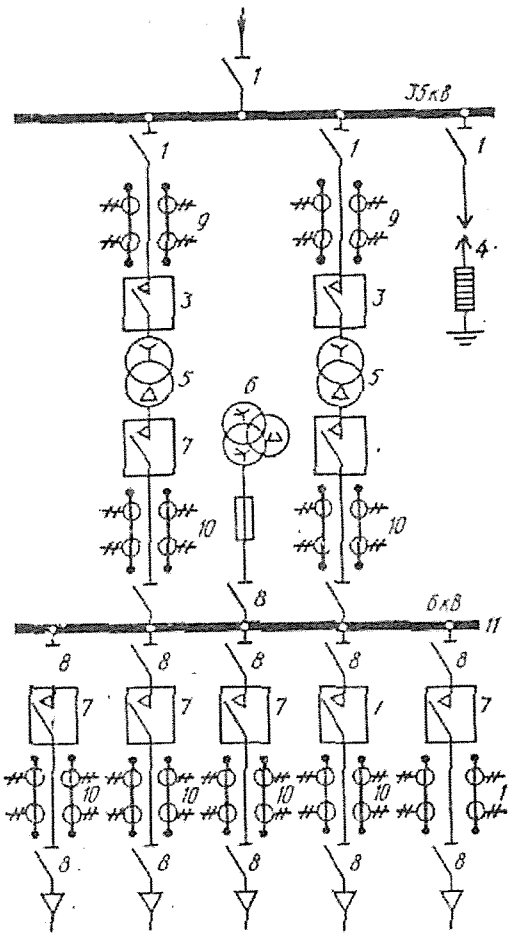


Рис. 2.18. Принципиальная схема главных цепей трансформаторной подстанции в однолинейном изображении

На рис. 2.19 показана принципиальная схема главных цепей электроснабжения крупного промышленного предприятия, структурные и функциональные схемы которого были приведены на рис. 2.17–2.18; Как видно из рис. 2.19, схема состоит из нескольких отдельных частей: схем ТЭС, ГПП, главного распределительного устройства ГРУ, а также распределительных пунктов заводской сети 10 кВ. Очень часто эти части изображаются на отдельных листах. В данном случае дана совместная схема потому, что ГРУ является общим распределительным устройством 10 кВ как для ТЭС, так и для ГПП.

На схеме нанесены только главные (силовые) цепи устройства. Вспомогательные цепи не изображены.

Из принципиальной схемы ТЭС видно, что каждый из двух установленных генераторов Г1 и Г2 мощностью по 7500 кВА, напряжением 10 кВ соединяется при помощи кабельной линии (из двух кабелей сечением 3Х Х95 мм^2) с двойной системой шин 10 кВ ГРУ при помощи высоковольтного выключателя и двух комплектов разъединителей. Последнее обстоятельство позволяет каждый из генераторов подключать к любой из двух систем шин.

К шинам ГРУ присоединяется сторона 10 кВ обоих понижающих трансформаторов ГПП мощностью по 6300 кВА. Схема подключения аналогична, т.е. при помощи высоковольтного выключателя и двойного комплекта разъединителей.

Со стороны 220 кВ трансформаторы подсоединены по той же схеме к двойной системе шин ГПП.

Описанная схема энергоснабжения обеспечивает высокую надежность питания предприятия электроэнергией, как от ТЭС, так и от энергорайона.

Подача напряжения 10 кВ от ГРУ для питания цеховых трансформаторных подстанций осуществляется через три распределительных пункта РП1, РП2 и РП3, которые имеют одинарную систему шин. Подача энергии на трансформаторные подстанции осуществляется кабелями, подсоединяемыми к шинам через разъединители. Выключатели предназначены для установки на цеховых трансформаторных подстанциях.

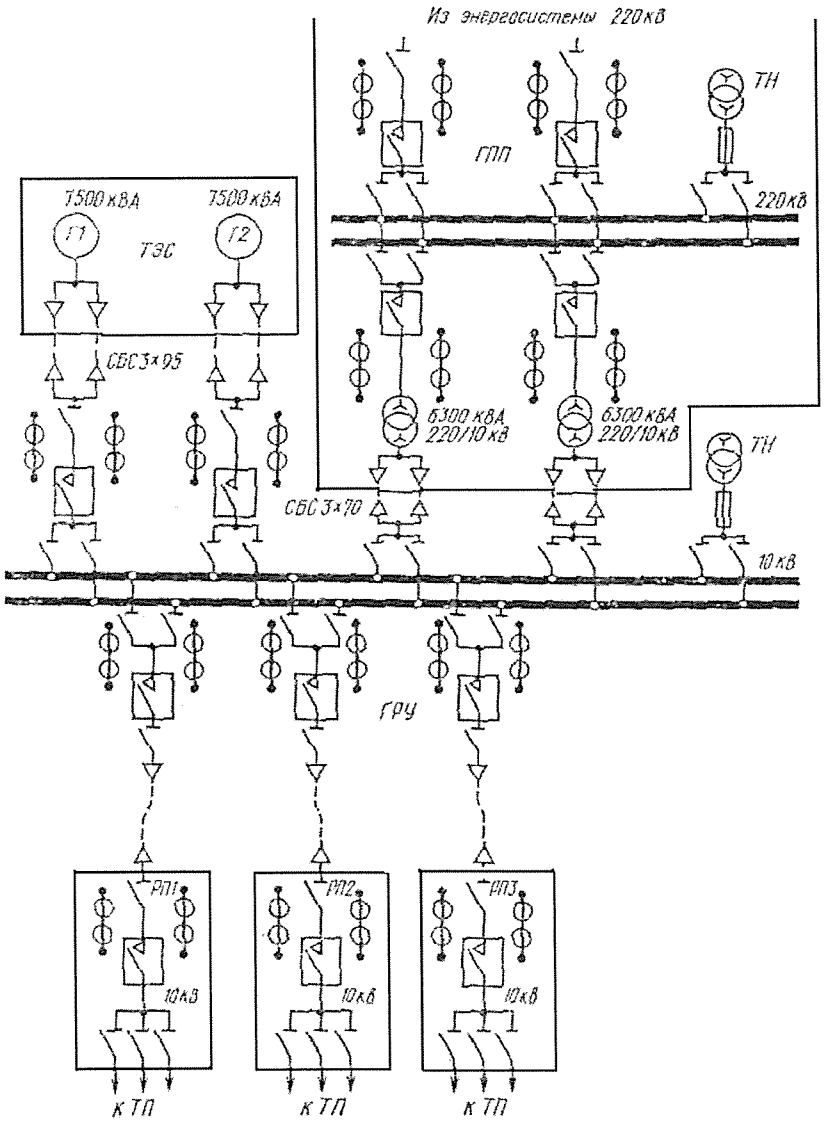


Рис. 2.19. Принципиальная схема главных цепей электроснабжения промышленного предприятия в однолинейном изображении

Как уже отмечалось, на рис. 2.19 схемы цепей релейной защиты, измерительных приборов и других элементов вспомогательных цепей на чертеже не нанесены. Для них обычно составляются специальные схемы. Однако аппараты, связывающие эти цепи с силовыми цепями, на схемах изображены. Так, на схеме мы видим условные изображения трансформаторов тока и напряжения. По условным изображениям этих аппаратов и их располо-

жению в силовых цепях можно судить только о характере вспомогательных цепей. Для полного представления необходимо иметь специальные схемы.

Схемы вспомогательных цепей могут также иметь однолинейное и многолинейное изображения. Принципиальные схемы каждого вида этих цепей (цепей защиты, измерения и др.) могут быть изображены отдельно или совместно.

Для примера на рис.2.20 показана принципиальная однолинейная схема генератора 6 кВ небольшой мощности, из которой видно, что генератор имеет защиту против однофазных замыканий на землю с действием на сигнал. Защита осуществляется посредством токового реле 6, присоединенного к трансформатору тока 5 нулевой последовательности и промежуточного реле 7, так как мощность контактов токовых реле недостаточна для прохождения по ним тока звукового сигнала. Кроме того, генератор защищен от перегрузок и коротких замыканий при помощи двух токовых реле 8 и 9 с выдержкой времени, работающих на отключении высоковольтного выключателя 1 от независимого источника тока (например, от аккумуляторной батареи).

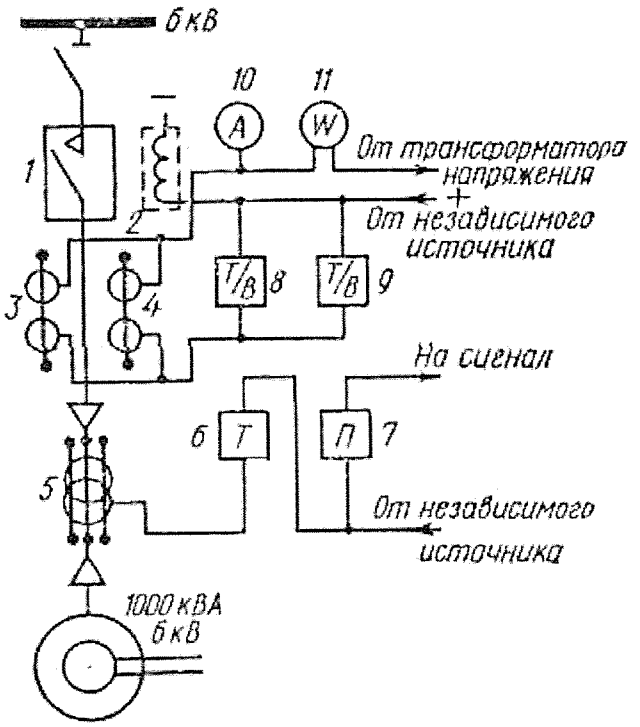


Рис. 2.20. Принципиальная схема генератора 6 кВ небольшой мощности в однолинейном изображении

Работа защиты заключается в следующем: при перегрузке генератора через релейные обмотки трансформаторов тока 3 и 4 и катушки реле 8 и 9 начинает протекать ток, достаточный для замыкания контактов реле, а следовательно, подачи напряжения на отключающую катушку 2 выключателя с последующим его отключением. При однофазном замыкании на землю в какой-либо точке сети во вторичной обмотке трансформатора 5 и обмотке реле 6 появляется ток, контакты реле 6 замыкаются и подают напряжение на обмотку промежуточного реле 7, контакты которого включают сигнализацию (сирену или звонок). Измерительные обмотки трансформаторов тока 3 и 4 служат для включения в них амперметра 10 и токовых обмоток трехфазного ваттметра И.

Работа защиты становится понятнее, если схемы вспомогательных цепей даны в многолинейном изображении (рис. 2.2.7 и 2.2.8)

Как видно из рисунков, каждая схема выполнена для отдельной цепи: схема, показанная на рис. 2.21, – для защиты генератора, а схема, показанная на рис. 2.22, – для контрольно-измерительных приборов.

Многолинейные схемы читать довольно легко, так как они дают представление не только об общей идее данного соединения, но и о конкретном его выполнении. Например, из рис. 2.21 видно, что один конец обмотки промежуточного реле Я через контакты реле Т защиты от замыкания на землю присоединен к плюсу источника постоянного тока, а другой конец – к минусу. Кроме того, видно, что катушки каждого из токовых реле Т/В подключены к отдельным релейным обмоткам трансформаторов тока 1 и 2, а контакты этих реле при их замыкании подают плюс источника постоянного тока через блок-контакт БК выключателя на его катушку отключения КО. Другой конец катушки КО присоединен непосредственно к минусу источника питания. Схема, кроме того, уточняет систему сигнализации (сирена и сигнальная лампа СЛ).

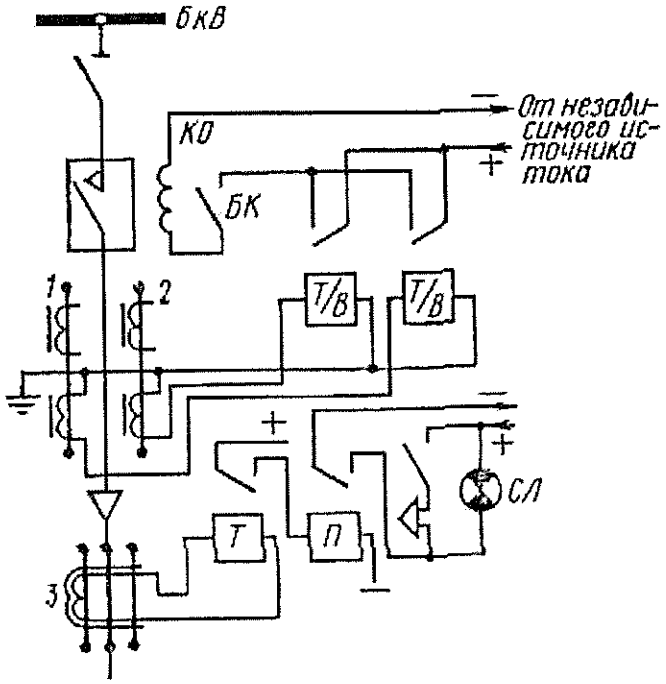


Рис. 2.21. Принципиальная схема защиты генератора 6 кВ в многолинейном изображении

На рис. 2.22 показано, что амперметр включен последовательно с измерительной обмоткой трансформатора тока 1 и одной из токовых обмоток ваттметра и что к ваттметру кроме трех токовых проводов (один из них общий) подведены три провода от шин трансформатора напряжения.

Благодаря наглядности и простоте разнесенный способ широко применяют в современной проектной практике, особенно если схемы сложны, так как составление и чтение схем при совмещенном способе затруднительны.

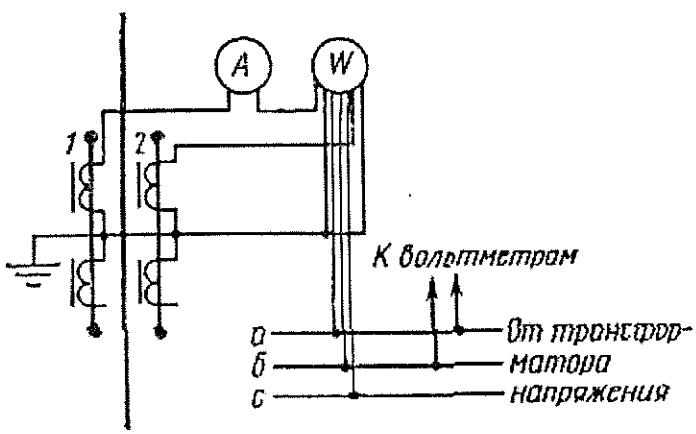


Рис. 2.22. Принципиальная схема подключения электроизмерительных приборов

Схемы соединения – монтажные

На схемах этого типа изображают соединения составных частей устройства в деталях с указанием характера прокладки проводов, сбора в жгуты и крепления. На монтажных схемах даются способы прокладки кабелей и трубопроводов, указывается их расположение в кабельных каналах, а также места присоединений и вводы (зажимы, разъемы, проходные изоляторы, фланцы и др.).

Схемы соединений являются документом, по которому производится монтаж установки. Ими также руководствуются при эксплуатации и ремонте.

При построении монтажных схем учитывают возможность прокладки тех или иных коммуникаций и рационального расположения электрических аппаратов и приборов с нанесением технологических деталей установки. Монтажные схемы должны помочь рационально расположить приборы и аппараты на поверхности распределительных щитов и панелей определенного габарита и материала. Чертежи панелей с размещенными на них аппаратами и приборами изображают обычно в масштабе.

В практике встречаются следующие виды схем соединений:

- схема внутренних соединений (монтажная схема, на которой указаны все соединения внутри отдельной сборочной единицы);
- схема внешних соединений (монтажная схема, на которой указаны соединения между отдельными сборочными единицами).

При монтаже даже не очень сложной схемы зашиты, управления и автоматики приходится прокладывать большое количество проводов, соединяющих отдельные аппараты. Для упорядочения прокладки пучка проводов и возможности контроля отдельных участков выводы из каждого аппарата присоединяют к соответствующим наборным зажимам, которые у места установки нескольких аппаратов комплектуются в сборка зажимов. Сборки зажимов – важный элемент установки, так как посредством сборок и соответствующих многожильных кабелей осуществляют все необходимые соединения. Для возможности контроля и проверки схемы каждый зажим должен иметь соответствующую маркировку (цифру или букву).

Кроме приборов и аппаратов в монтажных схемах показывают провода, кабели, кабельные муфты и сборки зажимов. Сборки зажимов изображают в виде ряда прямоугольников, внутри которых ставят маркировочные цифры или буквы. Существуют два вида маркировки:

- независимая, при которой определенную марку присваивают цепям, связывающим между собой точки с одинаковым потенциалом, вне зависимости от того, к каким приборам и аппаратам относятся эти точки;
- зависимая, при которой каждый зажим аппарата, прибора или цепи имеет свою марку.

Наиболее распространена независимая маркировка, поэтому мы будем применять ее в последующем изложении.

Чтобы облегчить чтение монтажных схем, цепи вспомогательного тока разбивают на ряд характерных видов, каждому из которых присваивают определенный порядок цифр (определенную сотню). Ниже приведена примерная маркировка цепей.

Цепи постоянного тока управления и защиты распределительных устройств 1–99
Цепи переменного тока управления и защиты распределительных устройств, а также цепи управления и автоматики электропривода 01–199
Цепи трансформаторов напряжения 201–299
Цепи трансформаторов тока 301–399
Цепи аварийной сигнализации распределительных устройств 501–599
Цепи предупредительной сигнализации распределительных устройств 601–699
Цепи включения электромагнитных приводов выключателей 701–799
Прочие цепи 901–999

Рассмотрим несколько примеров чтения схем соединений. На рис. 2.23 показана монтажная схема ячейки высоковольтного выключателя фидера трансформатора. Маркировка (цифровая) позволяет проследить практическое осуществление схемы соединений отдельных приборов и аппаратов. Например, па схеме токовых цепей реле и амперметра указаны цифры 301. Это значит, что вывод И1 трансформатора тока ТТ2–А и соответствующий зажим амперметра имеют марки 301.

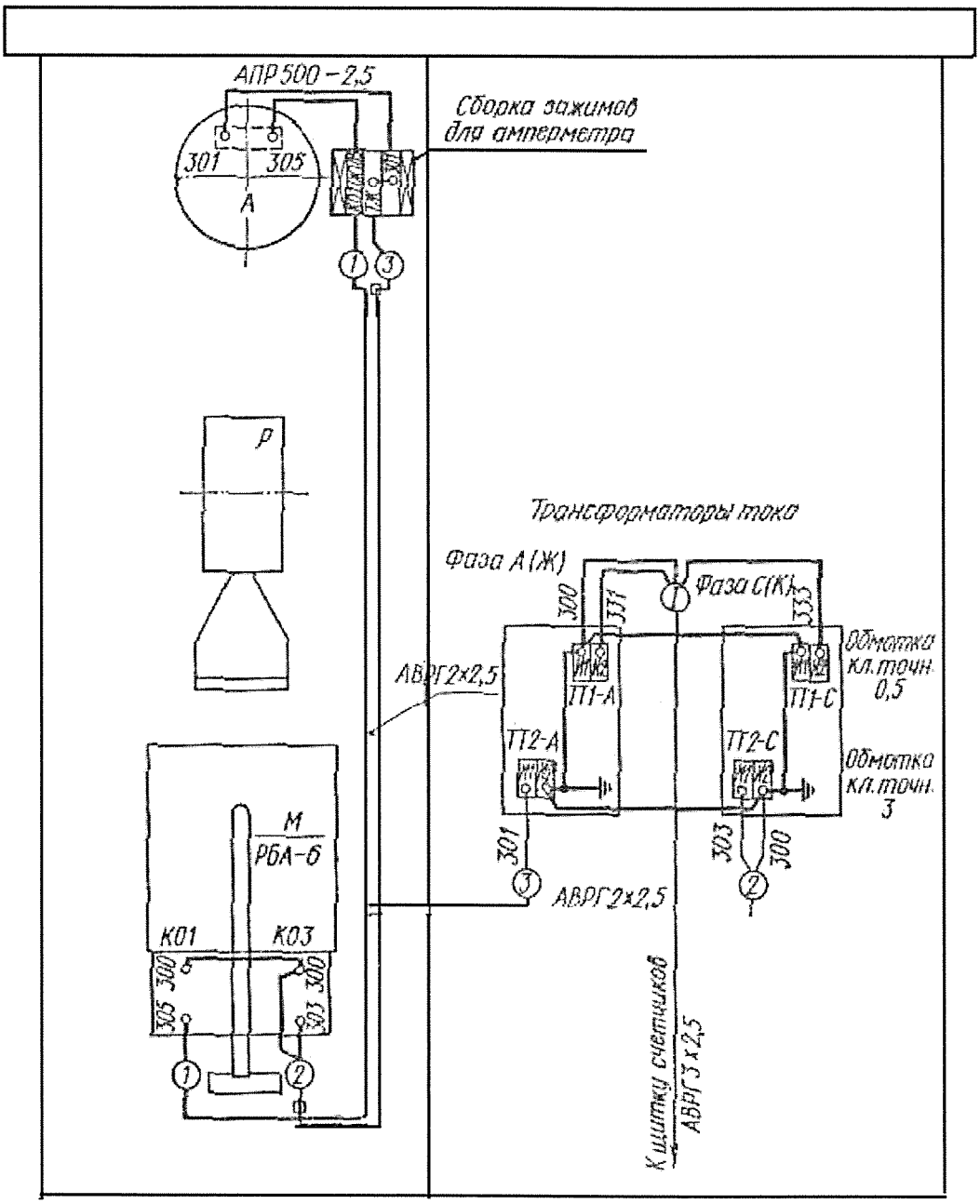


Рис. 2.23 Схема соединений высоковольтного выключателя в ячейке фидера трансформатора

Левая часть схемы представляет собой неоткрываемую часть лицевой панели (ее называют щитком приводов), на которой смонтированы приводы высоковольтного выключателя М/РБА–6 и разъединителя Р, амперметр, сборка зажимов для амперметра и проложены соответствующие провода соединений.

В правой части схемы изображены трансформаторы тока, установленные внутри ячейки (за сетчатым ограждением). Из схемы видно, что от релейных обмоток трансфор-

маторов тока (класса точности 3) провода с маркировкой 300, 301 и 303 прокладывают к сборке зажимов, установленной около амперметра, и к зажимам отключающих катушек привода М/РБА–6. От измерительных обмоток трансформаторов тока провода идут к щитку счетчиков, расположенных в другом помещении.

На рис. 2.24, а показана схема соединений панели релейной защиты линии электропередачи на подстанции, а принципиальная схема цепей защиты показана на рис. 2.24, б.

Как видно из рисунка, обмотки токовых реле (реле ЭТ–520) присоединяются к вторичным (релейным) обмоткам трансформаторов тока проводами с маркировкой 300, 301 и 303, подключенными к зажимам 8, 9, 10, 11 и 12 сборки зажимов. Перемычки между зажимами с одинаковой маркировкой ставят для возможности последовательного включения в цепь каждого трансформатора тока, амперметра или реле (в этом случае перемычки должны быть сняты). Постоянный ток управления проходит: плюс – к зажиму 7 (с маркировкой 1) и минус – к зажиму 3 (с маркировкой 2). По проводам, проложенным на панели, плюс подается на верхние зажимы контактов обоих токовых реле ЭТ–520 и реле времени РВ–73. Нижние зажимы контактов реле ЭТ–520 через обмотку реле РВ–73 соединены с минусом (зажим 3 с маркировкой 2).

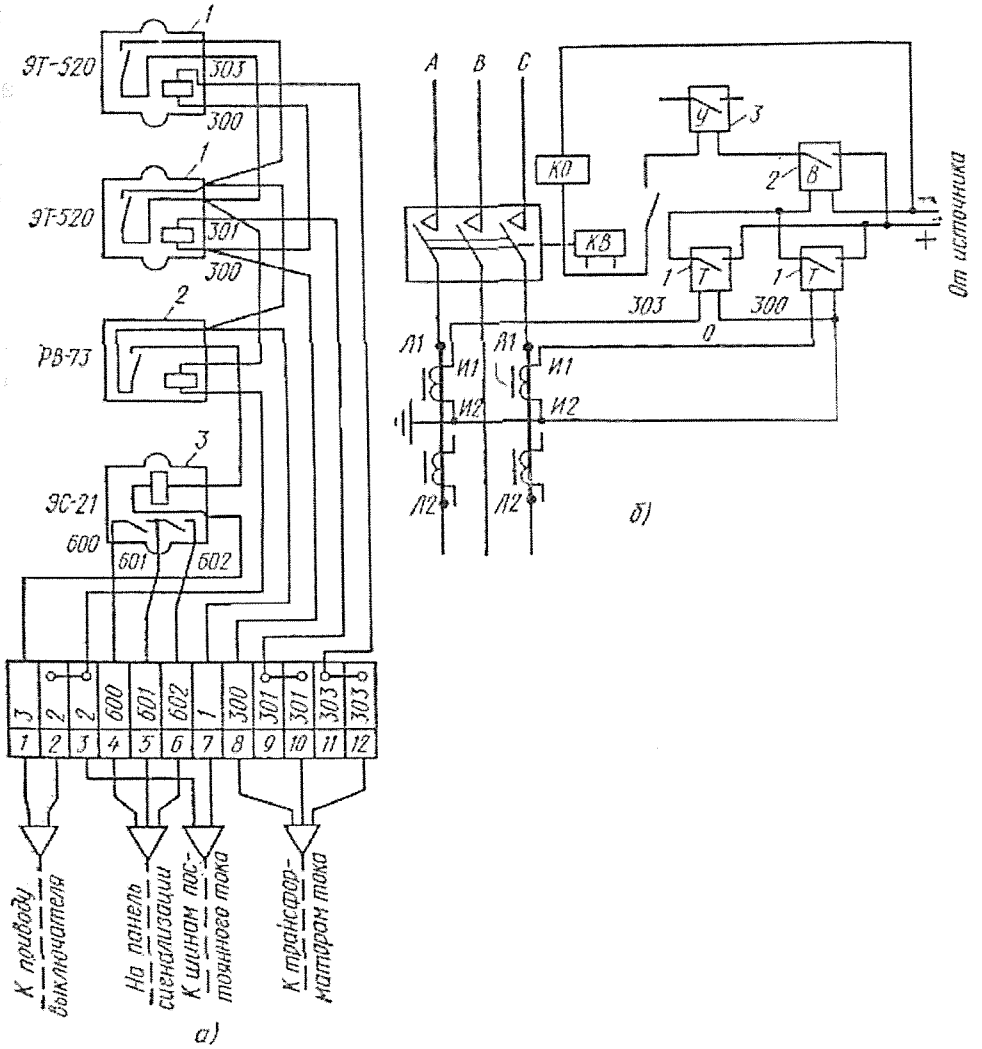


Рис. 2.24. Схема релейной защиты линии электропередачи на подстанции:
а – соединений, б – принципиальная

При срабатывании одного реле ЭТ–520 замыкается цепь отключающей катушки через контакты реле времени РВ–73 (зажим 7, присоединенный к плюсу источника постоянного тока, – контакты реле РВ–73 – обмотки сигнального реле ЭС–21 – отключающая катушка привода выключателя – зажим 2, присоединенный к минусу источника постоянного тока).

Графические обозначения в схемах

При выполнении схем применяют следующие графические обозначения:

- условные графические обозначения, установленные в стандартах Единой системы конструкторской документации, а также построенные на их основе;
- прямоугольники;
- упрощенные внешние очертания (в том числе аксонометрические).

При необходимости применяют нестандартизованные условные графические обозначения. При применении нестандартизованных условных графических обозначений и упрощенных внешних очертаний на схеме приводят соответствующие пояснения.

Условные графические обозначения, для которых установлено несколько допустимых (альтернативных) вариантов выполнения, различающихся геометрической формой или степенью детализации, следует применять, исходя из вида и типа разрабатываемой схемы в зависимости от информации, которую необходимо передать на схеме графическими средствами. При этом на всех схемах одного типа, входящих в комплект документации, должен быть применен один выбранный вариант обозначения.

Применение на схемах тех или иных графических обозначений определяют правилами выполнения схем определенного вида и типа.

Условные графические обозначения элементов изображают в размерах, установленных в стандартах на условные графические обозначения. Условные графические обозначения элементов, размеры которых в указанных стандартах не установлены, должны изображать на схеме в размерах, в которых они выполнены в соответствующих стандартах на условные графические обозначения.

Размеры условных графических обозначений, а также толщины их линий должны быть одинаковыми на всех схемах для данного изделия (установки).

Все размеры графических обозначений допускается пропорционально изменять. Условные графические обозначения элементов, используемых как составные части обозначений других элементов (устройств), допускается изображать уменьшенными по сравнению с остальными элементами (например, резистор в ромбической антенне, клапаны в разделительной панели).

Графические обозначения на схемах следует выполнять линиями той же толщины, что и линии связи.

Условные графические обозначения элементов изображают на схеме в положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах, или повернутыми на угол, кратный 90°, если в соответствующих стандартах отсутствуют специальные указания. Допускается условные графические обозначения поворачивать на угол, кратный 45, или изображать зеркально повернутыми.

Если при повороте или зеркальном изображении условных графических обозначений может нарушиться смысл или удобочитаемость обозначения, то такие обозначения должны быть изображены в положении, в котором они приведены в соответствующих стандартах.

Условные графические обозначения, содержащие цифровые или буквенно-цифровые обозначения, допускается поворачивать против часовой стрелки только на угол 90 или 45.

Линии связи выполняют толщиной от 0,2 до 1,0 мм в зависимости от форматов схемы и размеров графических обозначений. Рекомендуемая толщина линий от 0,3 до 0,4 мм.

Линии связи должны состоять из горизонтальных и вертикальных отрезков и иметь наименьшее количество изломов и взаимных пересечений.

В отдельных случаях допускается применять наклонные отрезки линии, длину которых следует по возможности ограничивать.

Линии связи, переходящие с одного листа или одного документа на другой, следует обрывать за пределами изображения схемы без стрелок.

Рядом с обрывом линии связи должно быть указано, обозначение или наименование, присвоенное этой линии (например, номер провода, номер трубопровода, наименование сигнала или его сокращенное обозначение и т.п.), и в круглых скобках номер листа схемы и зоны при ее наличии при выполнении схемы на нескольких листах, например, лист 5 зона А6 (5, А6), или обозначение документа, при выполнении схем самостоятельными документами, на который переходит линия связи.

Линии связи должны быть показаны, как правило, полностью.

Линии связи в пределах одного листа, если они затрудняют чтение схемы, допускается обрывать. Обрывы линий связи заканчивают стрелками. Около стрелок указывают места обозначений прерванных линий, например, подключения, и (или) необходимые характеристики цепей, например, полярность, потенциал, давление, расход жидкости и т.п.

Элементы (устройства, функциональные группы), входящие в изделие и изображенные на схеме, должны иметь обозначения в соответствии со стандартами на правила выполнения конкретных видов схем.

Обозначения могут быть буквенные, буквенно-цифровые и цифровые.

Обозначения элементов (устройств, функциональных групп), специфических для определенных отраслей техники, должны быть установлены отраслевыми стандартами.

Перечень элементов помещают на первом листе схемы или выполняют в виде самостоятельного документа.

Перечень элементов оформляют в виде таблицы (рис. 2.25), заполняемой сверху вниз.

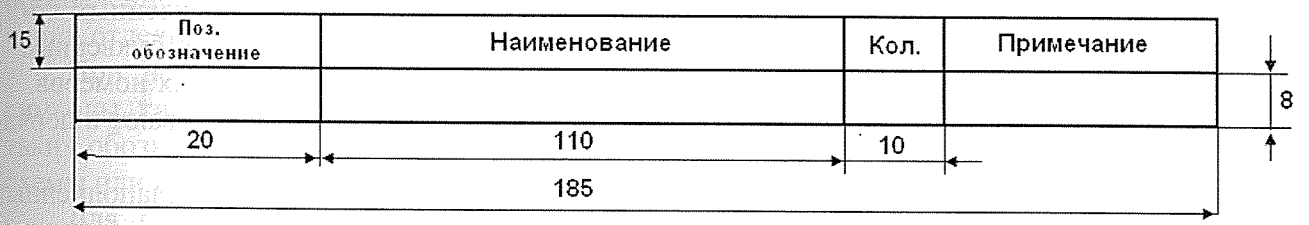


Рис. 2.25. Форма таблицы для внесения элементов

В графах таблицы указывают следующие данные:

- в графе «Поз. Обозначение» – позиционные обозначения элементов, устройств и функциональных групп;
- в графе «Наименование» – для элемента (устройства) – наименование в соответствии с документом, на основании которого этот элемент (устройство) применен, и обозначение этого документа (основной конструкторский документ, государственный стандарт, отраслевой стандарт, технические условия); – для функциональной группы наименование;
- в графе «Примечание» – рекомендуется указывать технические данные элемента (устройства), не содержащиеся в его наименовании.

При выполнении перечня элементов на первом листе схемы его располагают, как правило, над основной надписью.

Расстояние между перечнем элементов и основной надписью должно быть не менее 1 2 мм.

Продолжение перечня элементов помещают слева от основной надписи, повторяя головку таблицы.

При выпуске перечня элементов в виде самостоятельного документа его код должен состоять из буквы «П» и кода схемы, к которой выпускают перечень, например, код перечня элементов к гидравлической принципиальной схеме – ПГ3. При этом в основной надписи (графа 1) указывают наименование изделия, а также наименование документа «Перечень элементов».

Перечень элементов записывают в спецификацию после схемы, к которой он выпущен.

Перечень элементов в виде самостоятельного документа выполняют на формате А4. Основную надпись и дополнительные графы к ней выполняют по ГОСТ 2.104–68 (форма 2 и 2а).

При разбивке поля схемы на зоны перечень элементов дополняют графой «Зона» (рис. 2.26), указывая в ней обозначение зоны, в которой расположен данный элемент (устройство).

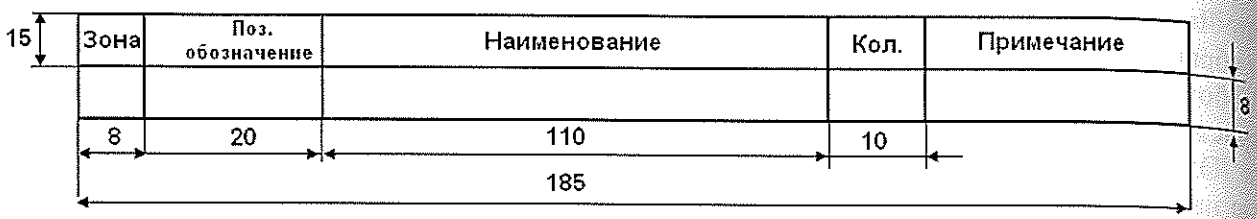


Рис. 2.26. Форма таблицы при разбивке схемы на зоны

В отдельных случаях сведения об элементах, помещаемые на схеме, могут быть неполными, если их объем установлен в государственных или отраслевых стандартах.

На этапах технического предложения, эскизного и технического проектирования сведения об элементах, помещаемые на схеме, могут быть неполными.

При необходимости допускается вводить в перечень элементов дополнительные графы, если они не нарушают запись и не дублируют сведений в основных графах.

Элементы в перечень записывают группами в алфавитном порядке буквенных позиционных обозначений. В пределах каждой группы, имеющей одинаковые буквенные позиционные обозначения, элементы располагают по возрастанию порядковых номеров.

При выполнении на схеме цифровых обозначений в перечень их записывают в порядке возрастания.

Для облегчения внесения изменений допускается оставлять несколько незаполненных строк между отдельными группами элементов, а при большом количестве элементов внутри групп – и между элементами.

Элементы одного типа с одинаковыми параметрами, имеющие на схеме последовательные порядковые номера, допускается записывать в перечень в одну строку. В этом случае в графу «Поз. Обозначение» вписывают только позиционные обозначения с наименьшим и наибольшим порядковыми номерами, например: R3, R4, C8... C12, а в графу «Кол.»" – общее количество таких элементов.

При записи элементов одинакового наименования, отличающихся техническими характеристиками и другими данными и имеющих одинаковое буквенное позиционное обозначение, допускается в графе «Наименование» записывать:

- наименование этих элементов в виде общего наименования;
- в общем наименовании, наименование, тип и обозначение документа (государственный стандарт, технические условия или основной конструкторский документ), на основании которого эти элементы применены.

При присвоении позиционных обозначений элементам в пределах групп устройств или при вхождении в изделие одинаковых функциональных групп в перечень элементов, элементы, относящиеся к устройствам и функциональным группам, записывают отдельно. Запись элементов, входящих в каждое устройство (функциональную группу), начинают с наименования устройства или функциональной группы, которое записывают в графе «Наименование» и подчеркивают. При автоматизированном проектировании наименование устройства (функциональной группы) допускается не подчеркивать.

Ниже наименования устройства (функциональной группы) должна быть оставлена одна свободная строка, выше – не менее одной свободной строки.

Если в состав изделия входят неодинаковые функциональные группы, то этот способ записи является допустимым.

2.3. Буквенно-цифровые и условные обозначения в электрических схемах

Условные буквенно-цифровые обозначения (далее обозначения) предназначены:

- для однозначной записи в сокращенной форме сведений об элементах, об устройствах и о функциональных группах (далее части объекта) в документации на объект;
- для ссылок на соответствующие части объекта в текстовых документах;
- для нанесения непосредственно на объект, если это предусмотрено в его конструкции.

В зависимости от назначения и характера передаваемой информации установлены следующие типы обозначений:

- высшего уровня – устройства (дополнительное обозначение);
- высшего уровня – функциональная группа (дополнительное обозначение);
- конструктивного расположения – конструктивное обозначение (дополнительное обозначение);
- элемента – позиционное обозначение (обязательное обозначение);
- электрического контакта (дополнительное обозначение);
- части объекта, с которой сопрягается данная часть объекта, или места расположения на документе изображения или сведений о данной части объекта (адресное обозначение).

В зависимости от полноты передаваемой информации условное буквенно-цифровое обозначение может иметь простую или сложную структуру, т.е. структуру в виде обозначений отдельных типов или в виде составного обозначения.

При необходимости допускается применять обозначения и их квалифицирующие символы, типы которых не установлены стандартами ЕСКД. Содержание и способ записи таких обозначений должны быть пояснены в документации на объект (например, на поле схемы или в начале документа).

Для построения обозначений применяют прописные буквы латинского алфавита, арабские цифры, а также знаки или квалифицирующие символы, приведенные в табл. 2.3.1.

Таблица 2.3.1

Знаки (квалифицирующие символы) применяемые при обозначениях

Тип условного обозначения	Классифицирующий символ	Примечание
1. Обозначение высшего уровня – устройство	=	
2. Обозначение высшего уровня – функциональная группа	≠	Допускается #
3. Конструктивное обозначение	+	
4. Обозначение элемента (позиционное обозначение)	–	
5. Обозначение электрического контакта	:	
6. Адресное обозначение	( )	Обозначение заключают в круглые скобки

Знаки «0» и «1» используют и читают, соответственно как цифры «нуль» и «единица», за исключением тех случаев, когда их используют в заведомо буквенных сочетаниях при образовании обозначений устройств и функциональных групп, если это не приведет к неправильному пониманию обозначений.

Структура обозначений. Условное буквенно-цифровое обозначение записывают в виде последовательности букв, цифр и знаков в одну строку без пробелов и их количество в обозначении не устанавливается.

Соседние группы знаков отдельных обозначений, имеющие самостоятельное смысловое значение, разделяют:

– чередованием буквы и цифры (например, КС25, К2, 25КС, 2К);

– точкой, если группы состоят только из букв или только из цифр (например, КС.А, 2.25). Допускается в обозначении разделять точкой самостоятельные смысловые группы, состоящие из букв и цифр (например, 01.А1.1312; 01.А.113.12).

Допускается цифровую часть, имеющую смысл порядкового номера, записывать с одинаковым количеством разрядов, заполняя старшие разряды нулями, например, А01, А02, ..., А25, …, А99.

Составное обозначение образуют последовательной записью обозначений различных типов. Обозначение, входящее в составное обозначение, записывают с квалифицирующими символами в соответствии с табл. 2.3.1. Структура составного условного буквенно-цифрового обозначения в общем виде представлена на рис. 2.27.

Составное обозначение должно передавать комплексную информацию о части объекта, обозначение которой указано последним. Количество обозначений, образующих составное обозначение, не устанавливается. Обозначения высшего уровня (устройство или функциональная группа) и конструктивное обозначение указывают функциональное или конструктивное вхождение данной части объекта в части объекта соответствующих типов. Порядок записи обозначений этих типов определяется порядком вхождения, например, ≠Т1 = А2 – R5 – резистор R5 входит в состав устройства А2, которое входит в функциональную группу Т1. Конструктивное расположение каждой функциональной части может быть указано последовательным применением конструктивного обозначения. Например, +5.24 = А2 + В4 – R5 – резистор R5 находится в ячейке В4 и входит в устройство А2, которое расположено на раме 24 в стойке 5.

Перед обозначением устройства, функциональной группы или элемента, стоящим в начале составного обозначения, допускается не указывать соответствующий квалифицирующий символ, если это не приведет к неправильному пониманию обозначений. Например, К1:2 – второй контакт реле К1. Например, = А12 ≠ Т8 + 204 – К4Н : 12 (3.16 + 15 : 2).

Обозначение высшего уровня		Конструк-тивное обозначение	Обозначение элемента			Обозначение контакта	Адресное обозначение
Устройство	Функциональная группа		Вид	Номер	Функция		
= NANA	≠ NANA	+ NANA –	A	N	A NANA.	NANA	(NANA)
Дополнительная часть			Обязательная часть		Дополнительная часть		

Рис. 2.27.Структура составного условного буквенно-цифрового обозначения:
А – обозначение, состоящее из одной или нескольких букв; N – обозначение, состоящее из одной или нескольких цифр; NANA – любая комбинация цифр и (или) букв; NANA – дополнительная часть, уточняющая функцию.

Контакт 12 сигнального реле К4, которое расположено на месте 204 в функциональной группе Т8, входящей в устройство А12, соединен с контактом 2, который расположен на месте 15 и изображен на шестом листе принципиальной схемы (3).

Допускается также не указывать квалифицирующий символ при записи обозначений в простой структуре, если тип обозначения однозначно установлен в документации. Например, в таблице соединений, замещающей схему соединений (схему 301), в графе «Конструктивное обозначение» обозначения могут быть помещены без знака «+».

Обозначение высшего уровня. Обозначения устройств и функциональных групп следует строить из комбинации букв и (или) цифр. Для обозначения устройств следует использовать:

– обозначение типа устройства, присвоенное ему в документации, на основании которой оно применено;

– буквенно-цифровое обозначение, начинающееся с буквы «А», присвоенное устройству на схеме объекта.

Например, = А23, = АС16.

Допускается цифровое обозначение функциональных групп; в этом случае обозначение записывают с квалифицирующим символом, например, ≠27.

Обозначение конструктивного расположения (конструктивное обозначение).

Обозначение предназначено для связи схем или других документов с конструкцией объекта. Построение обозначения должно обеспечить возможность однозначного указания места любой части объекта в конструкции. Обозначения строят из комбинации букв и цифр. При построении конструктивного обозначения применяют координатный, позиционный (последовательный) или координатно-позиционный (координатно-последовательный) методы.

При координатном методе конструктивное обозначение составляют из нескольких частей, каждая из которых указывает одну координату части объекта в условной системе координат, принятой для данной конструкции. При этом обозначения координат следует разделять, как указано выше.

Например, +С24 – место на конструкции объекта с координатами: ряд С колонка 24; +5.24 – место на конструкции объекта с координатами: ряд 5 колонка 24.

При позиционном (последовательном) методе конструктивное обозначение представляет собой цифровое или буквенное обозначение, присвоенное данному месту (позиции) в конструкции. Например, +204 – место № 204.

Содержание и способ записи конструктивных обозначений для конкретных объектов (принятая система координат и их обозначений, последовательность уровней входимости и т.д.) определяются особенностями конкретной конструкции и должны быть пояснены в документации на объект (например, на сборочном чертеже). Пример построения конструктивного обозначения приведен на рис. 2.28.

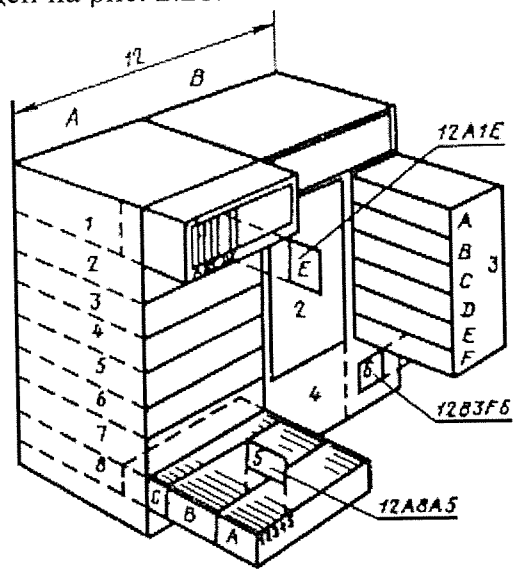


Рис. 2.28. Пример построения конструктивного обозначения.

Обозначение элемента в общем случае состоит из трех частей, указывающих вид элемента, его номер и функцию.

Вид и номер являются обязательной частью условного буквенно-цифрового обозначения и должны быть присвоены всем элементам и устройствам объекта. Указание функции элемента не служит для идентификации элемента и не является обязательным.

В первой части записывают одну или несколько букв (буквенный код) для указания вида элемента, во второй части записывают одну или несколько цифр для указания номера элемента данного вида, в третьей части записывают одну или несколько букв (буквенный

код) функции элемента. Например, С41 – конденсатор С4, используемый как интегрирующий. Допускается буквенный код функции дополнить цифрами. При разнесенном способе представления допускается к номеру добавлять условный номер изображений части элемента или устройства, отделяя его точкой. Например, А41.

При составлении перечней элементов на объект допускается указывать только первую и вторую части обозначения (обязательную часть).

Например	Обозначение элемента на схеме	Обозначение элемента в перечне
	R1	R1
	C41	C4
	A05.1M	A05
	A05.2M	
	A06.01	A06
	A06.02	

Буквенные коды видов электротехнических элементов приведены в табл. 2.3.2.

Таблица 2.3.2

Буквенные коды виды видов электротехнических элементов

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов
A	Устройства	Усилители, приборы телеуправления, лазеры, мазеры
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот аналоговые или многоразрядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Громкоговорители, микрофоны, термоэлектрические чувствительные элементы, детекторы ионизирующих излучений, звукосниматели, сельсины
C	Конденсаторы	
D	Схемы интегральные, микросборки	Схемы интегральные аналоговые и цифровые, логические элементы, устройства памяти, устройства задержки
E	Элементы разные	Осветительные устройства, нагревательные элементы
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретные элементы защиты по току и напряжению, плавкие предохранители, разрядники
G	Генераторы, источники питания, кварцевые осцилляторы	Батареи, аккумуляторы, электрохимические и электротермические источники
H	Устройства индикационные и сигнальные	Приборы звуковой и световой сигнализации, индикаторы
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовые и напряжения, реле электротепловые, реле времени, контакторы, магнитные пускатели
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссели люминесцентного освещения
M	Двигатели	Двигатели постоянного и переменного тока
P	Приборы, измерительное оборудование	Показывающие, регистрирующие и измерительные приборы, счетчики, часы
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях	Разъединители, короткозамыкатели, автоматические выключатели (силовые)
R	Резисторы	Переменные резисторы, потенциометры, варисторы, терморезисторы

Продолжение табл. 2.3.2

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных	Выключатели, переключатели, выключатели, срабатывающие от различных воздействий
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформаторы тока и напряжения, стабилизаторы
U	Преобразователи электрических величин в электрические, устройства связи	Модуляторы, демодуляторы, дискриминаторы, инверторы, преобразователи частоты, выпрямители
V	Приборы электровакуумные, полупроводниковые	Электронные лампы, диоды, транзисторы, тиристоры, стабилитроны
W	Линии и элементы сверхвысокой частоты, антенны	Волноводы, диполи, антенны
X	Соединения контактные	Штыри, гнезда, разборные соединения, токосъемники
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнитные муфты, тормоза, патроны
Z	Устройства оконечные, фильтры, ограничители Ограничители	Линии моделирования, кварцевые фильтры

Части объекта (элементы) разбиты по видам на группы, которым присвоены обозначения одной буквой. Для уточнения вида элементов допускается применять двухбуквенные и многобуквенные коды. Элемент данного вида может быть обозначен одной буквой – общим кодом вида элемента или двумя буквами – кодом данного элемента. При применении двухбуквенных и многобуквенных кодов первая буква должна соответствовать группе видов, к которой принадлежит элемент.

Примеры двухбуквенных кодов приведены в табл. 2.3.3.

Таблица 2.3.3

Двухбуквенные и многобуквенные коды электротехнических элементов

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
A	Устройство (общее обозначение)		
B	Преобразователи неэлектрических величин в электрические (кроме генераторов и источников питания) или наоборот аналоговые или многоразрядные преобразователи или датчики для указания или измерения	Громкоговоритель	BA
		Магнитострикционный элемент	BB
		Детектор ионизирующих излучений	BD
		Сельсин-приемник	BE
		Телефон (капсюль)	BF
		Сельсин-датчик	BC
		Тепловой датчик	BK
		Фотоэлемент	BL
		Микрофон	BM
		Датчик давления	BP
		Пьезоэлемент	BQ
		Датчик частоты вращения (тахогенератор)	BR
		Звукосниматель	BS
		Датчик скорости	BV

Продолжение табл. 2.33

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
C	Конденсаторы		
D	Схемы интегральные, микросборки	Схема интегральная аналоговая	DA
		Схема интегральная, цифровая, логический элемент	DD
		Устройства хранения информации	DS
		Устройство задержки	DT
E	Элементы разные	Нагревательный элемент	EK
		Лампа осветительная	EL
		Пиропатрон	ET
F	Разрядники, предохранители, устройства защитные	Дискретный элемент защиты по току мгновенного действия	FA
		Дискретный элемент защиты по току инерционного действия	FP
		Предохранитель плавкий	FU
		Дискретный элемент защиты по напряжению, разрядник	FV
G	Генераторы, источники питания	Батарея	GB
H	Устройства индикационные и сигнальные	Прибор звуковой сигнализации	HA
		Индикатор символьный	HG
		Прибор световой сигнализации	HL
K	Реле, контакторы, пускатели	Реле токовое	KA
		Реле указательное	KH
		Реле электротепловое	KK
		Контактор, магнитный пускатель	KM
		Реле времени	KT
		Реле напряжения	KV
L	Катушки индуктивности, дроссели	Дроссель люминесцентного освещения	LL
M	Двигатели		
P	Приборы, измерительное оборудование *Примечание.* Сочетание PE применять не допускается	Амперметр	PA
		Счетчик импульсов	PC
		Частотомер	PF
		Счетчик активной энергии	PI
		Счетчик реактивной энергии	PK
		Омметр	PR
		Регистрирующий прибор	PS
		Часы, измеритель времени действия	PT
		Вольтметр	PV
		Ваттметр	PW
Q	Выключатели и разъединители в силовых цепях (энергоснабжение, питание оборудования и т.д.)	Выключатель автоматический	QF
		Короткозамыкатель	QK
		Разъединитель	QS

Продолжение табл. 2.3.3

Первая буква кода (обязательная)	Группа видов элементов	Примеры видов элементов	Двухбуквенный код
R	Резисторы	Терморезистор	RK
		Потенциометр	RP
		Шунт измерительный	RS
		Варистор	RU
S	Устройства коммутационные в цепях управления, сигнализации и измерительных Примечание. Обозначение SF применяют для аппаратов, не имеющих контактов силовых цепей	Выключатель или переключатель	SA
		Выключатель кнопочный	SB
		Выключатель автоматич.	SF
		Выключатели, срабатывающие от разл. воздействий:	
		от уровня	SL
		от давления	SP
		от положения (путевой)	SQ
		от частоты вращения	SR
		от температуры	SK
T	Трансформаторы, автотрансформаторы	Трансформатор тока	TA
		Электромагнитный стабилизатор	TS
		Трансформатор напряжения	TV
U	Устройства связи	Модулятор	UB
	Преобразователи электрических величин в электрические	Демодулятор	UR
		Дискриминатор	UI
		Преобразователь частотный, инвертор, генератор частоты, выпрямитель	UZ
V	Приборы электровакуумные и полупроводниковые	Диод, стабилитрон	VD
		Прибор электровакуумный	VL
		Транзистор	VT
		Тиристор	VS
W	Линии и элементы СВЧ	Ответвитель	WE
		Короткозамыкатель	WK
		Вентиль	WS
	Антенны	Трансформатор, неоднородность, фазовращатель	WT
		Аттенюатор	WU
		Антенна	WA
X	Соединения контактные	Гокосъемник, контакт скольз.	XA
		Штырь	XP
		Гнездо	XS
		Соединение разборное	XT
		Соединитель высокочастотный	XW
Y	Устройства механические с электромагнитным приводом	Электромагнит	YA
		Тормоз с электромагнитным приводом	YB
		Муфта с электромагнитным приводом	YC
		Электромагнитный патрон или плита	YH
Z	Устройства оконечные фильтры	Ограничитель	ZL
	Ограничители	Фильтр кварцевый	ZQ

Дополнительные обозначения должны быть пояснены в документации на объект (например, на поле схемы).

Буквенные коды функций элементов приведены в табл. 2.3.4. Эти коды следует использовать только для общей характеристики функционального назначения элемента, например, «главный», «измеряющий» и т.д. Для уточнения функционального назначения однобуквенный код, установленный в табл. 2.3.1., допускается дополнить последующими буквами и (или) цифрами. В этом случае должны быть приведены соответствующие пояснения в документации на объект (например, на поле схемы).

Таблица 2.3.4

Буквенные коды функций элементов

Буквенный код	Функциональное назначение
A	Вспомогательный
B	Направление движения (вперед, назад, вверх, вниз, по часовой стрелке, против часовой стрелки)
C	Считающий
D	Дифференцирующий
F	Защитный
G	Испытательный
H	Сигнальный
I	Интегрирующий
K	Толкающий
M	Главный
N	Измерительный
P	Пропорциональный
Q	Состояние (старт, стоп, ограничение)
R	Возврат, сброс
S	Запоминание, запись
T	Синхронизация, задержка
V	Скорость (ускорение, торможение)
W	Сложение
X	Умножение
Y	Аналоговый
Z	Цифровой

Для обозначения электрического контакта в общем случае используют комбинацию букв и цифр. Обозначение контакта должно повторять маркировку контакта, нанесенную на объекте или указанную в документации этого объекта. Если обозначения контактам присваивают при разработке объекта, то следует обозначить их номерами. Если контакты конструктивно сгруппированы в несколько групп, то допускается обозначать их по группам.

Адресное обозначение в общем случае состоит из трех частей:

- обозначение документа, с которым сопрягается данный документ;
- номер листа документа, с которым сопрягается данный лист документа;
- адрес другой части объекта (или ее изображение), с которой сопрягается данная часть объекта (или ее изображение).

Все части данного адресного обозначения записывают в указанном порядке и отделяют друг от друга точкой. Перед номером листа помещают букву L. При необходимости указать сопряжение с несколькими листами документа их номера разделяют запятыми или (в случае нескольких листов по порядку) многоточием.

Например, (3.L01, 03) – схема 3, первый и третий листы;

(3.L01 ... 06) – схема 3, листы с первого по шестой;

(3.L02/15A) – схема 3, лист второй, зона 15A.

Если в качестве третьей части адресного обозначения используют обозначение детали, конструктивное обозначение и т.д., то эту часть записывают с соответствующим квалифицирующим символом.

Например, (3.L6.+15:2) – второй контакт расположен на месте (позиции) 15 и изображен на схеме 3 на шестом листе.

XP1(=A3) – данный элемент – штыревая часть XP1 – соединяется с устройством A3.

Допускается в адресном обозначении не указывать любую из его составных частей.

Допускается указывать в адресном обозначении место на документе, в котором расположено изображение или описание данной части объекта. В этом случае внутри скобок первым знаком записывают букву А, отделяя ее от остальных частей адресного обозначения точкой.

Рассмотрим условные графические обозначения элементов электрических схем.

2.4. Условные графические обозначения, применяемые в электрических схемах

Уже в середине текущего столетия появилась необходимость унифицировать условные обозначения, при помощи которых в схемах описывается тот или иной процесс, то или иное изделие или установка. Это стало необходимым в первую очередь для того, чтобы схема была понятна любой группе работников производства независимо от их специальности, как нашей стране, так и за границей, поскольку большинство стран связано между собой товарообменом. В течение первой половины текущего столетия во всех странах с развитой промышленностью, в том числе в Советском Союзе, а затем и в России была проведена стандартизация условных графических обозначений, используемых при проектировании изделий и установок. Особенно велика была потребность в унификации условных обозначений для электрических схем. В 1955 г. В Советском Союзе был выпущен ГОСТ 7624–55 «Обозначения условные графические в электрических схемах», который в дальнейшем подвергся значительным изменениям. В настоящее время при составлении электрических схем пользуются ГОСТами, вошедшими в Единую систему конструкторской документации (ЕСКД), на основании которых излагается материал настоящей главы.

При создании условных графических обозначений всегда исходят из простейших геометрических фигур, не представляющих затруднения при их изображении. Чтобы облегчить запоминание условных обозначений отдельных элементов электрической установки, их часто изображают наиболее характерными символами.

Так, для генераторов, электродвигателей и других электрических машин характерно наличие цилиндрических частей (статор, ротор), поэтому основой условного обозначения электрических машин служит окружность. Электрические машины постоянного тока характеризуются наличием щеток на коллекторе, поэтому в условных обозначениях машин данного типа имеется зачерненный прямоугольник, касающийся окружности.

Коммутирующие аппараты на схемах изображают, как правило, в отключенном положении, т.е. при отсутствии тока в цепях и внешних принуждающих сил, воздействующих на подвижные контакты.

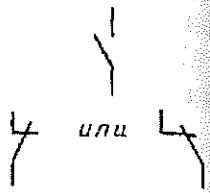
Коммутационные устройства

Коммутационные устройства на схемах должны быть изображены в положении, принятом за начальное, при котором пусковая система контактов обесточена. Контакты коммутационных устройств состоят из подвижных и неподвижных контакт-деталей. Для изображения основных (базовых) функциональных признаков коммутационных устройств

применяют условные графические обозначения контактов, которые допускается выполнять в зеркальном изображении:

1) замыкающих

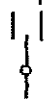
2) размыкающих



3) переключающих



4) переключающих с нейтральным центральным положением



Для пояснения принципа работы коммутационных устройств при необходимости на их контакт-деталях изображают квалифицирующие символы, приведенные в табл. 2.4.1.

Таблица 2.4.1

Квалифицирующие символы коммутационных устройств

Наименование	Обозначение
1. Функция контактора	
2. Функция выключателя	
3. Функция разъединителя	
4. Функция выключателя-разъединителя	
5. Автоматическое срабатывание	
6. Функция путевого или концевого выключателя	
7. Самовозврат	
8. Отсутствие самовозврата	
9. Дугогашение	
Примечание. Обозначения, приведенные в пп. 1–4, 7–9 настоящей таблицы, помещают на неподвижных контакт-деталях, а обозначения в пп. 5 и 6 – на подвижных контакт-деталях.	

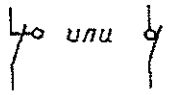
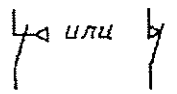
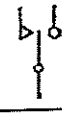
Примеры построения обозначений контактов коммутационных устройств приведены в табл. 2.4.2.

Таблица 2.4.2

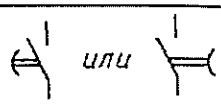
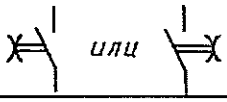
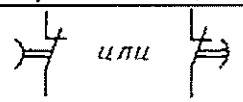
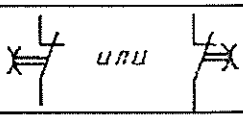
Графические обозначения контактов коммутационных устройств

Наименование	Обозначение
1. Контакт коммутационного устройства:	
1) переключающий без размыкания цепи (мостовой)	
2) с двойным замыканием	
3) с двойным размыканием	
1) при срабатывании	
2) при возврате	

Продолжение табл. 2.4.2

Наименование	Обозначение
2. Контакт импульсный замыкающий:	
3) при срабатывании и возврате	
3. Контакт импульсный размыкающий:	
1) при срабатывании	
2) при возврате	
3) при срабатывании и возврате	
4. Контакт в контактной группе, срабатывающий раньше по отношению к другим контактам группы:	
1) замыкающий	
2) размыкающий	
5. Контакт в контактной группе, срабатывающий позже по отношению к другим контактам группы:	
1) замыкающий	
2) размыкающий	
6. Контакт без самовозврата:	
1) замыкающий	
2) размыкающий	
7. Контакт с самовозвратом:	
1) замыкающий	
2) размыкающий	
8. Контакт переключающий с нейтральным центральным положением, с самовозвратом из левого положения и без возврата из правого положения	

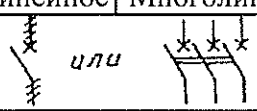
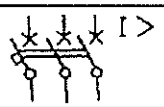
Продолжение табл. 2.4.2

Наименование	Обозначение
9. Контакт контактора:	
1) замыкающий	
2) размыкающий	
3) замыкающий дугогасительный	
15. Контакт замыкающий с замедлением, действующим:	
1) при срабатывании	
2) при возврате	
3) при срабатывании и возврате	
16. Контакт размыкающий с замедлением, действующим:	
1) при срабатывании	
2) при возврате	
3) при срабатывании и возврате	
Примеч. к пп. 15 и 16. Замедление происходит при движении в направлении от дуги к ее центру.	

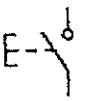
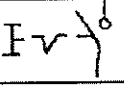
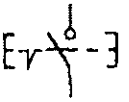
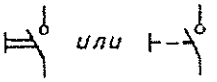
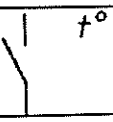
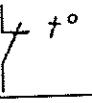
В табл. 2.4.3 представлены графические обозначения контактов двухпозиционных коммутационных устройств.

Таблица 2.4.3

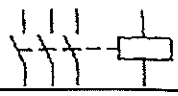
Графические обозначения контактов двухпозиционных коммутационных устройств

Наименование	Обозначение
1. Контакт замыкающий выключателя:	
1) однополюсный	
	Однолинейное | Многолинейное
2) трехполюсный	
2. Контакт замыкающий выключателя трехполюсного с автоматическим срабатыванием максимального тока	

Продолжение табл. 2.4.3

Наименование	Обозначение
3. Контакт замыкающий нажимного кнопочного выключателя без самовозврата, с размыканием и возвратом элемента управления:	
1) автоматически	
2) посредством вторичного нажатия кнопки	
3) посредством вытягивания кнопки	
4) посредством отдельного привода (пример нажатия кнопки-сброс)	
4. Разъединитель трехполюсный	
5. Выключатель-разъединитель трехполюсный	
6. Выключатель ручной	
4) размыкающий дугогасительный	
5) замыкающий с автоматическим срабатыванием	
10. Контакт выключателя	
11. Контакт разъединителя	
12. Контакт выключателя-разъединителя	
13. Контакт концевого выключателя:	
1) замыкающий	
2) размыкающий	
14. Контакт, чувствительный к температуре (термоконтакт):	
1) замыкающий	
2) размыкающий	

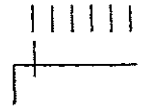
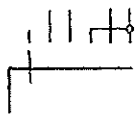
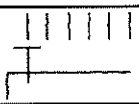
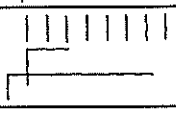
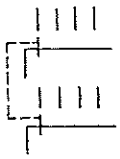
Продолжение табл. 2.4.3

Наименование	Обозначение
7. Выключатель электромагнитный (реле)	
8. Выключатель концевой с двумя отдельными цепями	
9. Выключатель термический саморегулирующий	
Примечание. Следует делать различие в изображении контакта и контакта термореле, изображаемого следующим образом	
10. Выключатель инерционный	
11. Переключатель ртутный трехконечный	

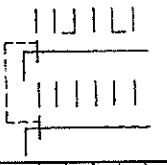
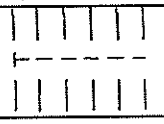
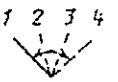
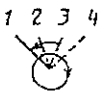
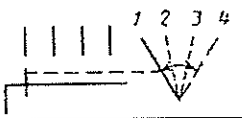
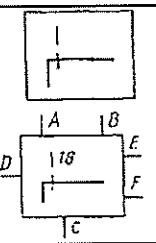
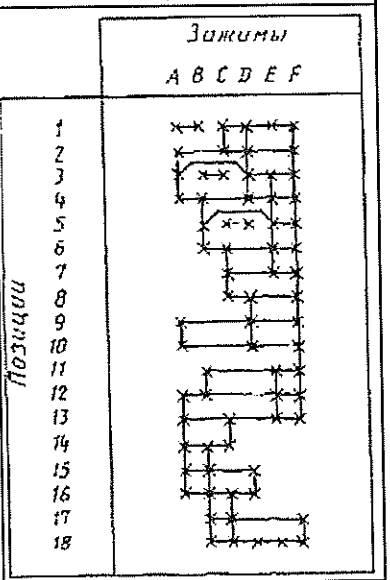
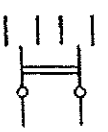
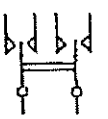
Достаточно часто в цепях вторичной коммутации, в системах постоянного оперативного тока используют многопозиционные коммутационные устройства, графические обозначения которых представлены в табл. 2.4.4.

Таблица 2.4.4

Графические обозначения многопозиционных коммутационных устройств

Наименование	Обозначение
1. Переключатель однополюсный многопозиционный (пример шестипозиционного)	
Примечание. Позиции переключателя, в которых отсутствуют коммутируемые цепи, или позиции, соединенные между собой, обозначают короткими штрихами (пример шестипозиционного переключателя, не коммутирующего электрическую цепь в первой позиции и коммутирующего одну и ту же цепь в четвертой и шестой позициях)	
2. Переключатель однополюсный, шестипозиционный с безобрывным переключателем	
3. Переключатель однополюсный, многопозиционный с подвижным контактом, замыкающим три соседние цепи в каждой позиции	
4. Переключатель однополюсный, многопозиционный с подвижным контактом, замыкающим три цепи, исключая одну промежуточную	
5. Переключатель однополюсный, многопозиционный с подвижным контактом, который в каждой последующей позиции подключает параллельную цепь к цепям, замкнутым в предыдущей позиции	
6. Переключатель однополюсный, шестипозиционный с подвижным контактом, не размыкающим цепь при переходе его из третьей в четвертую позицию	
7. Переключатель двухполюсный, четырехпозиционный	

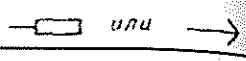
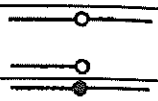
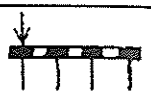
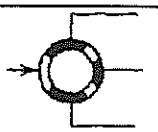
Продолжение табл. 2.4.3

Наименование	Обозначение
8. Переключатель двухполюсный шестипозиционный, в котором третий контакт верхнего полюса срабатывает раньше, а пятый контакт – позже, чем соответствующие контакты нижнего полюса	
9. Переключатель многопозиционный независимых цепей (пример шести цепей)	
Примечания к пп. 1–9:	
1. При необходимости указания ограничения движения привода переключателя применяют диаграмму положения, например:	
1) привод обеспечивает переход подвижного контакта переключателя от позиции 1 к позиции 4 и обратно	
2) привод обеспечивает переход подвижного контакта от позиции 1 к позиции 4 и далее в позицию 1; обратное движение возможно только от позиции 3 к позиции 1	
2. Диаграмму положения связывают с подвижным контактом переключателя линией механической связи	
10. Переключатель со сложной коммутацией изображают на схеме одним из следующих способов: 1) общее обозначение (пример обозначения восемнадцатипозиционного роторного переключателя с шестью зажимами, обозначенными от A до F)	
2) обозначение, составленное согласно конструкции	
11. Переключатель двухполюсный, трехпозиционный с нейтральным положением	
12. Переключатель двухполюсный, трехпозиционный с самовозвратом в нейтральное положение	

В табл. 2.4.5 приведены графические обозначения контактов контактных соединений.

Таблица 2.4.5

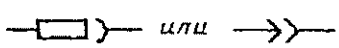
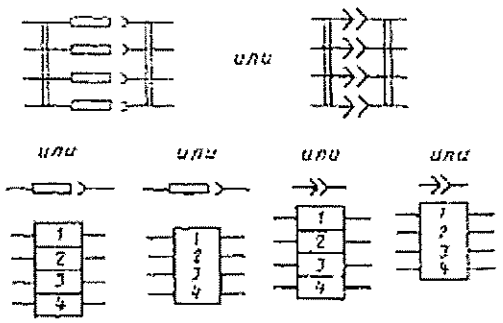
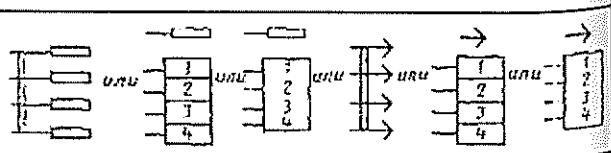
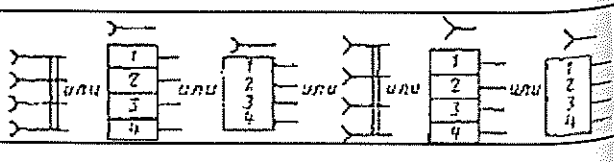
Графические обозначения контактов контактных соединений

Наименование	Обозначение
1. Контакт контактного соединения:	
1) разъемного соединения:	
– штырь	
– гнездо	
2) разборного соединения	
3) неразборного соединения	
2. Контакт скользящий:	
1) по линейной токопроводящей поверхности	
2) по нескольким линейным токопроводящим поверхностям	
3) по кольцевой токопроводящей поверхности	
4) по нескольким кольцевым токопроводящим поверхностям *Примечание.* При выполнении схем с помощью ЭВМ допускается применять штриховку вместо зачернения	

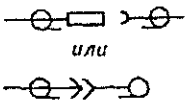
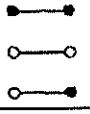
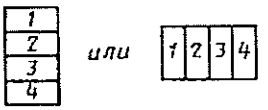
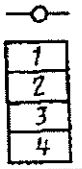
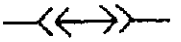
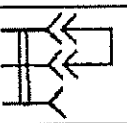
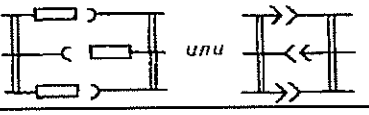
Контактные соединения могут быть не только одиночные, но и групповые, тогда необходимо рассматривать построения обозначений контактных соединений в табл. 2.4.6.

Таблица 2.4.6

Примеры построения обозначений контактных соединений

Наименование	Обозначение
1. Соединение контактное разъемное	
2. Соединение контактное разъемное четырехпроводное	
3. Штырь четырехпроводного контактного разъемного соединения	
4. Гнездо четырехпроводного контактного разъемного соединения	
Примечание. В пп. 2–4 цифры внутри прямоугольников обозначают номера контактов	

Продолжение табл. 2.4.3

Наименование	Обозначение
5. Соединение контактное разъемное коаксиальное	
6. Перемычки контактные *Примечание.* Вид связи см. табл. 5, п. 1.	
7. Колодка зажимов *Примечание.* Для указания видов контактных соединений допускается применять следующие обозначения:	
1) колодки с разборными контактами	
2) колодки с разборными и неразборными контактами	
8. Перемычка коммутационная:	
1) на размыкание	
2) с выведенным штырем	
3) с выведенным гнездом	
4) на переключение	
9. Соединение с защитным контактом	

Провода и контактные соединения (зажимы)

Для выбора способа обозначения зажимов важным критерием является их функция и расположение. Отличительными признаками способа обозначения являются:

- расположение зажимов по избранной системе;
- условный цвет по избранной системе;
- условное графическое обозначение;
- буквенно-цифровое обозначение.

Указанные способы с точки зрения их использования равноценны. Допускается использовать графические обозначения (ГОСТ 2.721) взамен буквенно-цифровых, приведенных в табл. 2.4.7 и 2.4.8. Выбор способа обозначения зависит от вида устройства, расположения зажимов, а также сложности устройства или проводки. Как правило, буквенно-

цифровые обозначения используются для сложных устройств и проводок и являются удобными для передачи по каналам передачи информации.

Для обозначения зажимов электрических элементов используют условный цвет, соответствующее графическое или буквенно-цифровое обозначение. При обозначении зажимов условным цветом, взаимоотношение цвета и равноценного графического или буквенно-цифрового обозначения должно быть показано в сопроводительной документации. Если конструкция определенного элемента или устройства не позволяет обозначить зажим, то в сопроводительной документации должно быть показано отношение между расположением зажима, равноценным графическим или буквенно-цифровым обозначениями, а также взаимное расположение зажимов.

При построении буквенно-цифровых обозначений используют прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры. Не рекомендуется применять буквы I и O.

Полное обозначение состоит из групп, каждая группа – из букв и (или) цифр. Допускается опускать одну или несколько групп, если это не ведет к ошибке при подключениях. Для разделения групп, состоящих только из цифр или букв, используют точку. Если нет необходимости различать последующие группы, точку можно опустить. Например, полное обозначение 1U11 можно записать так: 1.11, если нет необходимости указывать группу U, если нет необходимости различать последующие группы, точку можно опустить: 111.

В системе обозначения соблюдены следующие принципы. Две концевые точки элементов обозначают последовательными цифрами (например, 1 и 2 на рис. 2.29). Промежуточные точки простого элемента обозначают предпочтительно последующими цифрами: 3, 4, 5 и т.д.

Нумерацию промежуточных точек начинают от концевой точки, обозначенной меньшим номером. Например, промежуточные точки элемента с конечными зажимами 1 и 2 обозначают цифрами 3, 4, 5 по рис. 2.29.



Рис. 2.29. Обозначение концевых точек элемента

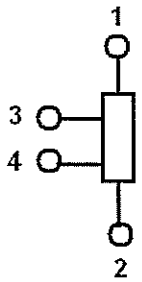


Рис. 2.30. Обозначение промежуточных точек элемента с концевыми зажимами

Когда несколько одинаковых элементов соединяют в группы, концы этих элементов обозначают следующим способом:

– перед цифрами помещают буквы (например, U, V, W) в соответствии с фазами трехфазной системы (рис. 2.31, а);

– перед цифрами, при отсутствии необходимости или возможности различения фаз, помещают последующую цифру. Например, концы одного элемента обозначены 1.1 и 1.2, а те же концы следующего элемента – 2.1 и 2.2, если это не ведет к подмене обозначения 11, 12 и 21, 22 (рис. 2.31, б).

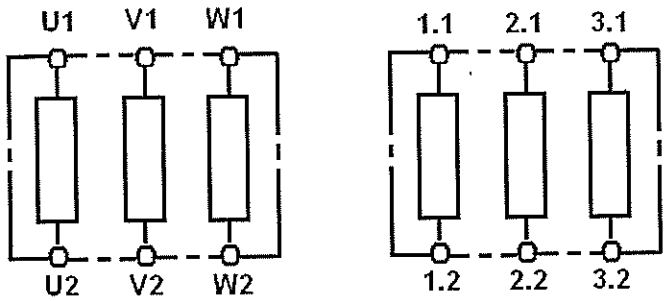


Рис. 2.31. Обозначение нескольких одинаковых элементов: а – обозначение буквами; б – обозначение цифрами

Одинаковые группы элементов, концам которых внутри этих групп присвоены обозначения, различают, помещая перед этими обозначениями порядковые номера групп (рис. 2.32).

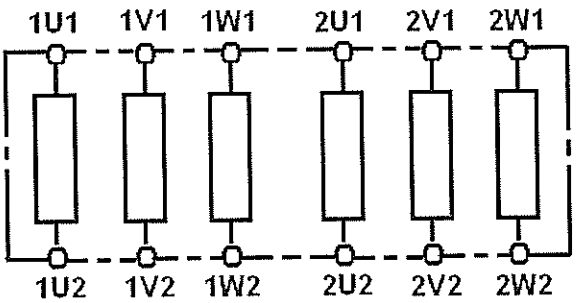


Рис. 2.32. Обозначение одинаковых элементов, концы которых находятся внутри этих групп

Буквенное обозначение зажимов для элементов постоянного тока предпочтительно выбирать из первой половины латинского алфавита, а для элементов переменного тока – из второй половины алфавита. Пример применения буквенно-цифровых обозначений проводов и зажимов трехфазной системы приведен на рис. 2.33.

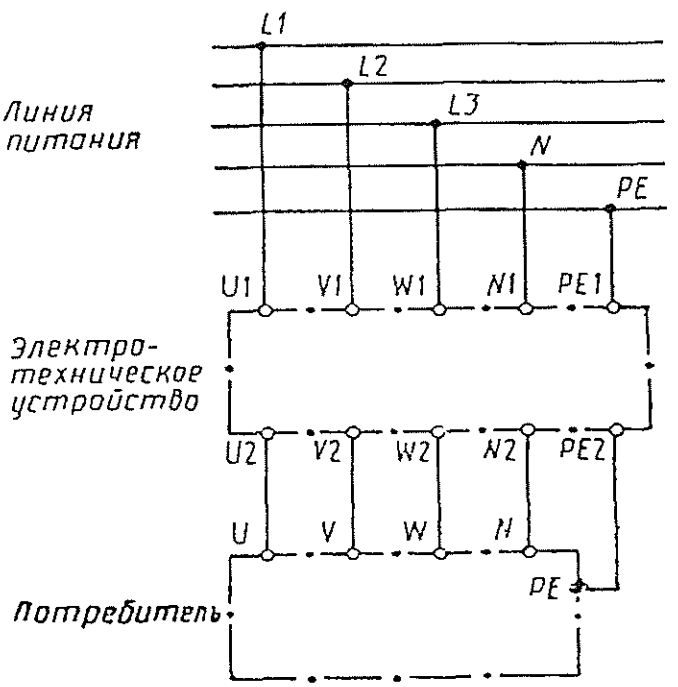


Рис. 2.33. Буквенно-цифровые обозначения проводов и зажимов в трехфазной сети

Обозначения зажимов электрических устройств, присоединенных к специальным проводам, приведены в табл. 2.4.7.

Таблица 2.4.7

Обозначения зажимов, присоединенных к специальным проводам

Присоединительный зажим электрического устройства	Обозначение	
	Буквенно-цифровое	графическое
Для переменного тока		
1–я фаза	U	
2–я фаза	V	
3–я фаза	W	
нейтральный провод	N	
Защитный провод	PE	По ГОСТ 2.721
Заземляющий провод	E	»
Провод бесшумового заземления	TE	»
Провод соединения с корпусом	MM	»
Провод эквипотенциальный	CC	»

Зажимы электрических устройств, предназначенные для прямого или непрямого соединения с питающими проводами трехфазной системы, предпочтительно обозначать буквами U, V, W, если необходимо соблюдение последовательности фаз. Зажим, соединенный с корпусом, обозначают буквами MM, зажим эквипотенциальный – CC. Этим обозначением пользуются только в том случае, когда соединение этого зажима с защитным проводом или землей не видно.

Обозначения проводов специального вида приведены в табл. 2.4.8.

Таблица 2.4.8

Обозначения проводов специального типа

Наименование	Обозначение	
	Буквенно-цифровое	графическое
Система питания переменного тока:		
фазный провод	L	
1–я фаза	L1	
2–я фаза	L2	
3–я фаза	L3	
нейтральный (нулевой рабочий) провод	N	
Система питания постоянного тока:		
положительный полюс	L+	+
отрицательный полюс	L–	–
средний провод	M	
Защитный провод с заземлением	PE	По ГОСТ 2.721
Защитный провод незаземленный	PU	»
Соединенный защитный и средний провод	PEN	»
Заземляющий провод	E	»
Провод бесшумового заземления	TE	»
Провод соединения с корпусом	MM	»
Провод эквипотенциальный	CC	»

Обозначение участков цепей служит для их опознавания, может отражать их функциональное назначение и создает связь между схемой и устройством. При обозначении используют прописные буквы латинского алфавита и арабские цифры, выполненные одним

размером шрифта. Участки цепи, разделенные контактами аппаратов, обмотками машин, резисторами и другими элементами, должны иметь разное обозначение. Соединения, проходящие через неразборные, разборные и разъемные контактные соединения, обозначают одинаково. Допускаются в обоснованных случаях разные обозначения. Участки цепи в схеме обозначают независимо от нумерации входных и выходных зажимов машин и устройств. Последовательность обозначения должна быть, как правило, от ввода (источника питания) к потребителю. Разветвляющиеся цепи обозначают сверху вниз в направлении слева направо. Для удобной ориентации в схемах при обозначении участков цепей допускается оставлять резервные номера или некоторые номера пропускать. Обозначение цепи переменного тока состоит из обозначения участков цепей фазы и последовательного номера.

Например, участки цепи 1–й фазы – L1, L11, L12, L13 и т.д.,
2–й фазы – L2, L21, L22, L23 и т.д.,
3–й фазы – L3, L31, L32, L33 и т.д.

Пример обозначения приведен на рис. 2.34. Допускается сокращение обозначения как указано выше. Допускается, если это не вызовет ошибочного подключения, обозначать фазы соответственно буквами A, B, C.

Для отличия проводов фазы или полярности, относящихся к разным потребителям, применяют последовательные номера, которые помещают перед обозначением данной фазы или полярности (например, обозначение 2L1 означает провод первой фазы, ведущей ко второму потребителю).

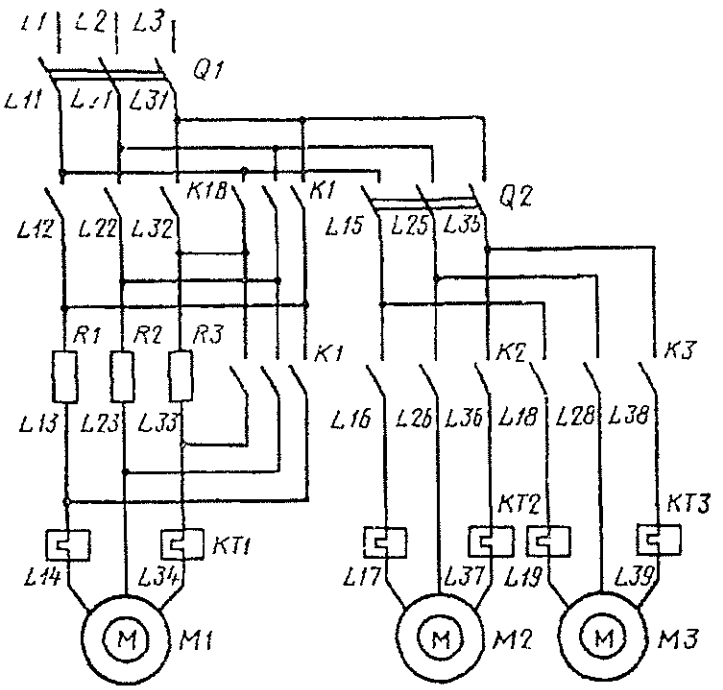


Рис. 2.34. Обозначения электрических цепей переменного тока

Допускается обозначать участки цепи последовательными числами, как указано на рис. 2.35.

Цепи постоянного тока обозначают нечетными числами на участках положительной полярности и четными числами на участках отрицательной полярности. Входные и выходные участки цепи обозначают с указанием полярности «L+» и «L–»; допускается применять только знаки «+» или «–» (рис. 2.36).

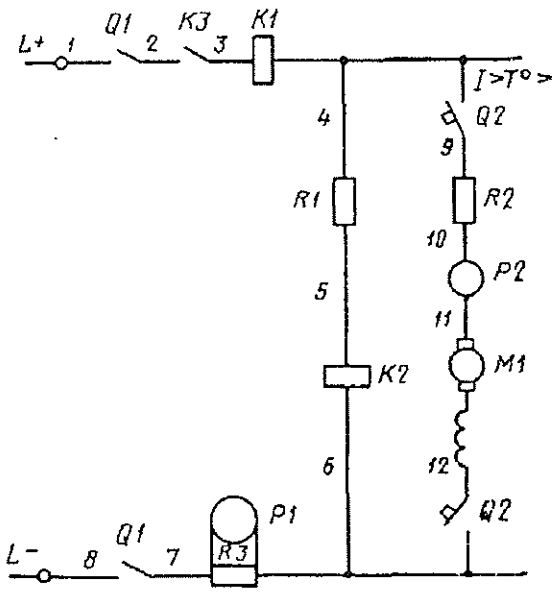


Рис. 2.35. Обозначение участков электрической цепи последовательными числами

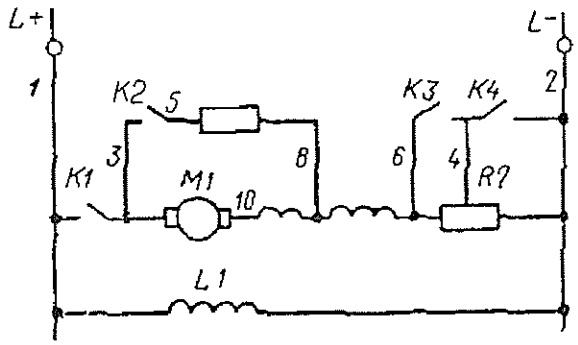


Рис. 2.36. Обозначение цепей постоянного тока

Допускается в обозначение цепей управления, защиты, сигнализации, автоматики, измерения включать обозначение фаз (рис.2.37). В однофазных и двухфазных несиловых цепях переменного тока допускается участки цепей обозначать четными и нечетными числами. В обозначение цепи допускается включать обозначение, характеризующее функциональное назначение цепи. В этом случае последовательность чисел допускается устанавливать в пределах функциональной цепи.

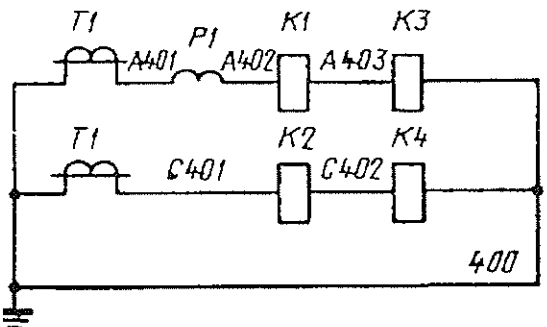


Рис. 2.37. Обозначение электрических цепей управления, защиты, сигнализации, автоматики

Допускается в обозначение цепей отдельного устройства, входящего в изделие, включать прописную букву латинского алфавита (кроме А, В, С, М), выбранную для обозначения цепей данного устройства. В этом случае последовательность чисел допускается уста-

навливать в пределах устройства. На схеме обозначение проставляют около концов или в середине участка цепи: слева от изображения цепи – при вертикальном расположении цепи; над изображением цепи – при горизонтальном расположении цепи. В технически обоснованных случаях допускается проставлять обозначения над изображением цепи. В качестве обозначения могут быть использованы адреса присоединений участка цепи. В этом случае у начала участка указывают адрес присоединения конца участка, а у конца – адрес присоединения начала участка. В качестве адресов используют буквенно-цифровые обозначения элемента, устройства или функциональной группы (рис. 2.38 и 2.39).

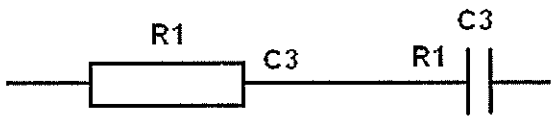


Рис. 2.38. Обозначение участков электрической цепи с указанием буквенно-цифрового обозначения

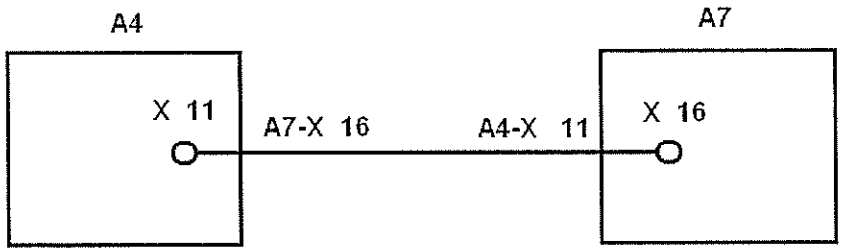


Рис. 2.39. Обозначение участков электрической цепи с указанием функциональной группы

Допускается применять смешанное обозначение, состоящее из указания цепи и адресов присоединения (рис. 2.4.40).

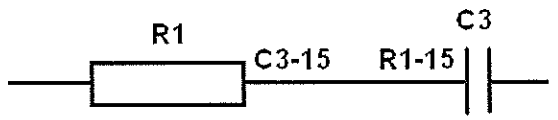


Рис. 2.40. Смешанное обозначение электрической цепи

Источники света

В данном подпункте мы рассмотрим графические обозначения источников электрического освещения на схемах выполняемых вручную или автоматизированным способом (например, на компьютере). Рассмотренные ниже обозначения обязательны для всех отраслей промышленности и строительства.

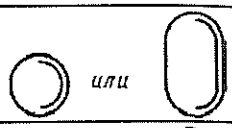
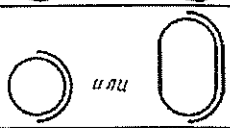
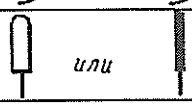
В табл. 2.4.9 приведены обозначения элементов источников света.

Таблица 2.4.9

Графические обозначения элементов источников света

Наименование	Обозначение
1. Давление А) низкое Б) высокое В) сверхвысокое	

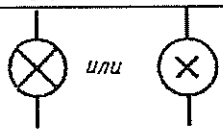
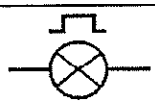
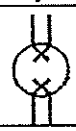
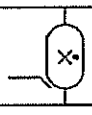
Продолжение табл. 2.4.9

Наименование	Обозначение
2. Излучение импульсное	
3. Газовое наполнение:	
неон	Ne
ксенон	Xe
натрий	Na
ртуть	Hg
йод	I
4. Баллон	
А) с внутренним отражающим слоем Примечание. Положение линии внутри баллона, указывающей внутренний отражающий слой, не устанавливается.	
5Б) с внешним отражающим слоем	
6. Дуговой электрод	

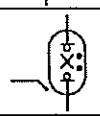
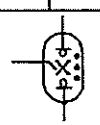
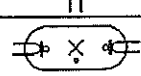
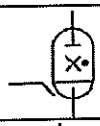
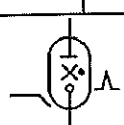
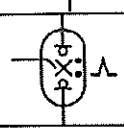
Примеры построения обозначений источников света приведены в табл.2.4.10

Таблица 2.4.10

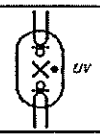
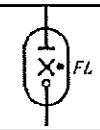
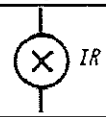
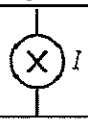
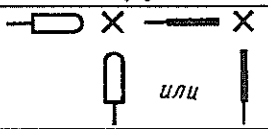
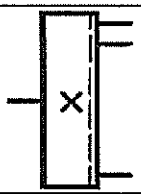
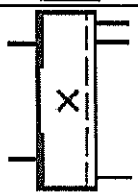
Построение графических обозначений источников света

Наименование	Обозначение
1. Лампа накаливания осветительная и сигнальная. Общее обозначение. Примечание. Если необходимо указать цвет лампы, допускается использовать следующие обозначения: С2 – красный; С4 – желтый; С5 – зеленый; С6 – синий; С9 – белый	
1а. Лампа с импульсной световой сигнализацией	
2. Лампа накаливания двухнитевая:	
а) с тремя выводами	
б) с четырьмя выводами	
3. Лампа газоразрядная осветительная и сигнальная.	
Общее обозначение: а) с двумя выводами	
б) с четырьмя выводами	
4. Лампа газоразрядная низкого давления:	
а) безэлектродная	

Продолжение табл. 2.4.10

Наименование	Обозначение
б) с простыми электродами: для работы при постоянном токе	
для работы при переменном токе	
в) с комбинированными электродами	
г) с комбинированными электродами с предварительным подогревом	
д) с комбинированным электродом для работы при постоянном и переменном токе	
е) с самокалящимся катодом	
5. Лампа газоразрядная высокого давления:	
а) с простыми электродами	
б) с комбинированными электродами и внешним поджигом	
6. Лампа газоразрядная сверхвысокого давления: а) с простыми электродами	
б) с комбинированными электродами и внутренним поджигом	
Примечания к пп.4–6: 1. При необходимости допускается лампы с самокалящимся катодом обозначать следующим образом, например:	
а) лампа газоразрядная низкого давления с простыми электродами и самокалящимся катодом	
б) лампа газоразрядная высокого давления с комбинированными электродами, с предварительным подогревом с самокалящимися катодами	
2. Допускается газоразрядные лампы изображать в баллоне вытянутой формы, например, лампа газоразрядная низкого давления с комбинированными электродами и предварительным подогревом	
7. Лампа газоразрядная с жидким катодом и наружным поджигом	
8. Лампа газоразрядная импульсная: а) низкого давления с простыми электродами и внешним поджигом	
б) высокого давления с комбинированными электродами и внутренним поджигом	

Продолжение табл. 2.4.10

Наименование	Обозначение
9. Лампа газоразрядная низкого давления с комбинированными электродами, с предварительным подогревом, ультрафиолетового излучения	
Примечание к пп.3–9. Для указания типа газоразрядных ламп используют буквенные обозначения: электролюминесцентная – EL, флуоресцентная – FL,	
например, лампа газоразрядная низкого давления с простыми электродами с флуоресценцией	
10. Лампа накаливания инфракрасного излучения	
10а. Лампа накаливания с восстановительным йодным циклом	
11. Лампа с внутренним отражающим слоем:	
а) газоразрядная низкого давления с комбинированными электродами	
б) накаливания	
12. Лампа дуговая:	
а) электроды соосны	
б) электроды расположены под углом	
13. Прибор индикации электролюминесцентный некоммутируемый	
14. Прибор индикации электролюминесцентный коммутируемый:	
а) с односторонним управлением	
б) с двусторонним управлением	
15. Пускатель для газоразрядных ламп	

Размеры условного графического обозначения лампы накаливания приведены ниже:

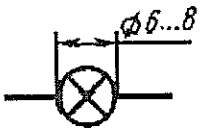


Рис. 2.41. Размеры условного графического обозначения лампы накаливания

Размеры условных обозначений других источников светы выбираются по аналогии с размерами, приведенными для лампы накаливания. В настоящее время большинство проектных организаций используют специальные графические редакторы AutoCad, Page Maker и др. и размеры элементов выбираются автоматически.

Трансформаторы, автотрансформаторы, дроссели

Устанавливаются три способа построения условных графических обозначений для трансформаторов и автотрансформаторов:

– упрощенный однолинейный;
– упрощенный многолинейный (форма I);
– развернутый (форма II).

В упрощенных однолинейных обозначениях обмотки трансформаторов и автотрансформаторов изображают в виде окружностей (рис. 2.42, а). Выводы обмоток показывают одной линией с указанием на ней количества выводов в виде косых черточек. В автотрансформаторах сторону высшего напряжения изображают в виде развернутой дуги (рис. 2.42, б).

В упрощенных многолинейных обозначениях обмоток трансформаторов (рис. 2.42, в) и автотрансформаторов (рис. 2.42, г) изображают аналогично упрощенным однолинейным обозначениям, показывая выводы обмотки.



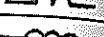
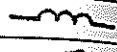
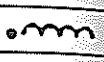
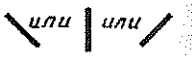
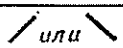
а б в г

Рис. 2.42. Обозначение обмоток трансформаторов и автотрансформаторов в упрощенных однолинейных обозначениях: а – в виде окружностей в однолинейном исполнении; б – в виде дуги в однолинейном исполнении; в, г – в виде окружности и дуги в многолинейном исполнении

В развернутых обозначениях обмоток трансформаторов и автотрансформаторов изображают в виде цепочек полуокружностей. Графические обозначения элементов катушек индуктивности (КИ), трансформаторов (Т), автотрансформаторов (АТ) и магнитных усилителей (МУ) приведены в табл. 2.4.11.

Таблица 2.4.11

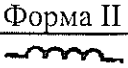
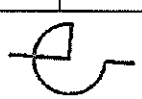
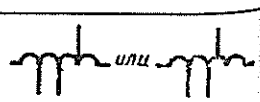
Графические обозначения элементов катушек индуктивности, трансформаторов, автотрансформаторов и магнитных усилителей

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
1. Обмотка трансформатора, автотрансформатора, дросселя и магнитного усилителя.		
Примечания: 1. Количество полуокружностей в изображении обмотки и направление выводов не устанавливаются		
2. При изображении магнитных усилителей, трансдукторов разнесенным способом используют следующие обозначения:		
а) рабочая обмотка		
б) управляющая обмотка		
в) магнитопровод		
3. Для указания начала обмотки используют точку		
2. Магнитопровод: а) ферромагнитный		
Примечания: 1. Для немагнитного магнитопровода указывают химический символ металла, например, магнитопровод медный		
2. Магнитопровод ферритовый (изображают толстой линией)		
б) ферромагнитный с воздушным зазором		
в) магнитодиэлектрический		
Примечание. Количество штрихов в обозначении магнитопровода не устанавливается		
3. Характер кривой намагничивания отражают при помощи следующих знаков: а) прямоугольная петля гистерезиса		
б) непрямоугольная петля гистерезиса		
4. Первичная обмотка трансформатора тока		
5. Обмотка запоминающего трансформатора		

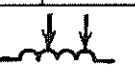
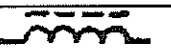
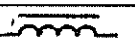
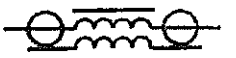
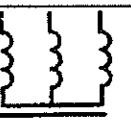
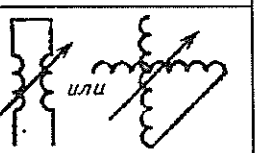
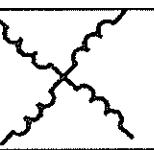
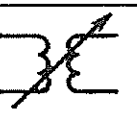
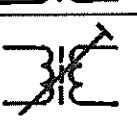
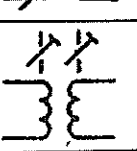
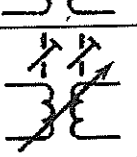
Примеры построения обозначений катушек индуктивности, трансформаторов, автотрансформаторов и магнитных усилителей приведены в табл. 2.4.12.

Таблица 2.4.12

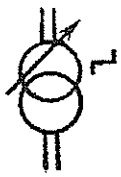
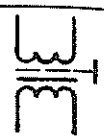
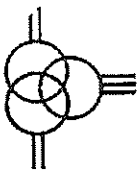
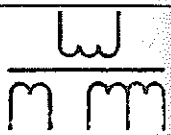
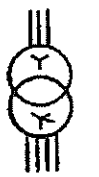
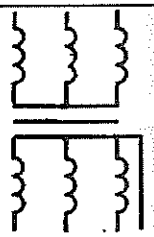
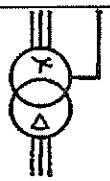
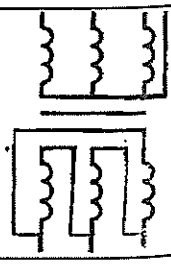
Примеры построения обозначений катушек индуктивности, трансформаторов, автотрансформаторов и магнитных усилителей

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
1. Катушка индуктивности, дроссель без магнитопровода		
2. Реактор. Обозначение устанавливается для схем энергоснабжения		
3. Катушка индуктивности с отводами Примечание. Количество полуокружностей в изображении не устанавливается		

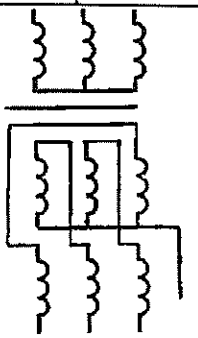
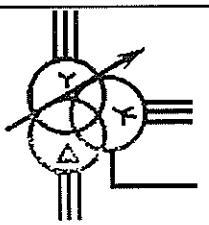
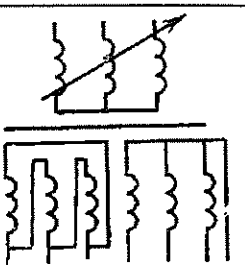
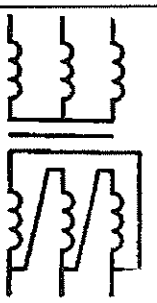
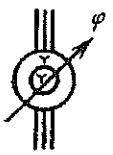
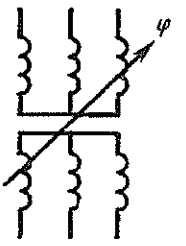
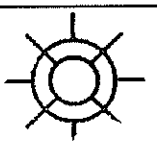
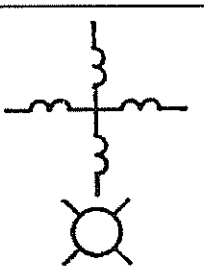
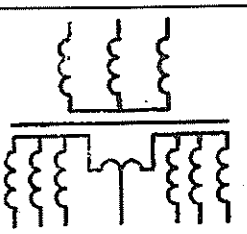
Продолжение табл. 2.4.12

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
4. Катушка индуктивности со скользящими контактами (например, двумя)		
5. Катушка индуктивности с магнитодиэлектрическим магнитопроводом		
6. Катушка индуктивности, подстраиваемая магнитодиэлектрическим проводом		
7. Катушка индуктивности, подстраиваемая немагнитным магнитопроводом, например, медным		
8. Дроссель с ферромагнитным магнитопроводом		
9. Дроссель коаксиальный с ферромагнитным магнитопроводом		
9а. Дроссель трехфазного тока с соединением обмоток в звезду		
10. Вариометр		
11. Гониометр		
12. Трансформатор без магнитопровода: а) с постоянной связью		
б) с переменной связью		
Примечание. Полярности мгновенных значений напряжений могут быть указаны в форме II, например, трансформатор с двумя обмотками с указателем полярности мгновенных значений напряжения		
13. Трансформатор с магнитодиэлектрическим магнитопроводом		
14. Трансформатор, подстраиваемый общим магнитодиэлектрическим магнитопроводом		
15. Трансформатор, каждая из обмоток которого подстраивается магнитодиэлектрическим магнитопроводом: а) с постоянной связью		
б) с переменной связью		

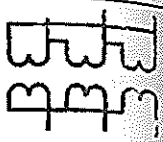
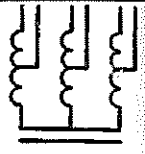
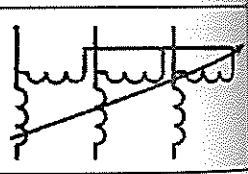
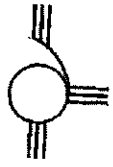
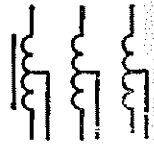
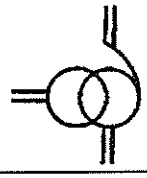
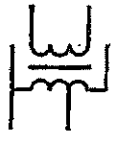
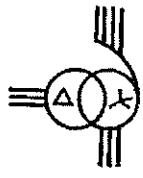
Продолжение табл. 2.4.12

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
16. Трансформатор со ступенчатым регулированием		
17. Трансформатор однофазный с ферромагнитным магнитопроводом и экраном между обмотками		
18. Трансформатор дифференциальный (с отводом от средней точки одной обмотки)	 	
19. Трансформатор однофазный с ферромагнитным магнитопроводом трехобмоточный		
20. Трансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом; соединение обмоток звезда-звезда с выведенной нейтральной (средней) точкой	 	
21. Трансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом, соединение обмоток звезда с выведенной нейтральной (средней) точкой-треугольник		

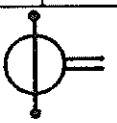
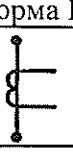
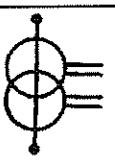
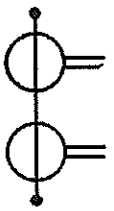
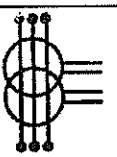
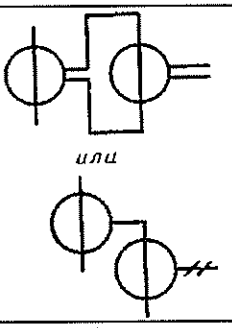
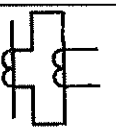
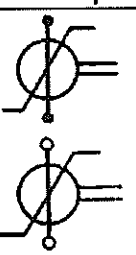
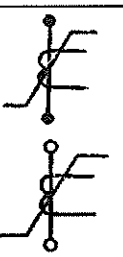
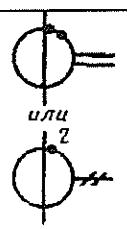
Продолжение табл. 2.4.12

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
22. Трансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом, соединение обмоток звезда-зигзаг с выведенной нейтральной (средней) точкой		
23. Трансформатор трехфазный трехобмоточный с ферромагнитным магнитопроводом; соединение обмоток звезда с регулированием под нагрузкой – треугольник-звезда с выведенной нейтральной (средней) точкой		
Примечание к пп. 21–23. В развернутых обозначениях обмоток трансформаторов (Форма II) допускается наклонное изображение линий связи, например, обмотка трансформатора с соединением обмоток звезда-треугольник		
23а. Трансформатор трехфазный трехобмоточный (фазорегулятор); соединение обмоток звезда-звезда		
23б. Трансформатор вращающийся, фазовращатель (обозначение соединения обмоток статора и ротора между собой производится в зависимости от назначения машины)		
24. Трансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом; соединение обмоток звезда на одной обмотке – две обратные звезды с выведенными нейтральными (средними) точками на двух обмотках с уравнительным дросселем		

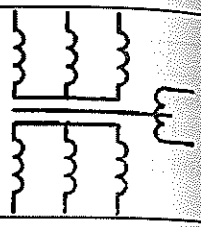
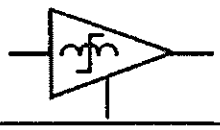
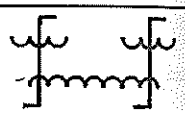
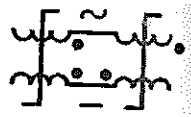
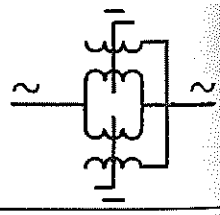
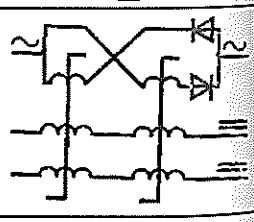
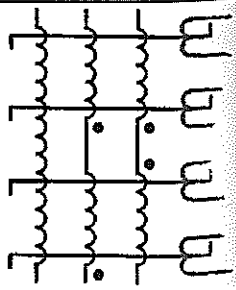
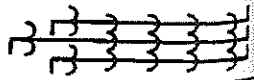
Продолжение табл. 2.4.12

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
24а. Трансформаторная группа из трех однофазных двухобмоточных трансформаторов с соединением обмоток звезда – треугольник		
25. Автотрансформатор однофазный с ферромагнитным магнитопроводом		
25а. Автотрансформатор однофазный с регулированием напряжения		
25б. Регулятор индуктивный однофазный		
26. Автотрансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом; соединение обмоток в звезду		
26а. Регулятор индуктивный трехфазный		
27. Автотрансформатор трехфазный с девятью выводами и ферромагнитным магнитопроводом		
28. Автотрансформатор однофазный с третичной обмоткой и ферромагнитным магнитопроводом		
29. Автотрансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом, соединением обмоток в звезду с выведенной нейтральной (средней) точкой и третичной обмоткой, соединенной в треугольник		

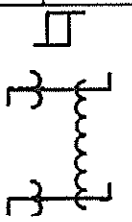
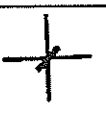
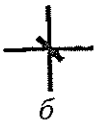
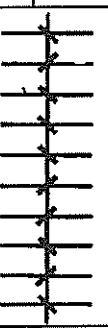
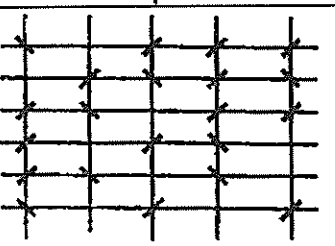
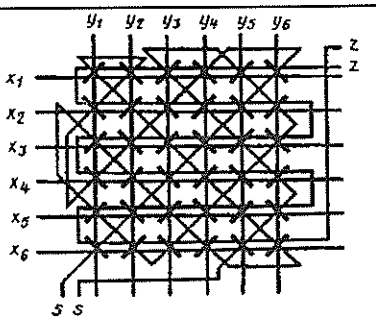
Продолжение табл. 2.4.12

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
30. Трансформатор тока с одной вторичной обмоткой		
31. Трансформатор тока с одним магнитопроводом и двумя вторичными обмотками		
32. Трансформатор тока с двумя магнитопроводами и двумя вторичными обмотками. Примечание. При наличии нескольких магнитопроводов допускается магнитопроводы не изображать		
33. Трансформатор тока шинный нулевой последовательности с катушкой подмагничивания		
34. Трансформаторы тока в каскадное соединении		
35. Трансформатор тока быстронасыщающийся Примечание к пп. 30–33 и 35. Допускается не зачернять выходные обозначения, расположенные по концам первичной цепи, например, трансформатор тока быстронасыщающийся		
35а. Трансформатор с двумя отводами на вторичной обмотке		
36. Трансформатор напряжения измерительный		

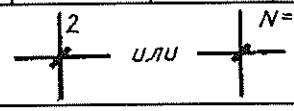
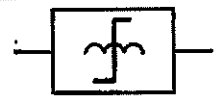
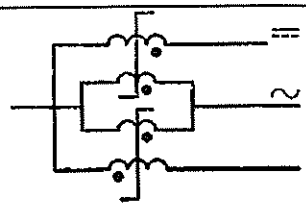
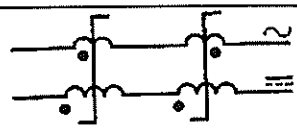
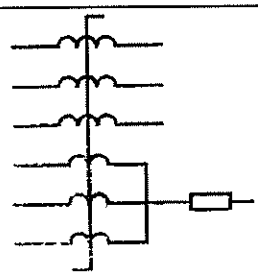
Продолжение табл. 2.4.12

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
36а. Трансформатор напряжения измерительный с двумя вторичными обмотками		
37. Трансформатор с ферромагнитным магнитопроводом и управляющей (подмагничивающей) обмоткой: а) однофазный		
б) трехфазный; соединение обмоток звезда – звезда		
37а. Усилитель магнитный. Общее обозначение		
38. Усилитель магнитный с двумя рабочими и общей управляющей обмотками.		
39. Усилитель магнитный с двумя последовательно соединенными рабочими обмотками и двумя встречно включенными секциями управляющей обмотки		
40. Усилитель магнитный с параллельным соединением рабочих обмоток и общей управляющей обмоткой		
40а. Усилитель магнитный с прямым самовозбуждением и двумя обмотками управления		
41. Усилитель магнитный с четырьмя рабочими и тремя управляющими обмотками		
42. Усилитель магнитный трехфазный с тремя рабочими и четырьмя управляющими обмотками		

Продолжение табл. 2.4.12

Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
43. Усилитель магнитный с двумя рабочими и общей управляющей обмотками и прямоугольной петлей гистерезиса		
44. Элемент ферромагнитный, трансформатор запоминающий, элемент памяти.		
3. При большом количестве обмоток на магнитопроводе и большом количестве магнитопроводов в схеме допускается использовать следующие обозначения. В обозначении вертикальная линия означает магнитопровод, горизонтальная – линию электрической связи между обмотками; наклонная черта указывает на наличие обмотки на данном магнитопроводе. Конец наклонной черты, расположенный под линией электрической связи, условно определяет, что соединение произведено с началом обмотки. При прохождении положительного импульса тока слева направо (черт. *а*) магнитопровод перемагничивается в состояние «*1*», соответствующее остаточной намагниченности магнитопровода «плюс Br». При прохождении положительного импульса тока слева направо (черт. *б*) магнитопровод перемагничивается в состояние «*0*», соответствующее остаточной намагниченности магнитопровода «минус Br», например:	 *а*	 *б*
а) трансформатор запоминающий многообмоточный (например, с 10 обмотками, из которых 2, 4, 5 и 9–я перемагничивают магнитопровод в состояние «*1*», а 1, 3, 6, 7, 8 и 10–я – в состояние «*0*»)		
б) запоминающее устройство (например, на пяти магнитопроводах)		
в) матрица накопительная на ферритовых магнитопроводах		

Продолжение табл. 2.4.12

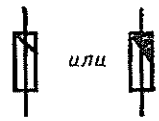
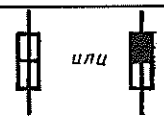
Наименование	Обозначение	
	Форма I	Форма II
4. Допускается около обозначения обмотки указывать количество витков, например, обмотка с двумя витками.		
45. Трансдуктор, общее обозначение		
46. Трансдуктор однофазный параллельный		
47. Трансдуктор однофазный последовательный Примечание к пп. 46, 47. Увеличение тока, протекающего по крайним частям управляющих обмоток, обозначенных точками, ведет к увеличению выходной мощности		
48. Трансдуктор трехфазный с тремя обмотками управления, управляющий напряжением трехфазного переменного тока в схеме со средней точкой		

Предохранители и разрядники

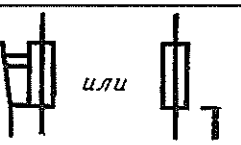
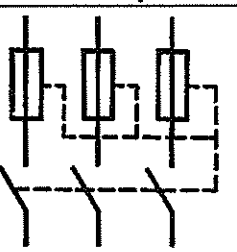
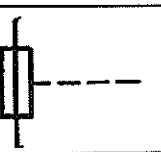
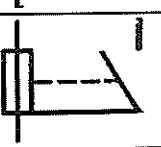
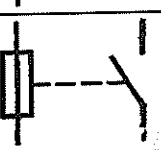
Графические обозначения предохранителей представлены в табл. 2.4.13.

Таблица 2.4.13

Обозначения предохранителей

Наименование	Обозначение
1. Предохранитель пробивной	
2. Предохранитель плавкий. Общее обозначение	
Примечание. Допускается в обозначении предохранителя указывать утолщенной линией сторону, которая остается под напряжением.	
3. Предохранитель плавкий: а) инерционно-плавкий	
б) тугоплавкий	

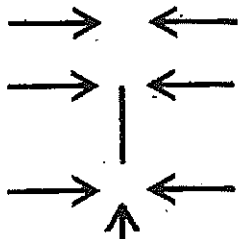
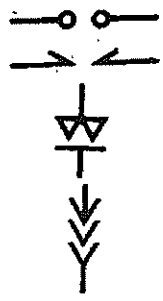
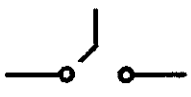
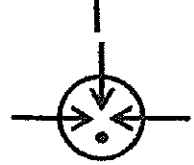
Продолжение табл. 2.4.13

Наименование	Обозначение
в) быстродействующий	
4. Катушка термическая (предохранительная)	
5. Предохранитель с сигнализирующим устройством: а) с самостоятельной цепью сигнализации	
б) с общей цепью сигнализации	
в) без указания цепи сигнализации	
6. Выключатель-предохранитель	
7. Разъединитель-предохранитель	
8. Выключатель трехфазный с автоматическим отключением любым из плавких предохранителей ударного действия	
9. Выключатель-разъединитель (с плавким предохранителем)	
10. Предохранитель плавкий ударного действия а) общее обозначение	
б) с трехвыводным контактом сигнализации	
в) с самостоятельной схемой сигнализации	

Графические обозначения разрядников приведены в табл. 2.4.14.

Таблица 2.4.14

Обозначения разрядников

Наименование	Обозначение
1. Промежуток искровой: а) двухэлектродный. Общее обозначение б) двухэлектродный симметричный в) трехэлектродный	
2. Разрядник. Общее обозначение.	
Примечание. Если необходимо уточнить тип разрядника, то применяют следующие обозначения: а) разрядник трубчатый	
б) разрядники вентильный и магнитовентильный	
в) разрядник шаровой г) разрядник роговой д) разрядник угольный е) разрядник электрохимический	
Примечание к пп. в – е. Допускается обозначения заключать в прямоугольник. ж) разрядник вакуумный	
з) разрядник двухэлектродный ионный с газовым наполнением	
и) разрядник ионный управляемый	
к) разрядник шаровой с зажигающим электродом	
л) разрядник симметричный с газовым наполнением	
м) разрядник трехэлектродный с газовым наполнением	

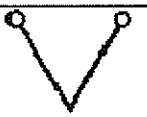
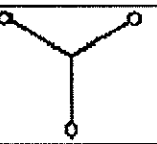
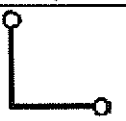
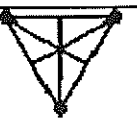
Условные обозначения для счетчиков электрической энергии переменного тока

В условных обозначениях измерительных элементов счетчиков (табл. 2.4.15) каждая цепь напряжения обозначена линией, а каждая цепь тока – кружком.

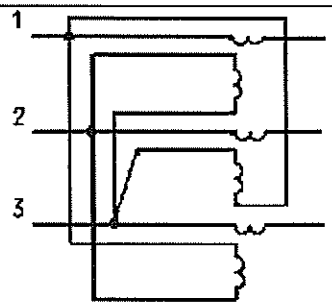
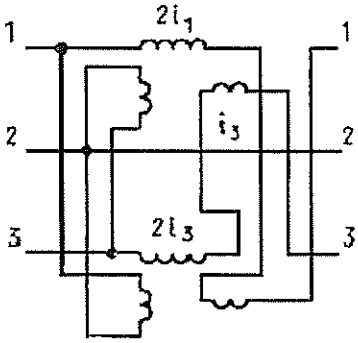
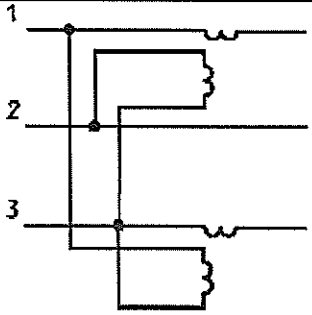
В конце каждой линии, обозначающей цепь напряжения, расположены кружки для обозначения цепей тока, имеющих общую точку соединения с этой цепью напряжения.

Таблица 2.4.15

Условные обозначения для измерительных элементов счетчиков

Номер обозначения	Вид счетчика	Обозначение
4.1	Счетчик ватт-часов или вар-часов с измерительным элементом, имеющий одну цепь тока и одну цепь напряжения (для однофазных двухпроводных цепей)	
4.2	Счетчик ватт-часов или вар-часов с одним измерительным элементом, имеющий одну цепь напряжения и две цепи тока (для однофазных двухпроводных или трехпроводных цепей, когда цепь напряжения присоединена к крайним проводам)	
4.3	Счетчик ватт-часов или вар-часов с двумя измерительными элементами, каждый из которых имеет по одной цепи напряжения и цепи тока. Цепи тока присоединены к крайним проводам однофазной трехпроводной цепи, а соответствующие цепи напряжения включены между одним из крайних проводов и средним проводом	
4.4	Счетчик ватт-часов или вар-часов с двумя измерительными элементами, каждый из которых имеет по одной цепи напряжения и цепи тока. Цепь тока включена в фазный провод трехфазной цепи, а цепь напряжения каждого измерительного элемента подключена между нейтралью и фазным проводом, в который включена цепь тока	
4.5	Счетчик ватт-часов или вар-часов с двумя измерительными элементами, каждый из которых имеет по одной цепи напряжения и цепи тока, с подключением по методу двух ваттметров (для трехфазных трехпроводных цепей)	
4.6	Счетчик ватт-часов или вар-часов с тремя измерительными элементами, каждый из которых имеет по одной цепи напряжения и цепи тока, с подключением по методу трех ваттметров (для трехфазных четырехпроводных цепей)	
4.7	Счетчик ватт-часов или вар-часов с двумя измерительными элементами, каждый из которых имеет по одной цепи напряжения и цепи тока и включен последовательно с обоими фазными проводами двухфазной трехпроводной цепи	
4.8	Счетчик вар-часов с тремя измерительными элементами, каждый из которых имеет по одной цепи напряжения и цепи тока и размещен так, чтобы иметь общую точку с цепями напряжения двух других измерительных элементов. Цепь напряжения каждого измерительного элемента питается напряжением между фазными проводами, в которые не включена цепь тока. Обозначение 4.8, соответствующее рисунку 1, применяют для трехфазных трех- или четырехпроводных цепей	

Продолжение табл. 2.4.15

Номер обозначения	Вид счетчика	Обозначение
	 Рисунок 1	
4.9	Счетчик вар-часов с двумя измерительными элементами, каждый из которых имеет одну цепь напряжения и две цепи тока с числом витков в отношении 1:2 (n и $2n$ витками). Каждая цепь с n витками имеет общую точку с цепью напряжения того же самого измерительного элемента, в то время как каждая цепь тока с $2n$ витками имеет общую точку с цепью напряжения другого элемента. Цепь с n витками одного из измерительных элементов и цепь с $2n$ витками другого подвергаются воздействию положительных напряжений в противовес цепи с $2n$ витками первого элемента и цепи с n витками второго, которые подвергаются воздействию отрицательных напряжений	
	Обозначение 4.9, соответствующее рисунку 2, применяют для трехфазных трехпроводных цепей  Рисунок 2	
4.10	Счетчик вар-часов с двумя измерительными элементами, каждый из которых имеет по одной цепи напряжения и тока. Одна из цепей тока имеет общую точку с цепью напряжения другого измерительного элемента, в то время как цепь тока последнего имеет общую точку с цепями напряжения обоих измерительных элементов. Обозначение 4.10, соответствующее рисунку 3, применяют для трехфазных трехпроводных цепей	
	 Рисунок 3	

Если цепь тока и цепь напряжения, имеющие такую общую точку соединения, не являются частью одного и того же электромагнита, то кружок, обозначающий цепь тока, соединяют с точкой в середине линии, обозначающей цепь напряжения, – посредством директрисы толщиной не более половины толщины первой линии, обозначающей цепь напряжения.

Если электромагнит содержит две цепи тока и число его витков находится в соотношении 1:*k*, то диаметры кружков в обозначении должны быть приблизительно в таком же соотношении.

Угол между двумя линиями условного обозначения представляет собой угол сдвига фаз между соответствующими напряжениями при условии, что за положительное направление принимают направление, идущее к общей точке в условных обозначениях с двумя линиями (например, обозначения 4.9 и 4.10) и направление в пределах внутренних углов треугольника – для обозначений треугольниками (например, обозначение 4.8).

Для разграничения направления напряжения, действующего на каждый ток, цепь тока, на которую оказывает воздействие положительное направление напряжения, должна быть обозначена зачерненным кружком, а цепь тока, на которую оказывает воздействие отрицательное направление напряжения, – не зачерненным кружком.

Условные обозначения единиц физических величин, используемых для счетчиков, приведены в табл. 2.4.16.

Таблица 2.4.16

Условные обозначения единиц физических величин, используемых для счетчиков

Номер обозначения	Единица физической величины	Обозначение*
5.1	Ампер	A
5.2	Вольт	V
5.3	Ватт	W
5.4	Ватт-час	W·h
5.5	Вар	var
5.6	Вар-час	var·h
5.7	Вольт-ампер	V·A
5.8	Вольт-ампер-час	V·A·h
5.9	Герц	Hz
5.10	Вольт в квадрате-час	V^2·h
5.11	Ампер в квадрате-час	A^2·h
5.12	Час	h
5.13	Минута	min
5.14	Секунда	s
5.15	Градус Цельсия	°C

Примечание:

** Для потребностей народного хозяйства допускается наносить условные обозначения единиц физических величин на русском языке в соответствии с ГОСТ 8.417, в т.ч. с использованием обозначений кратных и дольных значений единиц физических величин по ГОСТ 23217.*

Обозначение, указывающее номинальную измеряемую величину, должно быть нанесено на щитке или циферблате счетчика в соответствии с табл. 2.4.17.

Когда счетчик предназначен для измерений в специальных условиях (или) при различных диапазонах коэффициента мощности, следует использовать соответствующее обозначение.

Если индукционный счетчик реактивной энергии отрегулирован для измерений в условиях только опережающего коэффициента мощности или только запаздывающего коэффициента мощности, то направление нормального вращения диска счетчика, если смотреть на счетчик спереди, будет слева направо, а на счетный механизм должна быть нанесена

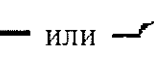
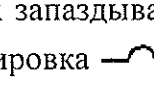
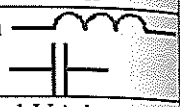
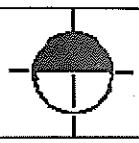
маркировка  или  соответственно. Если счетчик отрегулирован на измерения в условиях как запаздывающего, так и опережающего коэффициента мощности, то направление вращения диска счетчика, если смотреть на счетчик спереди, должно быть слева направо при условиях запаздывания. Рядом с каждым из двух счетных механизмов должна быть нанесена маркировка  или  .

Таблица 2.4.17

Маркировка измеряемой величины

Номер обозначения	Вид и характеристика счетчика	Обозначение
6.1	Счетчик активной энергии	kW·h
6.2	Счетчик реактивной энергии	k var·h
6.3	Счетчик индуктивной и емкостной реактивной энергии с двумя счетными механизмами	kvar·h 
6.4	Счетчик кажущейся энергии	kVA·h
6.5	Счетчик кажущейся энергии для ограниченного диапазона коэффициента мощности cosφ Пример: cosφ = 0,5 ... 0,9 инд.	kVA·h (0,5 … 0,9) 
6.6*	Рабочий диапазон счетчика реактивной энергии	

Примечание:
** Возможны другие варианты обозначений при измерении энергии сметчиком в других квадрантах.*

Если счетчик предназначен для измерения полной энергии при определенных предельных значениях коэффициента мощности, то эти значения должны быть указаны в скобках после условного обозначения единицы физической величины.

Условные обозначения класса точности, постоянной счетчика, передаточного числа счетчика и класса защиты изоляции приведены в табл. 2.4.18.

Таблица 2.4.18

Условные обозначения класса точности, постоянной счетчика, передаточного числа счетчика и класса защиты изоляции

Номер обозначения	Характеристика счетчика	Обозначение
7.1	Класс точности Пример: Класс 1	 или С1. 1
7.2	Постоянная счетчика для индукционных счетчиков Пример: 500 оборотов на 1 кВт·ч или 2 Вт·ч на один оборот	500 rev/kW·h или 2 W·h/rev
7.3	Постоянная счетчика для статических счетчиков электроэнергии Пример: 500 импульсов на 1 кВт·ч или 2 Вт·ч на один импульс	500 imp/kW·h или 2 W·h/imp
7.4	Класс II защиты изоляции счетчика	
7.5	*Передаточное число счетчика для индукционных счетчиков* *Пример: 500 оборотов на 1 кВт·ч*	500 rev/kW·h
7.6	*Передаточное число счетчика для счетчиков электроэнергии, имеющих импульсные выходы* *Пример: 500 импульсов на 1 кВт·ч*	500 imp/kW·h

Условные обозначения для счетчиков, подключаемых через измерительные трансформаторы, приведены в табл. 2.4.19.

Таблица 2.4.19

Условные обозначения для счетчиков, подключаемых через измерительные трансформаторы

Номер обозначения	Вид счетчика	Обозначение		
		на щитке или на циферблате		на добавочном щитке
8.1	Счетчик с вторичным счетным механизмом		5A, 100V	50/5A, 10000/100V или $\frac{50}{5}$ A, $\frac{10000}{100}$ V Множитель = 1000
8.2	Счетчик со смешанным счетным механизмом (первичный ток является переменным)		10000/100V, 5A или $\frac{10000}{100}$ V, 5A	500/5A или $\frac{50}{5}$ A Множитель = 100
8.3	Счетчик со смешанным счетным механизмом (первичное напряжение является переменным)		100V, 50/5A или 100V, $\frac{50}{5}$ A	10000/100V или $\frac{10000}{100}$ V Множитель = 100
8.4	Счетчик с первичным счетным механизмом	10000/100V, 50/5A или $\frac{10000}{100}$ V, $\frac{50}{5}$ A		–
Примечание – В случае отсутствия места на щитке может быть нанесен только один символ: для измерительного трансформатора				

Когда счетчик питается через измерительные трансформаторы, коэффициенты трансформации должны быть нанесены следующим образом:

– на щитке или на циферблате счетчика должны быть нанесены те коэффициенты трансформации, которые учтены счетным механизмом (для первичных счетных механизмов – коэффициенты всех трансформаторов; для смешанных счетных механизмов – коэффициент трансформации, который учтен данным механизмом).

– на добавочном щитке, прикрепленном к кожуху счетчика со смешанным или вторичным счетным механизмом, должны быть нанесены коэффициенты трансформации, которые не учтены счетным механизмом (для вторичного счетного механизма – коэффициенты всех трансформаторов, для смешанного счетного механизма – коэффициент трансформации, который не учтен данным счетным механизмом).

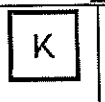
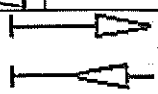
– на щитке или на циферблате счетчика со смешанным или вторичным счетным механизмом должно быть нанесено условное обозначение измерительного трансформатора в соответствии с 8.1–8.3, которое означает, что данный счетчик рассчитан на работу вместе с таким(и) измерительным(и) трансформатором(ами), коэффициент(ы) трансформации которого(ых) не учтен(ы) данным счетным механизмом. Значение энергии в этих случаях определяют умножением показания счетного механизма на соответствующий множитель.

– на добавочном щитке счетчиков со смешанным или вторичным счетным механизмом должен быть нанесен множитель, на который необходимо умножать показание счетного механизма для получения значения энергии в первичной обмотке трансформаторов.

Условные обозначения устройств тарификации приведены в табл. 2.4.20.

Таблица 2.4.20

Условные обозначения устройств тарификации счетчиков

Номер обозначения	Вид и характеристика счетчика и устройства тарификации	Обозначение
9.1	Счетчик излишков энергии Число рядом с треугольником указывает значение мощности, при котором начинает работать счетный механизм излишков энергии Пример: 800 Вт Примечание – Для счетчиков с двумя фиксированными рабочими пределами мощности, переключаемыми с помощью реле, должны быть обозначены оба рабочих предела	 800 W
9.2	Счетчик излишков энергии, в котором регулируется уровень излишка	
9.3	Указатель максимума барабанного типа Пример: Множитель для указателя максимума 0,2 кВт, интервал интегрирования 15 мин, «мертвое» время 9 с	 0,2 kW/div = 15 min/9 s
9.4	Указатель максимума стрелочного или барабанного типа, снабженный сигнальным устройством	 0,2 kW/div = 15 min/9 s
9.5	Двунаправленный счетчик Энергия, принимаемая в точке измерения (например, расход) Энергия, передаваемая в точке измерения (например, приход)	
9.6	Мгновенное (действительное) значение среднего требуемого значения	P_{inst}
9.7	Самое большое среднее требуемое значение для настоящего периода суммирования (составления счетов)	P_{max}
9.8	Суммированное максимальное требуемое значение	P_{cum}
9.9	Период интегрирования	t_m
9.10	Мертвое время	t_0
Примечание – Условные обозначения, приведенные в 9.6–9.10, предназначены для статических счетчиков с указателем максимума, снабженных дисплеем.		

Рассмотрим обозначения различных типов счетчиков:

а) *Многотарифные счетчики*

Для многотарифного счетчика нет специального условного обозначения, однако соответствующие тарифы должны быть нанесены рядом с набором шкал или счетным механизмом.

Примеры: *дневной (нормальный)*  *или I;*

ночной (низкий)  *или II;*

высокий (пиковый)  *или III.*

Примечание – Маркировка счетчика с большим числом тарифов должна быть указана в договоре.

б) *Счетчики излишков энергии*

Вблизи счетного механизма, регистрирующего отсчет излишков, должно быть нанесено условное обозначение  .

Значение мощности, выше которого регистрируется излишек энергии, должно быть указано рядом с этим обозначением в соответствующих единицах преимущественно на добавочном щитке, который должен быть заменен при изменении мощности излишка.

в) *Счетчики с указателем максимума*

Для счетчика с указателем максимума, снабженным одной стрелкой, не требуется никакого обозначения.

На нем должна быть нанесена маркировка, *например: k = 20 кВт/деление.*

Для счетчика с суммирующим указателем максимума суммирующий механизм должен быть обозначен соответствующей единицей измерения мощности.

На указателях максимума возле счетного механизма должны быть нанесены максимальное значение измеряемой средней мощности и соответствующее условное обозначение. На суммирующем счетном механизме, если он имеется, должна быть указана единица регистрируемой величины.

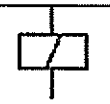
г) *Двунаправленные счетчики*

Если счетчик рассчитан на то, чтобы регистрировать принимаемую или передаваемую энергию с помощью двух рядов шкал или барабанов, то каждый из них должен быть обозначен стрелкой, указывающей соответствующее направление. Если принимаемую или передаваемую энергию регистрируют счетчики реактивной энергии, то должен быть предусмотрен дополнительный щиток для обозначений.

Условные обозначения для вспомогательных устройств приведены в табл. 2.4.21.

Таблица 2.4.21

Условные обозначения для вспомогательных устройств счетчиков

Номер обозначения	Вид и характеристика счетчика и вспомогательного устройства	Обозначение
10.1	Счетчик с датчиком импульсов Обозначение указывает число импульсов на кВт·ч или количество Вт·ч на один импульс Пример: 10 имп/(кВт·ч) или 100 Вт·ч/имп.	10 imp/KWh или 100 Wh/imp
10.2	Счетчик с арретиром подвижной части	
10.3	Вспомогательное питающее напряжение для статического счетчика электрической энергии (если оно отделено от измерительного напряжения) Пример: 100 В переменного тока	U_x = 100 V 50 Hz
10.4	Род и значение вспомогательного напряжения реле многотарифного счетчика (должны быть указаны на схеме включения) Пример: 60 В постоянного тока	 60 V–
10.5	Стопор обратного хода (механическое или электронное устройство, препятствующее обратному ходу)	

Рекомендуемые обозначения для маркировки сигнальных отверстий приведены в табл. 2.4.23. Условные обозначения для деталей подвеса подвижного элемента счетчика приведены в табл. 2.4.22.

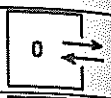
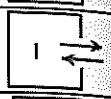
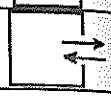
Таблица 2.4.22

Условные обозначения для деталей подвеса подвижного элемента счетчика

Номер обозначения	Вид детали	Обозначение
11.1	Нижний подшипник с двумя опорами из драгоценных *или искусственных* камней	
11.2	Магнит для частичного освобождения подшипника от нагрузки снизу	
11.3	Подвижной элемент с магнитным подвесом или опорой	
11.4	*Магнит для частичного освобождения подшипника от нагрузки сверху*	

Таблица 2.4.23

Условные обозначения для сигнальных отверстий

Номер обозначения	Вид сигнального отверстия	Обозначение
А.1	Оптическое отверстие, двунаправленное	
А.2	Индуктивное отверстие, двунаправленное	
А.3	Гальваническое отверстие, однонаправленное	
А.4	Отверстие в соответствии со специальным стандартом, например, TEMEX, ISDN и др.	

Примечание – Направления связи:
 выход (например, отсчет);
 вход (например, программирование);
 непрерывное соединение;
 соединение только по требованию (например, пароль, коммутатор)

В данном параграфе рассмотрены лишь самые необходимые условные графические обозначения электрических сетей. Для рассмотрения всех обозначений необходимо отдельное справочное пособие.

Далее рассмотрим требования, предъявляемые к рабочим чертежам силового электрооборудования.

2.5. Рабочие чертежи силового электрооборудования

В рабочих чертежах силового электрооборудования для электроприводов технологического, транспортного и т.п. оборудования, поставляемого заводами-изготовителями без управляющих устройств, предусматривают только подвод питания.

Установку НКУ и отдельных аппаратов, поставляемых заводами-изготовителями комплектно с технологическим, транспортным и т.п. оборудованием или предусмотренных в документации на изготовление нестандартизированного оборудования, а также прокладку электрических сетей между ними выполняют в рабочих чертежах установки этого оборудования, а подвод питания – в рабочих чертежах силового электрооборудования.

Рабочие чертежи силового электрооборудования выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 21.613–88 и других стандартов СПДС, а также норм проектирования электромеханических установок.

В практике проектирования к силовому электрооборудованию относят:

– комплектные трансформаторные подстанции 6.10/0,4.0,66 кВ;

– электрические, сети для питания электроприемников напряжением до 1 кВ в пределах проектируемого здания, сооружения;

– управляющие устройства электроприводов до 1 кВ систем вентиляции и кондиционирования воздуха, водоснабжения, канализации и других механизмов общего (например, общецехового) назначения, если электроприводы этих систем и механизмов поставляются без таковых.

В рабочих чертежах силового электрооборудования для электроприводов технологического, транспортного и т.п. оборудования, поставляемого заводами-изготовителями без управляющих устройств, предусматривают только подвод питания.

Установку НКУ и отдельных аппаратов, поставляемых заводами-изготовителями комплектно с технологическим, транспортным и т.п. оборудованием или предусмотренных в документации на изготовление нестандартизированного оборудования, а также прокладку электрических сетей между ними выполняют в рабочих чертежах установки этого оборудования, а подвод питания – в рабочих чертежах силового электрооборудования.

В состав рабочих чертежей силового электрооборудования включают:

– чертежи, предназначенные для производства электромонтажных работ (основной комплект рабочих чертежей марки ЭМ);

– чертежи электромонтажных конструкций (при отсутствии типовых) и габаритные чертежи низковольтных комплектных устройств (НКУ).

– основной комплект рабочих чертежей марки ЭМ допускается в отдельных случаях при небольших объемах документации объединять с другими основными комплектами электротехнических рабочих чертежей. Объединенному основному комплекту рабочих чертежей присваивают одну марку.

В основной комплект рабочих чертежей марки ЭМ включают:

– общие данные по рабочим чертежам;

– схемы электрические принципиальные (далее – принципиальные схемы) комплектных трансформаторных подстанций (КТП), питающей и распределительной сетей;

– принципиальные схемы управления электроприводами;

– схемы (таблицы) подключения;

– планы расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей;

– кабельно-трубный (кабельный) журнал;

– трубозаготовительную ведомость;

– ведомость заполнения труб кабелями и проводами.

Основной комплект рабочих чертежей силового электрооборудования допускается оформлять отдельными документами с присвоением им базовой марки основного комплекта и добавлением через точку порядкового номера документа, обозначенного арабскими цифрами, например, общие данные по рабочим чертежам (ЭМ1.1), принципиальные схемы питающей сети (ЭМ1.2).

Общие данные по рабочим чертежам выполняют с учетом следующих требований:

– ведомость сертификаций не составляют;

– в общих указаниях в дополнение к сведениям, приводят итоговые данные (установленная и расчетная мощности) по расчету электрических нагрузок.

Принципиальные схемы КТП, питающей и распределительных сетей выполняют в соответствии с требованиями ГОСТов, ЕСКД и СПДС. Указанные требования изложены в п. 2.2, 2.3 и в данном параграфе.

Обозначения текстовые на принципиальной схеме КТП выполняют по форме 1, представленной на рис. 2.43.

Для двухтрансформаторных КТП с устройством автоматического включения резерва, кроме данных, предусмотренных формой 1, указывают нагрузку в аварийном режиме при выходе из строя одного из трансформаторов.

Пример выполнения принципиальной схемы КТП приведен на рис. 2.44.

Принципиальную схему питающей сети (от трансформаторной подстанции, питающей магистрали до распределительного устройства или электроприемника) выполняют по форме 2 (рис. 2.45).

Принципиальную схему распределительной сети (от распределительного шинопровода или распределительного пункта до электроприемника) и схему распределения электроэнергии от распределительного щита до электроприемника выполняют по форме 3 (рис. 2.46).

Для сетей, где целесообразно выполнение принципиальных схем с учетом расположения электротехнического оборудования в здании, сооружении; для совмещенных сетей силового электрооборудования и электрического освещения; для лабораторных и других раз-

ветвленных сетей с несколькими напряжениями, частотами и т.д. в обоснованных случаях допускаются отступления от форм 2 и 3 или выполнение принципиальных схем по произвольной форме.

При этом схемы должны содержать все технические данные, предусмотренные формами 2 и 3.

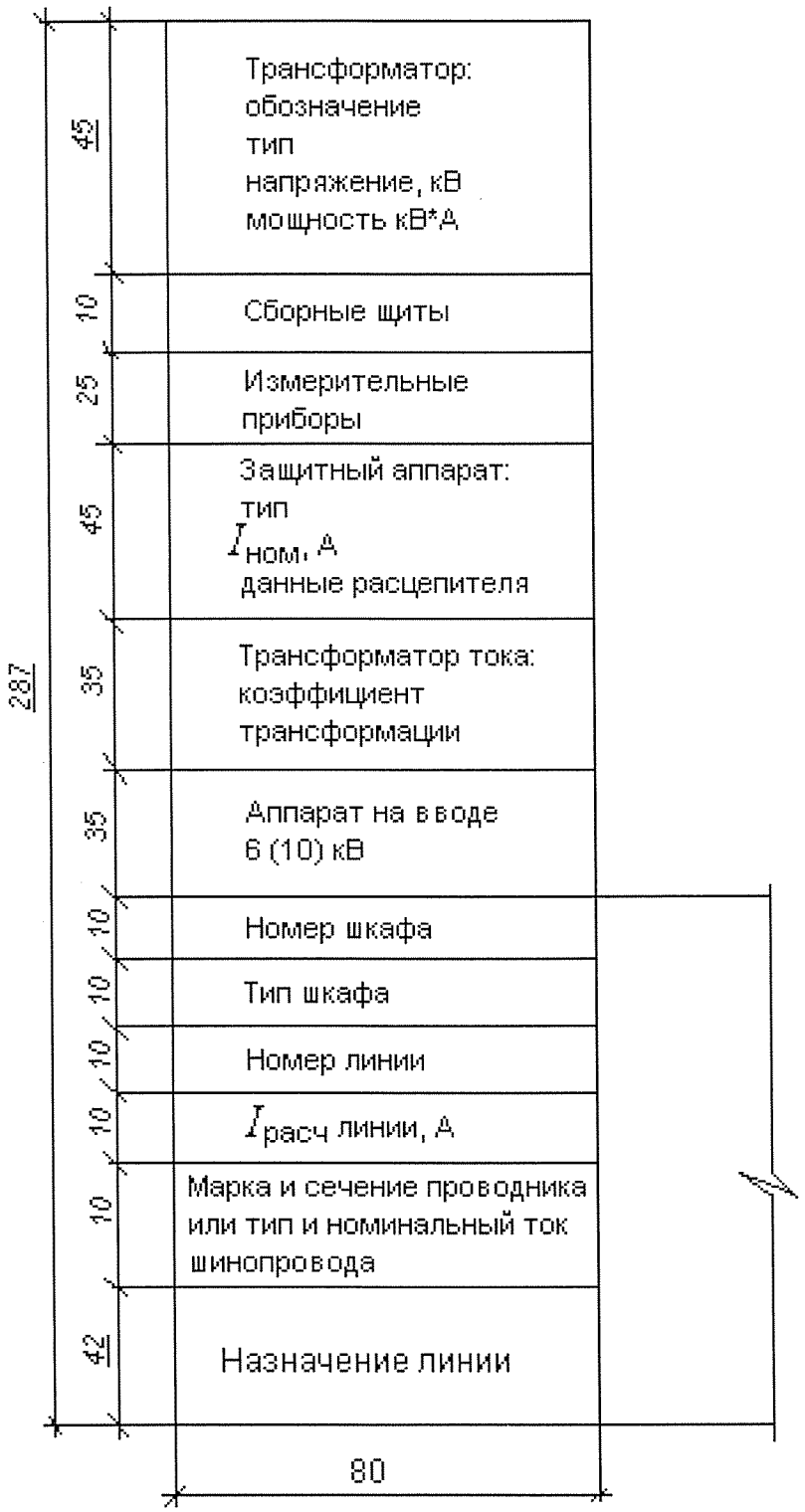


Рис.2.43. Форма 1 принципиальной схемы КТП

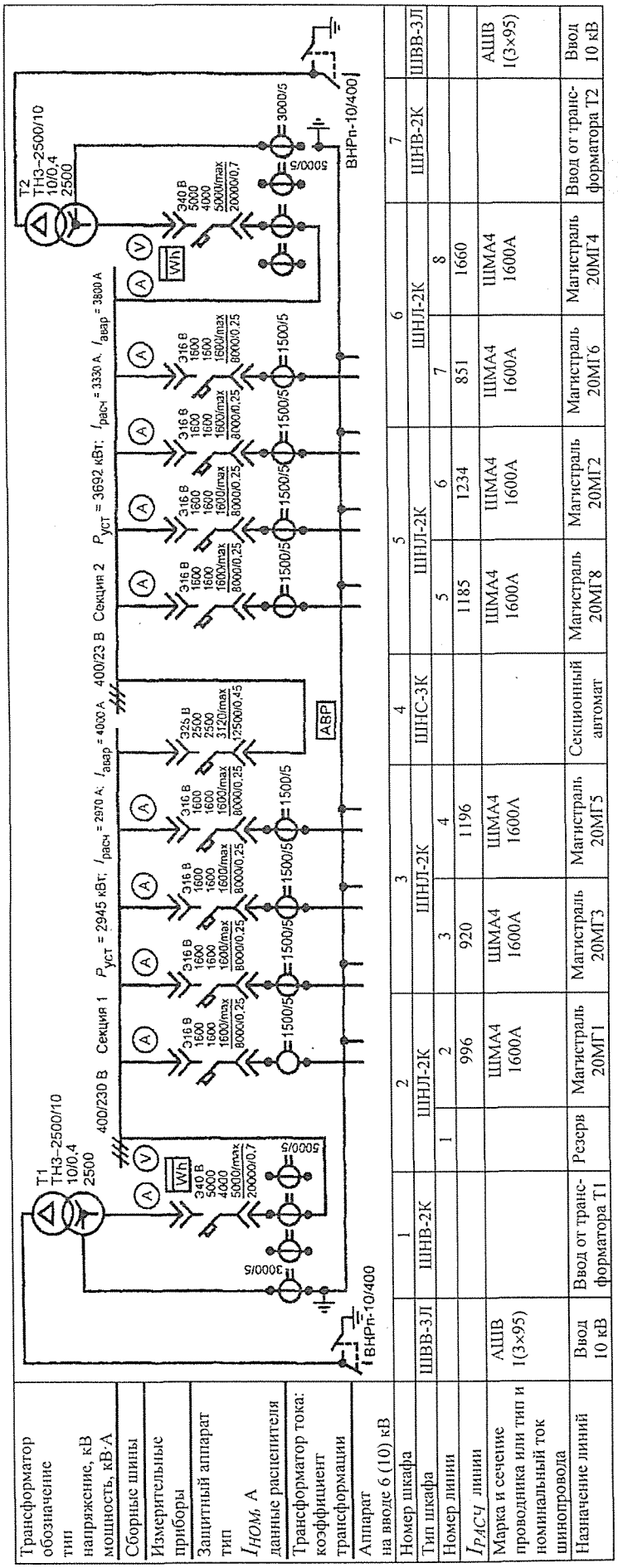


Рис. 2.44. Принципиальная схема двухтрансформаторных КТП с устройством АВР

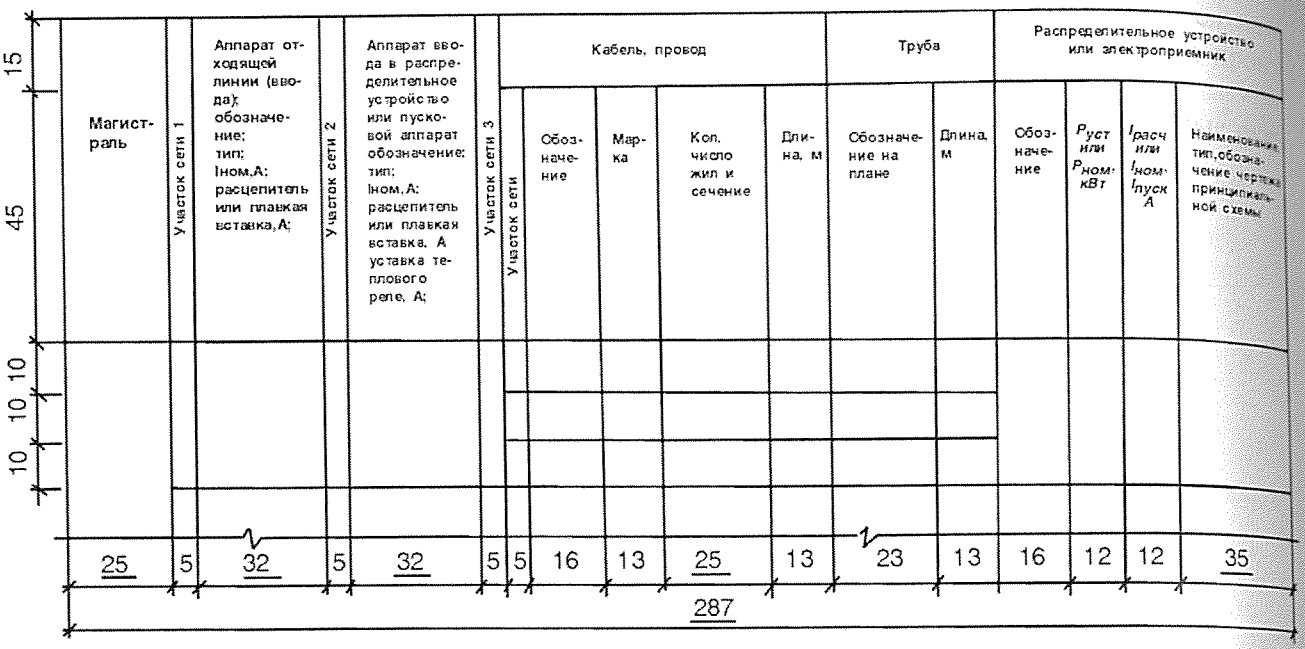


Рис. 2.45. Форма 2 принципиальной схемы питающей сети

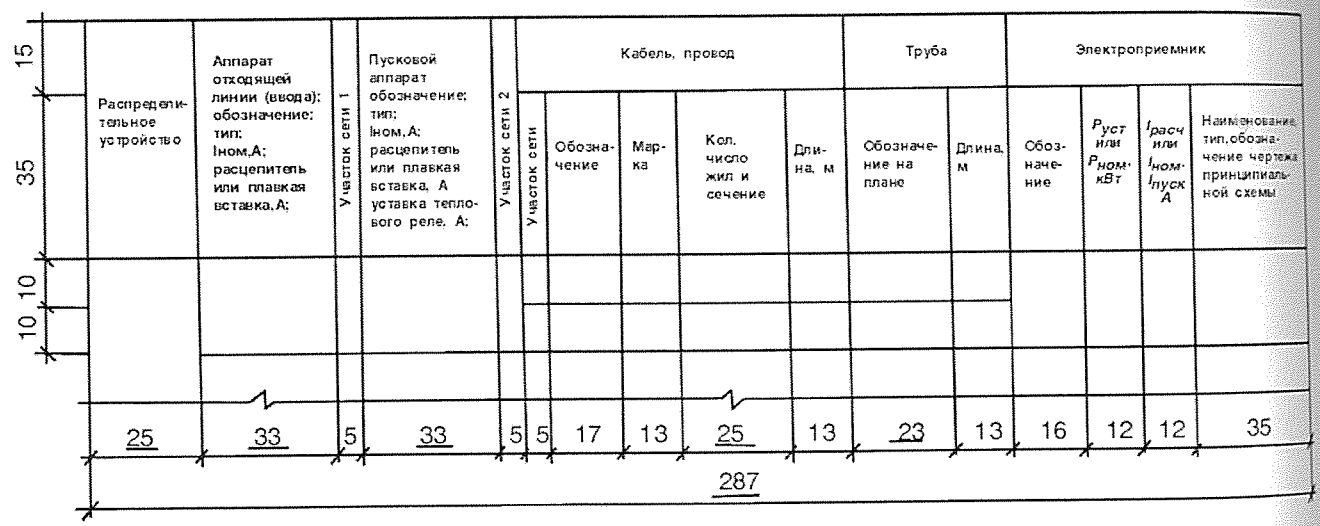


Рис. 2.46. Форма 3 принципиальной схемы распределительной сети

При разработке принципиальных схем по формам 2 и 3 руководствуются следующим:

– принципиальную схему выполняют в однолинейном изображении, при этом нулевой проводник отдельной линией не изображают;

– в трехфазных трех– и четырехпроводных сетях изображение и обозначение фаз указывают только для одно– и двухфазных линий;

– условные графические обозначения электроприемников, пусковых и защитных аппаратов на принципиальной схеме, как правило, не изображают, а указывают над линией их буквенно-цифровые обозначения, типы и технические данные;

– электроприемники, подключаемые непосредственно к питающей магистрали, показывают на принципиальных схемах питающей сети;

– в графе «Магистраль» (форма 2) указывают буквенно-цифровые обозначения магистрали, ее координаты по плану расположения электрического оборудования (при необходимости), тип шинопровода и его номинальный ток (материал и сечение шин – для магистралей нетипового изготовления), напряжение;

– в графе «Распределительное устройство» (форма 3) указывают буквенно-цифровое обозначение распределительного пункта или распределительного шинопровода, его координаты по плану расположения электрооборудования (при необходимости), тип (для НКУ – обозначение габаритного чертежа общего вида), напряжение, $P_{уст}$ и $I_{расч}$ – для пунктов, соединенных "в цепочку";

– в графе «$I_{расч}$ ...», кроме указанных параметров (при необходимости), указывают величину потери напряжения ΔU, %.

На принципиальных схемах не приводят:

– технические данные электрооборудования, марки, сечения и длины кабелей и проводов, обозначения и длины труб, если они поставляются комплектно с технологическим оборудованием или предусмотрены рабочей документацией нестандартизированного оборудования;

– марки, сечения и длины проводов в пределах НКУ;

– марки, сечения и длины кабелей и проводов, обозначения и длины труб для электроприемников, для которых всю необходимую информацию о кабелях, проводах и трубах невозможно привести на принципиальной схеме (например, сети с разветвленными цепями управления). Данные об этих кабелях, проводах и трубах помещают в кабельном или кабельно-трубном журналах.

На чертеже каждой принципиальной схемы приводят в таблице по форме 4 (рис. 2.47) потребность кабелей и проводов, а в таблице по форме 5 (рис. 2.48) – потребность труб. В таблицы потребности включают кабели, провода и трубы, технические данные и длины которых указаны в принципиальной схеме.

Примеры выполнения принципиальных схем питающей и распределительной сетей приведены на рис. 2.35 и 2.36.

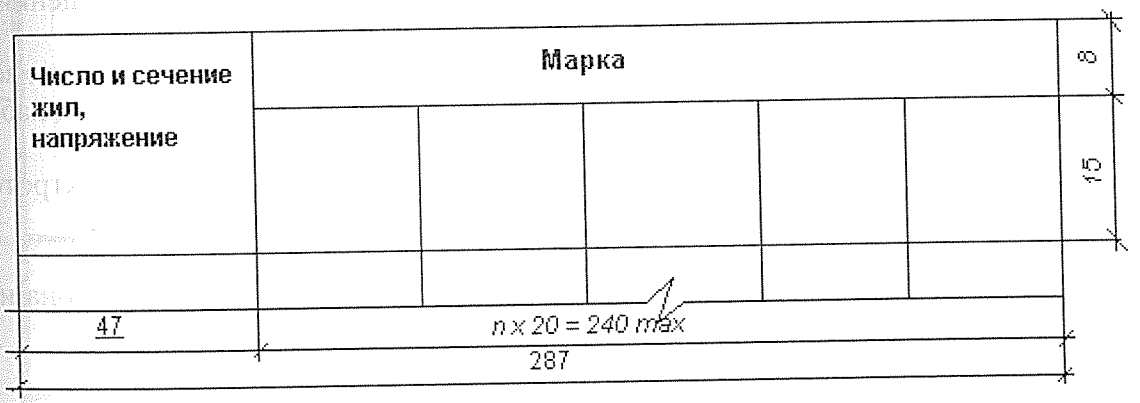


Рис. 2.47. Форма 4 представления данных в потребности кабелей и проводов в метрах

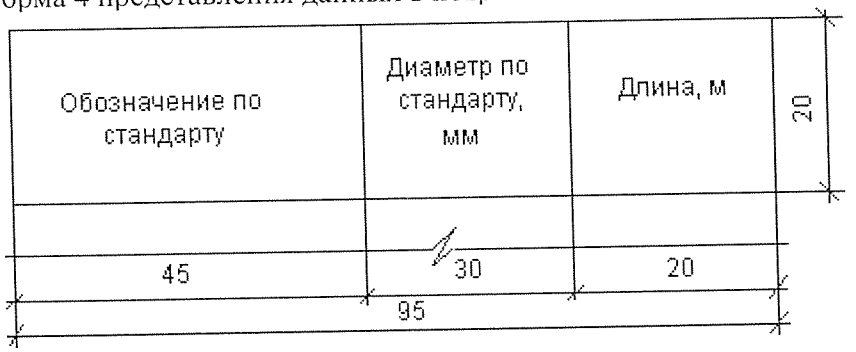


Рис. 2.48. Форма 5 представления данных в потребности труб

Для троллейных линий, имеющих секционирование и подпитку, допускается выполнять принципиальную схему по произвольной форме. Каждый элемент или устройство, изображенные на электрической схеме, должны иметь буквенно-цифровое обозначение, присвоенное им в соответствии с требованиями ГОСТ 2.710–81.(п. 2.3)

Допускается не выполнять принципиальные схемы управления для несложных электроприводов, в которых используют стандартные серийные пусковые устройства без каких-либо изменений внутренней схемы и не имеющие внешних контрольных цепей (например, магнитный пускатель со строенной кнопкой, шкаф управления). Схемы (таблицы) подключения выполняют в соответствии с ГОСТ 2.702–75 для электроприводов, имеющих разветвленные цепи управления и блокировки с другими механизмами и устройствами, сложную пускорегулирующую аппаратуру.

Схемы (таблицы) подключения допускается не выполнять:

– для электроприводов механизмов, схемы управления которыми не разрабатывались;

– для электрооборудования и аппаратов, к которым неправильное подключение проводов исключается (например, асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором).

Планы расположения выполняют на здание или часть здания с учетом технологических узлов и очередей строительства. Масштабы чертежей принимают по ЕСКД с учетом обеспечения четкого графического изображения электрооборудования и электрических сетей.

На планах расположения показывают:

– строительные и технологические конструкции, трубопроводы и другие коммуникации, определяющие трассы прокладки электрических сетей или используемые для их крепления и прокладки в виде контурных очертаний – сплошными тонкими линиями по ЕСКД;

– границы и классы взрыво– и пожароопасных зон, категории и группы взрывоопасных смесей по классификации Правил устройства электроустановок;

– наименования отделений, участков цехов, помещений и т.п., если это определяет характер прокладки электрических сетей;

– наименования или обозначения электромашинных помещений, помещений щитов управления, кабельных тоннелей и других электротехнических сооружений;

– электрооборудование и электрические сети в виде условных графических изображений с указанием буквенно-цифровых обозначений по принципиальным схемам, кабельным или кабельно-трубным журналам.

– электроприемники, трансформаторные подстанции, комплектные электротехнические устройства, аппараты и т.п.;

– шинопроводы (магистральные, распределительные, троллейные);

– троллейные линии и участки электрической сети, выполненные шинами на изоляторах;

Магистраль	Участок сети 1	Аппарат отходящей линии (ввода): обозначение; тип; $I_{ном}$, А; расцепитель или плавкая вставка, А	Участок сети 2	Аппарат ввода в распределительное устройство или пусковой аппарат: обозначение; тип; $I_{ном}$, А; расцепитель или плавкая вставка, А; уставка теплового реле, А	Участок сети 3	Кабель, провод: Участок сети	Обозначение	Марка	Кол., число жил и сечение	Длина, м	Труба: Обозначение на плане	Длина, м	Распределительное устройство или электроприемник: Обозначение	$P_{уст}$ или $P_{ном}$, кВт	$\frac{I_{расч}\text{ или }I_{ном}}{I_{пуск}}$, А	Наименование, тип, обозначение чертежа, принципиальной схемы
МГ1 А9, А15 ШМА 4 1600 А 380/220 В		—		—		1	н269	АВВ	4(1×1500)	100	—	—	—	830	911	Ввод от КТП 1 Лист 4
						—										
						—										
		—		—		1	н270	АПВ	3(1×120)+ +1×70	15 5	П270.80	4	ШР2	40	75	Распределительный пункт ПР24Г–7206-34 ХХХХХХ–ЭМ2 Лист 7
						—										
						—										
				387Ш комплектно с механизмом —		—							387	75	150/1050	Газодувка 741 —
						2	387–н1	АПВ	3(1×120)+ +1×70	30 10	387–П1 80	8				
						3	*									
		QF 1 А3726Ф 250 160		ЯР1 ЯВ3–31–1 100 —		1	н271	АПВ	3(1×50)+ +1×25	6 2	—	—	МГ2	64	91	Распределительный шинопровод ШРА ХХХХХХ–ЭМ2 Лист 8
						2	н272	АПВ	3(1×50)+ +1×25	90 30	—	—				
						3	н273	АПВ	3(1×50)+ +1×25	10 3	—	—				
		на МГ1 А3736Ф 630 250		152Ш комплектно с механизмом —		—							152	144	230	Станок трубогибочный 105 —
						2	152-н1А, 152-н1Б	АВВГ	2(3×70 + + 1×25)	100	—	—				
						3	*									
		на МГ1 А3736Ф 630 250		QF2 А3726Ф 250 250		—							МГ3	270	172	Распределительный шинопровод ШРА ХХХХХХ–ЭМ2 Лист 9
						2	н274	АПВ	1(3×70)+ +1×35	60 20	—	—				
						3	н275	АВВГ	1(3×70)+ +1×25	30	—	—				

Рис. 2.49. Пример исполнения принципиальной схемы питающей сети

*в рабочих чертежах данного комплекта не учитываются

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Принципиальная схема распределительной сети (по ПГ-06-13-84)	Форма	Взамен	Нач. ОТП
				Ф630-87		

Распределительное устройство	Аппарат отходящей линии (ввода): обозначение, тип; $I_{ном}$, А; расцепитель или плавкая вставка, А	Участок сети 1	Пусковой аппарат: обозначение; $I_{ном}$, А; расцепитель или плавкая вставка, А; уставка теплового реле, А	Участок сети 2	Кабель, провод					Труба		Электроприемник			
					Участок сети	Обозначение	Марка	Кол., число жил и сечение	Длина, м	Обозначение на плане	Длина, м	Обозначение	$P_{уст}$ или $P_{ном}$, кВт	$\frac{I_{расч} \text{ или } I_{ном}}{I_{пуск}}$, А	Наименование, тип, обозначение чертежа, принципиальной схемы
МГ2 Б7...Г7 ШРА 4 400 А 380/220 В	—		—		1	н273	АПВ	3(1×50) + + 1×25	***				64	91	Ввод от МГ1 ШМА 4 ххххх–ЭМ 1 Лист 5
	А3716Ф 160 40		45-ЯУ1 Я5110–3474УХЛ4 31,5–25		1	45-н1	АПВ	3(1×4)	10	45-п1.20	3	45	10	—	Вентилятор приточный В45 Лист 10
			46–КМ1 ПМЕ 122 -5		1	46-н1	АПВ	3(1×2,5)	15	—	—	46	2,2	—	Вентилятор вытяжной В46 Лист 11
			—		2	46-н2	АПВ	3(1×2,5)	5	—	—				
					—							46–SB1	—	—	Кнопка ПКЕ 212–2
					2	46-к3	АПВ	3(1×2,5)	5	—	—				
	А3716Ф 160 25		49 Х РШ-П-2-0-1Р-01-10 10		1	49-н1	АПВ	3(1×2,5)	10	—	—	49	—	10	Полотер
			—		2	**									
	А3710Ф 160 25		47-ЯУ1 Я5124–2274УХЛ4 –2674УХЛ4 1 фидер 2-1,6		1	47-н1	АПВ	3(1×2,5)	12	47-П1.20	3	47	0,4	—	Насос
					2	47-н2	АПВ	3(1×2,5)	9	—	—				
			2 фидер 5–4		—							48	1,1	—	Насос
					2	48-н1	АПВ	3(1×2,5)	9	—	—				
	А3736Ф 630 400		—		1	н270	АПВ	3(1×120) + +1×70	***	П270.80	***	—	40	75	Ввод от МГ1 ШМА 4 ххххх–ЭМ 1 Лист 5
ШР2 Г8 ПР24Г-7206-54 380/220 В					—										
	2 А3716Ф 160 80		43-КМ1 ПАЕ 432 — — 60		1	43-н1	АВВГ	1(3×25 + +1×16)	25	—	—				
					2	43-н2	АВВГ	1(3×25 + +1×16)	2	—	—				
			43-ЯШ1 ЯВ3Ш-31 а 100		—						а	43	31 кВА	ΔU=3%	Преобразователь сварочный 189
					2	43-н3	КРПТ	1(3×16 + +1×10)	7	—	—				
	5 АЕ2046 63 16		44-КМ1 ПМЕ 122 — — 5		1	44-н1	АПВ	3(1×2,5)	15	—	—	44	2,2	—	Вентилятор вытяжной В44 Лист 12
					2	44-н2	АПВ	3(1×2,5)	5	—	—				
		АО	51-QF1 АП50Б-2МТ 63 2,5 — —		1	51-н1	АВВГ	1(2×2,5)	10	—	—	51	0,065	—	Заслонка ПЕ-51
					2	51-н2	АВВГ	1(2×2,5)	5	—	—				
	А3716Ф 160 40		15ЯУ Я5410-2874УХЛ4 8 – 6		1	15-н1	АПВ	1(19×2,5)	8	—	—				
					2	15-н2	АКВВГ	4(1×2,5)	11	—	—				
			15ЯК б		—						б	15	2,0	—	Двигатель задвижки ХХХХХХ–ЭМ 1 Лист 18
					2	15-н3	АПВ	3(1×2,5)	6	—	—				
					—							15-ВК	—	—	Коробка конечных выключателей задвижки
					2	15-к4	АПВ	10(1×2,5)	20	—	—				
					—							15-SB1	—	—	Кнопка местного управления задвижки
					2	15-к5	АПВ	7(1×2,5)	14	—	—				

Рис. 2.50. Пример использования принципиальной схемы распределительной сети

* Данные о кабелях и трубах, смотри кабельный журнал
** поставляется комплектно с механизмом
*** Длины учтены в принципиальной схеме питающей сети.

Электрооборудование и электрические сети на планах расположения приводят в следующем составе:

– трассы открытой прокладки кабелей и проводов на конструкциях, в коробках, на лотках, в трубах, каналах, тоннелях;

– кабельные конструкции, если чертежи их установки не совмещены с планами прокладки проводов и кабелей;

– трубы скрытой прокладки проводов и кабелей в полах, в земле и фундаментах;

– магистрали заземления и зануления.

Планы расположения электрооборудования, как правило, совмещают с планами прокладки электрических сетей и устройства заземления (зануления).

При необходимости приводят разрезы, нетиповые узлы установки электрооборудования и прокладки электрических сетей, схемы расположения шинопроводов, а также схемы транспортировки крупногабаритного электрооборудования. Для трубных прокладок, выполняемых блоками и пакетами труб, разрабатывают чертежи на блоки и пакеты.

Электрооборудование (за исключением электроприемников, комплектных устройств, аппаратов и приборов, установленных непосредственно на технологическом оборудовании) и трассы электрических сетей, проложенных как скрыто в трубах в полу, так и открыто, должны иметь привязки и отметки на плане.

Привязку электротехнического оборудования электрических сетей производят, как правило, к координационным осям зданий, сооружений или к осям технологического оборудования при условии, что это оборудование по своему характеру имеет фундаменты или монтируется до прокладки труб электропроводки.

При скрытой прокладке электрических сетей (в полах, в земле, в фундаментах) привязывают концы труб и указывают отметки заложения и выхода. В фундаментах сложного оборудования дают дополнительные привязки концов труб к ближайшим фундаментным болтам.

При открытой прокладке электрических сетей по технологическим установкам, сооружениям и строительным конструкциям (галереи, фермы, колонны) привязку электрических сетей допускается производить к указанным установкам, сооружениям и конструкциям.

Допускается не указывать привязку одиночных устройств (например, пускателей, кнопок, штепсельных розеток) и открыто проложенных кабелей, если места их установки или прокладки ясны без привязок.

Примеры оформления планов расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей приведены на рис. 2.51 и 2.52.

Спецификацию электрооборудования, конструкций и деталей к плану расположения электрооборудования и прокладки электрических сетей выполняют по форме 1 (п. 2.1).

На два или несколько аналогичных участков сети, состоящих из повторяющихся элементов (например, шинопроводы магистральные, распределительные, троллейные), выполняют групповую спецификацию по форме 2 (п.2.1), при этом в графе «Кол.» указывают количество на один участок сети (например, шинопровод).

Спецификацию к плану расположения не выполняют, если позиции на плане соответствуют позициям спецификации оборудования.

Кабельно-трубный журнал выполняют по форме 6 (рис. 2.53).

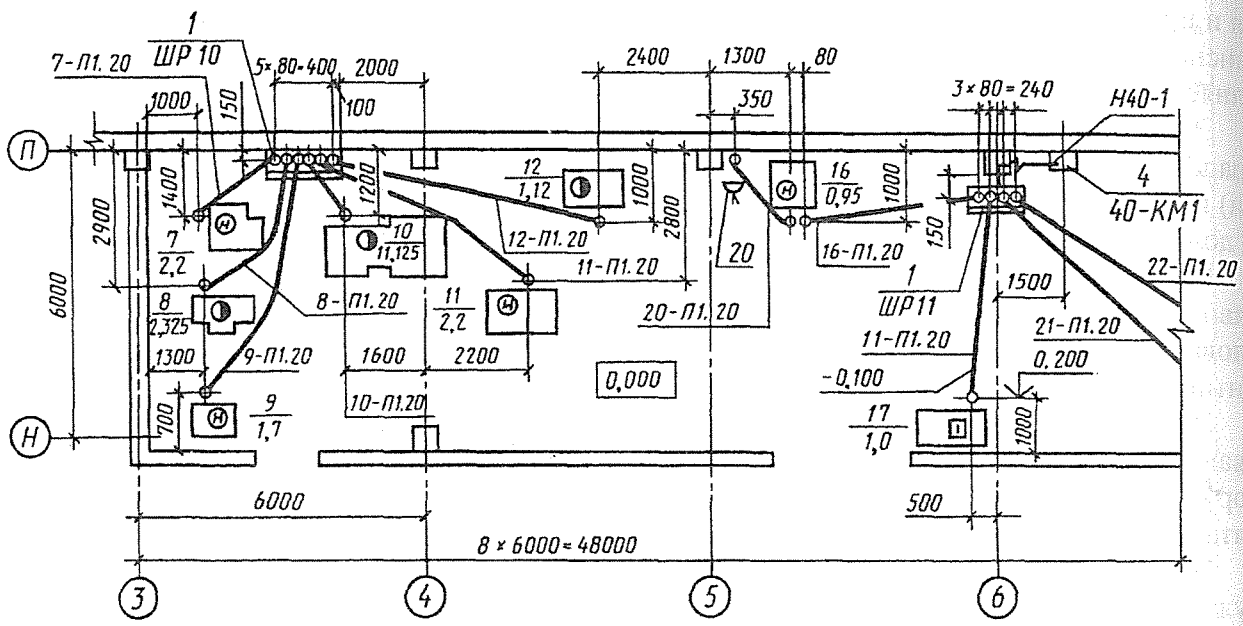
В кабельно-трубный журнал включают кабели, провода и трубы для тех электроприемников, для которых невозможно привести всю необходимую информацию о кабелях, проводах и трубах на принципиальных схемах питающей и распределительной сетей.

При открытых прокладках сетей (без труб) графы кабельно-трубного журнала, относящиеся к трубам, не заполняют или составляют кабельный журнал по форме 6 ГОСТ 21.608–84 (рис. 2.40).

При выполнении чертежей прокладки кабелей методом трасс выполняют кабельный журнал по форме 7. В графе «Участок трассы кабеля» указывают обозначения участков трассы по плану прокладки электрических сетей.

В кабельном журнале приводят таблицу потребности кабелей и проводов по форме 4, а в кабельно-трубном журнале, кроме того, приводят таблицу потребности труб по форме 5.

Трубозаготовительная ведомость предназначается для заготовки элементов труб в мастерских электромонтажных заготовок (МЭЗ), заменяет кабельно-трубный журнал в части, относящейся к трубам, и является дополнением к кабельному журналу для прокладки кабелей и проводов в металлических трубах.



Трубы проложить на отм. – 0.100 и концы их вывести на 200 мм над уровнем чистого пола

Рис. 2.51. Пример использования класса электрооборудования

Трубозаготовительную ведомость выполняют по форме 8 (рис. 2.55) в следующих случаях:

– для электрических сетей, где преобладает прокладка кабелей и проводов в металлических трубах и где объем трубных прокладок определяет целесообразность заготовки элементов труб в МЭЗ;

– для электрических сетей, прокладываемых в трубах в фундаментах сложного оборудования.

При заполнении трубозаготовительной ведомости в графе «Участок трассы трубы» указывают:

– длины участков труб между вершинами углов в метрах;
– величины углов в градусах и радиусы изгиба в миллиметрах;
– обозначения протяжных ящиков и трубных блоков;
– ссылку на чертеж, в котором дано продолжение трубы.

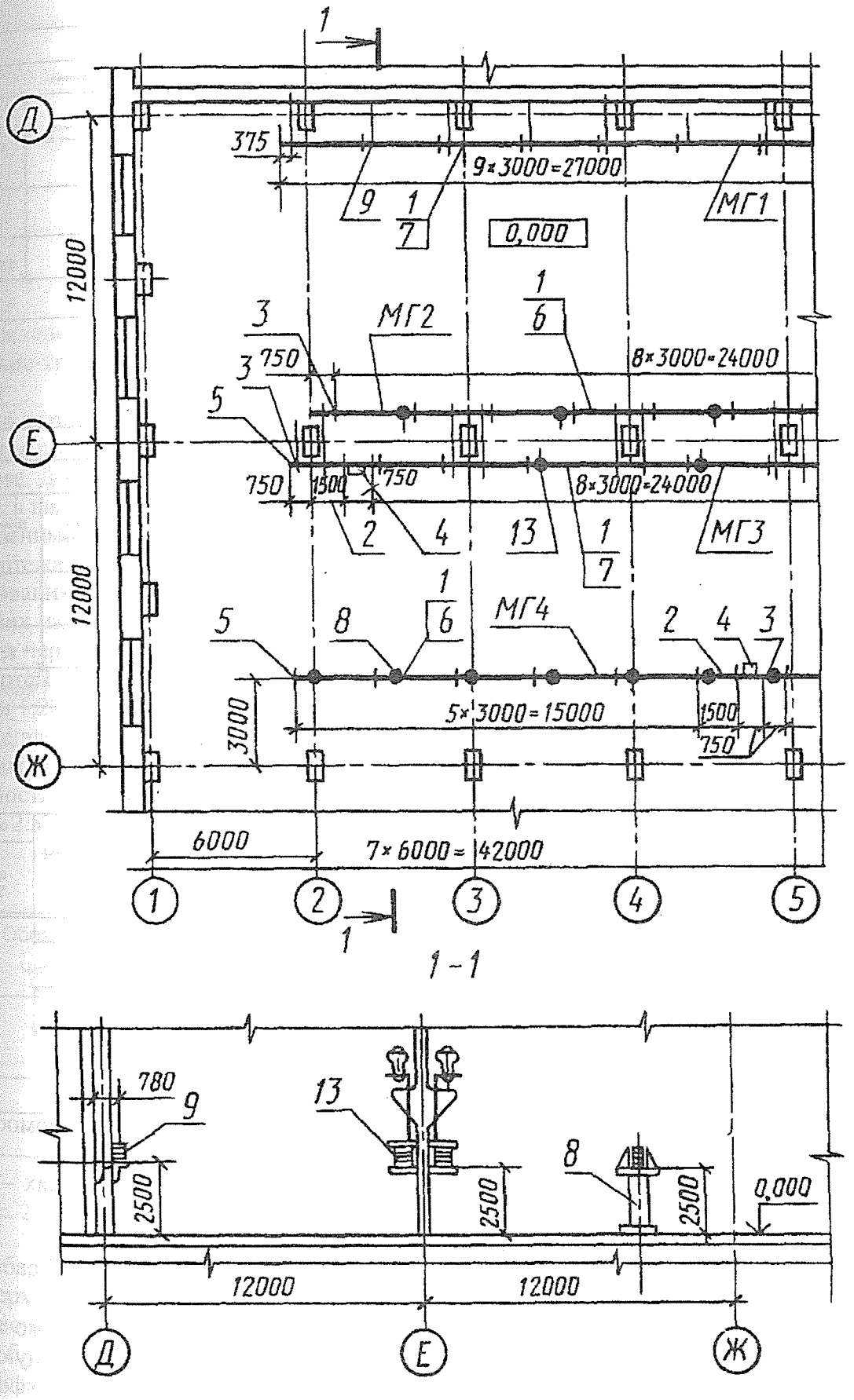


Рис. 2.52. Пример оформления класса прокладки электрических сетей

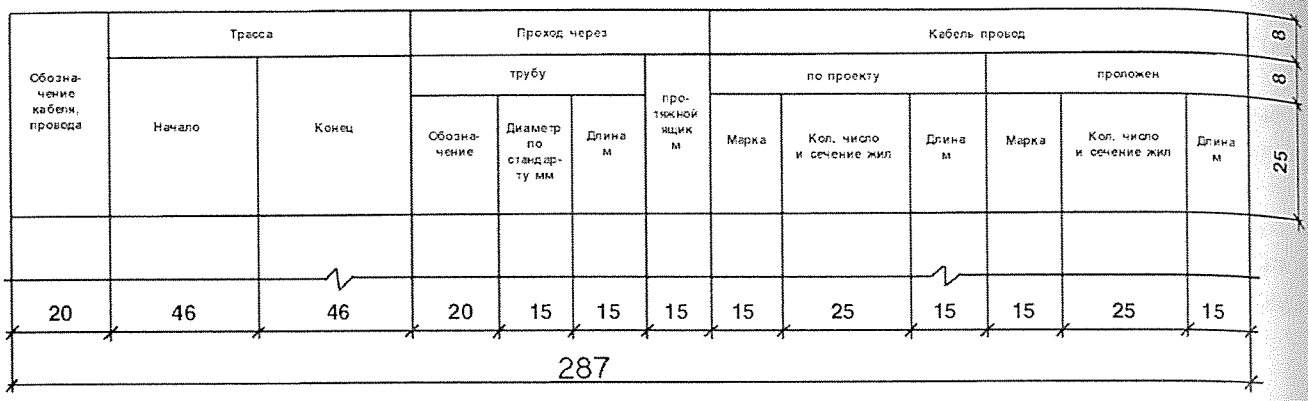


Рис. 2.53. Форма 6 кабельного журнала

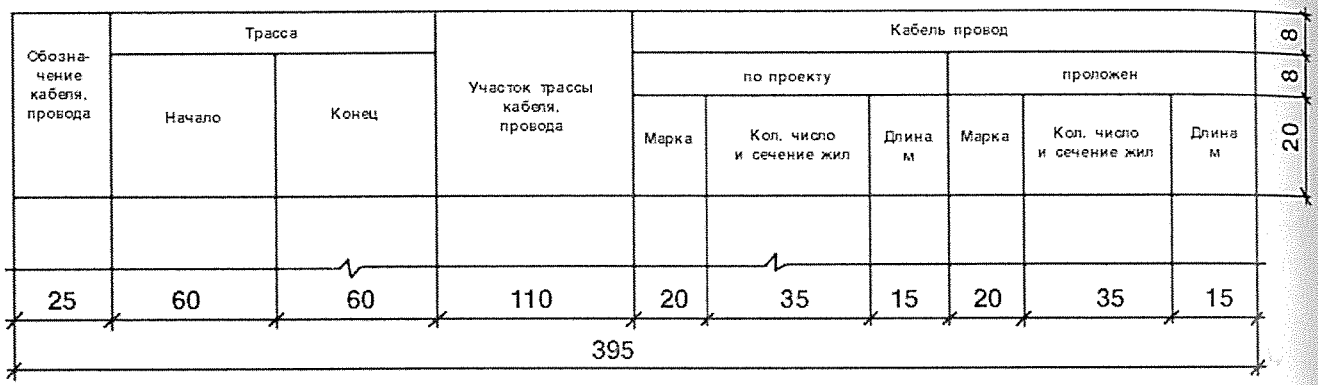


Рис. 2.54. Форма кабельного журнала для прокладки методом трасс



Рис. 2.55. Форма 8 трубозаготовительной ведомости

При наличии нормализованных элементов труб трубозаготовительную ведомость выполняют по той же форме, но в графе «Участок трассы трубы» указывают:

– длины нормализованных прямых отрезков труб, а в необходимых случаях – длину добавочного отрезка в метрах;

– типы соединительных углов с указанием угла изгиба в градусах;

– обозначения протяжных ящиков и трубных блоков;

– ссылку на чертеж, в котором дано продолжение трубы.

При составлении трубозаготовительной ведомости графы кабельно-трубного журнала, относящиеся к трубам, не заполняют, а дают ссылку на трубозаготовительную ведомость. В трубозаготовительной ведомости приводят таблицу потребности труб по форме 5.

Ведомость заполнения труб кабелями и проводами выполняют по форме 9 (рис. 2.56) в случаях, когда составляются отдельно кабельный журнал и трубозаготовительная ведомость.

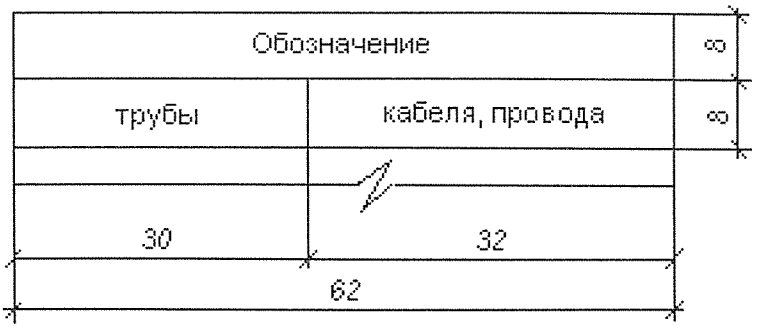


Рис. 2.56. Форма 9 ведомости заполнения труб кабелями, проводами

При заполнении граф «Длина проводов, кабелей и труб» на принципиальных схемах и в кабельно-трубных журналах указывают длину с учетом надбавки на изгибы, повороты и отходы.

При выполнении рабочих чертежей силового электрооборудования на ЭВМ формы выходных документов должны быть максимально приближены к формам, приведенным в стандарте. Допускается принципиальные схемы питающей и распределительной сетей выполнять в виде таблиц, при этом таблицы должны содержать все технические данные, предусмотренные формами 2 и 3.

Чертежи электромонтажных конструкций, предназначенных для установки электрооборудования и прокладки электрических сетей, выполняют в случаях отсутствия соответствующих изделий заводского изготовления, типовых чертежей электромонтажных конструкций и чертежей электромонтажных конструкций повторного применения.

Чертеж электромонтажной конструкции выполняют, как правило, в масштабе 1:5, 1:10 или 1:20 и помещают спецификацию по формам, представленным в п. 2.1.

Все электромонтажные конструкции, подлежащие изготовлению в МЭЗ по типовым чертежам, чертежам повторного применения и вновь разработанным чертежам, включают в ведомость электромонтажных конструкций, подлежащих изготовлению в МЭЗ по форме 10 (рис. 2.57).

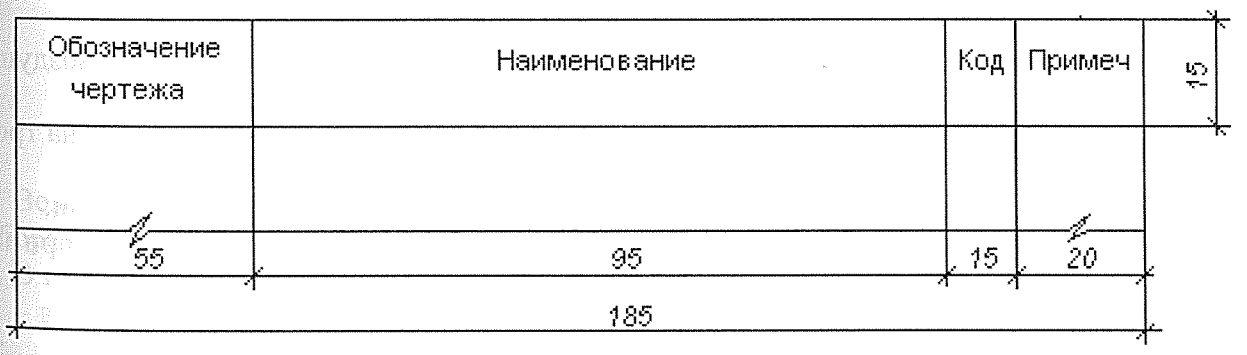


Рис. 2.57. Ведомость электромонтажных конструкций, подлежащих изготовлению в МЭЗ

Габаритный чертеж НКУ должен содержать изображение конструкции – вид спереди, вид сверху (если требуется), количество и порядок расположения панелей, габаритные и установочные размеры, текстовые указания и надписи, необходимые для общего представления об устройстве.

Рассмотрим далее специфику разработки чертежей освещения территорий промышленных предприятий.

2.6. Рабочие чертежи электрического освещения территорий промышленных предприятий

Рабочие чертежи электрического освещения территории промышленных предприятий (далее рабочие чертежи освещения территории) выполняют в соответствии с ГОСТ 21.607–82 и стандартов системы проектной документации для строительства.

В состав рабочих чертежей освещения территории включают:

– рабочие чертежи, предназначенные для производства электромонтажных работ (основной комплект рабочих чертежей марки ЭН);

– эскизные чертежи общих видов нетиповых конструкций, предназначенных для установки осветительных приборов и электрооборудования.

Основной комплект рабочих чертежей марки ЭН включает:

– общие данные по рабочим чертежам;

– план освещения территории;

– ведомость опор и прожекторных мачт с установленными на них осветительными приборами и электрооборудованием;

– схемы питания и управления освещением территории;

– чертежи нетиповых узлов установки осветительных приборов и электрооборудования.

Рабочие чертежи освещения территории допускается оформлять отдельными документами с присвоением им базовой марки основного комплекта и добавлением через точку порядкового номера документа, обозначаемого арабскими цифрами, например, общие данные по рабочим чертежам (ЭН1.1), план освещения территории (ЭН1.2).

Общие данные по рабочим чертежам составляют с учетом следующих дополнительных требований:

– ведомость спецификаций не составляют;

– при оформлении рабочих чертежей освещения территории отдельными документами в состав общих данных включают ведомость рабочих чертежей и ссылку на общие данные по рабочим чертежам освещения территории.

Для разработки плана освещения территории в качестве подосновы используют рабочие чертежи генерального плана. Фрагменты плана освещения территории выполняют в масштабе 1:200 и 1:500. На плане освещения территории указывают:

– опоры с установленными на них светильниками и опоры для прокладки воздушных линий;

– светильники, установленные на зданиях или сооружениях и подвешенные на тросах;

– мачты и вышки с прожекторами;

– электротехнические устройства, от которых питается освещение территории;

– сети освещения территории и сети управления освещением территории (при наличии дистанционного управления);

– заземляющие и другие необходимые устройства;

– трубные переходы под дорогами для прокладки кабелей;

– позиции опор, прожекторных мачт (вышек);

– буквенно-цифровые обозначения источников питания и управления;

– фазы сети, к которым подключают светильники и прожекторы;

– привязочные размеры для опор, прожекторных мачт (вышек);

– расстояния между осями опор (в метрах).

Привязочные размеры для опор, прожекторных мачт (вышек) указывают от строительной координатной сетки, от осей дорог, наружной поверхности стен здания и сооружения или от других ориентиров на территории.

Если опоры на прямолинейных участках сети расположены последовательно на одинаковых расстояниях друг от друга, то расстояния между ними указывают только по концам участков.

Пример оформления плана освещения территории приведен на рис. 2.58.

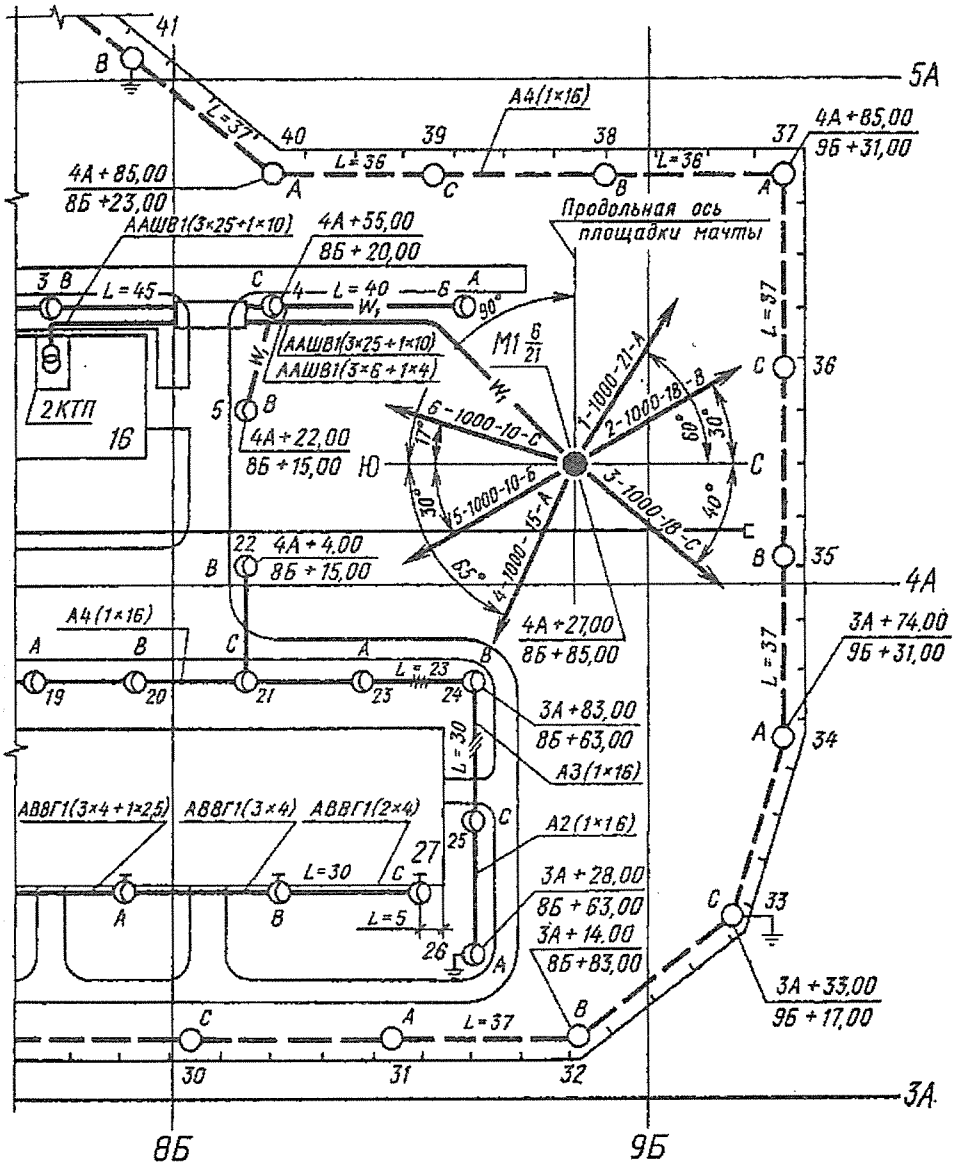


Рис. 2.58. План освещения территории предприятия

Ведомость опор и прожекторных мачт с установленными на них осветительными приборами выполняют по форме 1 (рис. 2.59).

В графах формы указывают:

– в графе «Поз.»" – позиции опор и прожекторных мачт по плану освещения территории;

– в графе «Обозначение» – обозначение документов на опоры и прожекторные мачты;

– в графе «Наименование» – наименование опор, прожекторных мачт и их тип, а также типов осветительных приборов и электрооборудования;

– в графе «Кол.» – количество элементов по плану освещения территории;

– в графе «Примечание» – дополнительные сведения, относящиеся к записанным в ведомость элементам.

Пример заполнения ведомости приведен в табл. 2.6.1.

В состав схем питания и управления освещением территории включают:

– принципиальные схемы питания освещения территории;

– принципиальные схемы дистанционного управления освещением территории;

– схемы подключения комплектных распределительных устройств до 1000 В (при наличии дистанционного управления).

Принципиальные схемы питания освещения территории выполняют в соответствии учетом требований ГОСТ 2.702–75 и ГОСТ 21.607–82.

На схемах указывают:

– аппараты защиты и управления, относящиеся к освещению территории, установленные на источниках питания и комплектных распределительных устройствах напряжением до 1000 В;

– линии сети питания освещения территории;

– буквенно-цифровые обозначения (при необходимости) источников питания, комплектных распределительных устройств напряжением до 1000 В, линий сети освещения территории;

– типы комплектных распределительных устройств;

– номинальный ток аппаратов защиты и управления;

– расчетные данные, сечения проводников и назначение линий сети освещения территории.

Принципиальную схему питания освещения территории выполняют по форме, представленной в левой части рис. 2.59.

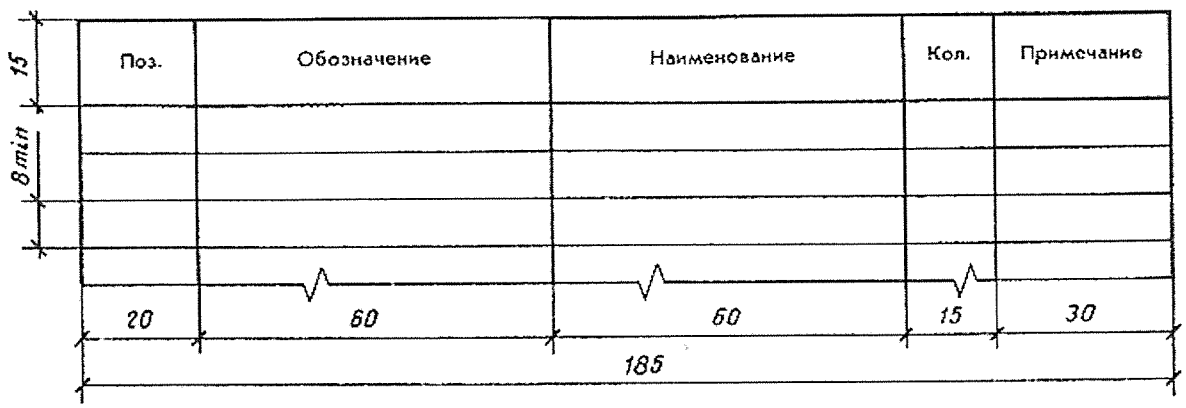
Пример оформления схемы приведен на рис. 2.59.

Принципиальные схемы дистанционного управления освещением территории и схемы подключения комплектных распределительных устройств до 1000 В выполняют с учетом требований ГОСТ 2.702–75.

В состав чертежей нетиповых узлов установки осветительных приборов и электрооборудования включают виды и разрезы, необходимые для осуществления монтажа.

Таблица 2.6.1

Форма ведомости опор и прожекторных мачт с установленными на них осветительными приборами



Принципиальные схемы дистанционного управления освещением территории и схемы подключения комплектных распределительных устройств до 1000 В выполняют с учетом требований ГОСТ 2.702–75.

В состав чертежей нетиповых узлов установки осветительных приборов и электрооборудования включают виды и разрезы, необходимые для осуществления монтажа.

На видах и разрезах наносят позиции элементов узлов и установочные размеры.

Эскизные чертежи общих видов нетиповых конструкций, предназначенных для установки осветительных приборов и электрооборудования, выполняют в объеме, необходимом для разработки конструкторской документации согласно требований ЕСКД.

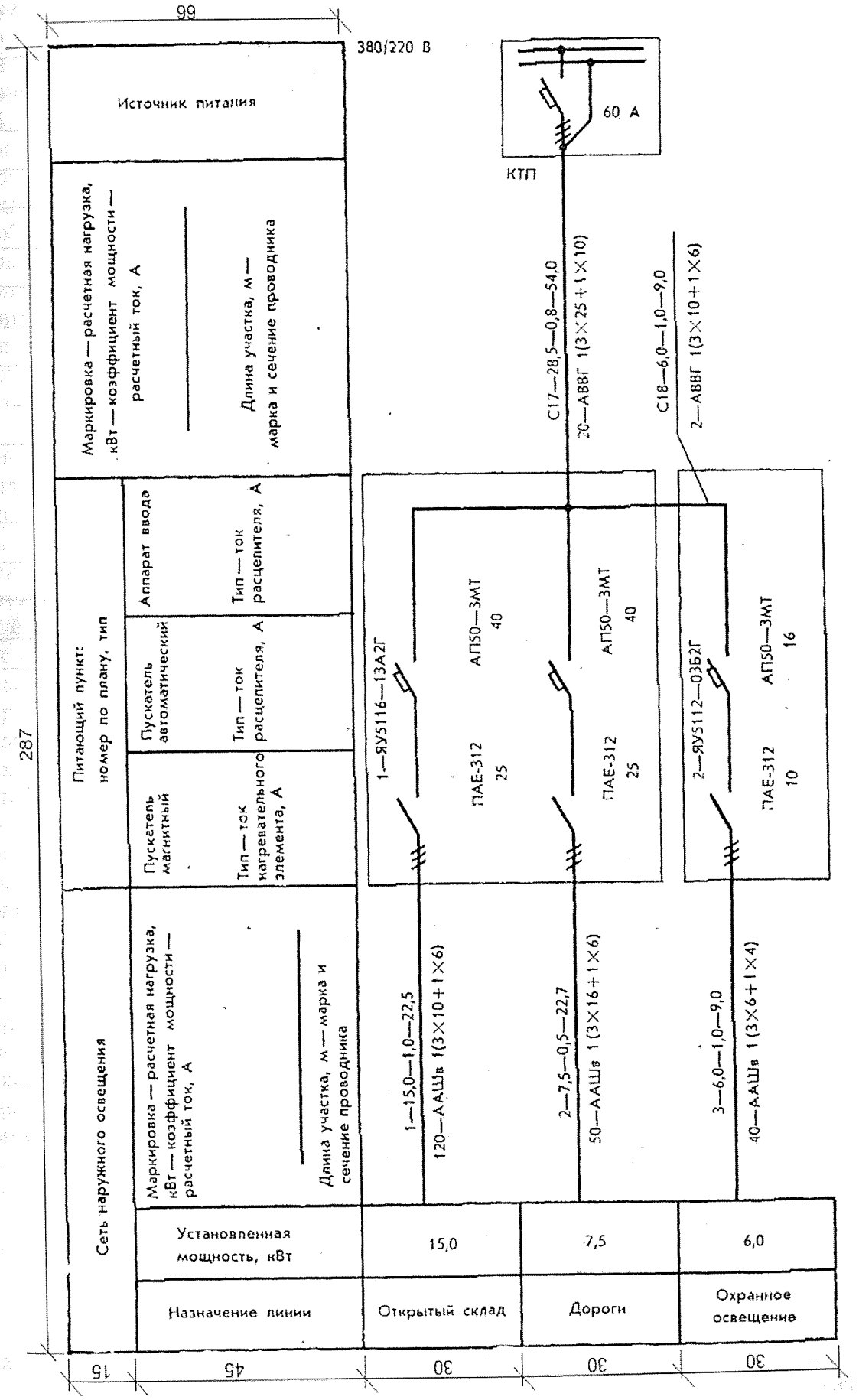


Рис. 2.59. Пример оформления схемы освещения территории

Таблица 2.6.2

Пример заполнения ведомости опор и прожекторных мачт с установленными на них осветительными приборами

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1—24	3.320—1, выпуск I	Стойка СЦс—08—10	7	
		с кронштейном двух-		
		светильниковым парным		
		и двумя светильниками		
		РКУ 01×250		
M1	3.501.2—123, выпуск I,	Мачта прожекторная	1	
	альбомы 1 и 2	высотой 21 м для III ветрового		
		района, с площадкой П-1,		
		с 6-ю прожекторами ПЗС-45А		
		и одним ящиком ЯАЕ 2—24		

Рассмотрим требования к разработке рабочих чертежей электрического освещения.

2.7. Рабочие чертежи внутреннего электрического освещения

В состав рабочих чертежей внутреннего электрического освещения помещений зданий и сооружений включают:

– чертежи, предназначенные для производства электромонтажных работ (основной комплект рабочих чертежей марки ЭО);

– чертежи конструкций и деталей, предназначенных для установки электрического оборудования (при отсутствии типовых).

Основной комплект рабочих чертежей марки ЭО допускается объединять с основным комплектом рабочих чертежей силового электрического оборудования или с другими основными комплектами электротехнических рабочих чертежей. Объединенному основному комплекту рабочих чертежей присваивается одна марка.

В состав основного комплекта рабочих чертежей марки ЭО включают:

– общие данные по рабочим чертежам;

– планы расположения электрического оборудования и прокладки электрических сетей (далее именуемые планами расположения);

– принципиальные схемы питающей сети;

– принципиальные схемы дистанционного управления освещением;

– схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В;

– кабельный журнал для питающей сети (при необходимости);

– чертежи установки электрического оборудования (при отсутствии типовых).

Рабочие чертежи внутреннего электрического освещения допускается оформлять отдельными документами с присвоением им базовой марки основного комплекта и добавлением через точку порядкового номера документа, обозначаемого арабскими цифрами, например, общие данные по рабочим чертежам (ЭО1.1), принципиальная схема питающей сети (ЭО1.2).

Общие данные по рабочим чертежам выполняют с учетом следующих дополнительных требований:

– ведомость спецификаций не составляют;

– в общих указаниях в дополнение к сведениям указывают итоговые данные: полезную площадь освещаемых помещений, установленную мощность освещения, количество светильников. Для жилых домов итоговые данные не приводят.

Планы расположения выполняют по ГОСТ 2.702–75 (без перечня элементов) с учетом требований настоящего стандарта.

В качестве подосновы для планов расположения, как правило, следует принимать планы помещений, выполненные в основных комплектах рабочих чертежей других марок. Масштаб этих планов должен обеспечивать четкое графическое изображение электрических сетей и электрического оборудования.

На планах расположения наносят и указывают:

– строительные конструкции и технологическое оборудование в виде упрощенных контурных очертаний сплошными тонкими линиями;

– наименования помещений (при необходимости), кроме помещений жилых домов. Допускается наименования помещений приводить в экспликации помещений по форме, представленной в табл. 2.7.1., в соответствии с нумерацией и наименованием, указанным в основных комплектах рабочих чертежей марок АР и АС;

– классы взрывоопасных и пожароопасных зон, категорию и группу

– взрывоопасных смесей для взрывоопасных зон по Правилам устройства электроустановок (табл. 2.7.2);

– нормируемую освещенность от общего освещения (за исключением жилых помещений) (табл. 2.7.2);

– светильники (в жилых домах – места их установки) их количество (при необходимости) типы (табл. 2.7.2);

– количество и мощность ламп в светильниках (табл. 2.7.2);

– высоту установки светильников (кроме потолочных) (табл. 2.7.2);

– привязочные размеры для светильников или рядов светильников к элементам строительных конструкций или координационным осям здания (сооружения). Привязочные размеры допускается не проставлять, если места установки светильников ясны без указания привязочных размеров или если привязочные размеры приведены на чертежах интерьеров. В этом случае должна быть дана ссылка на соответствующие чертежи;

– комплектные распределительные устройства на напряжение до 1000 В, относящиеся к питающей сети (распределительные щиты, щиты станций управления, распределительные пункты, ящики и шкафы управления, вводно-распределительные устройства) и их обозначения;

– групповые щитки и их обозначения;

– понижающие трансформаторы;

– выключатели, штепсельные розетки (в жилых домах – включая розетки для электроплит и других бытовых электроприемников);

– линии питающей, групповой сети и сети управления освещением (в жилых домах – включая линии для электроплит и других бытовых электроприемников), их обозначения, сечение и, при необходимости, марку и способ прокладки (табл. 2.7.2);

– другое электрическое оборудование, относящееся к внутреннему освещению.

Таблица 2.7.1

Экспликация помещений

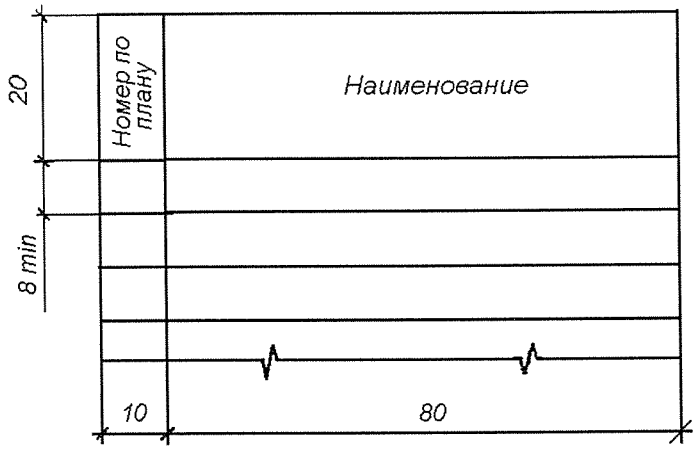


Таблица 2.7.2

Порядок записи условных обозначений на планах расположения электрического оборудования внутреннего освещения

Наименование	Обозначение
1. Нормируемая освещенность от общего освещения	300 л к*
2. Обозначение классов взрыво– и пожароопасных зон по Правилам устройства электроустановок (ПУЭ):	
а) класс взрывоопасной зоны категория и группа взрывоопасной смеси	$\frac{B-Ia}{II\,AT1}$*
б) класс взрывоопасной зоны	$B-Iб$*
в) класс пожароопасной зоны	$П-I$*
3. Сведения о светильниках:	
а) количество – тип $\frac{кол-во\ ламп \times мощность, Вт}{высота\ установки, м}$	$30-ЛПО02\frac{2\times40}{3,5}$*
б) количество – тип светильников в линии	8 10 - ЛПО 02 2х40
Примечание. Допускается не указывать: количество светильников при небольшом их числе в помещении; количество ламп для одноламповых светильников; высоту установки для потолочных светильников	
4. Соответствие выключателей с управляемыми ими светильниками	O_I O_{II}
5. Номер и цифры у светильников и штепсельных розеток, указывающие номера групп, к которым присоединяются светильники, линии светильников или штепсельные розетки	N2 N4,5 N1
6. Количество проводов в линии (например, три). Примечание. На двухпроводных линиях черточки не показываются	
7. Разделительное уплотнение на трубах во взрывоопасных зонах	
8. Трос и концевое крепление троса	
9. Обозначение способов прокладки, марок проводников и сечений групповой сети в помещении:	
а – марка проводников; б – сечение, мм^2; в – способ прокладки.	а – б – в
10. Надписи на линиях питающей сети:	
а – номер линии; б – марка, количество и сечение проводников; в – способ прокладки.	а – б – в
11. Надписи на линиях групповой сети:	
а – номера групп; б – марка, количество и сечение проводников; в – способ прокладки.	а – б – в
Примечание к п.п. 9–11. На отдельных участках линий допускается указывать не все, а только необходимые данные.	

При большом числе линий питающей сети, групповой сети и сети управления освещением указанные сети и относящееся к ним электрическое оборудование допускается изображать на отдельных листах и в разных масштабах.

Электрическое оборудование и проводки на планах расположения указывают условными графическими изображениями, представленным в п. 2.8, и дополнительными условными графическими изображениями, приведенными в табл. 2.7.3., табл. 2.7.4.

Пример оформления плана расположения для производственного здания приведен на рис. 2.60., для общественного здания – на рис. 2.61.

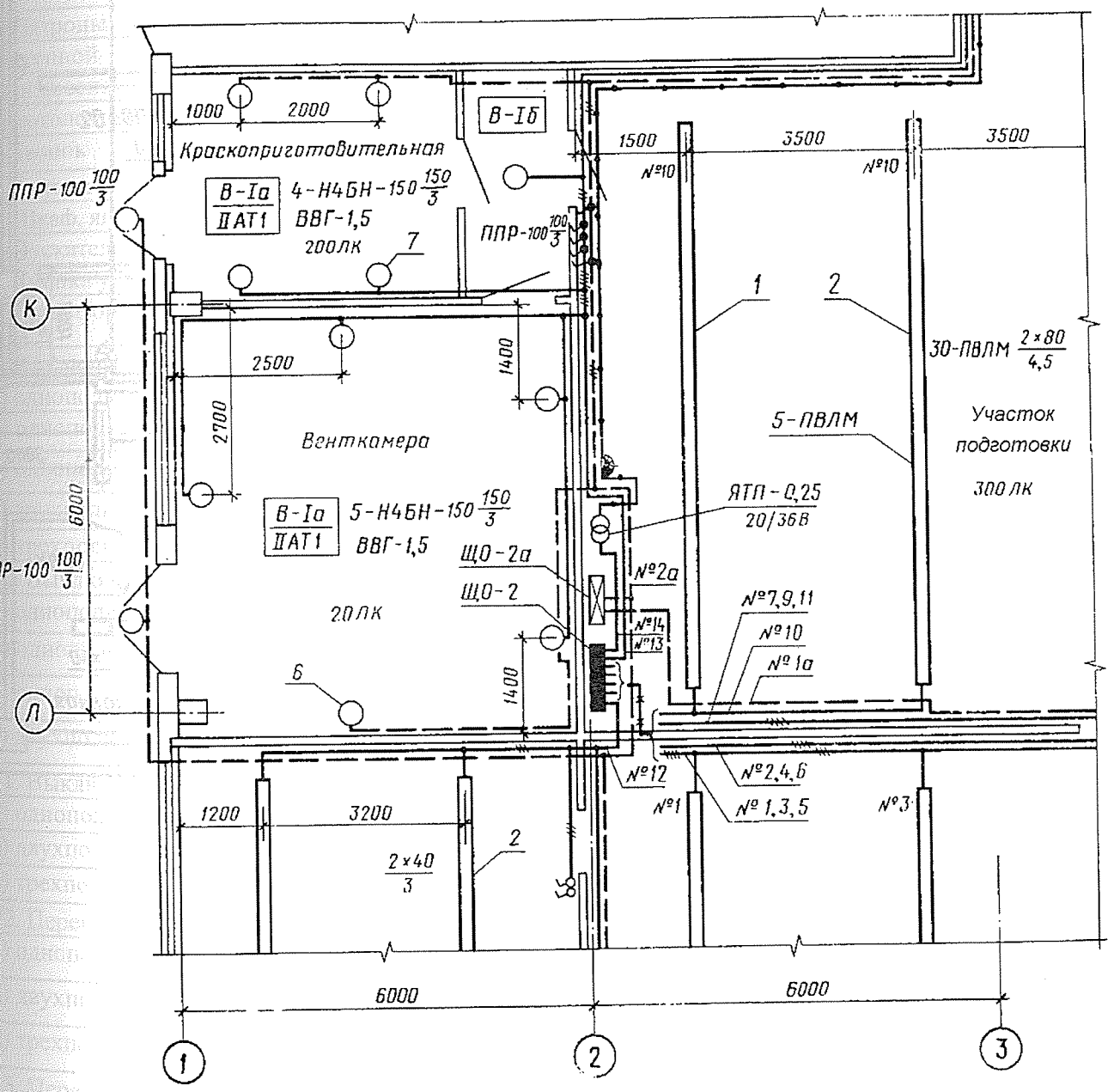


Рис. 2.60. План расположения оборудования для производственного здания

* Приведен пример обозначения.

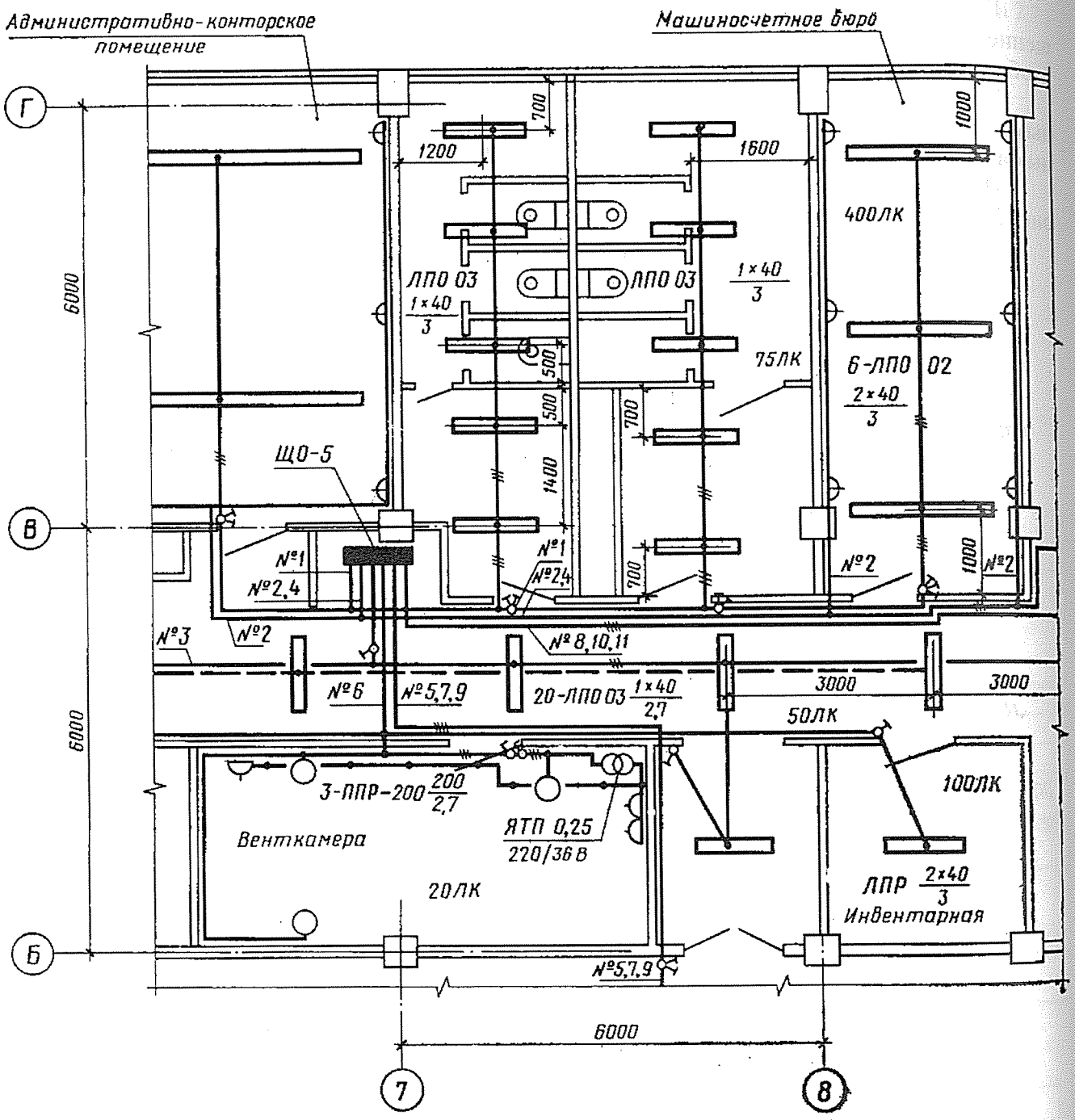
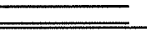
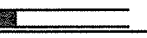


Рис. 2.61. План расположения оборудования для общественного здания

Таблица 2.7.3

Условные графические изображения на планах расположения электрического оборудования внутреннего освещения

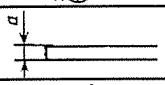
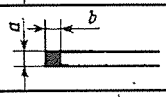
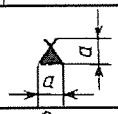
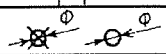
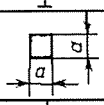
Название	Изображение
1. Светильники:	
а) светильники с люминесцентными лампами, установленные в линию;	
б) щелевой светильник-световод.	
Примечание. Залитый торец обозначает вводное устройство с источником света;	
в) люстра	
2. Патроны:	
а) стенной	
б) подвесной	
в) потолочный	
3. Звонок	
4. Автоматический выключатель	
5. Шкаф, ящик управления	
6. Пускатель магнитный	
7. Кнопка управления	
8. Трансформатор понижающий малой мощности	
9. Выключатель для открытой установки со степенью защиты IP20 ÷ IP23.	
а) однополюсный	
б) однополюсный сдвоенный	
в) однополюсный строенный	
г) двухполюсный	
д) трехполюсный	
10. Выключатель для скрытой установки со ступенью защиты IP20 ÷ IP23;	
а) однополюсный	
б) однополюсный сдвоенный	
в) однополюсный строенный	
г) двухполюсный	
11. Выключатель для открытой установки со степенью защиты IP44÷IP55:	
а) однополюсный	
а) двухполюсный	
в) трехполюсный	
12. Переключатель на два направления со степенью защиты IP20÷IP23:	
а) однополюсный	
а) двухполюсный	
в) трехполюсный	
13. Переключатель на два направления со степенью защиты IP44÷IP55:	
а) однополюсный	
а) двухполюсный	
в) трехполюсный	
14. Розетка штепсельная для открытой установки со степенью защиты IP20÷IP23:	
а) двухполюсная	
б) двухполюсная сдвоенная	

Продолжение табл. 2.7.3

Название	Изображение
в) двухполюсная с защитным контактом	
г) трехполюсная с защитным контактом	
15. Розетка штепсельная для скрытой установки со степенью защиты IP20÷IP29:	
а) двухполюсная	
б) двухполюсная сдвоенная	
в) двухполюсная с защитным контактом	
г) трехполюсная с защитным контактом	
16. Розетка штепсельная со степенью защиты IP44÷IP55:	
а) двухполюсная	
б) двухполюсная с защитным контактом	
в) трехполюсная с защитным контактом	
17. Блоки с выключателями и двухполюсной штепсельной розеткой для открытой установки со степенью защиты IP20÷IP23:	
а) один выключатель и штепсельная розетка	
б) два выключателя и штепсельная розетка	
в) три выключателя и штепсельная розетка	
18. Блоки с выключателями и двухполюсной штепсельной розеткой для крытой установки со степенью защиты IP20÷IP23:	
а) один выключатель и штепсельная розетка	
б) два выключателя и штепсельная розетка	
в) три выключателя и штепсельная розетка	
Примечание к п.п. 9–15. Степени защиты оболочек электрооборудования приняты по ГОСТ 14254–80 и ГОСТ 8223–81	

Таблица 2.7.4

Рекомендуемые ГОСТом 21.608–84 размеры условных графических изображений

Номер изображения по табл. 2.7.3.	Изображение графическое	Обозначение размера	Размеры, мм, для масштабов чертежей		
			1:50	2:100	1:200
1		∅	6	5	3,5
		а	4	2,5	2
		в	4	2,5	2
2		а	4	3	2
		∅	3	2,5	2
3		∅	5	3,5	2,5
4 – 7		а	4	3	2,5
8		∅	4	3	2,5
9 – 18		∅	2.6	2	1,5
		∅	6	5	3,5

Примечание. Для чертежей в масштабе меньше 1:200 размеры условных графических изображений не регламентируются.

На листах, где помещены планы расположения, приводят ведомость узлов установки электрического оборудования по форме (табл. 2.7.5).

В графах ведомости указывают:

– в графе «Поз.» – позицию узла по плану расположения;

– в графе «Обозначение» – обозначение документа на узел установки электрического оборудования;

– в графе «Наименование» – наименование узла установки с указанием типа электрического оборудования;

– в графе «Кол.» – количество узлов установки по плану расположения;

– в графе «Примечание» – дополнительные сведения.

Пример заполнения ведомости узлов установки электрического оборудования на плане расположения приведен в табл. 2.7.6.

Таблица 2.7.5

Ведомость узлов установки электрического оборудования на плане расположения

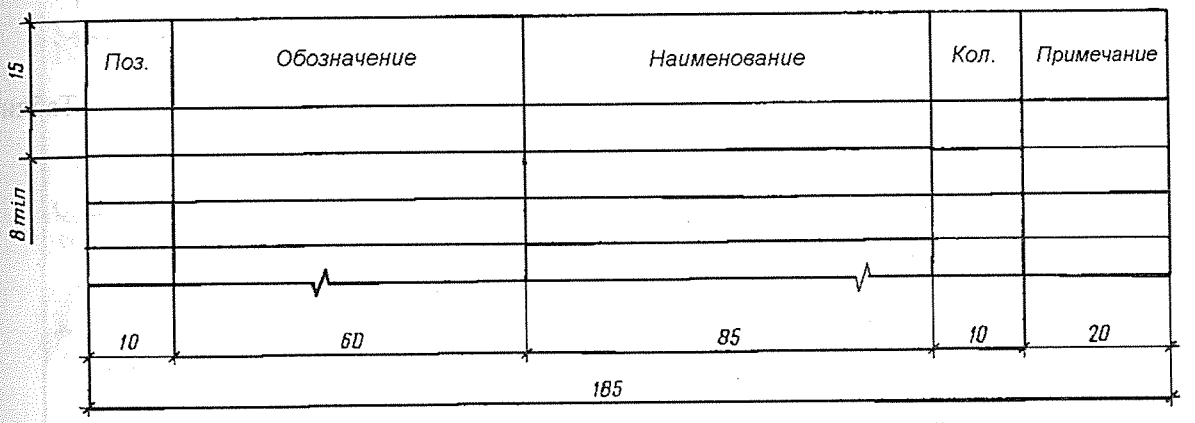


Таблица 2.7.6

Пример заполнения ведомости узлов установки электрического оборудования на плане расположения

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
1	.5.407–4 лист 16	Установка кронштейнов со	32	
		светильниками с лампами		
		ДРЛ с шагом 3м		
		Светильники типа		
		РСП 05–1000–Г23–04		
2	А625А–05–00–00	Установка светильника	6	
		ППД–200 на стене		

На листах планов расположения приводят данные о групповых щитках по формам, представленным в табл. 2.7.7 и 2.7.8, а также комплектных конденсаторных установках (при необходимости) по форме, представленной в табл. 2.7.9.

Для жилых домов таблицы групповых щитков не составляют.

При наличии в здании одинаковых по размеру помещений (участков помещений) с одинаковыми техническими решениями освещения электрическое оборудование, электрические сети и другие элементы на планах расположения допускается изображать не для всех, а для части помещений. Допускается также приводить фрагменты планов расположения для отдельных типовых помещений.

Таблица 2.7.7

Данные о групповых щитках с автоматическими выключателями

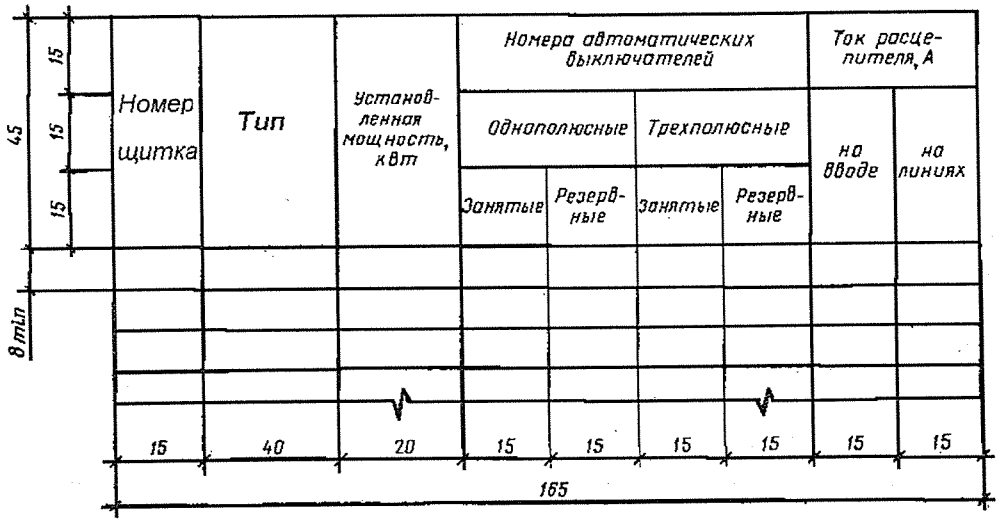


Таблица 2.7.8

Данные о групповых щитках с предохранителями

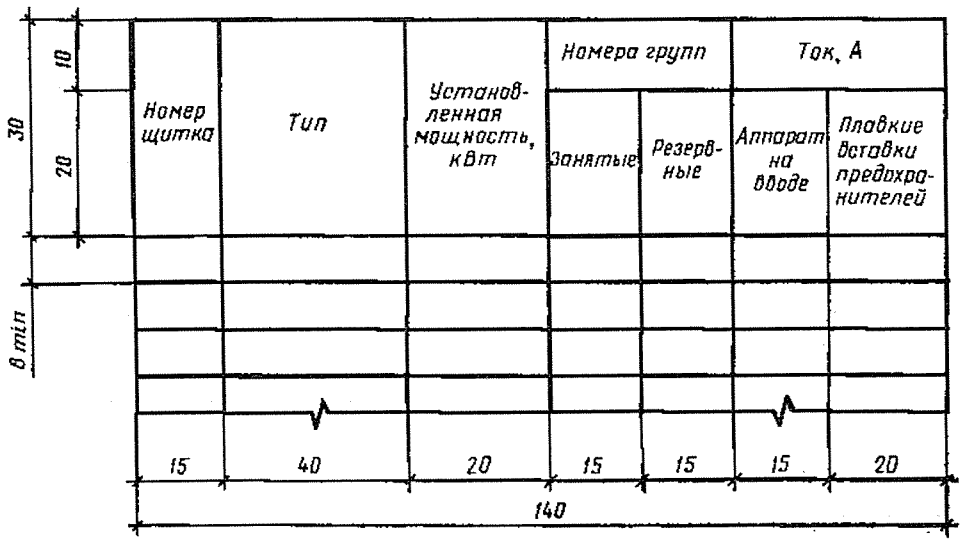
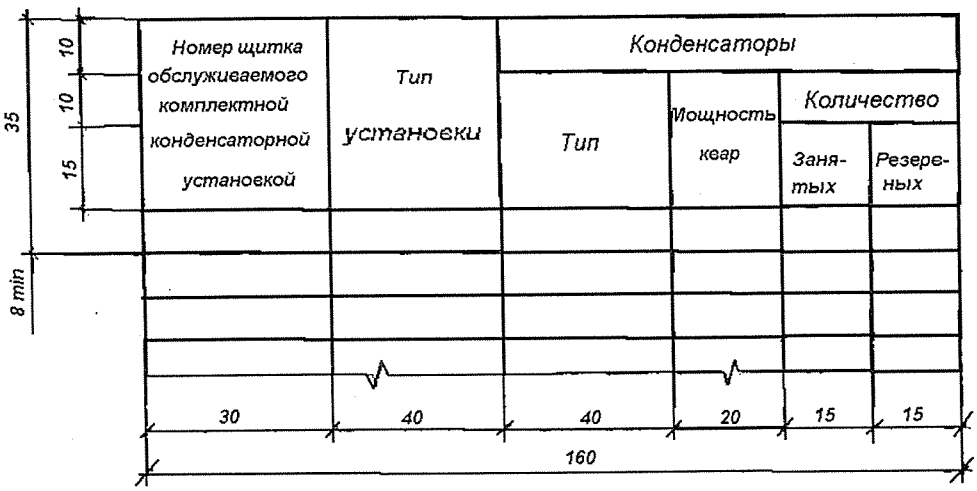


Таблица 2.7.9

Данные о комплектных конденсаторных установках



Принципиальные схемы питающей сети выполняют в однолинейном изображении в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД на правила выполнения электротехнических схем приведенных выше.

Пример оформления принципиальной схемы питающей сети с боковиком представлен на рис. 2.62.

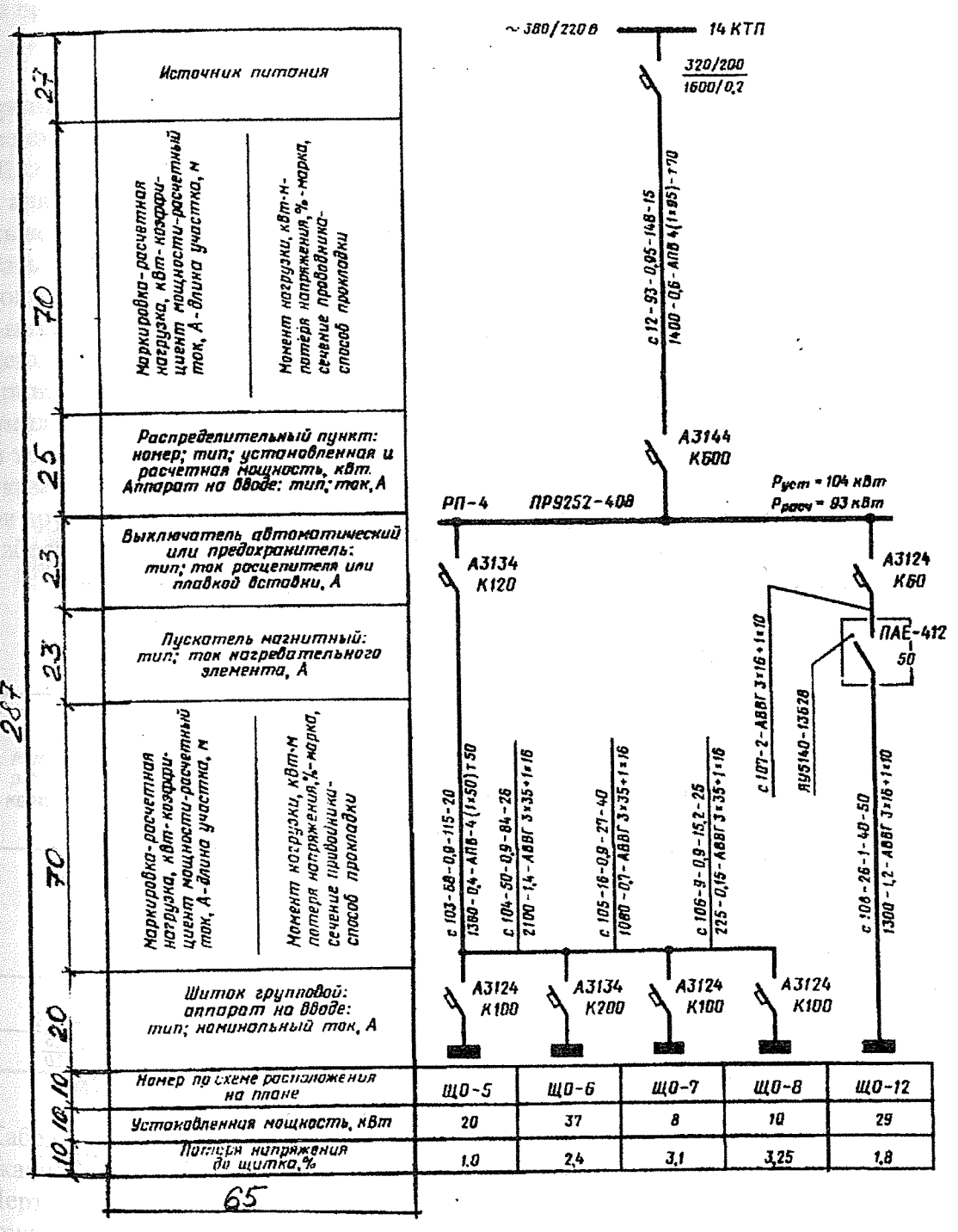


Рис. 2.62. Пример оформления принципиальной схемы питающей схемы с боковыми надписями (боковиком)

Принципиальные схемы питающей сети допускается выполнять с учетом расположения электрического оборудования по частям и этажам здания.

Пример оформления принципиальной схемы питающей сети многоэтажного здания приведен на рис. 2.63.

Поясняющие надписи на принципиальной схеме, представленной на рис. 2.63., выполнены с учетом расположения электрического оборудования по частям и этажам здания, при этом указывается:

1. У комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В:

$P_{уст}$ – установленная мощность, кВт;

$P_{расч}$ – расчетная нагрузка, кВт.

2. У групповых щитков:

$$A\frac{P_{уст}}{\Delta U},$$

где А – номер по плану расположения;

Δ – потеря напряжения до щитка, %.

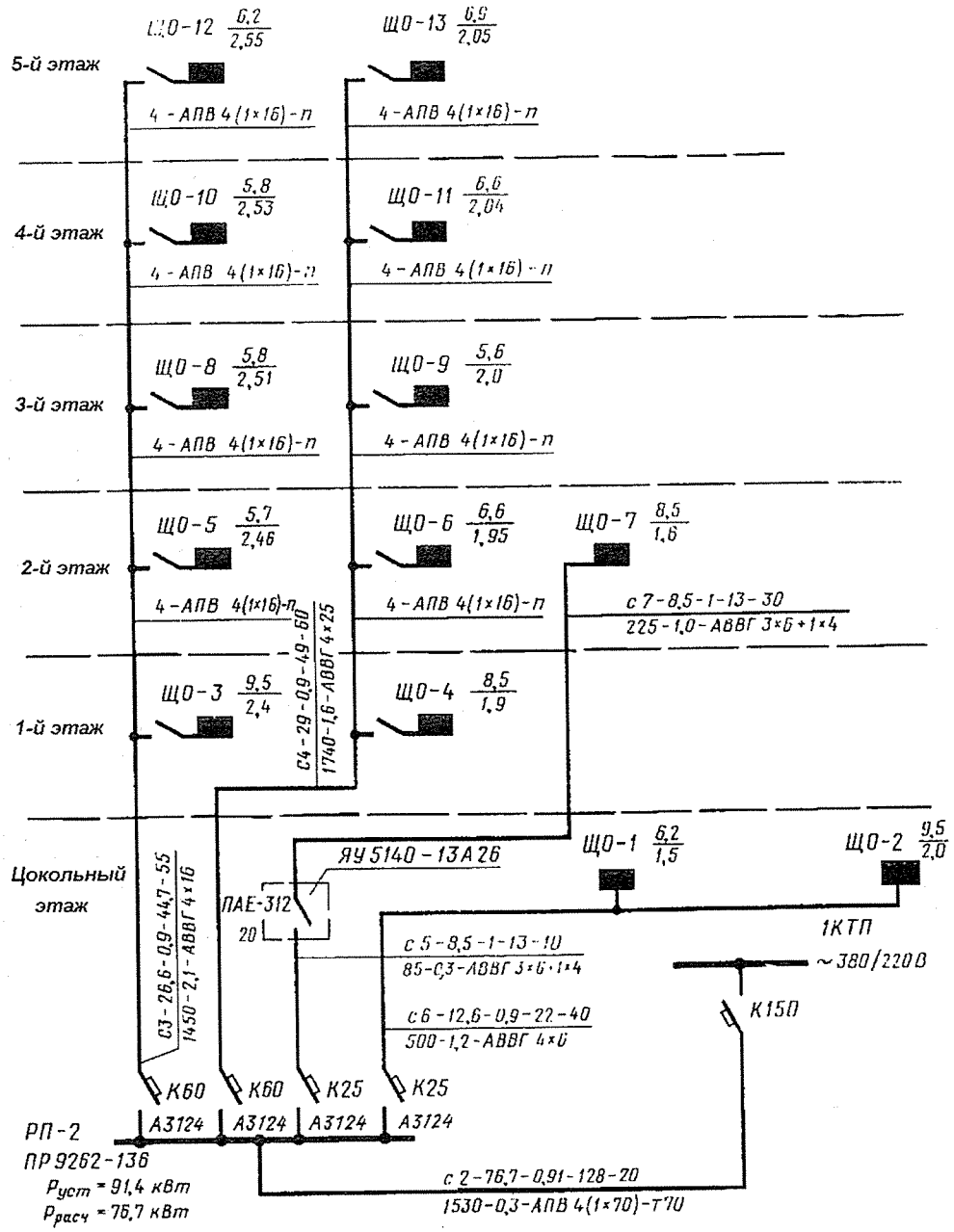


Рис. 2.63. Пример оформления принципиальной схемы питающей сети многоэтажного здания

3. На линиях питающей сети с расчетными данными (указывают конкретные величины);

$$\frac{\alpha - P_{\text{расч}} - \cos\varphi - I_{\text{расч}} - l}{P_{\text{расч}} l - \Delta U - q - \sigma},$$

где α – маркировка линии; *Iрасч* – расчетный ток, А; l – длина участка питающей сети, м; q – марка проводника, сечение, мм^2; σ – способ прокладки.

4. На линиях питающей сети без расчетных данных:

$$l - q - \sigma.$$

Принципиальные схемы питающей сети жилых домов допускается разбивать на отдельные схемы, например, схему вводно-распределительного устройства, схему линий питающей сети. При этом на схеме линий питающей сети допускается изображать щитки и другие аппараты не для всех этажей, а только для одного типового этажа, а также не изображать коммутационные аппараты на этажных и квартирных щитках, а расчетные данные указывать в табличной форме.

Допускается не выполнять принципиальные схемы питающей сети при количестве групповых щитков не более четырех и при условии, что все сведения о питающей сети, приведены на плане расположения.

Принципиальные схемы дистанционного управления освещением и схемы подключения комплектных распределительных устройств на напряжение до 1000 В выполняют с учетом требований стандартов ЕСКД на правила выполнения электротехнических схем.

Указанные схемы допускается включать в состав рабочих чертежей основных комплектов других электротехнических марок.

Кабельный журнал для питающей сети выполняют по табл. 2.7.10.

Таблица 2.7.10

Кабельный журнал для питающей сети

Маркировка кабеля	Трасса		Кабель					
			по проекту			проложен		
	Начало	Конец	Марка	Количество кабелей и сечение жил, напряжение	Длина, м	Марка	Количество кабелей и сечение жил, напряжение	Длина, м
15								
20								
25	60	60	20	35	16	20	35	16
287								

Кабельный журнал для питающей сети допускается не выполнять, если все данные, содержащиеся в кабельном журнале, указаны на принципиальной схеме питающей сети.

Чертежи установки электрического оборудования должны содержать общие виды конструкций крепления оборудования, необходимые узлы и спецификацию.

2.8. Условные графические обозначения и изображения электрооборудования, проводов и кабелей на планах

В данном параграфе будут приведены условные графический изображения электропроводок, прокладки шин, кабельных линий (проводок) и электрического оборудования на планах электрических сетей и расположения электрооборудования зданий и сооружений.

В ряде случаев изображения проводок и электрооборудования могут быть заменены общими изображениями согласно ГОСТов ЕСКД и СПДС. При этом на плане линии – выноски либо в разрыве линии, либо в контурах условного графического изображения приводят позиции по спецификации или буквенно-цифровые обозначения.

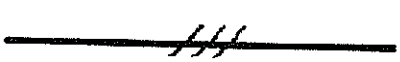
Размеры чертежей, приведенных ниже, выполнены в масштабе 1:100.

При выполнении изображений в других масштабах размеры изображений следует изменять пропорционально масштабу чертежа, при этом размер (диаметр или сторона) условного изображения электрооборудования должен быть не менее 1,5 мм.

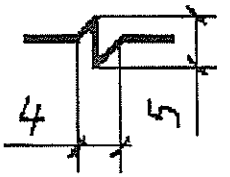
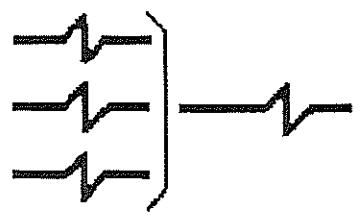
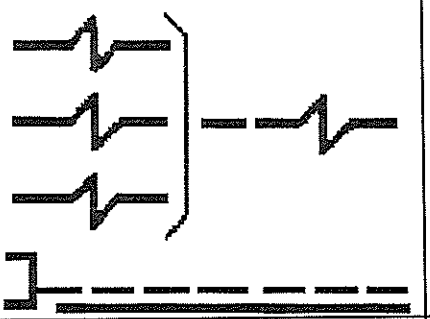
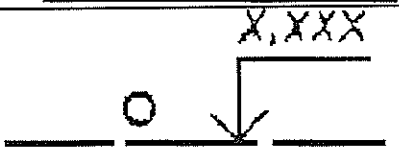
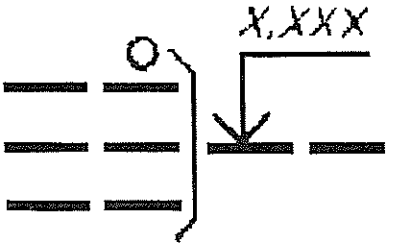
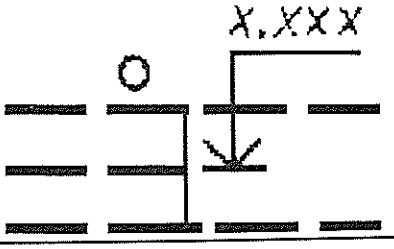
Размеры изображения элементов проводок и электрооборудования, не приведенные в табл. 2.8.1–2.8.8, следует принимать согласно графы «Изображение» указанных таблиц. Размеры изображения шкафов, щитов, пультов, ящиков, электротехнических устройств и электрооборудования открытых распределительных устройств следует принимать по их фактическим размерам в масштабе чертежа. Размеры изображения шкафов, щитов, пультов, ящиков и т.п. допускается увеличивать для возможного изображения всех труб с проводкой, проходящих к ним.

Таблица 2.8.1

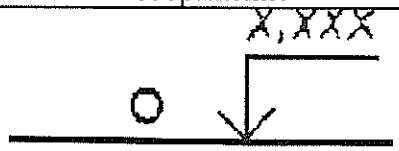
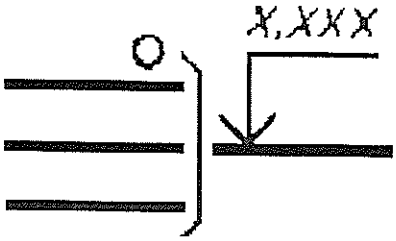
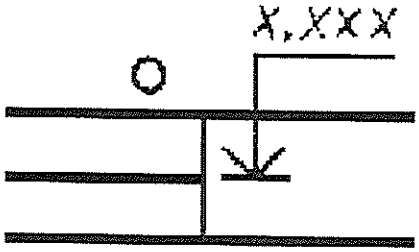
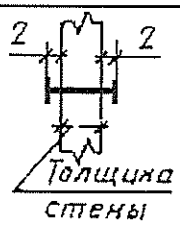
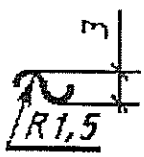
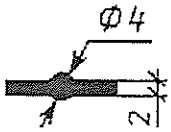
Изображения линий проводов и токопроводов

Наименование	Изображение	Размер, мм
1. Линия проводки. Общее изображение.		Толщина 1,0
Допускается указывать над изображениями линии данные проводки (род тока, напряжение, материал, способ прокладки, отметка проводки и т. т.) Например. Цепь постоянного тока напряжением 110 В.	–110 В, в штрабе	То же
Допускается количество проводников в линии указывать засечками. Например. Линия, состоящая из трех проводников.		
1.1. Линия цепей управлении.		
1.2. Линия сети аварийного эвакуационного и охранного освещения		
1.3. Линия напряжения 36 В и ниже.		
1.4. Линия заземления и зануления.		
1.5. Заземлители.		
1.6. Металлические конструкции, используемые в работе в качестве магистралей заземления, зануления.		

Продолжение табл. 2.8.1

Наименование	Изображение	Размер, мм
2. Прокладка проводов и кабелей.		
2.1. Открытая прокладка одного проводника.		
2.2. Открытая прокладка нескольких проводников.		Толщина 1,0 
2.3. Открытая прокладка одного проводника под перекрытием		
2.4. Открытая прокладка нескольких проводников под перекрытием		
2.5. Прокладка на тросе и его концевое крепление		
		
4.4. Проводка в трубе, прокладываемой под перекрытием, площадкой, с указанием отметкой заложения		
4.5. Проводка в трубах, прокладываемых под перекрытием		
4.6. То же, при необходимости показа габаритов группы труб		
4.7. Проводка в трубе, прокладываемой скрыто (в бетоне, в грунте и т.п.), с указанием отметки заложения		

Продолжение табл. 2.8.1

Наименование	Изображение	Размер, мм
4.8. Проводка в трубах, прокладываемых скрыто		
4.9. То же, при необходимости показа габаритов группы труб		
4.10. Проводка в трубе, прокладываемой от отметки трассы вверх		
4.11. То же, вниз		
4.12. Конец проводки в трубе		
4.13. Проводка в патрубке через стену		
4.14. То же, сквозь перекрытие		
4.15. Разделительное уплотнение в трубах для взрывоопасных помещений		
4.16. Проводка гибкая в металлорукаве, гибком вводе		
5. Прокладка шин и шинопроводов. Общее изображение		Толщина 2,0
5.1. Шина, проложенная в изоляторах		
5.2. Пакет шин, проложенных на изоляторах		Толщина 1,0
5.3. Шины или шинопровод на стойках		
5.4. То же, на подвесах		То же

Продолжение табл. 2.8.1

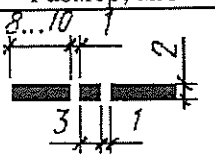
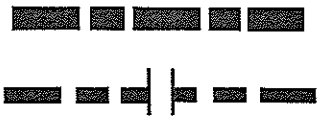
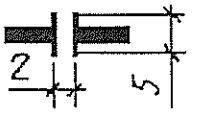
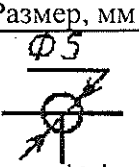
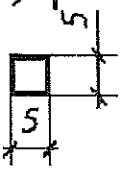
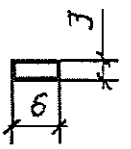
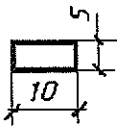
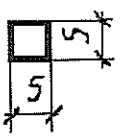
Наименование	Изображение	Размер, мм
5.5. То же, на кронштейнах		
5.6. Троллейная линия		
5.7. Секционирование троллейная линия		
5.8. Компенсатор шинный, троллейный		
Примечание. Изображение места крепления шинопровода по п.п. 5.1–5.5 должно соответствовать его проектному положению.		

Таблица 2.8.2

Изображения коробок, щитков, ящика с аппаратурой, шкафов, щитов, пультов

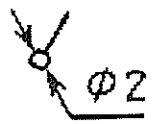
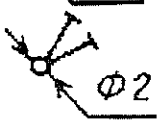
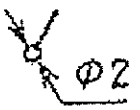
Наименование	Изображение	Размер, мм
1. Коробка ответвительная		
2. Коробка вводная		
3. Коробка протяжная, ящик протяжной		То же
4. Коробка, ящик с зажимами		
5. Щиток магистральный рабочего освещения		
6. Щиток групповой рабочего освещения		То же
7. То же, при выполнении на графопостроителе		
8. Щиток групповой аварийного освещения		
9. Щиток лабораторный		
10. Ящик с аппаратурой		

Продолжение табл. 2.8.2

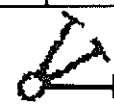
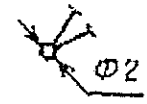
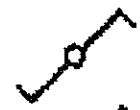
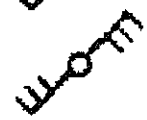
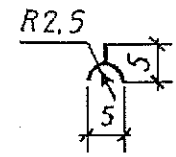
Наименование	Изображение	Размер, мм
11. Шкаф, панель, пульт, щиток одностороннего обслуживания, пост местного управления		
12. Шкаф, панель двустороннего обслуживания		
13. Шкаф, щит, пульт из нескольких панелей одностороннего обслуживания Пример. Щит из четырех шкафов		
14. Шкаф, щит, пульт из нескольких панелей двустороннего обслуживания Пример. Щит из пяти шкафов		
15. Щит открытый Пример. Щит из четырех панелей		

Таблица 2.8.3

Изображения выключателей, переключателей и штепсельных розеток

Наименование	Изображение	Размер, мм
1. Выключатель. Общее изображение		
2. Выключатель для открытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23:		
2.1. однополюсный		То же
2.2. однополюсный сдвоенный		
2.3. однополюсный строенный		
2.4. двухполюсный		
2.5. трехполюсный		
3. Выключатель для скрытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23:		
3.1. однополюсный		
3.2. однополюсный сдвоенный		

Продолжение табл. 2.8.3

Наименование	Изображение	Размер, мм
3.3. однополюсный строенный		
3.4. двухполюсный		
4. Выключатель для открытой установки со степенью защиты от IP44 до IP55:		
4.1. однополюсный		
4.2. двухполюсный		
4.3. трехполюсный		
5. Переключатель на два направления без нулевого положения со степенью защиты от IP20 до IP23:		
5.1. однополюсный		
5.2. двухполюсный		
5.3. трехполюсный		
6. Переключатель на два направления без нулевого положения со степенью защиты от IP44 до IP55:		
6.1. однополюсный		
6.2. двухполюсный		
6.3. трехполюсный		
7. Штепсельная розетка. Общее изображение		
8. Штепсельная розетка открытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23:		
8.1. двухполюсная		
8.2. двухполюсная сдвоенная		То же
8.3. двухполюсная с защитным контактом		

Продолжение табл. 2.8.3

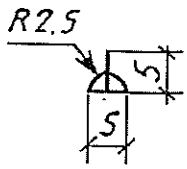
Наименование	Изображение	Размер, мм
8.4. трехполюсная с защитным контактом		
9. Штепсельная розетка для закрытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23:		
9.1. двухполюсная		
9.2. двухполюсная сдвоенная		
9.3. двухполюсная с защитным контактом		
9.4. трехполюсная с защитным контактом		
10. Штепсельная розетка со степенью защиты от IP44 до IP55:		
10.1. двухполюсная		
10.2. двухполюсная с защитным контактом		
10.3. трехполюсная с защитным контактом		
11. Блоки с выключателями и двухполюсной штепсельной розеткой для открытой установки со степенью защиты от IP20 до IP23:		
11.1. один выключатель и штепсельная розетка		
11.2. два выключателя и штепсельная розетка		
11.3. три выключателя и штепсельная розетка		То же
12. Блоки с выключателями и двухполюсной штепсельной розеткой для скрытый установки со степенью защиты от IP20 до IP23:		
12.1. один выключатель и штепсельная розетка		
12.2. два выключателя и штепсельная розетка		
12.3. три выключателя и штепсельная розетка		

Таблица 2.8.4

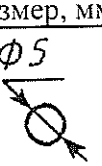
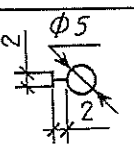
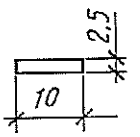
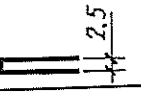
Изображения светильников и прожектов при раздельном изображении на плане оборудования и электрических сетей

Наименование	Изображение
1. Светильник с лампой накаливания. Общее изображение	
2. Светильник с люминесцентной лампой. Общее изображение	
3. Светильник с разрядной лампой высокого давления	
4. Прожектор, например, с лампой накаливания Общее изображение	
5. Светильник с лампой накаливания для аварийного освещения	
6. Светильник с люминесцентной лампой для аварийного освещения	
7. Светильник с лампой накаливания для специального освещения (световой указатель), например, для запасного выхода	

На плане освещения территории светильники с лампами накаливания на опорах изображают по п.1. табл. 2.8.5.

Таблица 2.8.5

Изображение светильников и прожекторов при совмещенном изображении на плане оборудования и электрических сетей

Наименование	Изображение	Размер, мм
1. Светильник с лампой накаливания. Общее изображение		
2. Светильник с лампой накаливания на тросе		То же
3. То же, на кронштейне, на стене здания, сооружения для наружного освещения		
4. Светильник с люминесцентными лампами. Примечание. Допускается светильник с люминесцентными лампами изображать в масштабе чертежа		
5. Светильник с люминесцентными лампами, установленными в линию		

Продолжение табл. 2.8.5

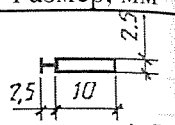
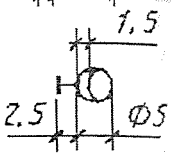
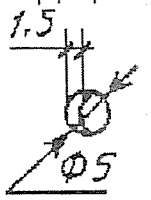
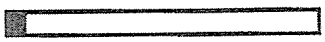
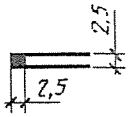
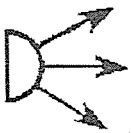
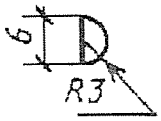
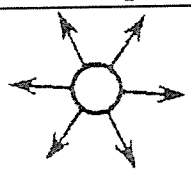
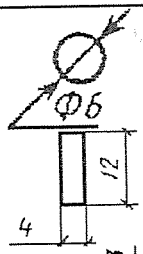
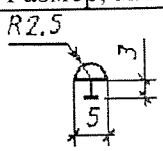
Наименование	Изображение	Размер, мм
6. Светильник с люминесцентной лампой на кронштейне для наружного освещения		
7. Светильник с разрядной лампой высокого давления на кронштейне для наружного освещения		
8. Светильник с разрядной лампой высокого давления на опоре для наружного освещения		
9. Люстра		То же
10.Светильник-световод щелевой		
11. Прожектор		
12. Группа прожекторов с направлением оптической оси в одну сторону*		
13. Группа прожекторов с направлением оптической оси во все стороны*		
14. Светофор сигнальный (на три лампы)		
15. Патрон ламповый:		
15.1. стенной		
15.2. подвесной		
15.3. потолочный		То же

Таблица 2.8.6

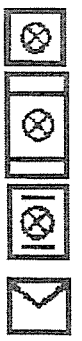
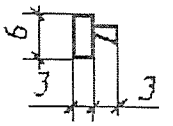
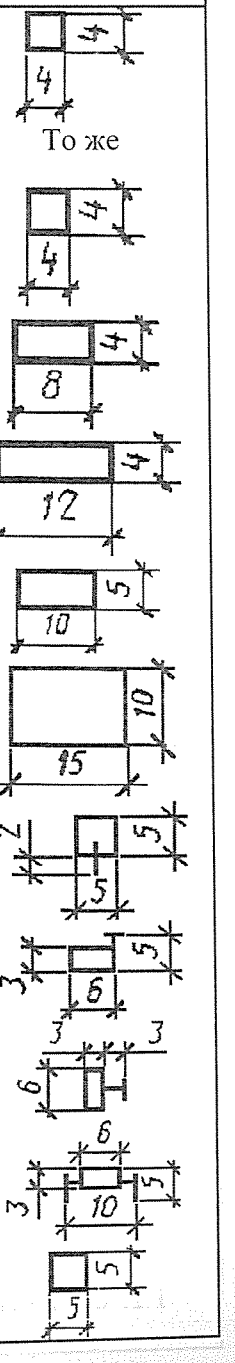
Изображения аппаратов контроля и управления

Наименование	Изображение	Размер, мм
1. Звонок		
2. Сирена, гудок, ревун		

* Направление проекций осевых лучей прожекторов указывают при конкретном проектировании

* Направление проекций осевых лучей прожекторов указывают при конкретном проектировании

Продолжение табл. 2.8.6

Наименование	Изображение	Размер, мм
3. Табло для вызова персонала: 3.1. на один сигнал 3.2. на несколько сигналов 4. Надписи и знаки рекламные 5. Устройство пусковое для электродвигателей. Общее изображение		
6. Магнитный пускатель 7. Автоматический выключатель 8. Пост кнопочный: 8.1. на одну кнопку 8.2. на две кнопки 8.3. на три кнопки 8.4. с двумя светящимися кнопками 8.5. на две кнопки с двумя сигнальными лампами 9. Переключатель управления 10. Выключатель путевой 11. Командоаппарат, командоконтроллер: 11.1. с ручным приводом 11.2. с ножным приводом 12.Тормоз		 То же

Изображения электротехнических устройств и электроприемников приведены в табл. 2.8.7. Контуры устройств следует принимать по их фактическим размерам в масштабе чертежа.

Таблица 2.8.7

Изображение электротехнических устройств и электроприемников

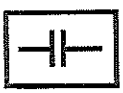
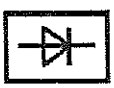
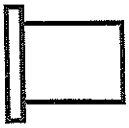
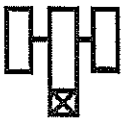
Наименование	Изображение
1. Устройство электротехническое. Общее изображение	
2. Устройство электрическое, например, с электродвигателем. Общее изображение	
3. Устройство с многодвигательным электроприводом	
4. Устройство с генератором	
5. Двигатель-генератор	
6. Комплектное трансформаторное устройство с одним трансформатором	
Примечание. Допускается трансформатор малой мощности изображать без прямоугольного контура	
7. То же, с несколькими трансформаторами	
8. Установка комплектная конденсаторная	
9. Установка комплектная преобразовательная	
10. Батарея аккумуляторная	
11. Устройство электронагревательное. Общее изображение	

Таблица 2.8.8

Изображения электрооборудования открытых распределительных устройств

Наименование	Изображение
1. Силовой трансформатор	
1.1. масляный с расширительным баком	
1.2. масляный без расширительного бака	

Продолжение табл. 2.8.8

Наименование	Изображение
2. Масляный выключатель:	
2.1. напряжением 6–10 кВ	
2.2. то же, 35 кВ	
2.3. то же, 110–220 кВ	
3. Разъединитель, отделитель напряжением 35, 110, 220 кВ	
4. Короткозамыкатель, заземлитель напряжением 35, 110, 220 кВ	
5. Автоматический быстродействующий выключатель	
6. Бетонный реактор	

Достаточно часто в практике проектирования появляется необходимость внесения изменений в проекты, так как ошибки и недочеты при проектировании неизбежны. Самое простое – это перепечатать лист с ошибками и заменить, однако не во всех случаях это возможно. Ниже рассмотрим основные правила внесения изменений в проектную документацию.

2.9. Порядок внесения изменений в рабочую документацию, выданную заказчику

Изменением рабочего документа, ранее выданного заказчику, является любое исправление, исключение или добавление в него каких-либо данных без изменения обозначения этого документа. Обозначение документа допускается изменять только в случае, когда разным документам ошибочно присвоены одинаковые обозначения или в обозначении документа допущена ошибка.

Изменения вносят в подлинник документа. Внесение изменений в расчеты не допускается.

Копии листов (измененных, дополнительных и выпущенных вместо замененных листов) рабочей документации направляют организациям, которым ранее были направлены копии документов, одновременно с копиями общих данных соответствующего основного комплекта рабочих чертежей.

Изменение документа выполняют на основании разрешения на внесение изменений (далее – разрешение), составленного по форме 9, рис. 2.64.

Разрешение утверждает руководитель организации-разработчика документа или по его поручению другое должностное лицо.

Основанием для получения подлинников документов для внесения в них изменений служит разрешение.

Изменения на каждый документ (например, основной комплект рабочих чертежей, спецификацию оборудования изделий и материалов) оформляют отдельным разрешением.

Допускается составлять одно общее разрешение на изменения, вносимые одновременно в несколько документов, если изменения взаимосвязаны или одинаковы для всех изменяемых документов.

Рассмотрим порядок заполнения разрешения на внесение изменений. В графах разрешения указывают:

а) в графе 1 – обозначение разрешения, состоящее из порядкового номера разрешения по книге регистрации разрешений по ГОСТ 21.203 и через дефис двух последних цифр года.

Пример: 15–97;

б) в графе 2 – обозначение документа, в который вносят изменение;

в) в графе 3 – наименование строящегося предприятия, здания (сооружения);

г) в графе 4 – очередной порядковый номер, присваиваемый изменениям, которые вносят в документ по одному разрешению. Его указывают для всего документа, независимо от того, на скольких листах он выполнен. Порядковые номера изменений обозначают арабскими цифрами;

д) в графе 5 – номера листов документа, в которые вносят изменения;

е) в графе 6 – содержание изменения в виде текстового описания и/или графического изображения;

ж) в графе 7 – код причины изменения в соответствии с табл. 2.9.1.

Таблица 2.9.1

Коды причины внесения изменений

Код причины изменения	Причины изменения
1	Введение усовершенствований
2	Изменение стандартов и норм
3	Дополнительные требования заказчика
4	Устранение ошибок

з) в графе 8 – дополнительные сведения;

и) в графах 9–11 – фамилии лиц, подписывающих разрешение, их подписи и даты подписания;

к) в графе 12 – наименование проектной организации и подразделения (отдела), составившего разрешение;

л) в графах 13–16 – наименование соответствующих подразделений или организаций, должности и фамилии лиц, с которыми в установленном порядке согласовывают разрешение, их подписи и даты подписания, а также подпись нормоконтролера;

м) в графе 17 – порядковый номер листа разрешения. Если разрешение состоит из одного листа, графу не заполняют;

н) в графе 18 – общее число листов разрешения.

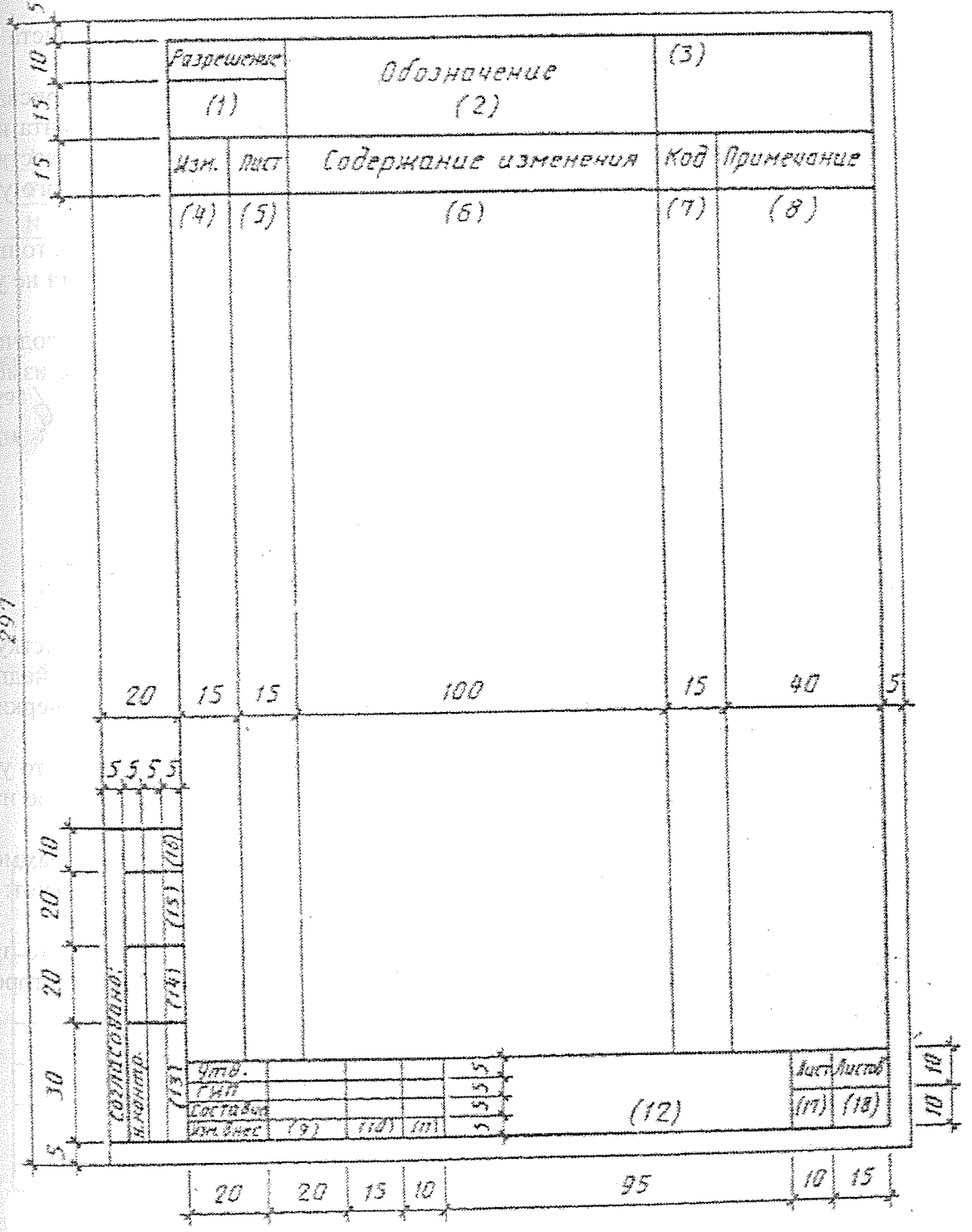


Рис. 2.64. Форма разрешения на внесение изменений

Изменения в подлинники документов вносят зачеркиванием или подчисткой (смывкой). При этом учитывают физическое состояние подлинника.

После внесения изменений изображения буквы цифры, знаки должны быть четкими, толщина линий, величина просветов и т.п. должны быть выполнены по правилам, предусмотренным соответствующими стандартами ЕСКД.

Изменяемые размеры, слова, знаки надписи и т.д. зачеркиваются сплошными тонкими линиями и рядом проставляют новые данные.

При изменении изображения (части изображения) его обводят сплошной тонкой линией, образующей замкнутый контур, и крестообразно перечеркивают сплошными тонкими линиями.

Новое изображение измененного участка выполняют на свободном поле листа или на другом листе без поворотов.

Изменяемым, аннулируемым и дополнительным участкам изображения присваивают обозначение, состоящее из порядкового номера очередного изменения документа и через точку порядкового номера изменяемого (аннулируемого, дополнительного) участка изображения в пределах данного листа. При этом новому изображению измененного участка присваивают обозначение изменения замененного изображения.

Если новое изображение измененного участка размещают на другом листе, то присвоенное ему обозначение изменения сохраняют и в таблице изменений этого листа не учитывают.

Около каждого изменения, в том числе около изменения, исправленного подчисткой (смывкой), за пределами изображения наносят в параллелограмме обозначение изменения в соответствии с рис. 2.65.

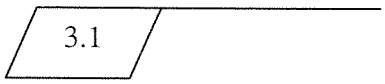


Рис. 2.65. Обозначения изменения

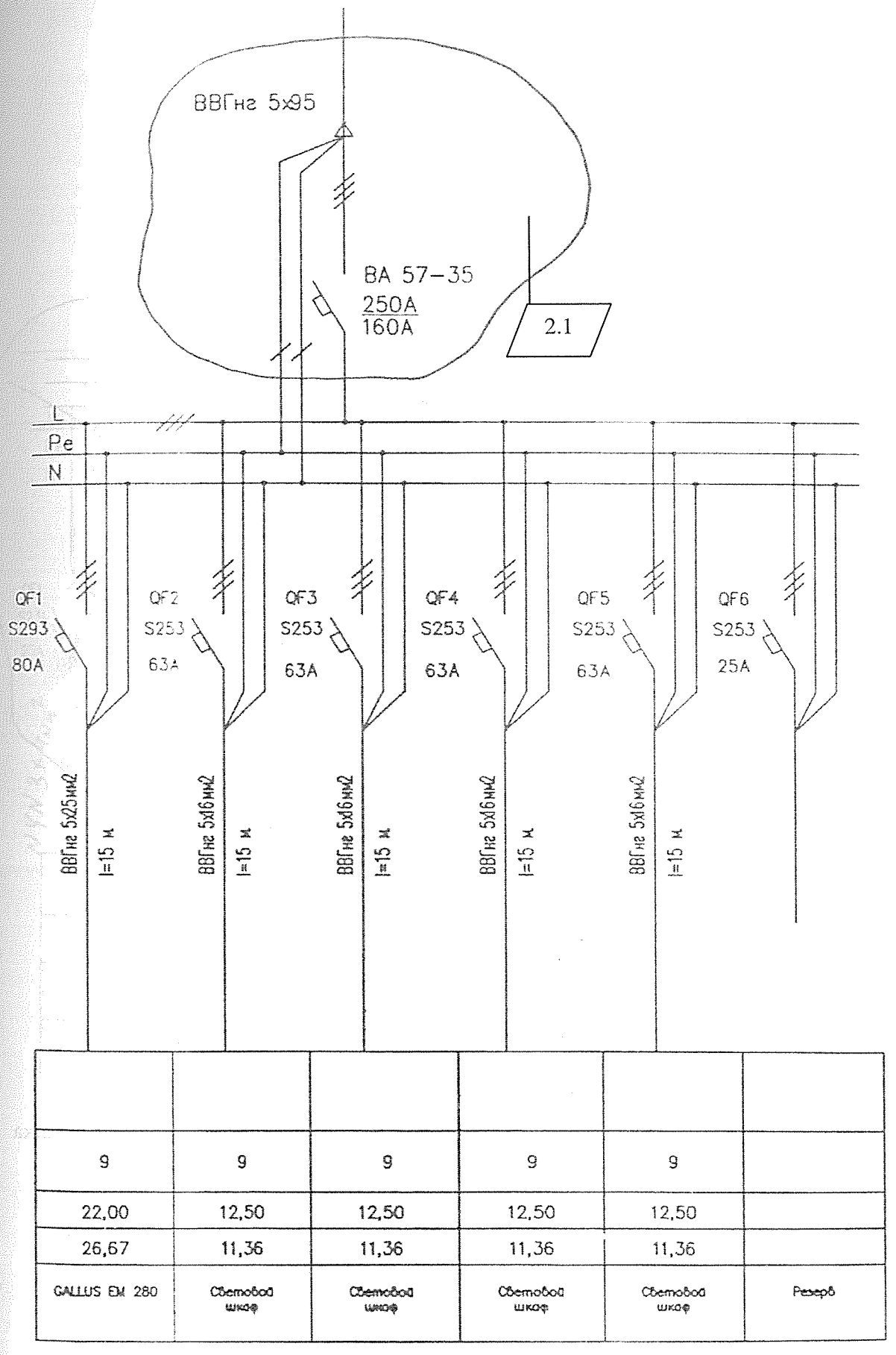
От параллелограмма проводят сплошную тонкую линию к измененному участку.

Близко расположенные друг от друга измененные размеры, слова, знаки, надписи и т.д. обводят сплошной тонкой линией, образующей замкнутый контур, без перечеркивания в соответствии с рис. 2.66.

Если новое изображение измененного участка помещают на другом листе, то у замененного изображения указывают также номер листа, на котором находится новое изображение в соответствии с рис. 2.67.

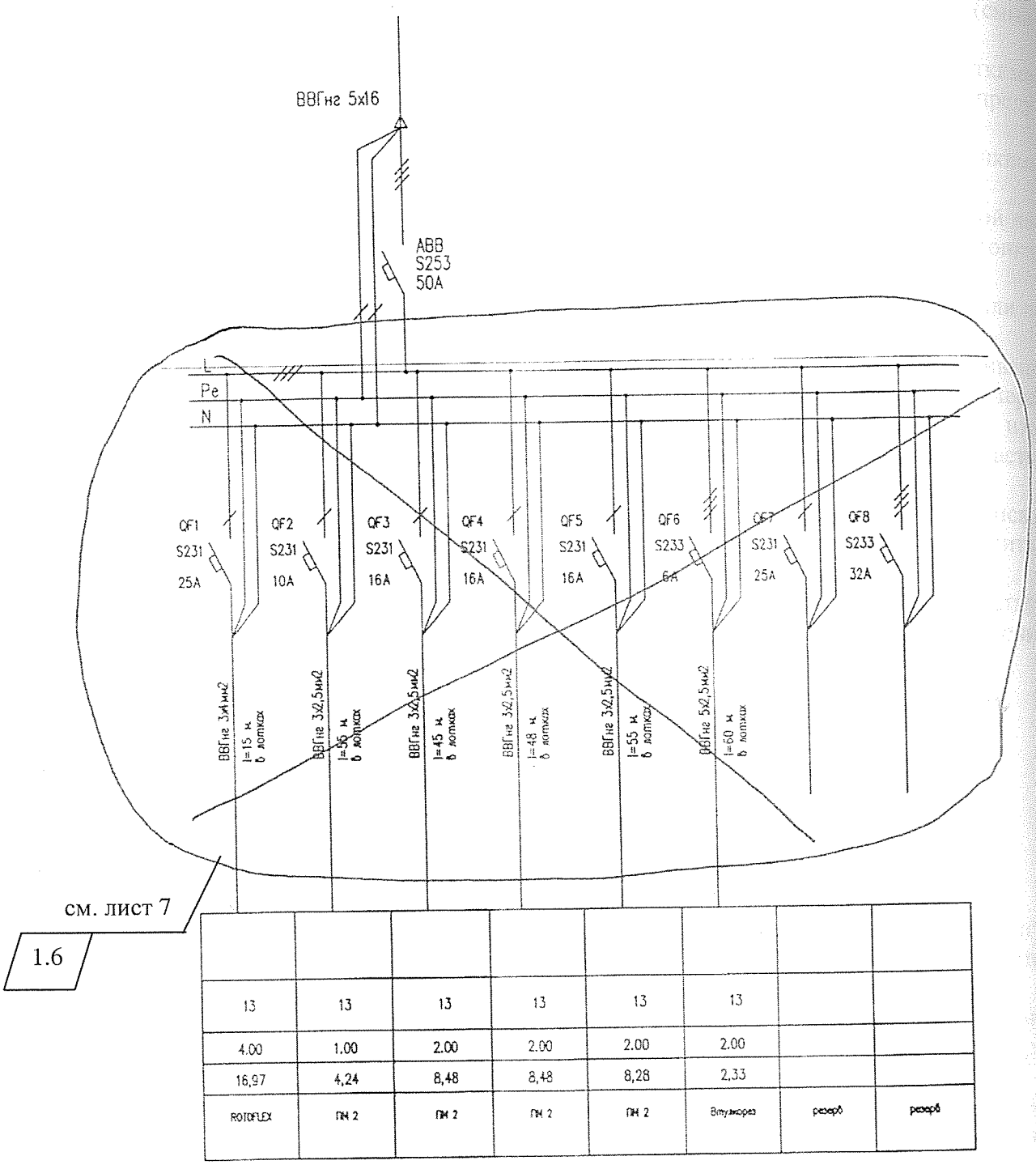
Над новым изображением измененного участка помещают в параллелограмме обозначение изменения замененного изображения, а при параллелограмме указывают: «Взамен перечеркнутого».

Если новое изображение измененного участка помещают на другом листе, то при параллелограмме указывают: «Взамен перечеркнутого на листе (номер листа, на котором находится замененное изображение)» в соответствии с рис. 2.68.



9	9	9	9	9	
22,00	12,50	12,50	12,50	12,50	
26,67	11,36	11,36	11,36	11,36	
GALLUS EM 280	Световой шкаф	Световой шкаф	Световой шкаф	Световой шкаф	Резерв

Рис. 2.66. Пример оформления близко расположенных друг от друга изменений



13	13	13	13	13	13		
4.00	1.00	2.00	2.00	2.00	2.00		
16,97	4,24	8,48	8,48	8,28	2,33		
ROTOFLEX	ПН 2	ПН 2	ПН 2	ПН 2	Втулкорез	резерв	резерв

Рис.2.67. Пример оформления изменений, если новое изображение измененного участка помещают на другом листе

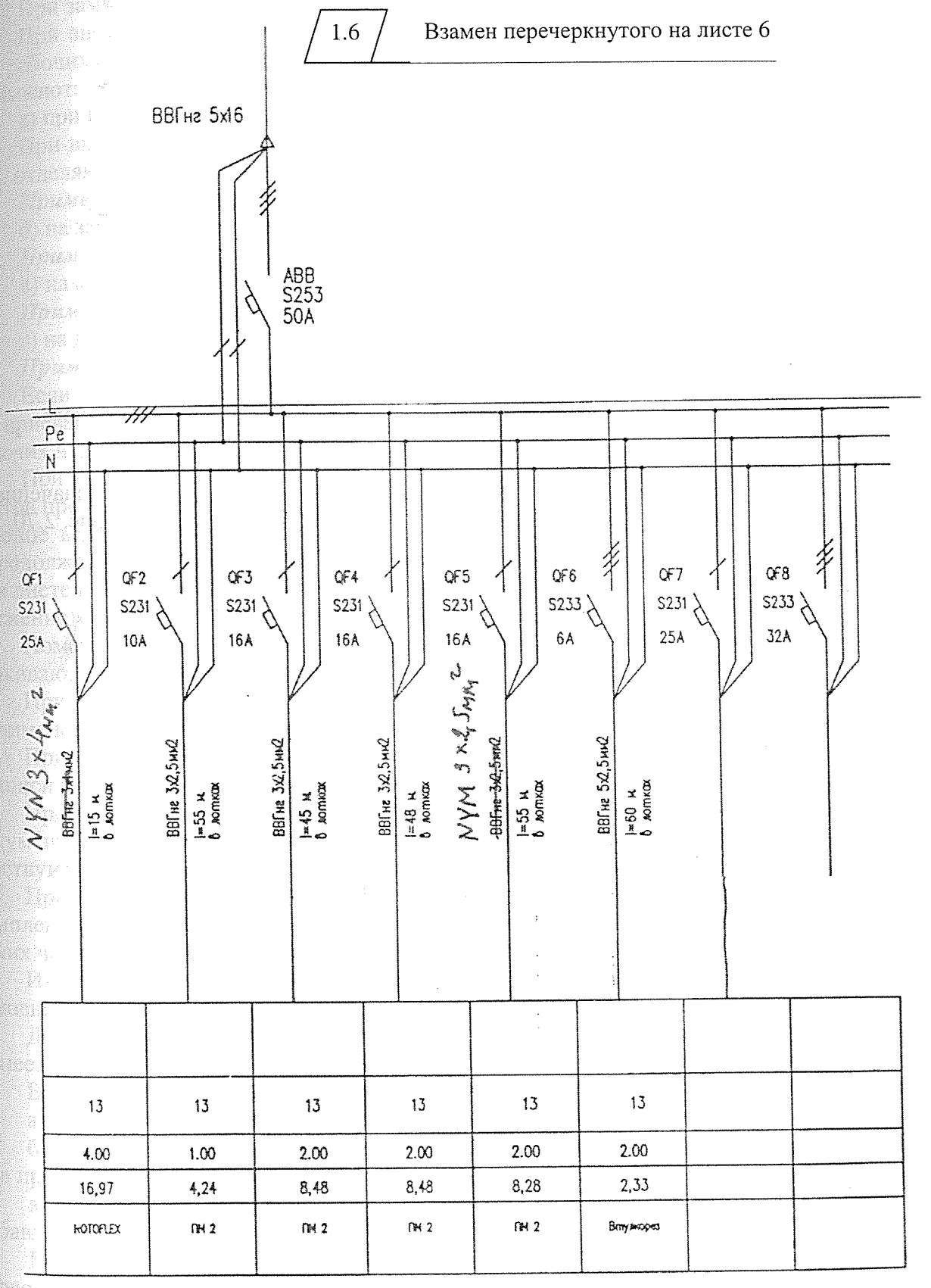


Рис. 2.68. Пример оформления нового изображения в замен перечеркнутого

Если новое изображение измененного участка помещают около замененного, то их соединяют линиями-выносками с обозначением изменения в соответствии с рис. 2.69.

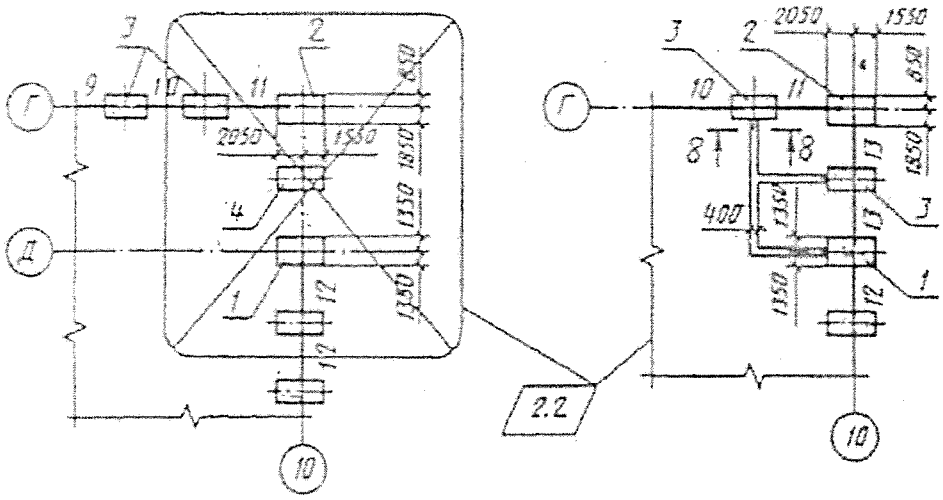


Рис. 2.69. Пример оформления изменения, если новое изображение измененного участка помещают около замененного

Над дополнительным изображением помещают в параллелограмме обозначение изменения, а при параллелограмме указывают: "Дополнение" в соответствии с рис. 2.70.

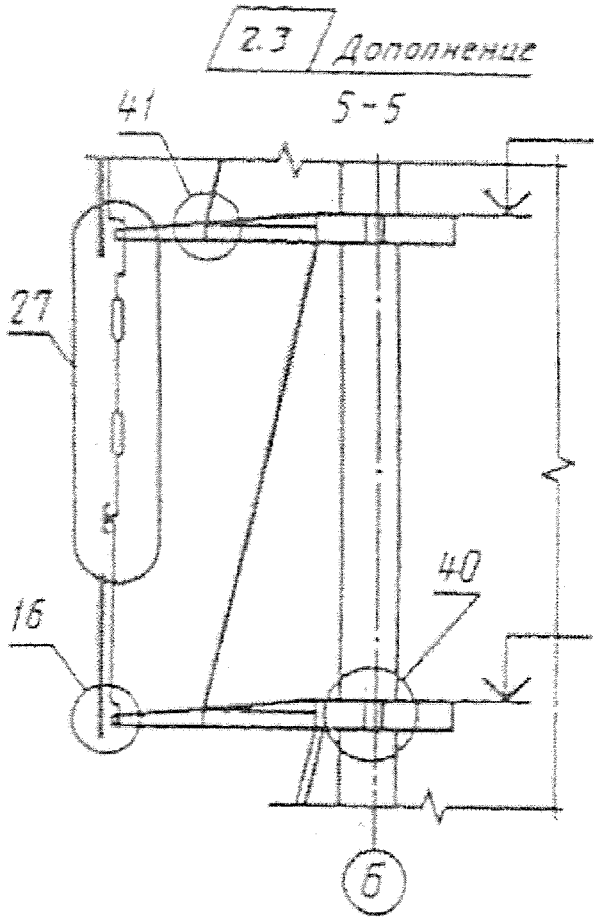


Рис. 2.70. Дополнение к рабочим чертежам

При аннулировании изображения (части изображения) при обозначении изменения указывают: «Аннулировано». Если недостаточно места для внесения изменений или возможно нарушение четкости изображения при исправлении, то изготовляют новый подлинник с учетом вносимых изменений и сохраняют его прежнее обозначение.

Если заменяют или добавляют один или несколько листов подлинника, то на них сохраняют инвентарный номер, присвоенный, присвоенный подлиннику.

При замене всех листов подлинника ему присваивают новый инвентарный номер.

При внесении изменений в листы основного комплекта рабочих чертежей в ведомости рабочих чертежей этого комплекта на листах общих данных в графе «Примечание» указывают:

а) при внесении первого изменения – «Изм. 1».

При внесении последующих изменений – дополнительно очередные номера изменений, отделяя их от предыдущих точкой с запятой.

Пример: Изм. 1; 2; 3;

б) на замененных листах при номере изменения – «(Зам.)».

Пример: Изм. 1 (Зам.);

в) на аннулированных листах при номере изменения – «Аннулирован».

Пример: Изм. 1 (Аннулирован);

г) на дополнительных листах при номере изменения «(Нов.)».

Пример: Изм. 1 (Нов.).

Если в основной комплект рабочих чертежей включают дополнительные листы, то им присваивают очередные порядковые номера и записывают в продолжение ведомости рабочих чертежей соответствующего основного комплекта.

При недостатке места в ведомости рабочих чертежей для записи дополнительных листов продолжение ведомости переносят на первый из дополнительных листов. При этом в конце ведомости рабочих чертежей, помещенной в «Общих данных», делают запись: «Продолжение ведомости см. на листе (номер листа)», а над ведомостью на дополнительном листе помещают заголовок: «Ведомость рабочих чертежей основного комплекта (Продолжение)».

Номера и наименования аннулированных листов в ведомости рабочих чертежей зачеркивают.

При изменении наименований листов вносят соответствующие изменения в графу «Наименование».

При изменении общего количества листов документа на его первом листе в основной надписи вносят соответствующие изменения в графу «Листов».

При выполнении дополнительных и аннулировании ранее выполненных прилагаемых документов вносят исправления в ведомость ссылочных и прилагаемых документов соответствующего основного комплекта рабочих чертежей.

При выполнении дополнительных и аннулировании ранее выполненных основных комплектов рабочих чертежей вносят исправления в ведомость основных комплектов рабочих чертежей.

Изменения, внесенные в подлинник, указывают в таблице изменений, помещенной в основной надписи.

Допускается таблицу изменений помещать вне основной надписи (над ней или слева от нее) по той же форме.

В таблице изменений указывают:

а) в графе «Изм.» – порядковый номер изменения документа;

б) в графе «Кол. уч.» – количество изменяемых участков изображения на данном листе в пределах очередного изменения;

в) в графе «Лист» – на листах, выпущенных вместо замененных, – «Зам.», на листах, добавленных вновь, – «Нов».

При замене всех листов подлинника (при очередном номере изменения документа) на первом листе в графе «Лист» указывают «Все». При этом таблицу изменений на других листах этого подлинника не заполняют.

В остальных случаях в графе «Лист» ставят прочерк;

а) в графе «№ док.» – обозначение разрешения;

б) в графе «Подп.» – подпись лица, ответственного за правильность внесения изменения (подпись лица, ответственного за нормоконтроль, проставляют на поле для подшивки листа);

в) в графе «Дата» – дату внесения изменения.

В таблице изменений не учитывают исправления, внесенные в ведомости листа общих данных в связи с внесением изменений в листы основного комплекта и прилагаемые документы.

При внесении изменений в текстовые документы рекомендуется выполнять таблицу регистрации изменений. Таблицу регистрации изменений размещают на титульном листе текстового документа.

Значительные изменения в текстовых документах вносят одним из следующих способов:

а) заменой всех или отдельных листов документа;

б) выпуском новых дополнительных листов.

При изменении подлинников текстовых документов допускается при добавлении нового листа присваивать ему номер предыдущего листа с добавлением очередной арабской цифры, отделяя ее от предыдущей точкой.

Пример: 3.1.

В этом случае на первом листе изменяют общее количество листов.

В текстовых документах, содержащих в основном сплошной текст, допускается при добавлении нового пункта присваивать ему номер предыдущего пункта с добавлением очередной строчной буквы русского алфавита, а при аннулировании пункта – сохранять номера последующих пунктов.

При аннулировании или замене документа все аннулированные и замененные листы подлинника крестообразно перечеркивают сплошными тонкими линиями и проставляют штамп по форме 11, рис. 2.71.

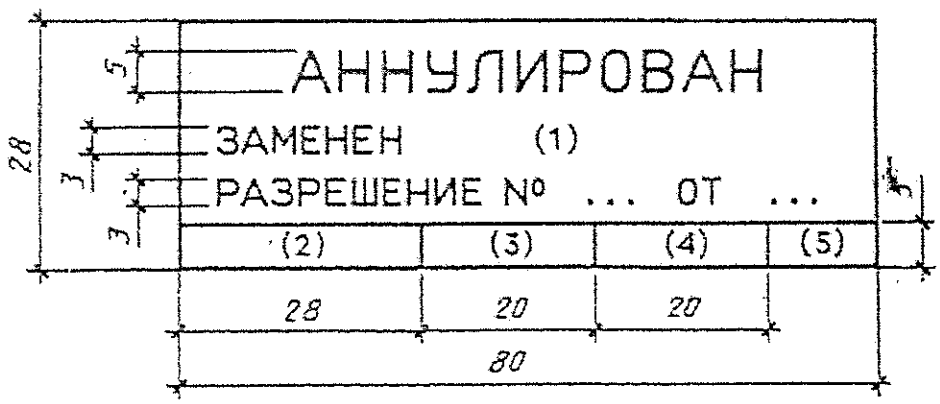


Рис. 2.71. Вид штампа аннулирования (замены) листов подлинника документа

При заполнении в штампе указывают:

а) в строке 1 – порядковый номер очередного изменения документа, в соответствии с которым лист аннулирован или заменен (например, «Изм. 3»). При аннулировании листа слово «Заменен» в штампе зачеркивают;

б) в графах 2–5 – должность, фамилию, подпись лица, ответственного за внесение изменений, и дату подписания.

Далее рассмотрим проектирование конкретных электроустановок и типовые расчеты основного электрооборудования.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

3.1. Выбор режима нейтрали в электрических сетях

Виды электрических сетей. Все электрические сети можно классифицировать по ряду признаков (рис. 3.1):

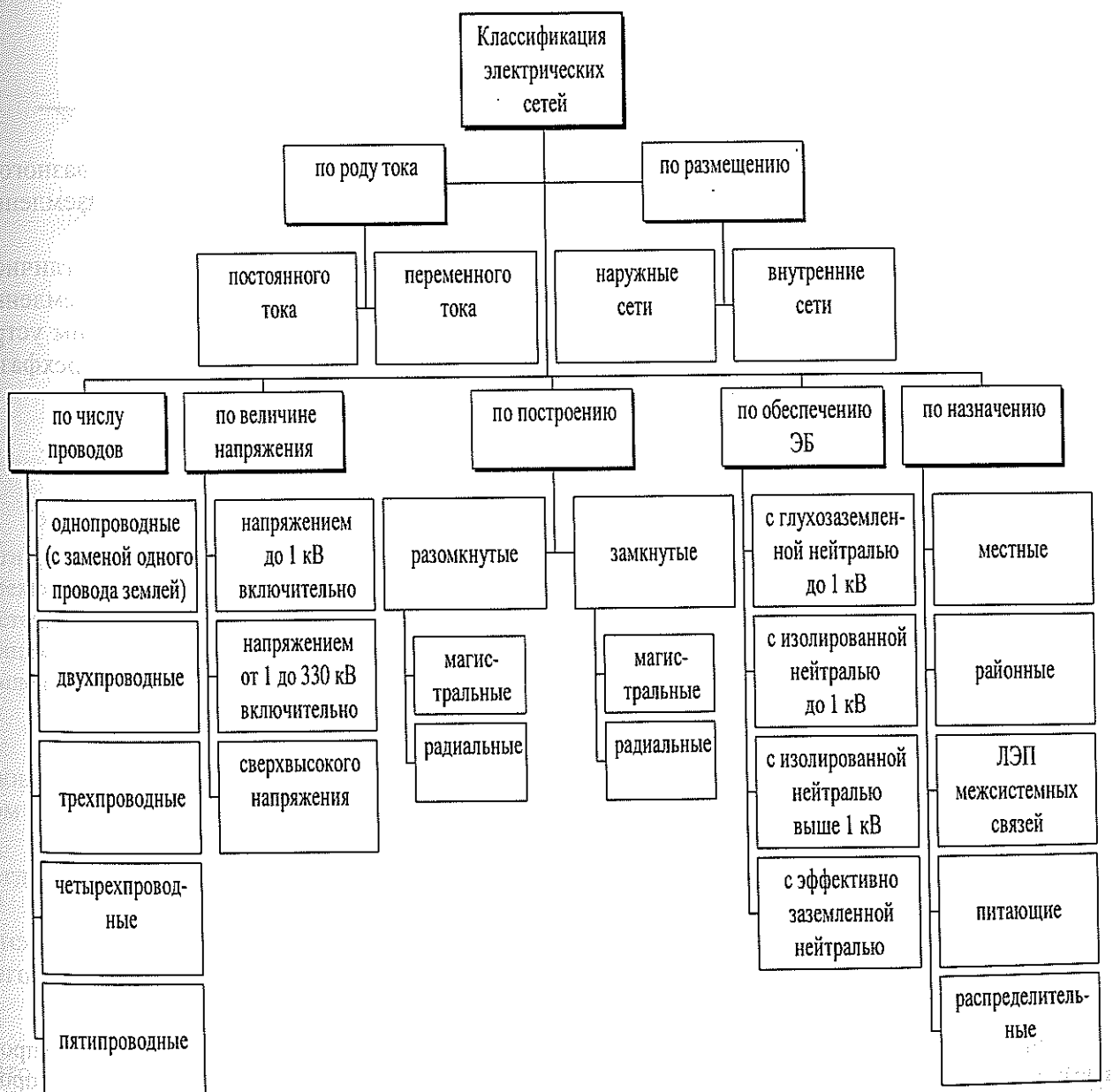


Рис. 3.1. Классификация электрических сетей

1) ***по размещению***:

а) наружные воздушные и кабельные сети. При их выполнении применяются неизолированные (голые) провода, кабели и шинопроводы;

б) внутренние сети – сети, проложенные внутри технологических помещений. При их выполнении используются изолированные провода, кабели, неизолированные провода и шинопроводы;

2) ***по назначению***:

а) местные электрические сети – это сети на напряжение до 35 кВ включительно;

б) районные электрические сети – сети, к которым относятся изолированные одиночные районные сети с одной электростанцией и сети электрических систем с несколькими электростанциями напряжением в основном 110 кВ и выше;

в) линии электропередачи межсистемных связей – это линии напряжением выше 220 кВ, служащие для связей отдельных энергетических систем напряжением до 1150 кВ;

г) питающие линии (сети) – это линии, которые служат для передачи энергии от источника питания к группам потребителей;

д) распределительные электрические сети – это сети, служащие для распределения электроэнергии от распределительных пунктов к потребительским ТП или непосредственно к потребителям;

3) ***по роду тока***:

а) электрические сети постоянного тока;

б) электрические сети переменного тока;

4) ***по числу проводов*** (рис. 3.2, 3.3):

а) двухпроводные электрические сети – это сети постоянного тока и однофазного переменного тока с изолированным выводом источника тока (рис. 3.2, а) и с заземленным выводом источника тока (рис. 3.2, б);

б) трехпроводные электрические сети – это сети однофазного тока; в отличие от двухпроводных у них имеется нулевой защитный проводник, соединенный с заземленным выводом источника тока (рис. 3.3, а) или соединенный с защитным заземляющим устройством в сетях с изолированным выводом источника тока (рис. 3.3, б), а также трехфазные сети без нейтрального провода (рис. 3.3, д);

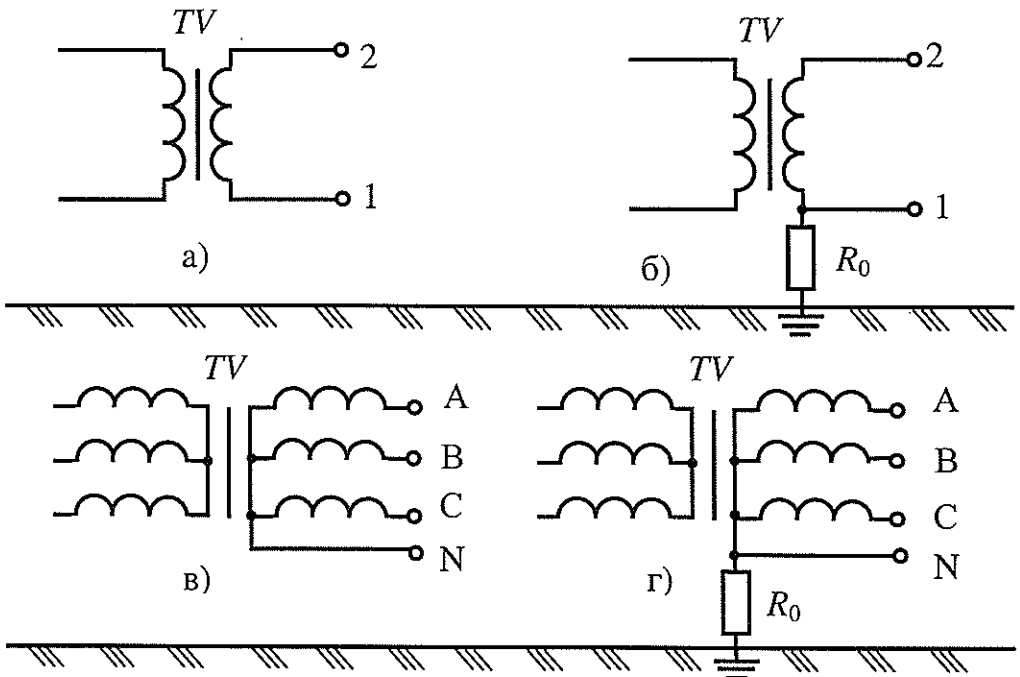


Рис. 3.2. Виды электрических сетей по числу проводов (двухпроводные и четырехпроводные): а, б – двухпроводные (однофазные); в, г – четырехпроводные (трехфазные); R_0 – сопротивления растеканию тока в землю с заземлителя заземляющего устройства нейтрали источника тока (рабочего заземления)

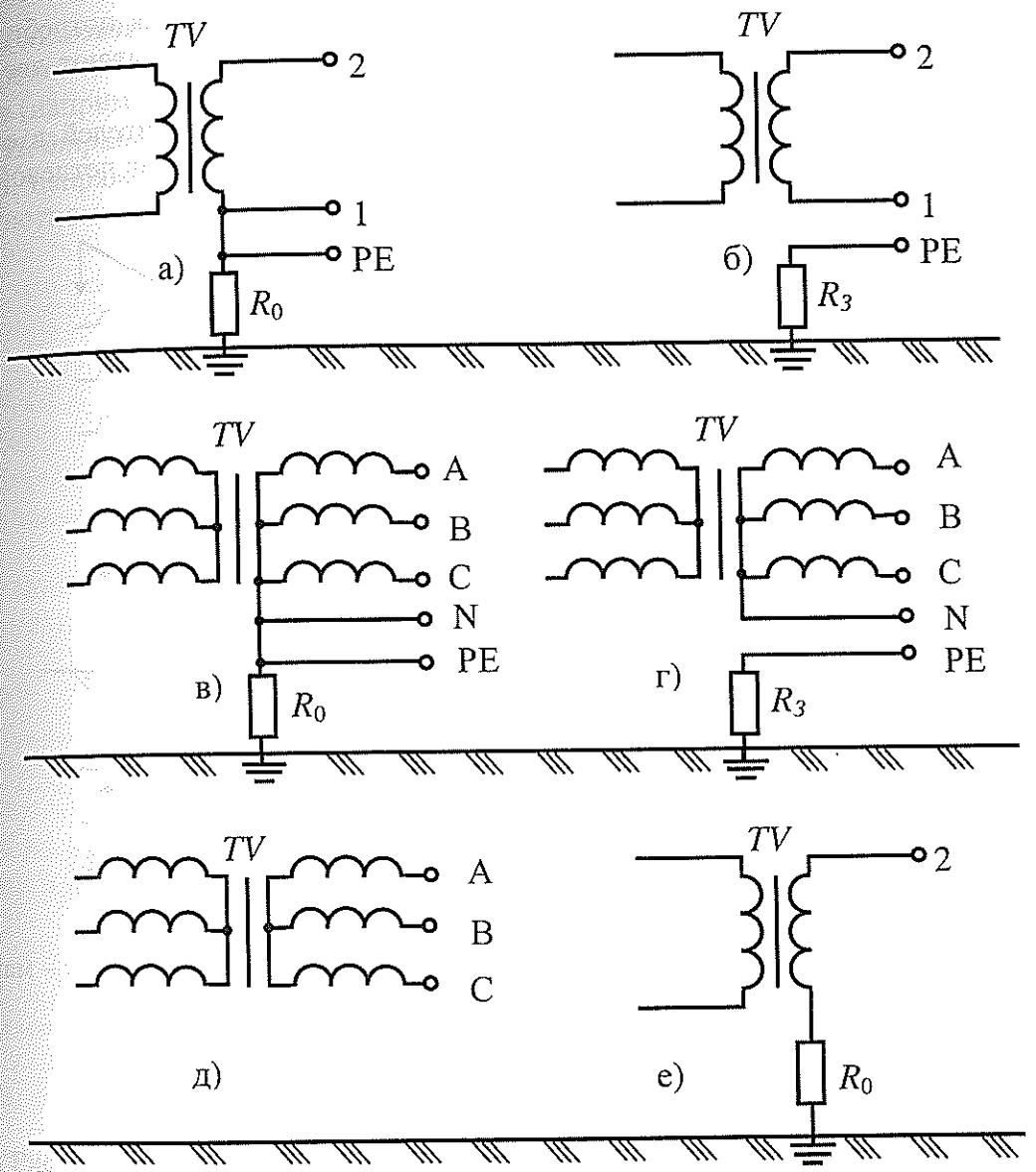


Рис. 3.3. Виды электрических сетей по числу проводов (однопроводные, трехпроводные и пятипроводные): а, б – трехпроводные однофазные; в, г – пятипроводные; д – трехпроводная (трехфазная); е – однопроводная (с заменой одного провода «землей»); R_0 и R_3 – сопротивления растеканию тока с заземлителей в землю соответственно заземляющего устройства нейтрали источника тока (рабочего заземления) и заземляющего устройства ЭУ потребителя (защитного заземления)

в) четырехпроводные электрические сети – это сети трехфазного тока с нейтральным проводом (в сетях с изолированной от земли нейтралью) (рис. 3.2, в) или с нулевым проводом (в сетях с глухо заземленной нейтралью источника тока) (рис. 3.2, г);

г) сети с заменой одного провода «землей» – это сети однофазного переменного тока, когда роль второго провода играет «земля» (рельс) (рис. 3.3, е);

д) пятипроводные электрические сети – это сети трехфазного тока, которые отличаются от четырехпроводных тем, что в них функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников разделены – проводник N и PE (рис. 3.3, в и 3.3, г).

5) ***по построению***: разомкнутые и замкнутые (рис. 3.4):

а) сеть магистральная разомкнутая, когда сеть состоит из одиночных ЛЭП, каждая из которых питает независимо несколько потребителей (рис. 3.4, а);

б) сеть радиальная разомкнутая – это магистральная разомкнутая сеть, питающая одну группу потребителей (рис. 3.4, б);

в) сеть радиальная замкнутая, когда в целях бесперебойного питания потребителей энергией сети выполняют с резервированием, т.е. к потребителю прокладывают две сети (рис. 3.4, в);

г) сеть магистральная замкнутая (петлевая), если несколько потребителей в одном районе должны получать электроэнергию бесперебойно, то сеть выполняют петлевой, образующей замкнутый контур (рис. 3.4, г);

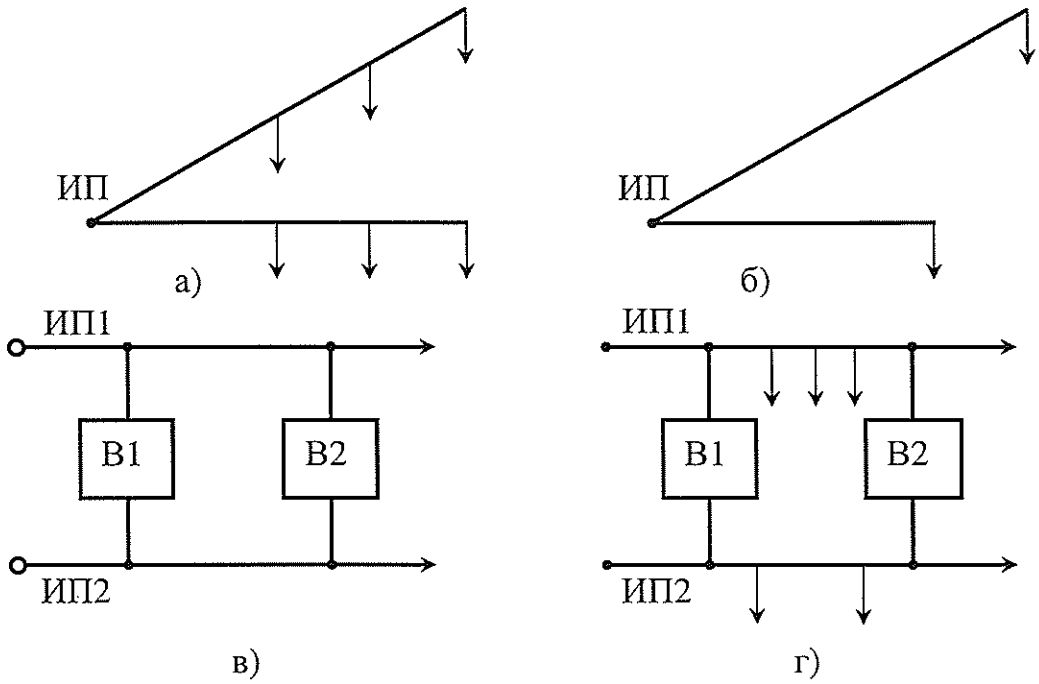


Рис. 3.4. Виды электрических сетей по построению:
а – магистральная разомкнутая; б – радиальная разомкнутая; в – радиальная замкнутая; г – магистральная замкнутая; ИП – источник питания; В – выключатель

6) ***по величине напряжения:***

а) сети напряжением до 1000 В включительно;

б) сети напряжением выше 1000 В (от 1 до 300 кВ включительно);

в) сети сверхвысокого напряжения – более 330 кВ;

7) ***по обеспечению электробезопасности (ЭБ)*** (в зависимости от способа заземления нейтрали в соответствие с [51]) (рис. 3.5):

а) сети с глухозаземленной или эффективно заземленной нейтралью выше 1000 В (с большими токами замыкания на землю) (рис. 3.5, а);

б) сети с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор или резистор нейтралью выше 1000 В (с малыми токами замыкания на землю) (рис. 3.5, б);

в) сети с глухозаземленной нейтралью до 1000 В (рис. 3.5, в);

г) сети с изолированной нейтралью до 1000 В (рис. 3.5, г).

Электрической сетью с эффективно заземленной нейтралью называется трехфазная электрическая сеть напряжением выше 1000 В, в которой коэффициент замыкания на землю не превышает 1,4.

Коэффициентом замыкания на землю в трехфазной электрической сети называется отношение разности потенциалов между неповрежденной фазой и землей в точке замыкания на землю другой или двух других фаз к разности потенциалов между фазой и землей в этой точке до замыкания.

Изолированной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.

Глухозаземленной нейтралью называется нейтраль трансформатора или генератора, присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление (например, через трансформатор тока).

Нейтраль (нейтральная точка) обмотки источника или потребителя энергии – есть точка, напряжения которой относительно всех внешних выводов обмотки одинаковы по абсолютному значению (рис. 3.6).

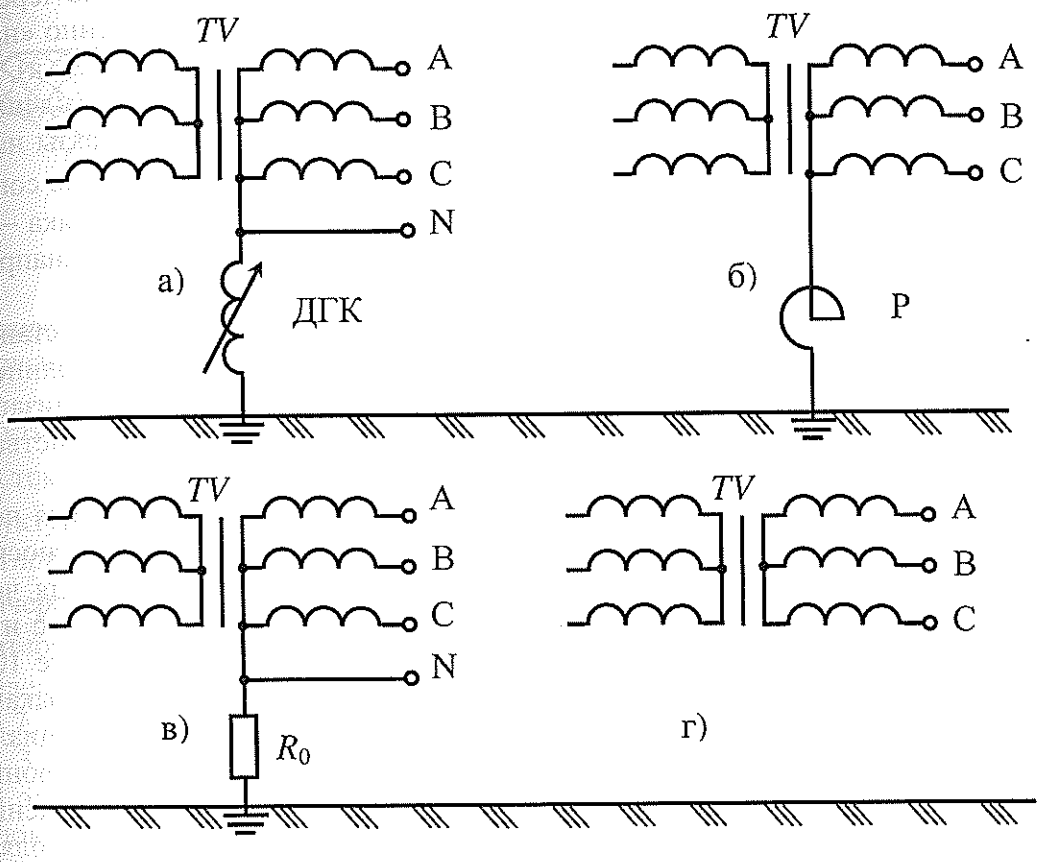


Рис. 3.5. Виды электрических сетей по обеспечению электробезопасности в зависимости от способа заземления нейтрали:
а – с эффективно заземленной нейтралью; б – с изолированной нейтралью; в – с глухозаземленной нейтралью до 1000 В; г – с изолированной нейтралью до 1000 В; ДГК – дугогасящая катушка; Р – дугогасящий реактор; R_0 – сопротивление заземляющего устройства нейтрали источника тока

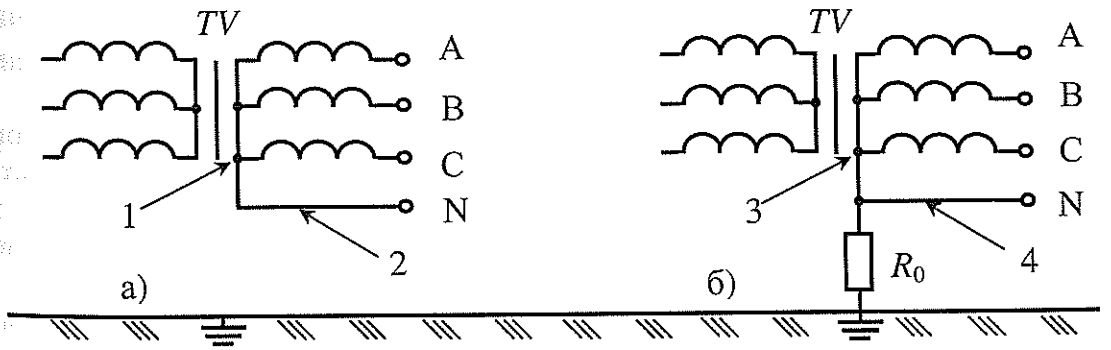


Рис. 3.6. Нейтрали обмоток источников тока:
а – сети изолированные от земли; б – сети с глухозаземленной нейтралью; 1 – нейтральная точка (нейтраль); 2 – нулевой (нейтральный) провод; 3 – нулевая точка; 4 – нулевой провод; R_0 – сопротивление заземляющего устройства нейтрали источника тока

Заземленная нейтральная точка носит название ***нулевой точки***. Проводник, присоединенный к нейтральной точке, называется ***нейтральным проводником***, а к нулевой точке – ***нулевым проводником***.

Схема сети, а, следовательно, и режим нейтрали источника тока, питающего сеть, выбираются по технологическим требованиям и по условиям безопасности.

По технологическим требованиям ПУЭ предписывают для трехфазных сетей напряжением 110 кВ и выше эффективное заземление нейтрали, то есть заземление через малое сопротивление (путем присоединения нейтрали к заземлителю непосредственно «наглухо» или через реакторы с небольшим индуктивным сопротивлением) (см. рис. 3.5, а), при котором в случае замыкания одной или двух фаз на землю напряжения неповрежденных фаз относительно земли в месте замыкания не превышают 1,4 U_{Φ}. Замыкание фазы на землю вызывает быстрое отключение поврежденного участка релейной защитой и не сопровождается возникновением перенапряжений. То есть заземление нейтрали источника – эффективная мера, предупреждающая возникновение опасных для изоляции перенапряжений при дуговых замыканиях на землю.

Для сетей напряжением выше 1000 В, но до 35 кВ включительно, ПУЭ устанавливают режим работы с изолированной нейтралью, то есть нейтралью, не присоединенной к заземляющему устройству или присоединенной к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты, заземляющие дугогасящие реакторы и подобные им устройства, обладающие большим сопротивлением (см. рис. 3.5, б).

По условиям безопасности в сетях напряжением выше 1000 В заземленная нейтраль также предпочтительнее, так как вследствие большой емкости проводов относительно земли защитная роль их изоляции практически полностью утрачивается и для человека становится одинаково опасно прикосновение к токоведущим частям сети, как с изолированной, так и с заземленной нейтралью. К тому же в сетях напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью при дуговых замыканиях на землю вокруг места замыкания могут возникать и длительно существовать высокие потенциалы и разность потенциалов, т.е. большие напряжения прикосновения и шага, опасные для людей. С другой стороны, в сетях с изолированной нейтралью при замыкании одной из фаз на землю напряжение двух других неповрежденных фаз увеличивается в 3 раза. Следовательно, фазная изоляция таких сетей должна рассчитываться на линейное напряжение, так как эти сети могут длительно работать при однофазном замыкании. Это значит, что данные сети должны иметь устройства контроля состояния изоляции, а релейная защита настраивается на сигнал, а не на отключение однофазных замыканий на землю.

Сети с глухо заземленной нейтралью до 1000 В (трехфазные четырехпроводные с глухозаземленной нейтралью) в нашей стране по технологическим требованиям получили предпочтение, поскольку они позволяют использовать два рабочих напряжения – фазное U_{Φ} и линейное $U_{Л}$ ($U_{Л} = \sqrt{3} U_{\Phi}$). При этом достигается значительное удешевление ЭУ в целом благодаря применению меньшего числа трансформаторов, меньшего сечения проводов и т.д. (см. рис. 3.5, в).

По условиям безопасности сети с глухозаземленной нейтралью следует применять там, где невозможно обеспечить хорошую изоляцию проводов, когда нельзя быстро отыскать и устранить повреждение изоляции. Возникающие при этом токи короткого замыкания способствуют быстрому отключению поврежденного участка или поврежденной ЭУ с помощью релейной защиты или такой защитной меры, как зануление.

Сети с изолированной нейтралью до 1000 В (трехфазные трехпроводные с изолированной нейтралью) (см. рис. 3.5, г) по условиям безопасности целесообразно применять на объектах с повышенной опасностью поражения человека электрическим током в тех случаях, когда имеется возможность поддерживать высокий уровень сопротивления изоляции проводов сети относительно земли и когда емкость проводов относительно земли незначительна. Такими являются сети до 1000 В небольшой протяженности, не подверженные воздействию агрессивной среды и находящиеся под постоянным надзором электротехни-

ческого персонала. При выборе схемы сети по условиям безопасности было показано, что опасность поражения человека током во многом зависит от сопротивления изоляции проводов относительно земли. Это сопротивление Z является комплексным, имеющим активную $R_{из}$ и емкостную X_C составляющие (рис. 3.7).

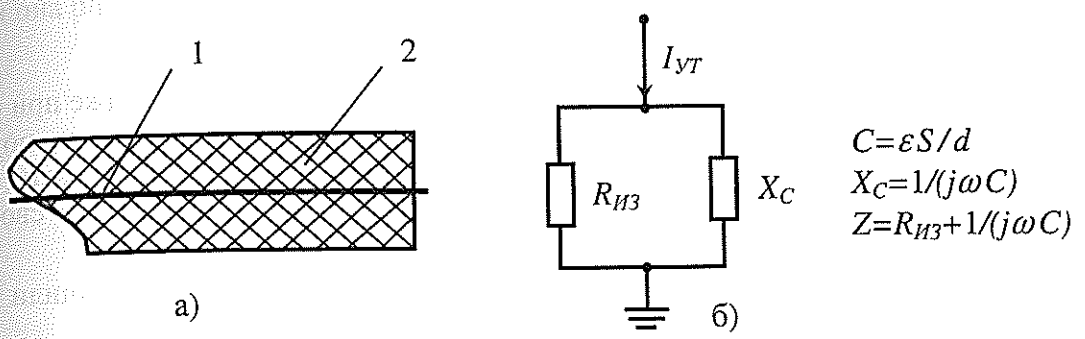


Рис. 3.7. Структура изоляции и схема ее замещения:
а – изолированный проводник; б – электрическая схема замещения; 1 – проводник; 2 – изоляция; S – площадь проводника; d – расстояние между проводниками

Активное сопротивление $R_{из}$ зависит от наличия в изоляции так называемых «путей утечки тока» $I_{ут}$, которые возникают в результате того, что изоляция стареет и портится, в ее структуре появляются проводящие частицы, ухудшаются диэлектрические свойства. Емкостное сопротивление X_C зависит от емкости провода относительно земли, которая в свою очередь, определяется геометрическими размерами S, d и диэлектрической постоянной материала изоляции ε, ее состоянием. Активное и емкостное сопротивления изоляции распределены вдоль провода. Условно на схемах их обозначают сосредоточенными (рис. 3.7, б). Поэтому в общем виде схема сети может быть представлена так, как показано на рис. 3.8.

В электрических сетях небольшой протяженности напряжением до 1000 В емкость проводов относительно земли мала $C \to 0$. В этом случае сопротивление изоляции характеризуется только активной составляющей $Z = R_{из}$.

В кабельных линиях и в воздушных ЛЭП напряжением выше 1000 В емкость проводов относительно земли значительна. Например, емкость одной фазы кабеля напряжением 1000 В по отношению к свинцовой оболочке (земле) составляет от 0,15 до 0,4 мкФ на 1 км длины кабеля) (табл. 3.1.1):

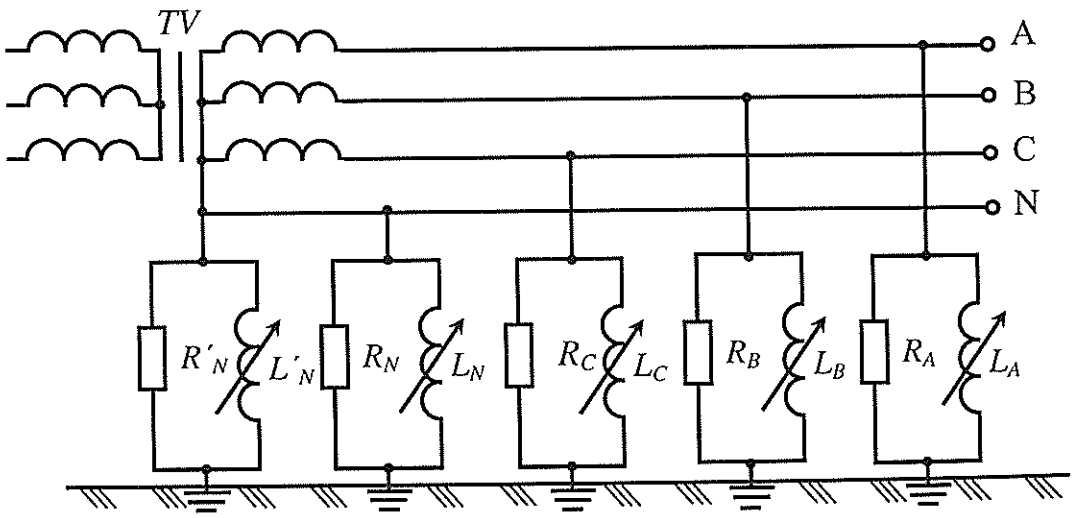


Рис. 3.8. Общий вид схемы замещения сети

Таблица 3.1.1

Зависимость емкости кабеля от сечения провода

Сечение провода, мм^2	10	25	50	95	150	240
Емкость, мкФ/км	0,15	0,19	0,28	0,33	0,37	0,45

Чем больше емкость, тем меньше емкостное сопротивление. При этом даже при очень больших значениях активной составляющей сопротивления изоляции, опасность поражения будет определяться величиной емкостной составляющей. Следовательно, в таких сетях сопротивление изоляции проводов относительно земли практически утрачивает свою защитную роль, $Z = X_C$.

Рассмотрим более подробно, почему сети с заземленной нейтралью получили большее распространение по сравнению с другими видами сетей.

При выборе режима нейтрали электрической сети учитывают:

– электробезопасность и возможные защитные меры;

– надежность электроснабжения, имея в виду возможность продолжения работы электроустановки при аварийном замыкании на землю;

– экономический фактор, определяемый в значительной мере расходами на изоляцию электрооборудования.

Стремление снизить опасность замыкания на землю, стабилизировать и уменьшить в этом аварийном режиме напряжение фазных проводов относительно земли привели в ряде стран и частично в России, к решению заземлять нулевую точку источника тока.

Основанием к этому послужили следующие рассуждения.

1. При рабочем режиме сети $Z_A = Z_B = Z_C$ напряжение фазных проводов относительно земли при заземленной нейтрали, так же как и при изолированной равно фазному напряжению. Данное утверждение вытекает из закона Кирхгофа. В этом случае:

$$\underline{U}_A = \underline{I}_A Z_A;$$
$$\underline{U}_B = \underline{I}_B Z_B;$$
$$\underline{U}_C = \underline{I}_C Z_C,$$

где $\underline{U}_A = \underline{U}_B = \underline{U}_C$ – векторы напряжений фазных проводов относительно земли;

$\underline{I}_A = \underline{I}_B = \underline{I}_C$ – векторы фазных токов утечки;

$Z_A = Z_B = Z_C$ – полные комплексные сопротивления фаз относительно земли.

Если в сети произошло короткое замыкание на землю фазы **С** (рис. 3.9, а), а человек прикоснулся к фазе **В** (так как R_0, как правило, очень мало, то можно принять $R_0 = 0$), тогда из эквивалентной схемы (рис. 3.9, б) видно, что $\underline{U}_0 = \underline{I}_3 R_0 = 0$ и, следовательно, напряжение относительно земли в точке замыкания на землю $\underline{U}_{3M} = \underline{U}_C - \underline{U}_0 = \underline{U}_C$, а напряжение, приложенное к телу человека, $\underline{U}_Ч = \underline{U}_B - \underline{U}_0 = \underline{U}_B$,

Таким образом, в сетях с заземленной нейтралью человек, прикоснувшийся к исправной фазе, оказывается под фазным напряжением $U_Ф$, а не под линейным $U_Л$. В сетях с изолированной нейтралью человек оказался бы под линейным напряжением $U_Л = \sqrt{3}\,U_Ф$.

2. Другой причиной распространения сетей с заземленной нейтралью является то, что замыкание на землю переходит в однофазное короткое замыкание и поврежденный участок отключается коммутационными аппаратами. Таким образом, аварийный режим работы сети при замыкании одной из фаз на землю, столь опасный своей длительностью при изолированной нейтрали, в случае с заземленной нейтралью имеет место лишь в течение короткого периода времени, необходимого для срабатывания защиты.

3. Важным преимуществом сетей с глухозаземленной нейтралью, послужившим причиной их распространения, является то, что в них напряжение фаз по отношению к земле не превышает фазного напряжения. И изоляция цепей обмоток машин и ТВЧ электрооборудования рассчитывается лишь на фазное напряжение, тогда как при изолированной нейтрали она рассчитывается на линейное напряжение.

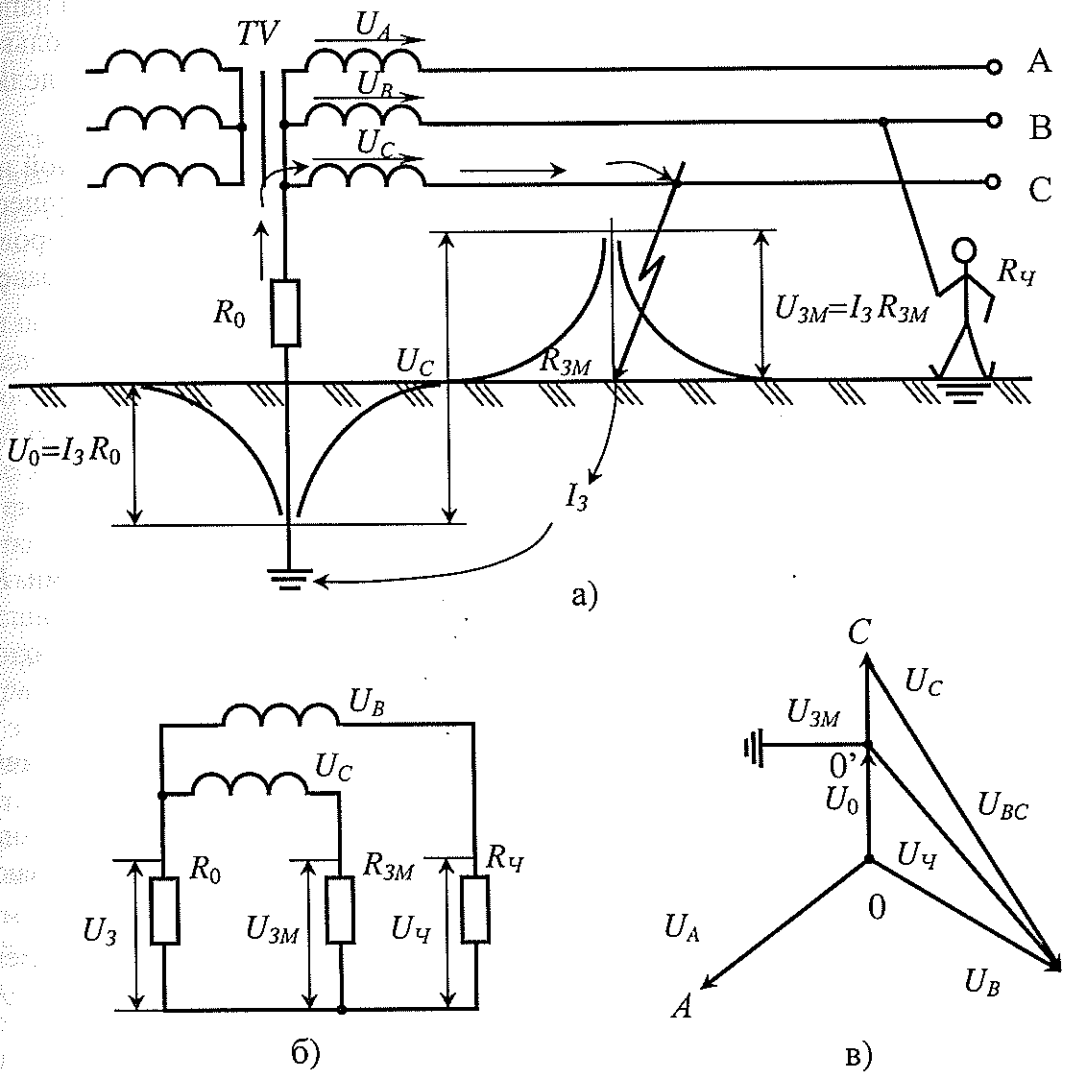


Рис. 3.9. Замыкание на землю в сети с заземленной нейтралью:
а – схема сети с заземленной нейтралью; б – эквивалентная схема замещения; в – векторная диаграмма

Приведенные выше доводы в пользу заземления нейтрали реализуются не во всех случаях. Прежде всего, принятое выше условие, что сопротивление рабочего заземления $R_0 = 0$, не выполнимо.

На практике напряжение замкнувшейся на землю фазы С распределяется пропорционально величинам сопротивлений R_0 и $R_{ЗМ}$. При этом напряжение относительно земли в точке замыкания на землю $U_З = I_{ЗМ} R_{ЗМ}$, а в нулевой точке трансформатора $U_0 = I_З R_0$. Из векторной диаграммы (рис. 3.9, в) следует, что в действительности напряжение, приложенное к телу человека, несколько больше фазного и равно $\underline{U}_Ч = \underline{U}_B - \underline{U}_0$ или $\underline{U}_Ч = \underline{U}_{BC} - \underline{U}_{ЗМ}$.

Его абсолютное значение определяется из треугольника **OO'B**, откуда

$$U_ч = \sqrt{U_0^2 + U_B^2 - 2U_0U_B\cos 120^\circ},$$

или, поскольку $\cos 120^\circ = -0{,}5$,

$$U_ч = \sqrt{U_0^2 + U_B^2 + U_0U_B}.$$

Таким образом, в сети с заземленной нейтралью при замыкании на землю напряжение фазных проводов относительно земли не равно фазному напряжению, а несколько выше. Тогда приложенное к человеку напряжение $U_ч$ будет больше $U_ф$ и будет определяться соотношением сопротивлений R_0 и $R_{зм}$.

Однако, недостатков и отрицательных сторон при применении заземленной нейтрали в электрических сетях не меньше. Наиболее важный из них, оказавший существенное влияние на выбор режима нейтрали – опасность прикосновения к фазному проводу при нормальном режиме работы сети. В этом случае ток через тело человека будет равен

$$I_ч = \frac{U}{R_ч + R_П + R_0},$$

где U – напряжение, приложенное к человеку;

$R_ч$ – сопротивление тела человека;

$R_П$ – сопротивление пола по площади ног человека;

R_0 – сопротивление заземления нейтрали.

Если человек стоит на токопроводящем полу, то, пренебрегая величинами $R_П$ и R_0, малыми по сравнению с $R_ч$, имеем

$$I_ч = \frac{U}{R_ч}.$$

Следовательно, при прикосновении к одной из фаз человек попадает практически под полное фазное напряжение, и величина тока будет смертельной для человека.

И если в сетях с изолированной нейтралью сопротивления изоляции ограничивают величину этого тока, то в заземленных сетях они никакого влияния не оказывают. Даже при идеальном состоянии изоляции, когда $R_A = R_B = R_C \to \infty$, ток при однофазном прикосновении все же будет обусловлен величиной фазного напряжения и сопротивления тела человека. Предположим, что человек оказался под напряжением, меньшим $U_ф$. Если $U = 120$ В и $R_ч = 1$ кОм, то

$$I_ч = \frac{U}{R_ч} = 0{,}12 \text{ А} = 120 \text{ мА},$$

т.е. ток, опасный для жизни человека.

3.2. Системы заземления электрических сетей

В последние годы в России введен комплекс государственных стандартов на электроустановки зданий ГОСТ Р50571, он разработан на основе международных стандартов МЭК-364 «Электрические установки зданий».

В основном комплекс стандартов был ориентирован на электрические сети напряжением до 1000 В переменного тока и 1500 В постоянного тока, однако введенный в действие 1 раздел (гл. 1.7) ПУЭ седьмого издания распространил приведенные в ГОСТ Р 50571.2–94 системы заземления на все ЭУ напряжением до 750 кВ включительно.

Системы электроснабжения классифицируются Международной электротехнической комиссией (МЭК) в зависимости от способа заземления распределительной сети и приме-

ненных мер защиты от поражения электрическим током. Распределительные сети подразделяются на сети с заземленной нейтралью и сети с изолированной нейтралью.

Стандарт МЭК-364 подразделяет распределительные сети в зависимости от конфигурации токоведущих проводников, включая нулевой рабочий (нейтральный) проводник, и типов систем заземления. При этом используются следующие обозначения.

Первая буква характеризует связь с землей токоведущих проводников:

– I – ***isolate*** (изолированный) показывает, что токоведущие проводники изолированы от земли;

– T – ***terra*** (земля) показывает, что токоведущие проводники хотя бы одной точкой связаны с землей (заземленные сети).

Вторая буква характеризует связь с землей открытых проводящих частей (ОПЧ) и сторонних проводящих частей (СПЧ):

– T – показывает, что ОПЧ и СПЧ связаны с землей (заземлены);

– N – ***neutral*** (нейтральный) показывает, что ОПЧ и СПЧ связаны с заземленной точкой сети посредством нулевого рабочего (N) или нулевого защитного (PE) проводника, при этом предполагается, что возможно совмещение в одном проводнике нулевого рабочего и нулевого защитного проводников (PEN).

Под ***сторонними проводящими частями*** (СПЧ) понимаются проводящие части, которые не являются частью ЭУ, но на них может появиться электрический потенциал при определенных условиях.

Открытые проводящие части (ОПЧ) – это НТВЧ ЭУ, доступные прикосновению, которые могут оказаться под напряжением при нарушении изоляции токоведущих частей.

Расшифруем более подробно изложенные выше обозначения систем заземления электрических сетей.

Первая буква (I или T). Первая буква I означает, что все токоведущие части изолированы от земли, или – что одна точка сети связана с землей через сопротивление или – через разрядник или – воздушный промежуток.

Сети с изолированной нейтралью (I) могут быть:

– весьма малыми сетями, такими как сети безопасного сверхнизкого напряжения (БСНН или SELV) с электрическим отделением с помощью разделительных трансформаторов;

– средними по размеру – такими, которые используются для питания отдельных цехов;

– распределительные сети для питания целых районов города, такие как трехфазные сети напряжением 230 В (система IT). В прошлые годы в Европе обычно использовалась система IT, но затем почти всюду она была заменена на системы с заземленной нейтралью.

Имеется несколько причин для такой замены. Одной из таких причин является защита от перенапряжений. Только в Норвегии система IT все еще широко используется. Система с изолированной нейтралью постепенно заменяется трехфазной системой 230/400 В с заземленной нейтралью. Везде в мире использование системы IT ограничивается специальным применением в тех производствах, где перерыв электроснабжения может быть опасен. Например, для питания взрывоопасных производств.

Первая буква T указывает на прямую связь, по меньшей мере, одной точки сети, с землей (***terra***). Например, питаемая от вторичной обмотки трансформатора, соединенной в звезду, трехфазная распределительная сеть с нулевым проводником, напряжением 127/220 В или 220/380 В с нейтралью, соединенной с землей через заземляющее устройство. Специальные требования, предъявляемые к заземляющим устройствам в зависимости от типа сетей, будут рассмотрены в последующих главах.

Вторая буква (T, I или N). Вторая буква означает тип соединения между ОПЧ, защитным заземляющим проводником (заземление оборудования) электроустановки и землей. Вторая буква T означает прямое соединение между ОПЧ и СПЧ и землей (***terra***), независимое от системного заземления, которое может содержать или не содержать токоведу-

щие части системы. Вторая буква I означает отсутствие соединения с землей и с сетевым заземлением. Вторая буква N означает прямое соединение ОПЧ и СПЧ с заземленной точкой (точками) сети посредством PEN- или PE-проводника. Сетевое заземление, когда какая-либо точка электрической сети связана с землей и меры защиты от поражения электрическим током (защитное заземление) необходимо рассматривать независимо друг от друга. Однако в табл. 3.2.1 они показаны совместно для лучшего понимания.

Таблица 3.2.1

Системы заземления электрических сетей и связь рабочего и защитного заземления

Обозначение системы заземления	Сетевое заземление	Защитное заземление проводящих частей (корпусов ЭУ)
IT	Непосредственное соединение с землей отсутствует. Допускается соединение с землей через сопротивление, воздушный промежуток, разрядник и т.д.	Непосредственное соединение с землей, независимое от сетевого заземления
TT	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети за пределами сети потребителя	Непосредственное соединение с землей, независимое от сетевого заземления
TN	Соединение с землей в одной или нескольких точках распределительной сети и в одной или более точках в сети потребителя	Соединение с «сетевой землей» с помощью PE- или PEN-проводника

Токоведущие части сети соединяются с землей для ограничения напряжения, которое может появиться на них в результате прямого удара молнии (п.у.м.) или вторичных проявлений молнии (индуцированные волны перенапряжений), или в результате непреднамеренного контакта с линиями более высокого напряжения, или в результате пробоя изоляции токоведущих частей распределительной сети.

Причины, по которым не соединяют токоведущие части распределительной сети с землей, суть следующие: во избежание перерыва питания потребителя при единственном повреждении (пробой изоляции на землю токоведущих частей распределительной сети); во избежание искрообразования во взрыве и пожароопасных зонах при единственном повреждении изоляции токоведущих частей сети.

Заземление электрооборудования, а точнее – заземление открытых проводящих частей (ОПЧ), является одной из многочисленных мер, которые могут быть использованы для защиты от поражения электрическим током. Заземление ОПЧ предполагает создание эквипотенциальной среды, что снижает вероятность появления напряжения на теле человек. В системе TN заземление (зануление) ОПЧ обеспечивает создание для тока замыкания цепи с низким сопротивлением. Это облегчает работу устройств защиты от сверхтока.

Обозначения TN, TT и IT относятся только к конфигурации распределительных сетей. Эти обозначения имеют ограниченное отношение к различным методам, которые могут быть использованы для обеспечения защиты от поражения электрическим током, включая заземление ОПЧ. Хотя каждая система обеспечивается посредством соединения ОПЧ с землей, эффективный метод, используемый в установке для защиты от поражения электрическим током, может включать другие меры защиты, например, двойную изоляцию. Конфигурация распределительной сети и меры, используемые для защиты от поражения электрическим током, являются, каждое, предметом самостоятельного рассмотрения.

На рис. 3.10–3.14 представлены схемы трехфазных сетей различных систем заземления. Принятые на рисунках обозначения:

– T (***terra*** – земля) – непосредственное присоединение одной точки токоведущих частей источника питания к земле;

– I (***isolate*** – изолированный) – все токоведущие части изолированы от земли, или одна точка заземлена через большое сопротивление.

Вторая буква – характер заземления открытых проводящих частей (ОПЧ) электроустановки:

– T – непосредственная связь ОПЧ с землей, независимо от характера связи источника питания с землей;

– N (***neutral*** – нейтральный) – непосредственная связь ОПЧ с точкой заземления источника питания (в системах переменного тока обычно с заземленной нейтралью).

Последующие буквы (если таковые имеются) – устройство нулевого рабочего и нулевого защитного проводника.

– S (***selective*** – разделенный) – функция нулевого защитного и нулевого рабочего проводника обеспечивается раздельными проводниками.

– C (***complete*** – общий) – функции нулевого защитного и нулевого рабочего проводников объединены в одном проводнике (PEN-проводник).

Система заземления TN

Питающие сети системы TN имеют непосредственно присоединенную к земле точку. Открытые проводящие части электроустановки присоединяются к этой точке посредством нулевых защитных проводников.

В зависимости от устройства нулевого рабочего и нулевого защитного проводников различают следующие типы систем заземления электрических сетей.

Система TN-C-S – функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников объединены в одном проводнике в части сети (рис. 3.10).

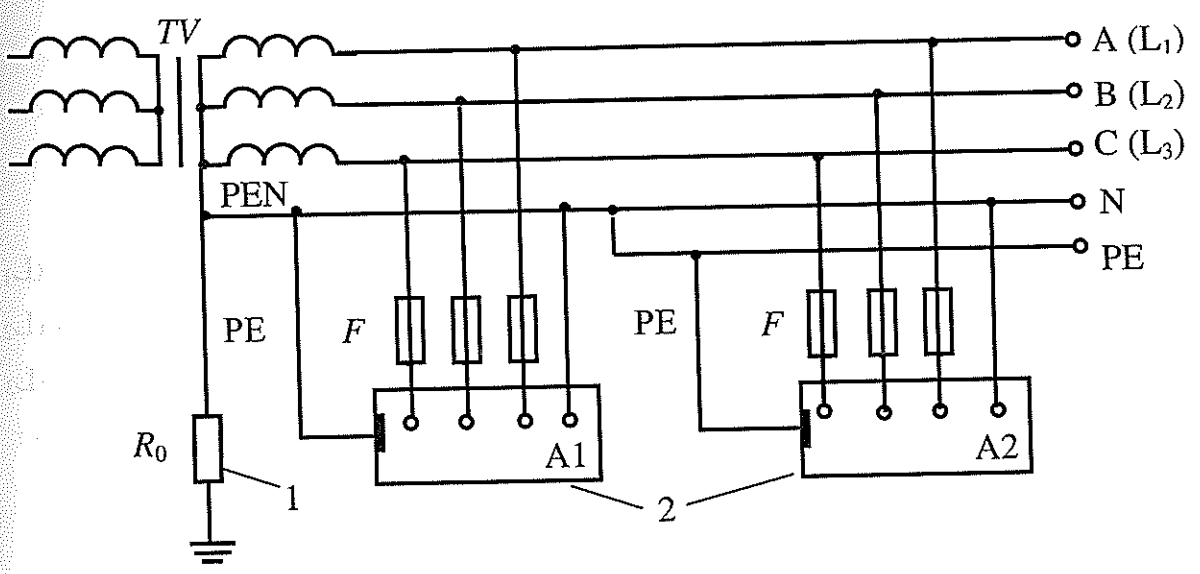


Рис. 3.10. Электрическая сеть с системой заземления TN-C-S (в начале сети нулевой рабочий и нулевой защитный проводники объединены): 1 – рабочее заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части (корпуса ЭУ); A1, A2 – электроустановки

Система TN-C – функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников объединены в одном проводнике по всей длине (рис. 3.11).

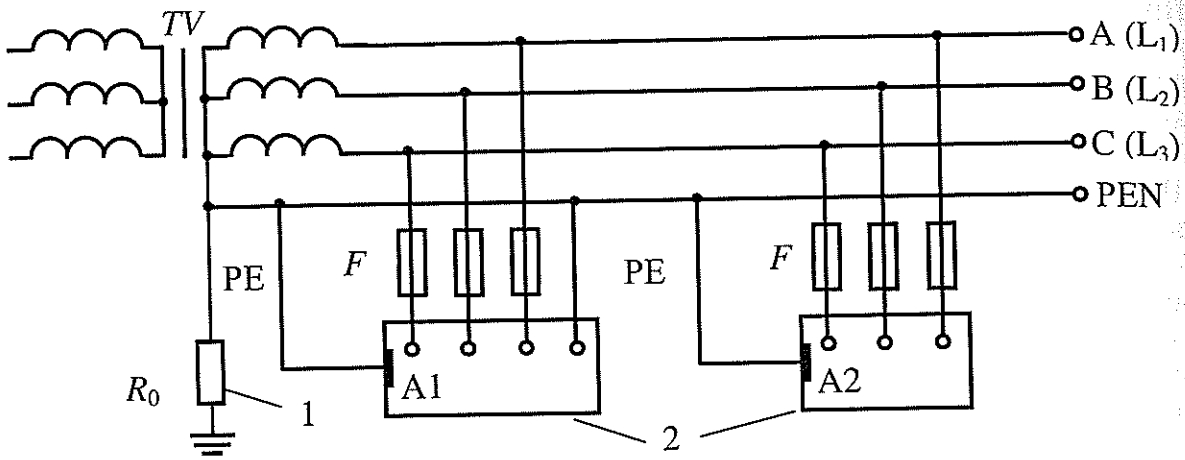


Рис. 3.11. Электрическая сеть с системой заземления TN-C (нулевой защитный и нулевой рабочий проводники объединены по всей длине сети): 1 – рабочее заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части (корпуса ЭУ); А1, А2 – электроустановки

Система TN-S – нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно по всей длине сети (рис. 3.12).

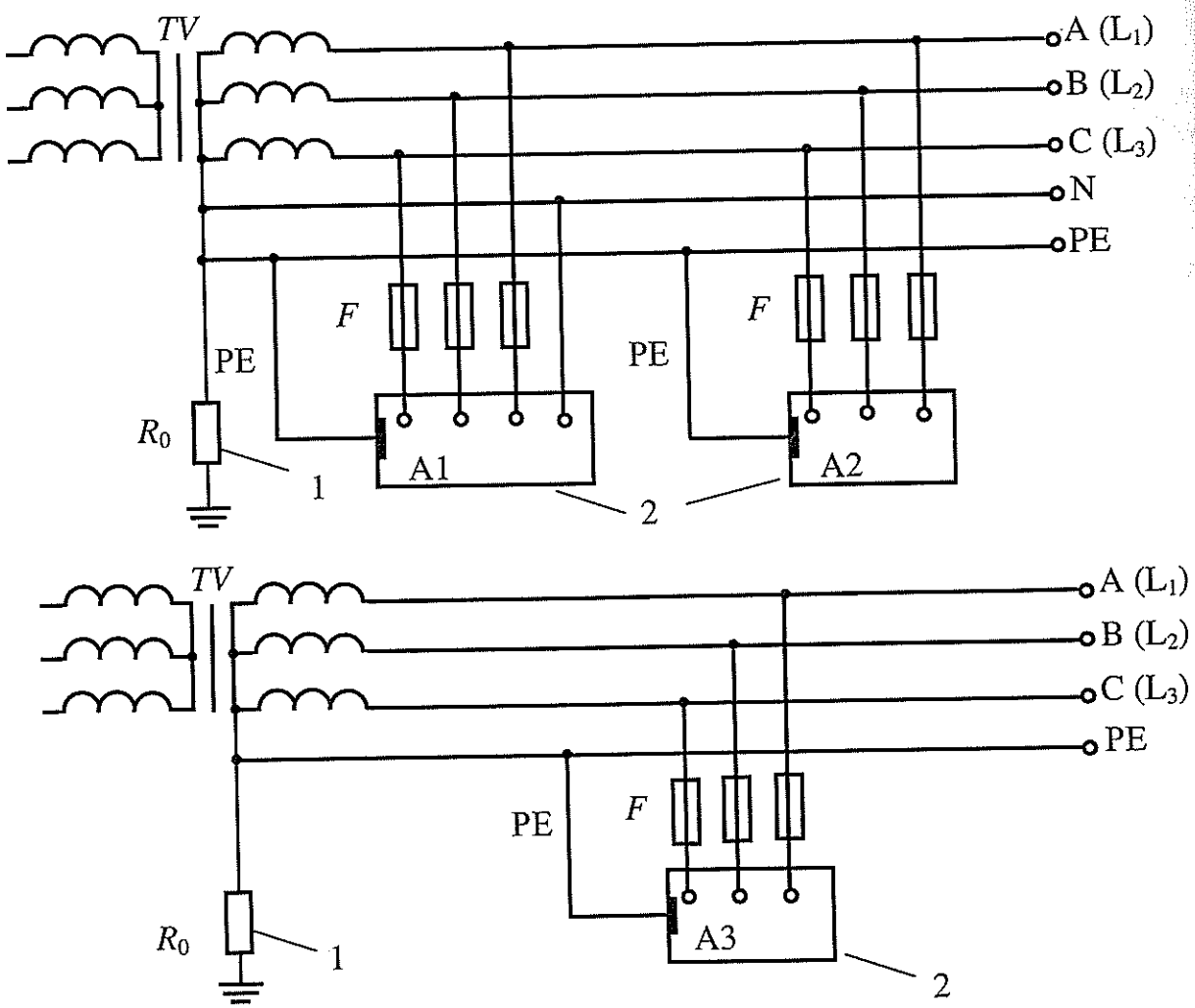


Рис. 3.12. Электрическая сеть с системой заземления TN-S (нулевой рабочий и нулевой защитный проводники работают раздельно): 1 – рабочее заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части (корпуса ЭУ); А1, А2, А3 – электроустановки

Система заземления TT

Электрическая сеть системы TT имеет точку, непосредственно связанную с землей, а открытые проводящие части (корпуса ЭУ) заземлены посредством R_3, электрически не связанному с рабочим заземлением нейтрали R_0 (рис. 3.13).

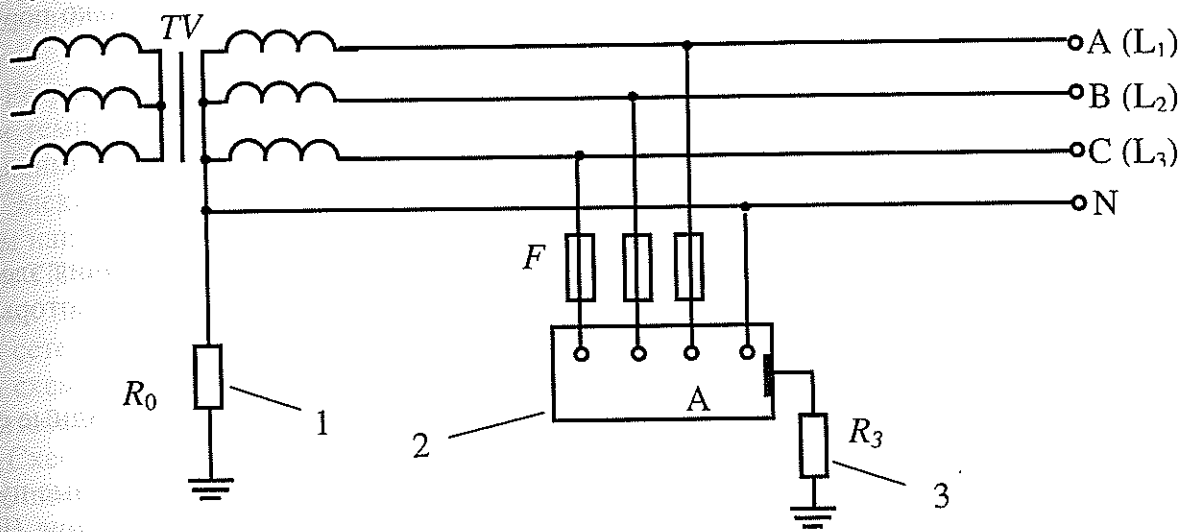


Рис. 3.13. Электрическая сеть с системой заземления TT: 1 – рабочее заземление источника питания; 2 – открытые проводящие части (корпуса ЭУ); 3 – заземление корпуса ЭУ (защитное заземление); А – электроустановка

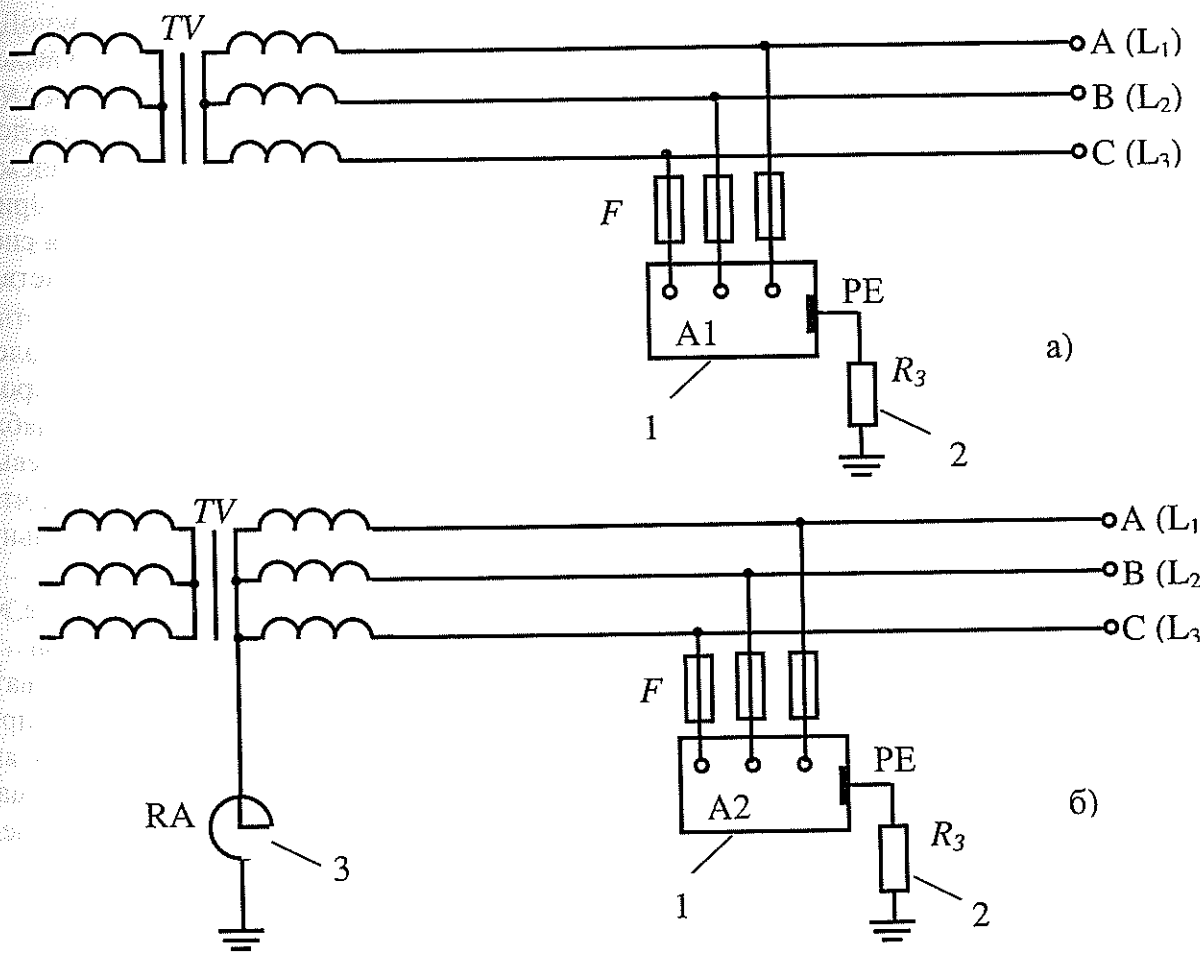


Рис. 3.14. Электрическая сеть с системой заземления IT: 1 – открытые проводящие части (корпуса ЭУ); 2 – заземление корпусов ЭУ (защитное заземление); 3 – заземляющий реактор RA, изолирующий токоведущие проводники сети от земли; А1, А2 – электроустановки

Система заземления IT

Электрическая сеть системы IT не имеет непосредственной связи токоведущих частей с землей, а открытые проводящие части ЭУ заземлены. Первая буква I означает, что токоведущие проводники (части) сети изолированы от земли – отделены воздушным промежутком (рис. 3.14, а) или устройством с большим сопротивлением, на несколько порядков большим, чем R_0 (рис. 3.14, б).

3.3. Проектирование городских электрических сетей

В настоящем параграфе будут рассмотрены общие вопросы проектирования электрических сетей городов (районов и микрорайонов) и посёлков городского типа, которые согласно СНиП 2.07.01–86 относятся к категории малых городов.

К городским электрическим сетям относятся:

– электроснабжающие сети напряжением 35 кВ и выше, включая кольцевидные сети с понижающими подстанциями, линиями и подстанциями глубоких вводов;

– распределительные сети напряжением 6–20 кВ, включая распределительные пункты (РП), трансформаторные подстанции (ТП), линии, соединяющие центры питания (ЦП) с РП и ТП, линии, соединяющие ТП между собой, питающие линии промышленных предприятий, находящихся на территории города;

– распределительные сети напряжением до 1 кВ, кроме сетей промышленных предприятий этого класса напряжения.

Городские электрические сети должны выполняться комплексно, с увязкой между собой электроснабжающих сетей 35 кВ и выше и распределительных сетей 6–20 кВ, с учетом всех потребителей города и прилегающих к нему районов. Электрические сети должны выполняться с учетом обеспечения наибольшей экономичности, требуемой надежности электроснабжения, соблюдения установленных норм качества электроэнергии. При этом рекомендуется предусматривать совместное использование отдельных элементов системы электроснабжения для питания различных потребителей независимо от их ведомственной принадлежности.

В данном справочном пособии будут рассмотрены вопросы проектирования электрических сетей на напряжения 6–20 кВ и до 1 кВ, как наиболее распространённые. Проектом должна предусматриваться возможность поэтапного развития системы электроснабжения по мере роста нагрузок в перспективе без коренного переустройства электросетевых сооружений на каждом этапе. Система электроснабжения должна выполняться так, чтобы в нормальном режиме все элементы системы находились под нагрузкой с максимально возможным использованием их нагрузочной способности.

Применение резервных элементов, не несущих нагрузки в нормальном режиме, может быть допущено как исключение при наличии технико-экономических обоснований.

При реконструкции действующих сетей необходимо максимально использовать существующие электросетевые сооружения. Решение об их ликвидации может быть принято только при соответствующем технико-экономическом обосновании. ЭУ должны выполняться, как правило, с применением типовых проектов или решений с учетом максимального применения комплектного электротехнического оборудования заводского изготовления.

Состав проектной документации и её объем

Как правило, основные решения по электроснабжению потребителей города (района) разрабатываются в концепции развития и реконструкции города, генеральном плане, про-

екте детальной планировки и схеме развития электрических сетей города (района). В составе концепции развития города рассматриваются основные вопросы перспективного развития системы электроснабжения на расчетный срок с выделением первой очереди, выполняются расчет электрических нагрузок и их баланс, распределение нагрузок по ЦП, закрепление площадок для новых электростанций и подстанций, трасс воздушных и кабельных линий электропередачи 35 кВ и выше, размещение баз предприятий электрических сетей.

Результаты расчета электрических нагрузок должны сопоставляться со среднегодовыми темпами роста нагрузок характерных районов города, полученными из анализа их изменения за последние 5–10 лет и, при необходимости, корректироваться.

Электрические сети 10(6) кВ разрабатываются в проекте детальной планировки с расчетом нагрузок всех потребителей и их районированием, определением количества и мощности ТП и РП на основании технических условий энергоснабжающих организаций, выдаваемых на основании утвержденной в установленном порядке схемы развития электрических сетей города (района). В объем графического материала по этим сетям должны, входить схемы электрических соединений и конфигурация сетей 10(6) кВ на плане района в масштабе 1:2000 с указанием основных параметров системы электроснабжения.

Схемы развития городских электрических сетей 10(6) кВ разрабатываются на основе концепции развития города в увязке со схемой развития электрических сетей энергосистемы на расчетный срок до 10 лет, соответствующий, как правило, генеральному плану города.

Указанные схемы сетей в первую очередь должны разрабатываться для крупных и крупнейших городов и городских агломераций.

Допускается разработка схемы и схемы развития электрических сетей 10(6) кВ в виде двух самостоятельных взаимоувязанных работ.

В схеме развития городских электрических сетей должны рассматриваться:

– существующие системы электроснабжения;

– электрические нагрузки на перспективу с районированием их по ЦП и источники их питания;

– схемы электроснабжающих сетей районов города с определением количества, мощности, напряжения и мест расположения ЦП с учетом категории электроприемников потребителей;

– схемы распределительных сетей 10(6) кВ и их параметры, а, в необходимых случаях, также сетей 0,4 кВ с учетом категорий электроприемников потребителей;

– режим нейтрали сетей выше 1 до 35 кВ и компенсация токов замыкания на землю;

– токи короткого замыкания;

– потребность в основном оборудовании и материалах;

– стоимость строительства и реконструкции сетей по укрупненным показателям;

– технико-экономические показатели сетей.

Схемы развития сетей должны содержать рекомендации по вопросам:

– регулирования напряжения;

– учета электрической энергии;

– компенсации реактивной мощности;

– релейной защиты и автоматики сетей;

– защиты от перенапряжений и заземления в сетях;

– диспетчеризации и телемеханизации сетей;

– организации эксплуатации сетей;

– организации строительства.

Для крупных и крупнейших городов объем проектных проработок электрических сетей 10(6) кВ по договоренности с заказчиком допускается ограничивать питающими сетями всех потребителей города. При этом сети 10(6) кВ должны быть рассмотрены в части

обеспечения питания особо важных элементов городского хозяйства в экстремальных условиях.

Рабочие проекты расширения и реконструкции отдельных элементов электрических сетей на конкретный срок строительства объекта должны разрабатываться на основе схем развития городских электрических сетей. Проекты разрабатываются согласно ГОСТ 21.101–97 «Основные требования к проектной и рабочей документации».

Сети внешнего электроснабжения коммунальных, промышленных и прочих потребителей, расположенных в селитебной зоне городов, должны разрабатываться в составе проектов строительства или реконструкции указанных потребителей по техническим условиям энергоснабжающей организации, выдаваемым согласно утвержденной в установленном порядке схеме развития городских электрических сетей.

Расчетные электрические нагрузки жилых и общественных зданий

Расчетную нагрузку групповых сетей освещения общедомовых помещений жилых зданий (лестничных клеток, вестибюлей, технических этажей и подполий, подвалов, чердаков, колясочных), а также жилых помещений общежитий следует определять по светотехническому расчету с коэффициентом спроса, равным 1.

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ–0,4 кВ ТП от электроприемников квартир ($P_{КВ}$) определяется по формуле, кВт:

$$P_{КВ} = P_{КВ.УД}\, n,$$

где $P_{КВ.УД}$ – удельная нагрузка электроприемников квартир, принимаемая по табл. 3.3.1 в зависимости от числа квартир, присоединенных к линии (ТП), типа кухонных плит, кВт/квартиру (удельные электрические нагрузки установлены с учетом того, что расчетная неравномерность нагрузки при распределении ее по фазам трехфазных линий и вводов не превышает 15 %);

n – количество квартир, присоединенных к линии (ТП).

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ–0,4 кВ ТП от электроприемников квартир повышенной комфортности определяется по формуле, кВт,

$$P_{Р.КВ} = P_{КВ}\, n\, K_О,$$

где $P_{КВ}$ – нагрузка электроприемников квартир повышенной комфортности;

n – количество квартир;

$K_О$ – коэффициент одновременности для квартир повышенной комфортности.

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ–0,4 кВ ТП от общего освещения общежитий коридорного типа определяется с учетом коэффициента спроса $K_С$, принимаемого в зависимости от установленной мощности светильников $P_У$, приведенной ниже:

до 5 кВт	– 1;
свыше 5 до 10 кВт	– 0,9;
свыше 10 до 15 кВт	– 0,85
свыше 15 до 25 кВт	– 0,8;
свыше 25 до 50 кВт	– 0,7;
свыше 50 до 100 кВт	– 0,65;
свыше 100 до 200 кВт	– 0,6;
свыше 200 кВт	– 0,55.

Расчетная нагрузка $P_{Р.Р}$, кВт, групповых и питающих линий от электроприемников, подключаемых к розеткам в общежитиях коридорного типа, определяется по формуле:

$$P_{Р.Р} = P_{УД}\, n_Р\, K_{О.Р},$$

где $P_{УД}$ – удельная мощность на 1 розетку, при число розеток до 100 принимаемая 0,1, свыше 100 – 0,06 кВт;

$n_Р$ – число розеток;

$K_{O.P}$ – коэффициент одновременности для сети розеток, определяемый в зависимости от числа розеток:

до 10 розеток	– 1;	свыше 10 до 20 розеток	– 0,9;
свыше 20 до 50 розеток	– 0,8;	свыше 50 до 100 розеток	– 0,7;
свыше 100 до 200 розеток	– 0,6;	свыше 200 до 400 розеток	– 0,5;
свыше 400 до 600 розеток	– 0,4;	свыше 650 розеток	– 0,35.

Таблица 3.3.1

Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий, кВт/квартиру

№ п/п	Потребители электроэнергии	Удельная расчетная электрическая нагрузка при количестве квартир												
		1–5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
1	Квартиры с плитами: на природном газе[1]	4,5	2,8	2,3	2,0	1,8	1,65	1,4	1,2	1,05	0,85	0,77	0,71	0,69	0,67
	На сжиженном газе (в том числе при групповых установках) и на твердом топливе	6,0	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,4	1,3	1,08	1,0	0,92	0,84	0,76
	Электрическими, мощностью до 8 кВт	10	5,1	3,8	3,2	2,8	2,6	2,2	1,95	1,7	1,5	1,36	1,27	1,23	1,19
2	Домики на участках садоводческих товариществ	4,0	2,3	1,7	1,4	1,2	1,1	0,9	0,76	0,69	0,61	0,58	0,54	0,51	0,46

[1] В зданиях по типовым проектам.

Примечания: 1. Удельные расчетные нагрузки для числа квартир, неуказанного в таблице, определяются путем интерполяции.

2. Удельные расчетные нагрузки квартир учитывают нагрузку освещения общедомовых помещений (лестничных клеток, подполий, технических этажей, чердаков и т.д.), а также нагрузку слаботочных устройств и мелкого силового оборудования (щитки противопожарных устройств, автоматики, учета тепла и т.п., зачистные устройства мусоропроводов, подъемники для инвалидов).

3. Удельные расчетные нагрузки приведены для квартир средней общей площадью 70 м^2 (квартиры от 35 до 90 м^2) в зданиях по типовым проектам.

4. Расчетную нагрузку для квартир с повышенной комфортностью следует определять в соответствии с заданием на проектирование или в соответствии с заявленной мощностью и коэффициентами спроса и одновременности (табл. 3.3.2 и 3.3.3).

5. Удельные расчетные нагрузки не учитывают покомнатное расселение семей в квартире.

6. Удельные расчетные нагрузки не учитывают общедомовую силовую нагрузку, осветительную и силовую нагрузку встроенных (пристроенных) помещений общественного назначения, нагрузку рекламы, а также применение в квартирах электрического отопления, электроводонагревателей и бытовых кондиционеров (кроме элитных квартир).

7. Для определения при необходимости значения утреннего или дневного максимума нагрузок следует применять коэффициенты: 0,7 – для жилых домов с электрическими плитами и 0,5 – для жилых домов с плитами на газообразном и твердом топливе.

8. Электрическую нагрузку жилых зданий в период летнего максимума нагрузок можно определить, умножив значение нагрузки зимнего максимума на коэффициенты: 0,7 – для квартир с плитами на природном газе; 0,6 – для квартир с плитами на сжиженном газе и твердом топливе и 0,8 – для квартир с электрическими плитами.

9. Расчетные данные, приведенные в таблице, могут корректироваться для конкретного применения с учетом местных условий. При наличии документированных и утвержденных в установленном порядке экспериментальных данных расчет нагрузок следует производить по ним.

10. Нагрузка иллюминации мощностью до 10 кВт в расчетной нагрузке на вводе в здание учитываться не должна.

Таблица 3.3.2

Коэффициенты спроса для квартир повышенной комфортности K_C

Заявленная мощность, кВт	до 14	20	30	40	50	60	70 и более
Коэффициент спроса	0,8	0,65	0,6	0,55	0,5	0,48	0,45

Таблица 3.3.3

Коэффициенты одновременности для квартир повышенной комфортности K_O

Характеристика квартир	K_O при числе квартир												
	1–5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600 и более
С электроплитами	1	0,51	0,38	0,32	0,29	0,26	0,24	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11

Расчетная нагрузка питающих линий $P_{Р.ПЛ}$, кВт, вводов и на шинах РУ–0,4 кВ ТП от бытовых напольных электрических плит общежитий коридорного типа определяется по формуле:

$$P_{Р.ПЛ} = P_{ПЛ}\, n_{ПЛ}\, K_{С.ПЛ},$$

где $P_{ПЛ}$ – установленная мощность электроплиты, кВт;

$n_{ПЛ}$ – число электроплит;

$K_{С.ПЛ}$ – коэффициент спроса, определяемый в зависимости от числа присоединенных плит, должен приниматься:

1 при 1 плите;

0,9 при 2 плитах;

0,4 при 20 плитах;

0,2 при 100 плитах;

0,15 при 200 плитах.

Коэффициенты спроса даны для электроплит с четырьмя конфорками. При определении коэффициента спроса для плит с тремя конфорками число плит следует учитывать с коэффициентом 0,75 от числа установленных плит, а с двумя – с коэффициентом 0,5.

Определение коэффициента спроса для числа плит, не указанного выше, производится интерполяцией.

Расчетная нагрузка вводов и на шинах 0,4 кВ ТП при смешанном питании от них общего освещения, розеток, кухонных электрических плит и помещений общественного назначения в общежитиях коридорного типа определяется как сумма расчетных нагрузок питающих линий, умноженная на 0,75.

При этом расчетная нагрузка питающих линий освещения общедомовых помещений определяется с учетом примеч. 2 к табл. 3.3.1.

Расчетная нагрузка линии питания лифтовых установок $P_{Р.Л}$, кВт, определяется по формуле:

$$P_{Р.Л} = K_{С.Л} \cdot \sum_{1}^{n_Л} P_{ni},$$

где $K_{С.Л}$ – коэффициент спроса, определяемый по табл. 3.3.4 в зависимости от количества лифтовых установок и этажности зданий;

$n_Л$ – число лифтовых установок, питаемых линией;

P_{ni} – установленная мощность электродвигателя i-го лифта по паспорту, кВт.

Таблица 3.3.4

Коэффициенты спроса для лифтов домов различной высоты

№ п/п	Число лифтовых установок	$K_{С.Л}$ для домов высотой, этажей	
		до 12	12 и свыше
1	2–3	0,8	0,9
2	4–5	0,7	0,8
3	6	0,65	0,75
4	10	0,5	0,6
5	20	0,4	0,5
6	25 и свыше	0,35	0,4

Примечание. Коэффициент спроса для числа лифтовых установок, не указанного в таблице, определяется интерполяцией.

Расчетная нагрузка линий питания электродвигателей санитарно-технических устройств определяется по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса, принимаемого по табл. 3.3.9.

Мощность резервных электродвигателей, а также электроприемников противопожарных устройств и уборочных механизмов при расчете электрических нагрузок питающих линий и вводов в здание не учитывается, за исключением тех случаев, когда она определяет выбор защитных аппаратов и сечений проводников.

Для расчета линий питания одновременно работающих электроприемников противопожарных устройств $K_С$ принимается равным 1. При этом следует учитывать одновременную работу вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха, расположенных только в одной секции.

Расчетная нагрузка жилого дома $P_{Р.Ж.Д}$, кВт, (квартир и силовых электроприемников) определяется по формуле:

$$P_{Р.Ж.Д} = P_{КВ} + 0{,}9\ P_С,$$

где $P_{КВ}$ – расчетная нагрузка электроприемников квартир, кВт;

$P_С$ – расчетная нагрузка силовых электроприемников, кВт.

Расчетная нагрузка при смешанном питании ТП (питающей линией) жилых и нежилых зданий (помещений) определяется в соответствии с п. 6.31 СП 31-110.

При проектировании реконструкции наружных электрических сетей в сельской местности расчетную нагрузку допускается принимать по фактическим данным с учетом их перспективного роста до 30 %. При этом суммарные расчетные нагрузки не должны превышать значений, определяемых в соответствии с требованиями СП 31-110.

Питающие линии электроприемников жилых зданий и соответствующие им коэффициенты мощности приводятся ниже:

Квартир с электрическими плитами 0,98
То же, с бытовыми кондиционерами воздуха 0,93
Квартир с плитами на природном, сжиженном газе и твердом топливе 0,96
То же, с бытовыми кондиционерами воздуха 0,92
Общего освещения в общежитиях коридорного типа 0,95
Хозяйственных насосов, вентиляционных установок и других санитарно-технических устройств 0,8
Лифтов 0,65

Коэффициент мощности распределительной линии, питающей один электродвигатель, следует принимать по его каталожным данным.

Коэффициент мощности групповых линий освещения с разрядными лампами следует принимать по табл. 3.3.12.

Нагрузки общественных зданий

Коэффициенты спроса для расчета нагрузок рабочего освещения питающей сети и вводов общественных зданий следует принимать по табл. 3.3.5.

Таблица 3.3.5

Коэффициенты спроса для расчета нагрузок расчета освещения

№ п/п	Организации, предприятия и учреждения	$K_{C.O.}$ в зависимости от установленной мощности рабочего освещения, кВт								
		до 5	10	15	25	50	100	200	400	св. 500
1	Гостиницы, спальные корпуса и административные помещения санаториев, домов отдыха, пансионатов, турбаз, пионерских лагерей	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3	0,3
2	Предприятия общественного питания, детские ясли-сады, учебно-производственные мастерские профтехучилищ	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5
3	Организации и учреждения управления, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные здания профтехучилищ, предприятия бытового обслуживания, торговли, парикмахерские	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
4	Проектные, конструкторские организации, научно-исследовательские институты	1	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65
5	Актовые залы, конференц-залы (освещение зала и президиума), спортзалы	1	1	1	1	1	1	–	–	–
6	Клубы и дома культуры	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55	–	–
7	Кинотеатры	1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6	0,5	–	–
Примечание. Коэффициент спроса для установленной мощности рабочего освещения, не указанной в таблице, определяется интерполяцией.										

Коэффициент спроса для расчета групповой сети рабочего освещения, распределительных и групповых сетей эвакуационного и аварийного освещения зданий, освещения витрин и световой рекламы следует принимать равным 1.

Коэффициенты спроса для расчета электрических нагрузок линий, питающих постановочное освещение в залах, клубах и домах культуры, следует принимать равными 0,35 для регулируемого освещения эстрады и 0,2 – для нерегулируемого.

Расчетную электрическую нагрузку линий, питающих розетки $P_{P.P}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{P.P} = K_{C.P} P_{У.P} n,$$

где $K_{C.P}$ – расчетный коэффициент спроса, принимаемый по табл. 3.3.6.

$P_{У.P}$ – установленная мощность розетки, принимаемая 0,06 кВт (в том числе для подключения оргтехники);

n – число розеток.

При смешанном питании общего освещения и розеточной сети расчетную нагрузку $P_{P.O}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{P.O} = P'_{P.O} + P_{P.P},$$

где $P'_{P.O}$ – расчетная нагрузка линий общего освещения, кВт;

$P_{P.P}$ – расчетная нагрузка розеточной сети, кВт.

Расчетную нагрузку силовых питающих линий и вводов $P_{P.C}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{P.C} = K_{C.C} P_{У.E},$$

где $K_{C.C}$ – расчетный коэффициент спроса;

$P_{У.Е}$ – установленная мощность электроприемников (кроме противопожарных устройств и резервных), кВт.

Таблица 3.3.6

Коэффициент спроса для расчета электрических нагрузок линий питающих розеток

№ п/п	Организации, предприятия и учреждения	$K_{C.P}$		
		групповые сети	питающие сети	вводы зданий
1	Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, научно-исследовательские институты, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные здания профтехучилищ	1	0,2	0,1
2	Гостиницы*, обеденные залы ресторанов, кафе и столовых, предприятия бытового обслуживания, библиотеки, архивы	1	0,4	0,2
* При отсутствии стационарного общего освещения в жилых комнатах гостиниц расчет электрической нагрузки розеточной сети, предназначенной для питания переносных светильников (например, напольных), следует выполнять в соответствии с требованиями СП 31-110–2003				

Коэффициенты спроса для расчета нагрузки вводов, питающих и распределительных линий силовых электрических сетей общественных зданий следует определять по табл. 3.3.7. Расчетную нагрузку питающих линий технологического оборудования и посудомоечных машин предприятий общественного питания и пищеблоков $P_{P.C}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{P.C} = P_{P.П.М} + 0{,}65\ P_{P.T} \geq P_{P.T},$$

где $P_{P.П.М}$ – расчетная нагрузка посудомоечных машин, определяемая с коэффициентом спроса, который принимается по табл. 3.3.7, кВт;

$P_{P.T}$ – расчетная нагрузка технологического оборудования, кВт, определяемая с коэффициентом спроса, который принимается по табл. 3.3.8.

Суммарную расчетную нагрузку питающих линий и силовых вводов предприятий общественного питания $P_{P.C}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{P.C} = P_{P.T} + 0{,}6\ P_{P.C.T},$$

где $P_{P.C.T}$ – расчетная нагрузка линий сантехнического оборудования или холодильных машин, определяемая с коэффициентом спроса, который принимается по поз. 1 табл. 3.3.9 и примеч. 2 к табл. 3.3.8.

Таблица 3.3.7

Коэффициенты спроса для расчета электрических нагрузок вводных силовых линий

№ п/п	Линии к силовым электроприемникам	$K_{C.C}$ принимается при числе работающих электроприемников	
		до 3	свыше 5
1	Технологического оборудования предприятий общественного питания, пищеблоков в общественных зданиях	По табл. 3.3.8	По табл. 3.3.8
2	Механического оборудования предприятий общественного питания, пищеблоков общественных зданий другого назначения, предприятий торговли	По поз. 1 табл. 3.3.9	По поз. 1 табл. 3.3.9
3	Посудомоечных машин	По табл. 3.3.10	–
4	Зданий (помещений) управления, проектных и конструкторских организаций (без пищеблоков), гостиниц (без ресторанов), продовольственных и промтоварных магазинов, общеобразовательных школ, специальных учебных заведений и профессионально-технических училищ (без пищеблоков)	По табл. 3.3.9	По табл. 3.3.9

Продолжение табл. 3.3.7

№ п/п	Линии к силовым электроприемникам	$K_{С.С}$ принимается при числе работающих электроприемников	
		до 3	свыше 5
5	Сантехнического и холодильного оборудования, холодильных установок систем кондиционирования воздуха	По поз. 1 табл. 3.3.9	По поз. 1 табл. 3.3.9
6	Пассажирских и грузовых лифтов, транспортеров	По табл. 3.3.4	По табл. 3.3.4
7	Кинотехнологического оборудования	см. текст	см. текст
8	Электроприводы сценических механизмов	0,5	0,2
9	Вычислительных машин (без технологического кондиционирования)	0,5	0,4
10	Технологического кондиционирования вычислительных машин	По поз. 1 табл. 3.3.9	По поз. 1 табл. 3.3.9
11	Металлообрабатывающих и деревообрабатывающих станков в мастерских	0,5	0,2
12	Множительной техники, фотолабораторий	0,5	0,2
13	Лабораторного и учебного оборудования общеобразовательных школ, профессионально-технических училищ, средних специальных заведений	0,4	0,15
14	Учебно-производственных мастерских профессионально-технических училищ, общеобразовательных школ и специальных учебных заведений	0,5	0,2
15	Технологического оборудования парикмахерских, ателье, мастерских, комбинатов бытового обслуживания, предприятий торговли, медицинских кабинетов	0,6	0,3
16	Технологического оборудования фабрик химчистки и прачечных	0,7	0,5
17	Руко- и полотенцесушителей	0,4	0,15

Примечания:
1. Расчетная нагрузка должна быть не менее мощности наибольшего из электроприемников.
2. Коэффициент спроса для одного электроприемника следует принимать равным 1.

Таблица 3.3.8

Коэффициенты спроса для расчета электрических нагрузок теплового оборудования

Количество электроприемников теплового оборудования предприятий общественного питания и пищеблоков, подключенных к данному элементу сети	2	3	5	8	10	15	20	30	От 60 до 100	Св. 125
$K_{С.С}$ для технологического оборудования	0,9	0,85	0,75	0,65	0,6	0,5	0,45	0,4	0,3	0,25

Примечания: 1. К технологическому оборудованию следует относить: тепловое (электрические плиты, мармиты, сковороды, жарочные и кондитерские шкафы, котлы, кипятильники, фритюрницы и т.п.); механическое (тестомесильные машины, универсальные приводы, хлеборезки, вибросита, коктейлевзбивалки, мясорубки, картофелечистки, машины для резки овощей и т.п.); мелкое холодильное (шкафы холодильные, бытовые холодильники, низкотемпературные прилавки и тому подобные устройства единичной мощностью менее 1 кВт); лифты, подъемники и прочее оборудование (кассовые аппараты, радиоаппаратура и т.п.).

2. Коэффициенты спроса для линий, питающих отдельно механическое, или холодильное, или сантехническое оборудование, а также лифты, подъемники и т.п., принимаются по табл. 6.7 СП 31-110.

3. Мощность посудомоечных машин в максимуме нагрузок на вводах и учитывается.

4. Определение коэффициентов спроса для числа присоединенных электроприемников, не указанного в таблице, производится интерполяцией.

Таблица 3.3.9

Коэффициенты спроса для расчета электрических нагрузок сантехнического оборудования

№ п/п	Удельный вес установленной мощности работающего сантехнического и холодильного оборудования, включая системы кондиционирования воздуха и общей установленной мощности работающих силовых электроприемников, %	$K_{C.C}$ при числе электроприемников*										
		2	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200
1	100–85	1 (0,8)	0,9 (0,75)	0,8 (0,7)	0,75	0,7	0,65	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5
2	84–75	–	–	0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,6	0,55	0,55	0,5
3	74–50	–	–	0,7	0,65	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45
4	49–25	–	–	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45
5	24 и менее	–	–	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,4

* В скобках приведены коэффициенты спроса для электродвигателей единичной мощностью св. 30 кВт.

Примечания:
1. Определение коэффициента спроса для числа присоединенных электроприемников, не указанного в таблице, производится интерполяцией.
2. В установленную мощность резервные электроприемники не включаются.

Таблица 3.3.10

Коэффициент спроса для посудомоечных машин

Количество посудомоечных машин	1	2	3
Коэффициент $K_{C.C}$	1,00 / 0,65	0,9 / 0,6	0,85 / 0,55

Примечание. В числителе приведены $K_{C.C}$ для посудомоечных машин, работающих от сети холодного водоснабжения, в знаменателе – от горячего водоснабжения.

Расчетную нагрузку силовых вводов предприятий общественного питания при предприятиях, организациях и учреждениях, предназначенных для обслуживания лиц, постоянно работающих в учреждении, а также при учебных заведениях, следует определять по приведенной выше формуле с коэффициентом 0,7.

Нагрузку распределительных линий электроприемников уборочных механизмов для расчета сечений проводников и установок защитных аппаратов следует, как правило, принимать равной 9 кВт при напряжении 380/220 В и 4 кВт при напряжении 220 В. При этом установленную мощность одного уборочного механизма, присоединяемого к трехфазной розетке с защитным контактом, следует принимать равной 4,5 кВт, а к однофазной – 2 кВт.

Мощность электроприемников противопожарных устройств, резервных электродвигателей и уборочных механизмов следует учитывать только в части рекомендаций для резервных электродвигателей уборочных механизмов.

Расчетную электрическую нагрузку распределительных и питающих линий лифтов, подъемников и транспортеров следует определять также как для лифтов.

Расчетную электрическую нагрузку конференц-залов и актовых залов во всех элементах сети зданий следует определять по наибольшей из нагрузок – освещения зала и президиума, кинотехнологии или освещения эстрады. В расчетную нагрузку кинотехнологического оборудования конференц-залов и актовых залов следует включать мощность одного наибольшего кинопроекционного аппарата с его выпрямительной установкой и мощность работающей звукоусилительной аппаратуры с коэффициентом спроса, равным 1.

Если в кинопроекционной установлена аппаратура для нескольких форматов экрана, то в расчетную нагрузку должна включаться аппаратура наибольшей мощности.

Расчетную электрическую нагрузку силовых вводов общественных зданий (помещений), относящихся к одному комплексу, но предназначенных для потребителей различного функционального назначения (например, учебных помещений и мастерских ПТУ, специальных учебных заведений и школ; парикмахерских, ателье, ремонтных мастерских КБО, общественных помещений и вычислительных центров и т.п.), следует принимать с коэффициентом несовпадения максимумов их нагрузок, равным 0,85. При этом суммарная расчетная нагрузка должна быть не менее расчетной нагрузки наибольшей из групп потребителей.

Расчетную нагрузку питающих линий и вводов в рабочем и аварийном режиме при совместном питании силовых электроприемников и освещения P_P, кВт, следует определять по формуле:

$$P_P = K\,(P_{P.O} + P_{P.C} + K_1\,P_{P.X.C}),$$

где K – коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников, включая холодильное оборудование и освещение, принимаемый по табл. 3.3.11;

K_1 – коэффициент, зависящий от отношения расчетной нагрузки освещения к нагрузке холодильного оборудования холодильной станции, принимаемый по п. 3 примеч. к табл. 3.3.11;

$P_{P.O}$ – расчетная нагрузка освещения, кВт;

$P_{P.C}$ – расчетная нагрузка силовых электроприемников без холодильных машин систем кондиционирования воздуха, кВт;

$P_{P.X.C}$ – расчетная нагрузка холодильного оборудования систем кондиционирования воздуха, кВт.

Таблица 3.3.11

Коэффициенты, учитывающие отношение расчетной нагрузки освещения к силовой

№ п/п	Здания	Коэффициент K при отношении расчетной нагрузки освещения к силовой, %		
		от 20 до 75	от 75 до 140	от 140 до 250
1	Предприятия торговли и общественного питания, гостиницы	0,9 (0,85)	0,85 (0,75)	0,9 (0,85)
2	Общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, профтехучилища	0,95	0,9	0,95
3	Детские сады-ясли	0,85	0,8	0,85
4	Ателье, комбинаты бытового обслуживания, химчистки, с прачечными самообслуживания, парикмахерские	0,85	0,75	0,85
5	Организации и учреждения управления, финансирования и кредитования, проектные и конструкторские организации	0,95 (0,85)	0,9 (0,75)	0,95 (0,85)

Примечания:

1. При отношении расчетной осветительной нагрузки к силовой до 20 и св. 250 % коэффициент K следует принимать равным 1.

2. В скобках приведен коэффициент K для зданий и помещений с кондиционированием воздуха.

3. Коэффициент K_1 при отношении расчетной нагрузки освещения к расчетной нагрузке холодильного оборудования холодильной станции, %: 1 ..... до 15
0,8 ..... 20 0,6 50
0,4 ..... 100 0,2 ..... св. 150

4. Коэффициент спроса для промежуточных соотношений определяется интерполяцией. В расчетной нагрузке освещения не учитываются нагрузки помещений без естественного освещения.

Расчетную электрическую нагрузку общежитий профессионально-технических училищ, средних учебных заведений и школ-интернатов следует определять в соответствии с требованиями изложенными выше, а ее участие в расчетной нагрузке учебного комплекса – с коэффициентом, равным 0,2.

Коэффициенты мощности для расчета силовых сетей общественных зданий рекомендуется принимать по табл. 3.3.12.

Таблица 3.3.12

Значения коэффициентов мощности сетей общественных зданий

Здания и сооружения	Коэффициент мощности
Предприятий общественного питания:	
полностью электрифицированных	0,98
частично электрифицированных (с плитами на газообразном и твердом топливе)	0,95
Продовольственных и промтоварных магазинов	0,85
Яслей-садов:	
с пищеблоками	0,98
без пищеблоков	0,95
Общеобразовательных школ:	
с пищеблоками	0,95
без пищеблоков	0,9
Фабрик химчистки с прачечными самообслуживания	0,75
Учебных корпусов профессионально-технических училищ	0,9
Учебно-производственных мастерских по металлообработке и деревообработке	0,6
Гостиниц:	
без ресторанов	0,85
с ресторанами	0,9
Зданий и учреждений управления, финансирования, кредитования и государственного страхования, проектных и конструкторских организаций	0,85
Парикмахерских и салонов-парикмахерских	0,97
Ателье, комбинатов бытового обслуживания	0,85
Холодильного оборудования предприятий торговли и общественного питания, насосов, вентиляторов и кондиционеров воздуха при мощности электродвигателей, кВт:	
до 1	0,65
от 1 до 4	0,75
св. 4	0,85
Лифтов и другого подъемного оборудования	0,65
Вычислительных машин (без технологического кондиционирования воздуха)	0,65
Коэффициенты мощности для расчета сетей освещения следует принимать с лампами:	
люминесцентными	0,92
накаливания	1
ДРЛ и ДРИ с компенсированными ПРА	0,85
то же, с некомпенсированными ПРА	0,3–0,5
газосветных рекламных установок	0,35–0,4

Применение светильников с люминесцентными лампами с некомпенсированными ПРА в общественных зданиях не допускается, кроме одноламповых светильников мощностью до 30 Вт, имеющих коэффициент мощности 0,5. При совместном питании линией разрядных ламп и ламп накаливания коэффициент мощности определяется с учетом суммарных активных и суммарных реактивных нагрузок.

Расчетная нагрузка питающей линии (трансформаторной подстанции) при смешанном питании потребителей различного назначения (жилых домов и общественных зданий или помещений P_P, кВт, определяется по формуле:

$$P_P = P_{ЗД.max} + K_1 P_{ЗД1} + K_2 P_{ЗД2} + \ldots + K_n P_{ЗДn},$$

где: $P_{ЗД.max}$ – наибольшая из нагрузок зданий, питаемых линией (трансформаторной подстанцией), кВт;

$P_{ЗД1} \ldots P_{ЗДn}$ – расчетные нагрузки всех зданий, кроме здания, имеющего наибольшую нагрузку $P_{ЗД.max}$, питаемых линией (трансформаторной подстанцией), кВт;

K_1, K_2, K_n – коэффициенты, учитывающие долю электрических нагрузок общественных зданий (помещений) и жилых домов (квартир и силовых электроприемников) в наибольшей расчетной нагрузке ($P_{ЗД.max.}$), принимаемые по табл. 3.3.13.

Ориентировочные расчеты электрических нагрузок общественных зданий допускается выполнять по укрупненным удельным электрическим нагрузкам, приведенным в табл. 3.3.14.

Таблица 3.3.13

Значения коэффициентов несовпадения максимума

Здания (помещения) с наибольшей расчетной нагрузкой	Коэффициенты несовпадения максимумов														
	Жилые дома с плитами		Предприятия общественного питания		Средние учебные заведения, библиотеки	Общеобразовательные школы, Профессионально-технические училища	Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	Предприятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские сады-ясли	Поликлиники	Ателье и комбинаты бытового обслуживания	Предприятия коммунального обслуживания	Кинотеатры
	электрическими	на твердом и газообразном топливе	столовые	рестораны, кафе				односменные	полуторадвухсменные							
Жилые дома с плитами: электрическими	–	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
на твердом и газообразном топливе	0,9	–	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9
Предприятия общественного питания (столовые, кафе и рестораны)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5
Общеобразовательные школы, средние учебные заведения, профессионально-технические училища, библиотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Предприятия торговли (односменные и полуторадвухсменные	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
Гостиницы	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9
Поликлиники	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Ателье и комбинаты бытового обслуживания, предприятия коммунального обслуживания	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Кинотеатры	0,9	0,	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,8	0,7	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5	–

Примечание. 1. При нескольких нагрузках, имеющих равное или близкое к равному наибольшее значение, расчет следует выполнять относительно той нагрузки, при которой P_P получается наибольшим.

2. Для гаражей, автостоянок и тепловых пунктов жилого дома с электрическими и газовыми плитами коэффициент участия в максимуме нагрузки равен 0,9.

Таблица 3.3.14

Значения удельных нагрузок зданий

№ п/п	Здания	Единица измерения	Удельная нагрузка
	Предприятия общественного питания:		
	Полностью электрифицированные с количеством посадочных мест:		
1	до 400	кВт/место	1,04
2	св. 400 до 1000	то же	0,86
3	св. 1000	то же	0,75
	Частично электрифицированные (с плитами на газообразном топливе) с количеством осадочных мест:		
4	до 400	то же	0,81
5	св. 400 до 1000	то же	0,69
6	св. 1000	то же	0,56
	Продовольственные магазины:		
7	Без кондиционирования воздуха	кВт/м^2 торгового зала	0,32
8	С кондиционированием воздуха		0,25
	Промтоварные магазины		
9	Без кондиционирования воздуха	то же	0,14
10	С кондиционированием воздуха	то же	0,16
	Общеобразовательные школы:		
11	С электрифицированными столовыми и спортзалами	кВт\1 учащегося	0,25
12	Без электрифицированных столовых, со спортзалами	то же	0,17
13	С буфетами, без спортзалов	то же	0,17
14	Без буфетов и спортзалов	то же	0,15
15	Профессионально-технические училища со столовыми	то же	0,46
16	Детские ясли-сады	кВт/место	0,46
	Кинотеатры и киноконцертные залы:		
17	С кондиционированием воздуха	то же	0,14
18	Без кондиционирования воздуха	то же	0,12
19	Клубы	то же	0,46
20	Парикмахерские	кВт/рабочее место	1,5
	Здания или помещения учреждений управления, проектных и конструкторских организаций:		
21	С кондиционированием воздуха	кВт/м^2 общей площади	0,054
22	Без кондиционирования воздуха	то же	0,043
	Гостиницы:		
23	С кондиционированием воздуха (без ресторанов)	кВт/место	0,46
24	Без кондиционирования воздуха	то же	0,34
25	Дома отдыха и пансионаты без кондиционирования воздуха	то же	0,36
26	Фабрики химчистки и прачечные самообслуживания	кВт/кг вещей	0,075
27	Детские лагеря	кВт/м^2 жилых помещений	0,023

Примечания: 1. Поз. 1–6 гр. 4 удельная нагрузка не зависит от наличия кондиционирования воздуха.

2. Поз. 15, 16 гр. 4 – нагрузка бассейнов и спортзалов не учтена.

3. Поз. 21, 22, 25, 27 гр. 4 – нагрузка пищеблоков не учтена. Удельную нагрузку пищеблоков следует принимать как для предприятий общественного питания с учетом количества посадочных мест, рекомендованного нормами для соответствующих зданий, и п. 6.21 Свода правил (СП 31-110).

4. Поз. 23, 24 гр. 4 – удельную нагрузку ресторанов при гостиницах следует принимать как для предприятий общественного питания открытого типа.

5. Для предприятий общественного питания при числе мест, не указанном в таблице, удельные нагрузки определяются интерполяцией.

Компенсация реактивной нагрузки. Для потребителей жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки, как правило, не требуется.

Для местных и центральных тепловых пунктов, насосных, котельных и других потребителей, предназначенных для обслуживания жилых и общественных зданий, расположенных в микрорайонах (школы, детские ясли-сады, предприятия торговли и общественного питания и другие потребители) компенсация реактивной нагрузки, как правило, не требуется, если в нормальном режиме работы расчетная мощность компенсирующего устройства на каждом рабочем вводе не превышает 50 квар (суммарная мощность компенсирующего устройства не более 100 квар). Это соответствует суммарной расчетной нагрузке указанных потребителей 250 кВт.

Расчётные электрические нагрузки распределительных линий напряжением до 1 кВ

Расчетная электрическая нагрузка линии до 1 кВ* при смешанном питании потребителей жилых домов и общественных зданий (помещений), $P_{Р.Л}$, кВт, определяется по формуле:

$$P_{Р.Л} = P_{ЗД.max} + \sum_{1}^{n} k_{Уi} P_{ЗДi} ,$$

где $P_{ЗД.max}$ – наибольшая нагрузка здания из числа зданий, питаемых по линии, кВт;

$P_{ЗДi}$ – расчетные нагрузки других зданий, питаемых по линии, кВт;

$k_{Уi}$ – коэффициент участия в максимуме электрических нагрузок общественных зданий (помещений) или жилых домов (квартир и силовых электроприемников) по табл. 3.3.15.

Расчетная нагрузка может определяться также с использованием удельных показателей.

Укрупненная расчетная электрическая нагрузка микрорайона (квартала), $P_{Р.МР}$, кВт, приведенная к шинам 0,4 кВ ТП, определяется по формуле

$$P_{Р.МР} = (P_{Р.Ж.Д.УД} + P_{ОБЩ.ЗД.УД})\, S\, 10^{-3},$$

где $P_{ОБЩ.ЗД.УД}$ – удельная нагрузка общественных зданий микрорайонного значения, принимаемая для домов с электрическими плитами – 2,6 Вт/м^2, с плитами на твердом или газообразном топливе – 2,3 Вт/ м^2; S – общая площадь жилых домов микрорайона (квартала), м^2.

В укрупненных нагрузках общественных зданий микрорайонного значения учитываются предприятия торговли и общественного питания, детские ясли-сады, школы, аптеки, раздаточные пункты молочных кухонь, приемные и ремонтные пункты, жилищно-эксплуатационные конторы и другие учреждения согласно СНиП по планировке и застройке городских и сельских поселений.

Электрические нагрузки общественных зданий районного и городского значения, включая лечебные учреждения и зрелищные предприятия, определяются дополнительно согласно СП 31-110–2003.

Электрические нагрузки взаиморезервируемых линий (трансформаторов) при ориентировочных расчетах допускается определять умножением суммы расчетных нагрузок линий (трансформаторов) на коэффициент 0,9.

---

* Допускается использовать для подсчета нагрузок на шинах 0,4 кВ ТП.

Таблица 3.3.15

Коэффициенты участия в максимуме нагрузки

Наименование зданий (помещений) с наибольшей расчетной нагрузкой	Жилые дома		Предприятия общественного питания		Средние учебные заведения, библиотеки	Общеобразовательные школы, профессионально-технические училища	Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	Предприятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские ясли–сады	Поликлиники	Ателье и комбинаты	Предприятия коммунального обслуживания	Кинотеатры
	с электрическими плитами	с плитами на твердом или газообразном топливе	столовые	рестораны, кафе				односменные	полуторасменные, двухсменные							
Жилые дома: с электрическими плитами	–	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
с плитами на твердом или газообразном топливе	0,9	–	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9
Предприятия общественного питания (столовые, кафе и рестораны)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5
Общеобразовательные школы, средние учебные заведения, профессионально-технические училища, библиотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Предприятия торговли (односменные и полутора-двухсменные	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
Гостиницы	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9
Поликлиники	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Ателье и комбинаты бытового обслуживания, предприятия коммунального обслуживания	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Кинотеатры	0,9	0,9	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,8	0,7	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5	–

Электрические нагрузки сетей 10(6) кВ и ЦП

Расчетные электрические нагрузки городских сетей 10(6) кВ определяются умножением суммы расчетных нагрузок трансформаторов отдельных ТП, присоединенных к данному элементу сети (ЦП, РП, линии и др.), на коэффициент, учитывающий совмещение максимумов их нагрузок (коэффициент участия в максимуме нагрузок), принимаемый по табл. 3.3.16. Коэффициент мощности для линий 10(6) кВ в период максимума нагрузки принимается равным 0,92 (коэффициент реактивной мощности 0,43). Для реконструируемых электрических сетей в районах сохраняемой жилой застройки при отсутствии существенных изменений в степени ее электрификации (например, не предусматривается централизованный переход на электропищеприготовление) расчетные электрические нагрузки допускается принимать по фактическим данным. Расчетные нагрузки на шинах 10(6) кВ ЦП определяются с учетом несовпадения максимумов нагрузок потребителей городских распределительных сетей и сетей промышленных предприятий (питающихся от ЦП по самостоятельным линиям) путем умножения суммы их расчетных нагрузок на коэффициент совмещения максимумов, принимаемый по табл. 3.3.17.

Таблица 3.3.16

Коэффициенты совмещения максимумов нагрузок трансформаторов (k_y)

Характеристика нагрузки	Количество трансформаторов				
	2	3–5	6–10	11–20	более 20
Жилая застройка (70 % и более нагрузки жилых домов и до 30% нагрузки общественных зданий)	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
Общественная застройка (70 % и более нагрузки общественных зданий и до 30 % нагрузки жилых домов)	0,9	0,75	0,7	0,65	0,6
Коммунально-промышленные зоны (65 % и более нагрузки промышленных и общественных зданий и до 35 % нагрузки жилых домов)	0,9	0,7	0,65	0,6	0,55

Примечания: 1. Если нагрузка промышленных предприятий составляет менее 30 % нагрузки общественных зданий, коэффициент совмещения максимумов нагрузок трансформаторов следует принимать как для общественных зданий.

2. Коэффициенты совмещения максимумов нагрузок трансформаторов для промежуточных значений состава потребителей определяется интерполяцией.

Таблица 3.3.17

Коэффициенты совмещения максимумов нагрузок городских сетей и промышленных предприятий

Максимум нагрузок	Отношение расчетной нагрузки предприятий к нагрузке городской сети						
	0,2	0,6	1	1,5	2	3	4
Утренний	0,75 / 0,6	0,8 / 0,7	0,85 / 0,75	0,88 / 0,8	0,9 / 0,85	0,92 / 0,87	0,95 / 0,9
Вечерний	0,85–0,9	0,65–0,85	0,55–0,8	0,45–0,76	0,4–0,75	0,3–0,7	0,3–0,7

Примечания: 1. В числителе приведены коэффициенты для жилых домов с электроплитами, в знаменателе – с плитами на газовом или твердом топливе.

2. Меньшие значения коэффициентов в период вечернего максимума нагрузок следует принимать при наличии промышленных предприятий с односменным режимом работы, большие – когда все предприятия имею двух-, трехсменный режим работы. Если режим работы предприятий смешанный, то коэффициент совмещения определяется интерполяцией пропорционально их соотношению.

3. При отношении расчетной нагрузки промпредприятий к суммарной нагрузке городской сети менее 0,2 коэффициент совмещения для утреннего и вечернего максимумов следует принимать равным 1. Если это отношение более 4, коэффициент совмещения для утреннего максимума следует принимать равным 1; для вечернего максимума, если все предприятия односменные – 0,25, если двух-, трехсменные – 0,65.

Для ориентировочных расчетов электрических нагрузок города (района) на расчетный срок концепции развития города рекомендуется применять укрупненные удельные показатели по табл. 3.3.18. Значения удельного расхода электроэнергии коммунально-бытовых потребителей за расчетный срок развития города принимается по табл. 3.3.19.

Таблица 3.3.18

Укрупненные показатели удельной расчетной коммунально-бытовой нагрузки

№ п/п	Категория (группа) города	Город (район)					
		с плитами на природном газе, кВт/чел.			со стационарными электрическими плитами, кВт/чел.		
		в целом по городу району	в том числе		в целом по городу району	в том числе	
			центр	микрорайоны (кварталы) застройки		центр	микрорайоны (кварталы) застройки
1	Крупнейший	0,39	0,55	0,23	0,48	0,63	0,38
2	Крупный	0,36	0,50	0,22	0,43	0,55	0,35
3	Большой	0,33	0,46	0,20	0,39	0,50	0,32
4	Средний	0,30	0,41	0,19	0,35	0,44	0,30
5	Малый	0,26	0,37	0,18	0,31	0,40	0,28

Примечания: 1. Значения удельных электрических нагрузок приведены к шинам 10(6) кВ ЦП.

2. При наличии в жилом фонде города (района) газовых и электрических плит удельные нагрузки определяются интерполяцией пропорционально их соотношению.

3. Для районов города, жилой фонд которых оборудован плитами на твердом топливе или сжиженном газе, вводятся следующие коэффициенты: для малого города – 1,3; для среднего – 1,05.

4. Приведенные в таблице показатели учитывают нагрузки: жилых домов, общественных зданий (административных, учебных, научных, лечебных, торговых, зрелищных, спортивных), коммунальных предприятий, наружного освещения, электротранспорта (без метрополитена), систем водоснабжения и канализации, систем теплоснабжения.

5. Для учета нагрузки различных мелкопромышленных и прочих потребителей (кроме перечисленных в п. 4 примечания), питающихся, как правило, по городским распределительным сетям, к значениям показателей таблицы рекомендуется вводить следующие коэффициенты:

для районов города с газовыми плитами 1,2–1,6;

для районов города с электроплитами 1,1–1,5.

Большие значения коэффициентов относятся к центральным районам, меньшие к микрорайонам (кварталам) преимущественно жилой застройки.

6. К центральным районам города относятся сложившиеся районы со значительным сосредоточием различных административных учреждений, учебных, научных, проектных организаций, предприятий торговли, общественного питания, зрелищных предприятий и др.

Таблица 3.3.19

Укрупненные показатели расхода электроэнергии коммунально-бытовых потребителей

№ п/п	Категория (группа) города	Города	
		без стационарных электроплит, кВт·ч/чел. в год	со стационарными электроплитами, кВт·ч/чел. в год
1	Крупнейший	2040	2520
2	Крупный	1870	2310
3	Большой	1700	2100
4	Средний	1530	1890
5	Малый	1360	1680

Примечания: 1. Приведенные укрупненные показатели предусматривают электропотребление жилыми и общественными зданиями, предприятиями коммунально-бытового обслуживания, наружным освещением.

2. Приведённые данные не учитывают применения в жилых зданиях кондиционирования, электроотопления и электронагрева.

3. Годовое число часов использования максимума электрической нагрузки приведено к шинам 10(6) кВ ЦП.

Выбор напряжения и режима нейтрали сетей. Напряжение системы электроснабжения города должно выбираться с учетом наименьшего количества ступеней трансформации энергии. Для большинства городов на ближайший период развития города наиболее целесообразной является система напряжений 35–110/10 кВ; для крупнейших и крупных городов – 500/220–110/10 кВ или – 330/110/10 кВ.

В крупнейших и крупных городах использование напряжения 35 кВ должно быть ограничено.

В проектах, предусматривающих перевод сети на повышенное напряжение, новое оборудование и кабели должны приниматься на новое номинальное напряжение. При расширении и реконструкции действующих сетей 6 кВ рекомендуется переводить их на напряжение 10 кВ с использованием установленного оборудования при соответствии его характеристик переводимому напряжению, а также кабелей 6 кВ. В новых районах застройки напряжение распределительных сетей выше 1 кВ должно приниматься не ниже 10 кВ независимо от напряжения сети в существующей части города.

Существующие сети 6 кВ при темпах ежегодного роста нагрузок равного 5 % и более в течение 10–15 расчетных лет рекомендуется переводить на напряжение 10 кВ. При использовании кабельных линий 6 кВ на напряжении 10 кВ рекомендуется предусматривать замену кабелей на кабели 10 кВ на вертикальных участках, например, вводы на подстанцию, крутонаклонные участки трассы и на участках линий с выраженными дефектами.

Применение напряжения 15–20 кВ в городских распределительных сетях рекомендуется рассматривать при реконструкции или расширении действующих сетей этого класса напряжения. Целесообразность применения сетей этих классов напряжения должна быть технико-экономически обоснована.

Городские электрические сети выше 1 кВ до 10 кВ должны выполняться трехфазными. Режим работы нейтрали и компенсация емкостного тока в этих сетях должны приниматься согласно требованиям ПУЭ. Сети до 1 кВ должны выполняться с глухим заземлением нейтрали напряжением 380/220 В.

Действующие сети 220/127 В необходимо, а 3х220 В рекомендуется переводить на напряжение 380/220 В.

В городских распределительных сетях следует применять трансформаторы со схемой соединения обмоток звезда-зигзаг или треугольник-звезда. Трансформаторы 10/0,4 кВ со схемой соединения обмоток звезда-звезда допускается применять в сетях с преобладанием трехфазных электроприемников и в сетях 6 кВ, переводимых на напряжение 10 кВ, с соответствующим переключением обмоток для возможности применения трансформаторов в сети 6 кВ.

Обоснование надёжности электропитания электроснабжения электроприемников

Требования к надёжности электроснабжения городских потребителей должны соответствовать требованиям ПУЭ, РД 34.18–94 и СП 31-110–03.

Требования ПУЭ распространяются на проектирование систем электроснабжением до 750 кВ, РД – на проектирование городских электрических сетей, СП – на проектирование электроснабжения, электрического освещения и силового электрооборудования вновь строящихся, реконструируемых и капитально ремонтируемых жилых зданий (домов, общежитий) и общественных зданий в городах, поселках и сельских населённых пунктах, а также домов на участках садоводческих товариществ.

При рассмотрении надежности электроснабжения коммунально-бытовых потребителей к соответствующей категории следует, как правило, относить отдельные электроприемники. Допускается категорирование надежности электроснабжения для группы электроприемников.

Группа электроприемников – совокупность электроприемников, характеризующаяся одинаковыми требованиями к надежности электроснабжения, например, электроприемники операционных, родильных отделений и др. В отдельных случаях в качестве группы электроприемников могут рассматриваться потребители в целом, например, водопроводная насосная станция, здание и др.

Требования к надежности электроснабжения электроприемника следует относить к ближайшему вводному устройству, к которому электроприемник подключен через коммутационный аппарат.

В соответствии с требованиями ПУЭ в отношении обеспечения надежности электроснабжения электроприемники разделяются на следующие три категории.

Электроприемники первой категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Из состава электроприемников первой категории выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов и пожаров.

Электроснабжение электроприемников первой категории с особо сложным непрерывным технологическим процессом, требующим длительного времени на восстановление нормального режима, при наличии технико-экономических обоснований рекомендуется осуществлять от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, к которым предъявляются дополнительные требования, определяемые особенностями технологического процесса.

Электроприемники первой категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, и перерыв их электроснабжения при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания.

Для электроснабжения особой группы электроприемников первой категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания.

В качестве третьего независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве второго независимого источника питания для остальных электроприемников первой категории могут быть использованы местные электростанции, электростанции энергосистем (в частности, шины генераторного напряжения), предназначенные для этих целей агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т.п.

Если резервированием электроснабжения нельзя обеспечить непрерывность технологического процесса или если резервирование электроснабжения экономически нецелесообразно, должно быть осуществлено технологическое резервирование, например, путем установки взаимно резервирующих технологических агрегатов, специальных устройств безаварийного останова технологического процесса, действующих при нарушении электроснабжения.

Электроприемники второй категории – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники второй категории в нормальных режимах должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания.

Для электроприемников второй категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады.

Электроприемники третьей категории – все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.

Для электроприемников третьей категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают 1 суток.

При проектировании электрооборудования жилых и общественных зданий необходимо также руководствоваться требованиями действующих строительных норм и правил, других нормативных документов, утвержденных (согласованных) Госстроем России (СССР) и Госкомархитектуры, а также ПУЭ. Настоящие нормы не распространяются на проектирование электропривода и электрооборудования специальных электротехнических установок (лифты, подъемники, кинотехнологическое оборудование, обучающие счетные устройства и п.т.), а также на проектирование устройств автоматизации, санитарно-технических, противопожарных и других технологических установок.

Применяемые в электротехнических установках оборудование и материалы должны соответствовать требованиям государственных и отраслевых стандартов, а также техническим условиям, утвержденным в установленном порядке, и выпускаться промышленностью. Электрооборудование и другие изделия, не освоенные серийным производством, допускается предусматривать в проектах только по согласованию с заказчиками и соответствующими министерствами или предприятиями-изготовителями. Конструкция, исполнение, способ установки, класс изоляции и степень защиты электрооборудования должны соответствовать номинальному напряжению сети и условиям окружающей среды.

Для хранения и ремонта светильников и электрооборудования в общественных зданиях необходимо предусматривать отдельные помещения (при числе светильников 300 и более) из расчета 10 м^2 на каждые 1000 светильников, но не мене 15 м^2.

Следует также предусматривать помещение для хранения технических средств для обслуживания светильников, установленных на высоте более 5 м от пола.

Каналы, ниши, закладные детали для электропроводок с каналами для электропроводок, плинтусы и наличники с каналами для электропроводок, а также электропроводки, замоноличиваемые в строительные элементы при их изготовлении, должны быть предусмотрены в архитектурно-строительных чертежах, проектах и чертежах строительных изделий по заданиям, разработанным проектировщиками электротехнической части проекта.

Степени (категории) обеспечения надежности электроснабжения электроприемников жилых и общественных зданий представлены в табл. 3.3.20.

Таблица 3.3.20

Степени (категории) обеспечения надежности электроснабжения электроприемников жилых и общественных зданий

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабжения
Жилые дома:	
противопожарные устройства (пожарные насосы, системы подпора воздуха, дымоудаления, пожарной сигнализации и оповещения о пожаре), лифты, аварийное освещение, огни светового ограждения	I
Комплекс остальных электроприемников:	
жилые дома с электроплитами (кроме 1–8–квартирных домов)	II
дома 1–8 – квартирные с электроплитами	III
дома св. 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе	II
дома до 5 этажей с плитами на газовом и твердом топливе	III
на участках садоводческих товариществ	III
Общежития общей вместимостью, чел.:	
до 50	III
св. 50	II

Продолжение табл. 3.3.20

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабже-
Отдельно стоящие и встроенные центральные тепловые пункты (ЦТП), индивидуальные тепловые пункты (ИТП) многоквартирных жилых домов	
Здания учреждений управления, проектных и конструкторских организаций, научно-исследовательских институтов: электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов	I
	I
Комплекс остальных электроприемников:	
здания с количеством работающих св. 2000 чел. независимо от этажности, здания высотой более 16 этажей, а также здания учреждений областного, городского и районного значения с количеством работающих св. 50 чел.	I
здания с количеством работающих св. 50 чел., а также здания областного, городского и районного значения до 50 чел.	II
здания с количеством работающих до 50 чел.	III
Здания лечебно-профилактических учреждений[1]*:* электроприемники операционных и родильных блоков, отделений анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии, кабинетов лапароскопии, бронхоскопии и ангиографии, противопожарных устройств и охранной сигнализации, эвакуационного освещения и больничных лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования:	
федерального и республиканского подчинения:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации, лифтов	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников учреждений краевого, областного, городского и районного подчинения	II
Библиотеки и архивы:	
электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации зданий с фондом св. 1000 тыс. ед. хранения	I
комплекс остальных электроприемников	II
комплекс электроприемников зданий с фондом, тыс. ед. хранения:	
св. 100 до 1000	II
до 100	III
Учреждения образования, воспитания и подготовки кадров:	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия торговли[2]*:*	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации, лифтов универсамов, торговых центров и магазинов	I
комплекс остальных электроприемников	II
Предприятия общественного питания:	
электроприемники противопожарных устройств и охранной сигнализации	I
комплекс остальных электроприемников	II

Продолжение табл. 3.3.20

Здания и сооружения	Степень обеспечения надежности электроснабжения
Предприятия бытового обслуживания: комплекс электроприемников салонов-парикмахерских с количеством рабочих мест св. 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест св. 50, прачечных и химчисток производительностью св. 500 кг белья в смену, бань с числом мест св. 100	II
то же, парикмахерских с количеством рабочих мест до 15, ателье и комбинатов бытового обслуживания с количеством рабочих мест до 50, прачечных и химчисток производительностью до 500 кг белья в смену, мастерских по ремонту обуви, металлоизделий, часов, фотоателье, бань и саун с числом мест до 100	III
Гостиницы, дома отдыха, пансионаты и турбазы: электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации и лифтов комплекс остальных электроприемников	I II
Музеи и выставки: комплекс электроприемников музеев и выставок федерального значения музеи и выставки республиканского, краевого и областного значения: электроприемники, противопожарных устройств, охранной сигнализации комплекс остальных электроприемников комплекс электроприемников музеев и выставок местного значения и краеведческих музеев	I I II III
Учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования: федерального и республиканского подчинения: электроприемники противопожарных устройств, охранной сигнализации, лифтов комплекс остальных электроприемников комплекс электроприемников учреждений краевого, областного, городского и районного подчинения	 I II II
Конференц-залы и актовые залы, в том числе со стационарными кинопроекционными установками и эстрадами во всех видах общественных зданий, кроме постоянно используемых для проведения платных зрелищных мероприятий	В соответствии с категорией электроприемников зданий, в которые встроены указанные залы

[1]Для электроприемников ряда медицинских помещений, например операционных, реанимационных (интенсивная терапия), палат для недоношенных детей, может потребоваться третий независимый источник. Необходимость третьего независимого источника определяется заданием на проектирование в зависимости от типа применяемого медицинского оборудования.

[2]Для временных сооружений, выполняемых в соответствии с 7.12 ПУЭ, а также встроенных помещений площадью до 100 м^2 – III категория электроснабжения.

Примечания

1. Схемы питания противопожарных устройств и лифтов, предназначенных для перевозки пожарных подразделений, должны выполняться в соответствии с требованиями п.п. 7.8–7.10 Свода правил (СП 31-110), независимо от их категории надежности.
2. В комплекс электроприемников жилых домов входят электроприемники квартир, освещение общедомовых помещений, лифты, хозяйственные насосы и др. В комплекс электроприемников общественных зданий входят все электрические устройства, которыми оборудуется здание или группа помещений.
3. Категория электроснабжения может быть повышена по заданию заказчика.

Электроприемники коммунально-бытовых потребителей, как правило, не имеют в своем составе электроприемников, относящихся согласно ПУЭ к особой группе первой категории. При наличии таких электроприемников в составе городских потребителей их электроснабжение должно выполняться индивидуально.

При построении сети требования к надежности электроснабжения отдельных электроприемников более высокой категории недопустимо распространять на все остальные электроприемники.

Основные затруднения возникают при разработке схем электроснабжения для обеспечения требуемой категории электроснабжения потребителей. Рассмотрим построение схем электроснабжения для различных категорий электроприемников.

Схемы электроснабжения потребителей первой категории. Основной схемой распределительной сети для электроприемников I категории должна быть двухлучевая схема с двухсторонним питанием с АВР на напряжение 0,4 кВ двухтрансформаторных ТП при условии подключения взаимно резервируемых линий 6–20 кВ к разным независимым источникам питания и устройства АВР непосредственно на вводе 0,4 кВ электроприемника. В схеме, приведенной на рис. 3.15, в каждой ТП устанавливаются по два трансформатора, которые питаются по самостоятельным линиям напряжением 6–20 кВ, отходящим от не зависящих друг от друга ЦП и присоединяемым к самостоятельным секциям сборных шин ТП. Устройство АВР осуществляется на напряжении 0,4 кВ с помощью контакторных станций. Независимые вводы к электроприемнику I категории выполняются от обоих трансформаторов. Схема электроснабжения (см. рис. 3.15) имеет дублирование всех элементов (линий 6–20 кВ, трансформаторов и вводов 0,4 кВ к электроприемнику). В нормальном режиме каждый трансформатор через нормально включенный контактор основного питания КО1 или КО2 питает свою группу потребителей.

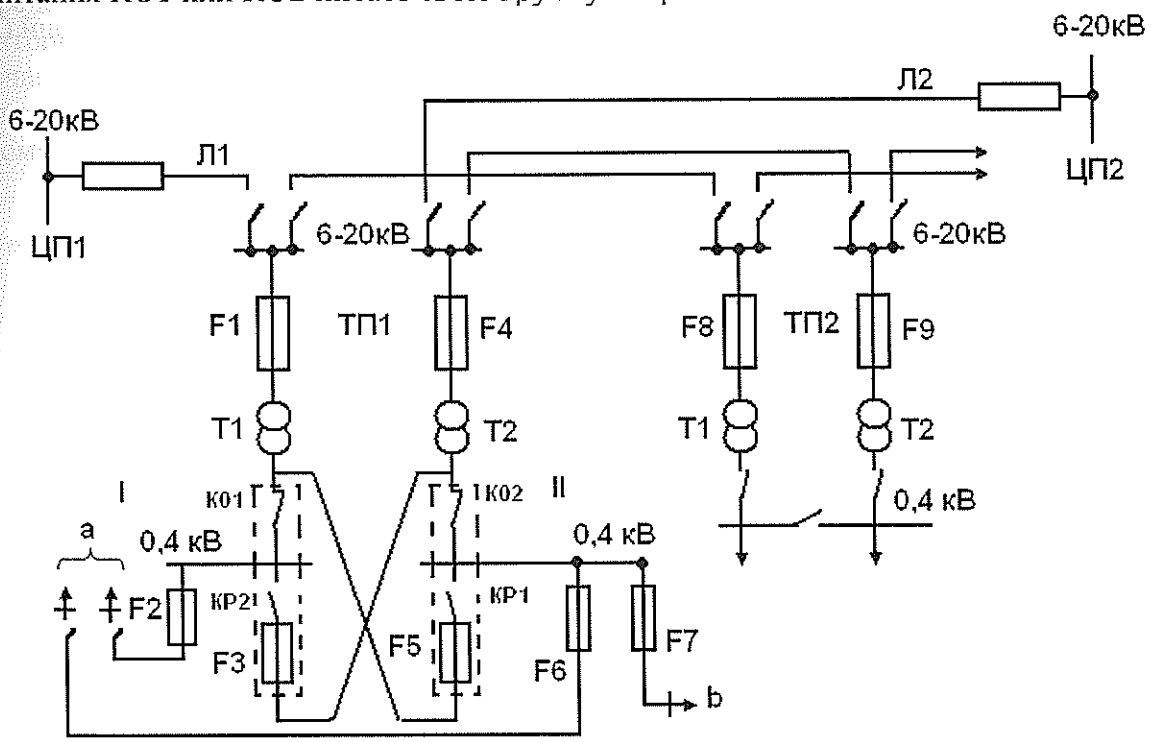


Рис. 3.15. Двулучевая схема сети с АВР на напряжение 0,4 кВ

При повреждении любой из линий 6–20 кВ (Л1 или Л2) либо связанного с ней трансформатора (Т1 или Т2) напряжение на соответствующей секции шин 0,4 кВ исчезает, контактор основного питания КО1 или КО2 отключается, после чего включается контактор резервного питания КР1 или КР2. В результате нагрузка отключившегося трансформатора автоматически переключается на оставшийся в работе второй трансформатор.

Например, при повреждении линии Л2 или трансформатора Т2 ТП1 напряжение на секции II шин 0,4 кВ исчезает, нормально включенный контактор основного питания КО2 отключается, после чего включается контактор резервного питания КР2. В результате питание секции II шин 0,4 кВ переводится на трансформатор Т1. Аналогично при повреждении линии Л1 или трансформатора Т1 питание секции 1 шин 0,4 кВ переводится на трансформатор Т2. Время работы контакторной станции – до 0,1 с.

Схема, приведенная на рис. 3.15, по существу представляет собой две не связанные между собой системы электроснабжения. Устройство АВР 0,4 кВ в ТП позволяет обеспечить питание всех потребителей (*a* и *b*), присоединенных к данной ТП, в случае повреждения трансформаторов и линий 6–20 кВ.

После восстановления питания ТП со стороны основного источника контакторные станции управления возвращаются в исходное положение, т.е. происходит так называемое самовосстановление схемы сети. Это обстоятельство используется при управлении режимом работы распределительных сетей в период суточного или сезонного снижения нагрузки, когда можно отключить незагруженные трансформаторы. Здесь отключаются соответствующие линии 6–20 кВ в ЦП. Вместе с линиями 6–20 кВ обесточиваются и присоединенные к ним трансформаторы. Нагрузки ТП с помощью контакторных станций в таких режимах будут переводиться на вторые трансформаторы в каждом ТП. При включении линии со стороны источника питания схема в ТП будет самовосстанавливаться за счет работы контакторных станций.

Для снижения стоимости сети предлагается подключать трансформаторы к распределительным линиям с помощью отпаек и применять шины 0,4 кВ каждого трансформатора с двумя секциями, к одной из которых подключаются потребители I категории, а к другой – II или III категории (рис. 3.16). При выходе из работы линии 6–20 кВ или трансформатора питание секций I и II переключается на оставшийся в работе трансформатор, а секция III или IV отключается, следовательно, отключаются потребители II и III категорий (*b* и *c*).

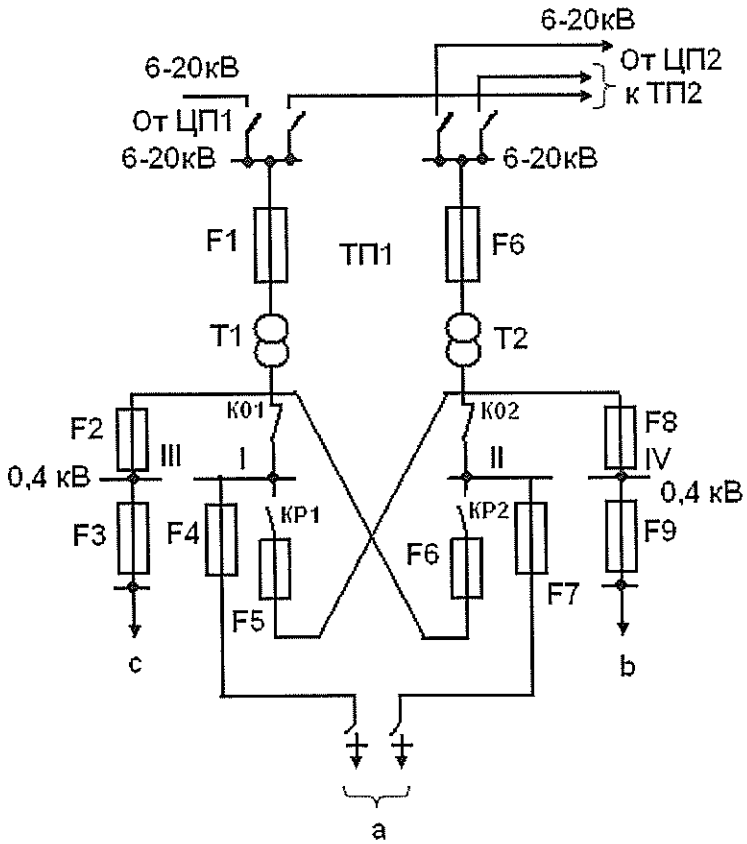


Рис. 3.16. Двухлучевая схема сети с АВР на напряжение 0,4 кВ при частичном резервировании потребителей

В этом случае мощность трансформаторов выбирается из их нагрузки в нормальном режиме, т.е. резерв трансформаторной мощности, не предусматривается. В схеме, показанной на рис. 3.15 нагрузка нормального режима должна составить не более 90 % номинальной мощности трансформаторов.

Электроснабжение электроприемников небольшой мощности на напряжении 0,4 кВ может быть осуществлено от двух соседних ТП, питающихся от разных ЦП, с помощью вводов 0,4 кВ от указанных ТП с установкой контакторной станции непосредственно у потребителя (рис. 3.17). Основное питание осуществляется от ТП1 через нормально включенный основной контактор КО. При повреждении линии 6–20 кВ или трансформатора ТП1 контактор КО отключается, а КР включается. В результате питание электроприемника происходит от ТП2.

Внутренние сети напряжением 0,4 кВ коммунально-бытовых потребителей, конструируемые по радиальной схеме (рис. 3.18), включают вводно-распределительное устройство, выполненное в виде одной или двух-трех специальных панелей, питающие (от вводного устройства до силовых или групповых щитов) и распределительные (от силовых или групповых щитов до электроприемников) сети. Для силовых установок (лифты, вентиляторы, пожарные насосы) и приемников освещения предусматриваются самостоятельные сети. Вводно-распределительное устройство оснащается коммутационной аппаратурой (автоматы, или рубильники) и предохранителями, а также устройством для подавления радиопомех и в отдельных случаях устройством автоматического управления освещением лестниц. Вертикальные участки линий 0,4 кВ между этажами здания называются стояками. Питание жилого дома (см. рис. 3.18) осуществляется по двум вводам Л1 и Л2, подключаемым к вводно-распределительному устройству 1. Взаимное резервирование вводов выполняется с помощью переключателя 2. Питание приемников I категории предусматривается непосредственно от вводов Л1 и Л2, взаимное резервирование которых обеспечивается контакторной станцией 4. При исчезновении напряжений контактор основного питания КО отключается, и включается контактор резервного питания КР. Силовая нагрузка питается по отдельной линии от ввода Л2. Осветительная нагрузка питается от ввода Л1. К междуэтажному квартирному стояку на этаже присоединяются этажные и квартирные щитки 3.

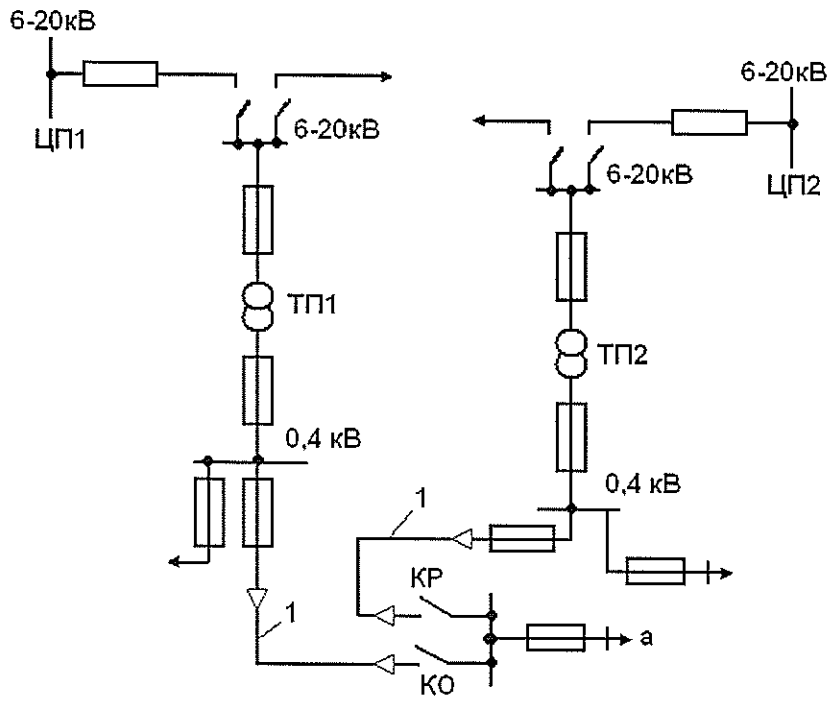


Рис. 3.17. Схема электроснабжения электроприемников I категории небольшой мощности (*а* – потребитель I категории; 1 – кабельные линии напряжением 0,4 кВ)

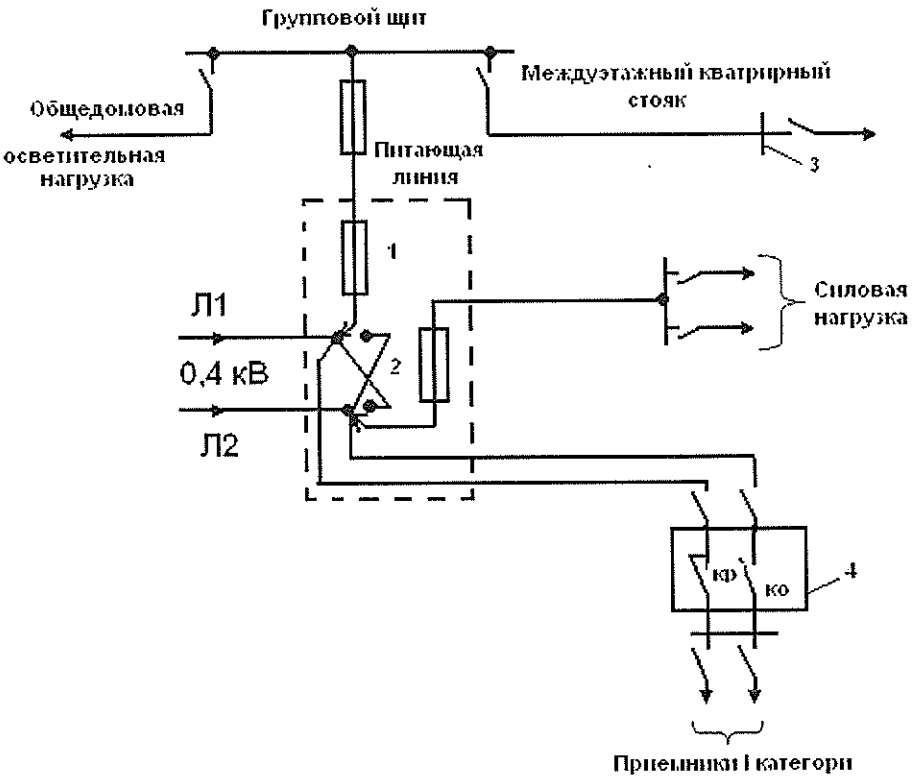


Рис. 3.18. Основные элементы внутренней сети напряжением 0,4 кВ жилого дома

Построение питающей сети напряжением 6–20 кВ при питании потребителей первой категории надежности

В рассмотренных выше схемах распределительная сеть города присоединяется непосредственно к ЦП. Однако она может содержать дополнительное звено, так называемую *питающую сеть* напряжением 6–20 кВ, представляющую собой совокупность питающих линий 6–20 кВ от ЦП до распределительных пунктов и прямых связей того же напряжения между РП. Наличие питающей сети напряжением 6–20 кВ характерно лишь для стран СНГ. Ее применение было обусловлено построением распределительной сети с трансформаторами малой мощности, а также условиями использования сложных и дорогих распределительных устройств (РУ) ЦП, характеризующихся большим количеством отходящих линий 6–20 кВ, а следовательно, большим количеством ячеек в РУ ЦП, необходимостью установки дополнительных реакторов для ограничения токов короткого замыкания, увеличением вероятности погашения шин напряжением 6–20 кВ ЦП из-за увеличения вероятности отказа большого числа выключателей, установленных в РУ ЦП.

В настоящее время РУ 6–20 кВ источников питания весьма упрощены, а типовые ТП имеют трансформаторы мощностью 400 и 630 кВА, поэтому применение питающих сетей требует технико-экономического обоснования.

Схемы с РП следует рассматривать в двух случаях: при значительной удаленности района электроснабжения от ЦП (2–6 км) и при пониженном уровне надежности распределительной сети напряжением 6–20 кВ (что приводит к частым отключениям выключателей в ЦП и повышению вероятности погашения шин ЦП из-за отказа этих выключателей). Кроме того, нагрузка на шинах РП должна быть не менее 4 МВт (при напряжении 6 кВ) и 7 МВт (при напряжении 10 кВ).

Питающую сеть напряжением 6–20 кВ рекомендуется выполнять по одной из следующих двух схем:

1) питание РП по двум взаимно резервируемым линиям, подключаемым к разным секциям с АВР на секционном выключателе (рис. 3.19);

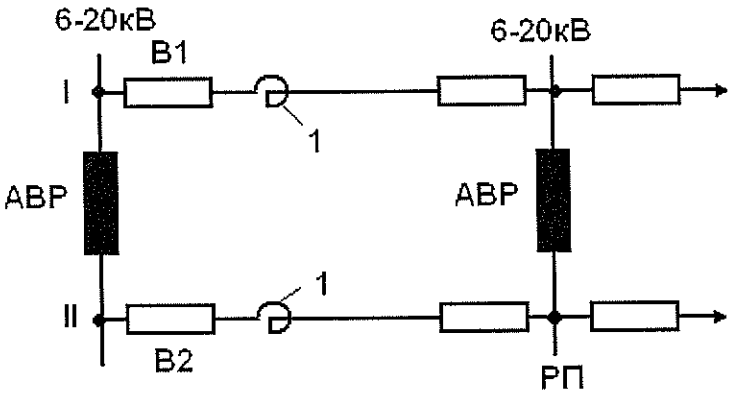


Рис. 3.19. Питание РП по двум взаимно резервируемым линиям напряжением 6–20 кВ (1 – токоограничивающие реакторы)

2) питание РП по трем линиям, две из которых работают нормально и подключены к одной секции шин 6–20 кВ ЦП. Резервирование отдельно работающей линии производится в РП с помощью АВР на секционном выключателе (рис. 3.20).

Сечение питающих линий выбирается на полную расчетную нагрузку РП и принимается, как правило, максимальным (185–240 мм^2). В схеме, показанной на рис. 3.19, обе линии Л1 и Л2 в нормальном режиме работают раздельно и несут нагрузку РП; шины РП секционированы. Устройство АВР двухстороннего действия предусматривается на междусекционном выключателе. При повреждении, например, линии Л1 она отключается в ЦП выключателем В1, в РП работает АВР и включает междусекционный выключатель. В результате вся нагрузка РП переводится на линию Л2. При повреждении линии Л2 вся нагрузка РП переводится на линию Л1. Линии ЛI и Л2 могут питаться не только от разных секций ЦП, но и от разных источников, следовательно, такие схемы пригодны для электроснабжения потребителей I категории.

При питании РП по трем линиям напряжением 6–20 кВ (см. рис. 3.20) две из них работают параллельно (Л1 и Л2) и являются резервом для третьей линии (Л3). Секционный выключатель оборудован устройством АВР одностороннего действия. Линия Л3 может питаться также и от другой секции ЦП1. Для обеспечения избирательной защиты параллельно работающих питающих линий Л1 и Л2 на их приемных концах в РП устанавливается максимальная направленная защита.

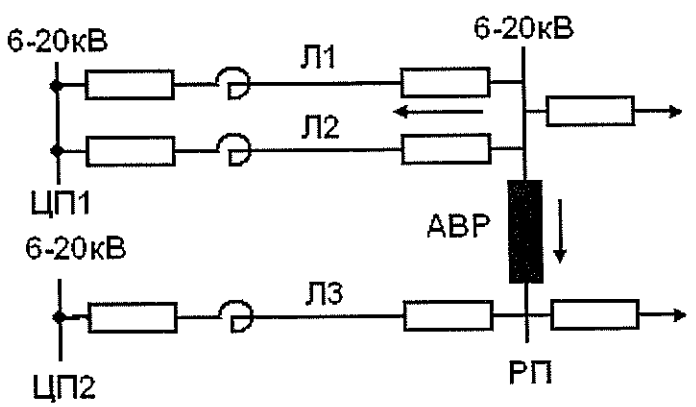


Рис. 3.20. Питание РП по трем линиям напряжением 6–20 кВ

При повреждении линии Л3 отключается выключатель в ЦП2 и действием АВР нагрузка отключившейся секции РП переводится на линии Л1 и Л2, имеющие резервы по пропускной способности.

Заметим, что РП обеспечивают своего рода секционирование сети, что с точки зрения схемного решения повышает надежность электроснабжения потребителей. Стоимость сети с РП, как правило, возрастает. Отсутствие зарубежных аналогов, а также увеличившаяся в последние годы (в условиях дефицита квалифицированного обслуживания) повреждаемость оборудовании РП служит дополнительным аргументом против сооружения РП.

Развитие существующей питающей городской сети может осуществляться по так называемому методу глубокого ввода. Под *глубоким вводом* понимают систему электроснабжения, обеспечивающую подвод наивысшего экономически целесообразного напряжения к центрам нагрузок с наименьшим количеством ступеней промежуточной трансформации и аппаратов. Осуществление глубокого ввода высокого напряжения возможно кабельными или воздушными двухцепными линиями непосредственно от ЦП, а также за счет отпаек от кольцевой воздушной сети напряжением 35–220 кВ. Использование глубоких вводов означает дробление подстанции высокого напряжения. Увеличение стоимости сети напряжением 35–220 кВ (линий и трансформаторов с учетом стоимости отчуждаемой территории) приводит к сокращению затрат на сеть 6–20 кВ за счет уменьшения се протяженности. При этом может быть оправдан отказ от сооружения распределительных пунктов и питающих линий 6–20 кВ. На подстанциях глубокого ввода городской сети, сооружаемых по упрощенным схемам на стороне высшего напряжения с применением отделителей и короткозамыкателей (т.е. без выключателей и распределительных устройств), устанавливают два силовых трансформатора.

Помимо снижения стоимости сети и потерь энергии, при глубоком вводе отмечается ряд дополнительных преимуществ: улучшаются режимы напряжений в связи с тем, что трансформаторы с регулированием напряжения под нагрузкой приближены к центрам нагрузок; уменьшаются токи короткого замыкания, так как городская сеть подключается не через увеличенное число параллельных линий напряжением 6–20 кВ, а через трансформатор с большим индуктивным сопротивлением; возможно простое исполнение релейной зашиты, так как отсутствуют параллельно работающие линии; линии более низкого напряжения (6–20 кВ) представляют собой в данном случае резервные линии, включающиеся с помощью АВР в послеаварийном режиме. Однако в прилегающей к подстанции глубокого ввода зоне наблюдается повышенной уровень шума, что может привести к решению о сооружении закрытых или подземных подстанций глубокого ввода, стоимость которых еще больше возрастет.

Рассмотрим возможные варианты схем электроснабжения потребителей второй категории надёжности.

Схемы электроснабжения потребителей второй категории

Для обеспечения надежного электроснабжения электроприемников II категории схема сети должна иметь резервные элементы, которые вводятся в работу (после повреждения основных элементов) оперативным персоналом. При этом может быть непосредственное резервирование линий напряжением 6–20 кВ, трансформаторов и линий 0,4 кВ, а также взаимное резервирование отдельных элементов сети (трансформаторов через сеть 0,4 кВ, резервирование линий 6–20 кВ и трансформаторов через сеть 0,4 кВ). Поэтому основной принцип построения распределительной сети для электроснабжения приемников II категории состоит в сочетании петлевых линий напряжением 6–20 кВ, обеспечивающих двухстороннее питание каждой ТП, и петлевых линий напряжением 0,4 кВ, присоединяемых к одной или разным ТП для питания потребителей. Допускается также использование авто-

матизированных схем (многолучевой, двухлучевой), если их применение увеличивает приведенные затраты городской электрической сети не более чем на 5 %.

Схема, показанная на рис. 3.21, предусматривает возможность двухстороннего питания ТП по сети напряжением 6–20 кВ и вводов 0,4 кВ, присоединенных к петлевым линиям напряжением 0,4 кВ, и предназначена для питания приемников II и Ш категорий.

Мощность трансформаторов ТП выбирается с резервом на случай питания потребителей, подключенных к петлевым линиям 0,4 кВ, отходящим от одной ТП, т.е. мощности трансформатора должно быть достаточно для обеспечения ограниченного резервировании питания потребителей. Сеть напряжением 0,4 кВ может работать в замкнутом режиме, и, следовательно, трансформаторы ТП окажутся параллельно работающими через сеть напряжением 0,4 кВ. В этом случае питание ТП по линиям 6–20 кВ должно осуществляться от одного источника, а в цепи 0,4 кВ трансформаторов устанавливают автоматы обратной мощности.

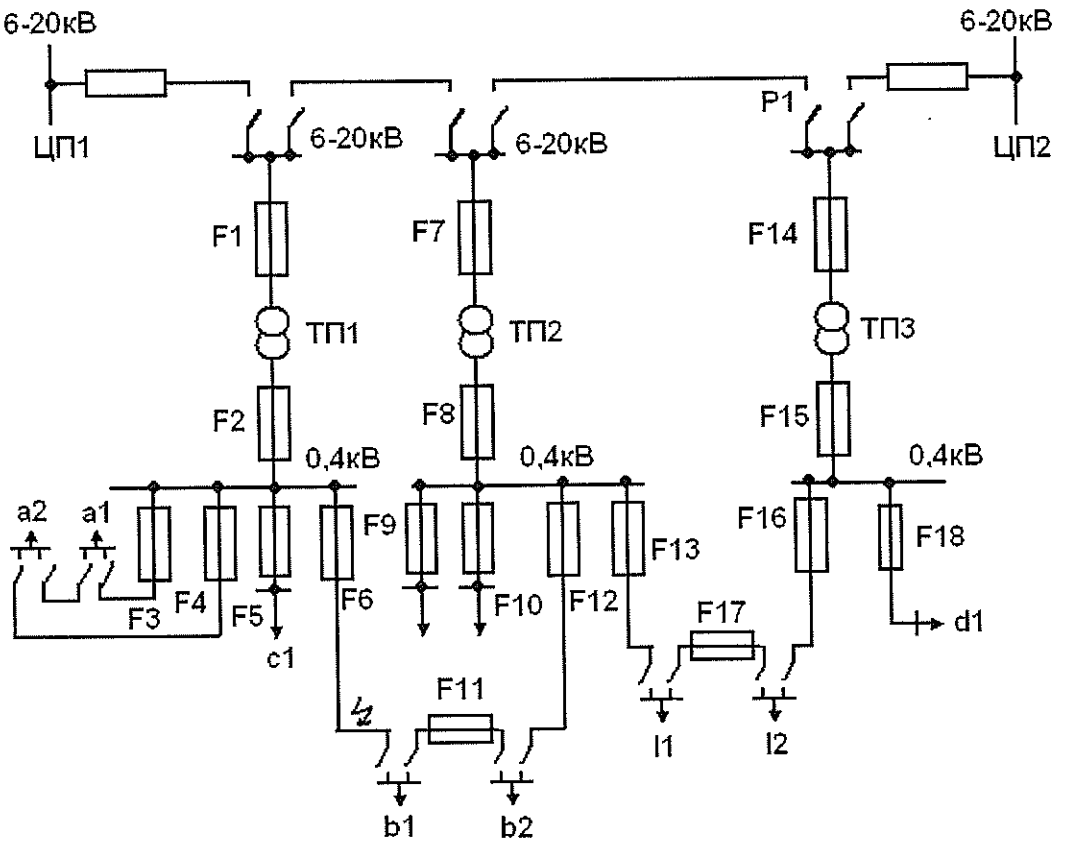


Рис. 3.21. Схема электроснабжения потребителей II категории (петлевая схема сети напряжением 6–20 кВ и 0,4 кВ)

На рис. 3.21 петлевые распределительные линии напряжением 0,4 кВ питают приемники II категории (*a*1, *a*2, *b*1, *b*2, *l*1, *l*2, *c*2). Приемники III категории (*c*1, *d*1) питаются по радиальным нерезервированным линиям или отдельным вводам к ним.

Для питания потребителя II категории *c*2 предусмотрены два ввода от ТП2, а для потребителей *a*1 и, *a*2 – петлевая линия от одного источника (ТП1). Такая схема питания допустима при наличии в городской сети централизованного резерва трансформаторов и возможности замены поврежденного трансформатора в течение суток.

Питание потребителей *b*1, *b*2 и *l*1, *l*2 осуществляется от петлевых линий напряжением 0,4 кВ, соединяющих ТП1 и ТП2, а также ТП2 и ТП3.

Петлевые линии напряжением 0,4 кВ содержат специальное распределительное устройство, так называемый соединительный пункт (П1, П2), конструкция которого предусматривает возможность установки предохранителей на подходящих к нему линиях.

В нормальном режиме распределительная сеть напряжением 0,4 кВ в соединительном пункте разомкнута и каждая ТП питает свой район сети. По этим условиям выбираются

сечения проводов линий напряжением 6–20 кВ и 0,4 кВ и мощности трансформаторов ТП. Выбранные параметры проверяются далее в условиях, возникающих при нарушениях нормального режима. Так, сечение линий напряжением 6–20 кВ должно обеспечить пропуск всей мощности ТП, присоединенных к петлевой линии. Аналогичным образом выбирается сечение линий напряжением 0,4 кВ, т.е. сечение проводов должно обеспечить пропуск всей мощности, подключенной к петлевой линии напряжением 0,4 кВ (в нашем примере это мощности потребителей $a1$ и $a2$, или $l1$ и $l2$, или $b1$ и $b2$). Сечение вводов к потребителю $c2$ принимается по условию питания этого потребителя по одному вводу при аварийном отключении второго.

Мощность трансформаторов в ТП выбирается с учетом поочередного выхода соседних трансформаторов из работы и резервирования электроснабжения потребителей, питающихся только петлевым линиям напряжением 0,4 кВ. Так, при выходе из строя трансформатора ТП2 нагрузка потребителя $b2$ должна получить питание от ТП1 после установки предохранителя F11, а нагрузка потребителя $l1$ – от ТП3 после установки предохранителя F17. При повреждении трансформатора ТП3 нагрузка потребителя $l2$ получает питание от ТП2, а нагрузка $d1$ отключается на время ремонта или замены поврежденного трансформатора ТП3.

Таким образом, мощность трансформатора ТП1 должна быть определена с учетом необходимости питания потребителя $b2$, а мощность трансформатора ТП3 – с учетом необходимости питания потребителя $l1$. Мощность трансформатора ТП2 должна определяться с учетом необходимости питания наибольшей из мощностей нагрузок потребителей $b1$ и $l2$ (см. рис. 3.21). Резервная мощность трансформатора определяется конфигурацией сети напряжением 0,4 кВ, и в принципе можно установить в ТП трансформаторы такой мощности, которой было бы достаточно для удовлетворения потребностей всех потребителей отключившихся ТП. Однако в этом случае резко возрастет стоимость сооружения сети.

Если в соединительном пункте П1 установить предохранитель, то петлевая линия напряжением 0,4 кВ окажется замкнутой и трансформаторы ТП (если они удовлетворяют условию параллельной работы) будут связаны между собой параллельной работой через сеть напряжением 0,4 кВ. Сеть в таком случае называется полузамкнутой. В такой сети минимален уровень потерь энергии улучшается качество подаваемой потребителю энергии, повышается надежность работы сети.

Как видно из рис. 3.21, на параллельную работу включаются трансформаторы, связанные только с одной линией напряжением 6–20 кВ. На параллельную работу могут включаться также трансформаторы, питание которых производится от разных распределительных линий напряжением 6–20 кВ, отходящих только от одного источника (рис. 3.22). Во избежание подпитки точки короткого замыкания в сети напряжением 6–20 кВ через сеть напряжением 0,4 кВ от параллельно работающего трансформатора в цепях 0,4 кВ трансформаторов должны устанавливаться автоматы обратной мощности.

При работе сети напряжением 0,4 кВ в замкнутом режиме в соединительных пунктах устанавливаются предохранители с номинальным током на две-три ступени меньше, чем на головных участках петлевой линии 0,4 кВ и ТП. При повреждении участка петлевой линии 0,4 кВ, например в точке К1 (см. рис. 3.21), перегорает предохранитель П1 и предохранитель на головном участке этой линии в ТП1. Потребитель $b2$ при этом продолжает получать питание от ТП2. Нахождение места и определение характера повреждений, а также необходимые переключения в сети производятся обслуживающим персоналом.

При отсутствии в замкнутой сети напряжением 0,4 кВ предохранителя П1 и повреждении в точке К1 должны перегореть предохранители на головных участках петлевой линии в ТП1 и ТП2, в результате чего прекращается подача электроэнергии потребителям.

В схеме, приведенной на рис. 3.21, выпадение любого элемента сети связано с нарушением электроснабжения отдельных потребителей. При повреждении, например, на головном участке линии напряжением 6–20 кВ от ЦП1 эта линия вместе с ТП1 и ТП2 отключается релейной защитой со стороны ЦП1. Одновременно перегорает предохранитель П1.

В результате нарушается электроснабжение потребителей, питаемых от ТП1 и ТП2. После выявления и локализации поврежденного участка включается разъединитель Р1 и петлевая линия получает питание от ЦП2; тем самым восстанавливается электроснабжение ТП1 и ТП2. При повреждении трансформатора в любой из ТП перегорают предохранители со стороны 6–20 кВ и предохранители соединительных пунктов. В результате нарушается электроснабжение потребителей, питаемых от ТП.

Заметим, что местонахождение нормального размыкания петлевой линии 6–20 кВ (разъединителем Р1) выявляется в результате расчета на основе минимума потерь мощности или энергии в схеме сети.

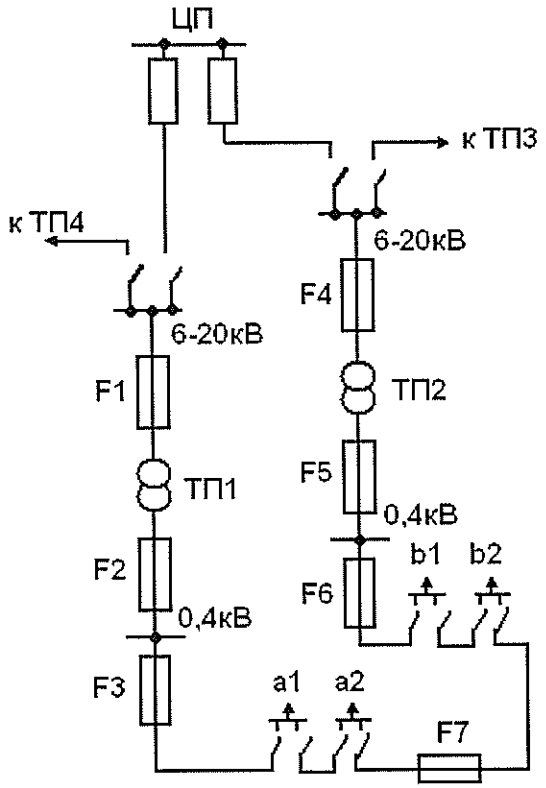


Рис. 3.22. Петлевая схема сети напряжением 6–20 кВ и 0,4 кВ

Отметим особенности построения замкнутых сетей напряжением 0,4 кВ, получивших широкое распространение за рубежом. Наличие замкнутой сети напряжением 0,4 кВ обеспечивает параллельную работу всех трансформаторов сети.

Распределительная сеть 6–20 кВ должна при этом выполняться радиальными линиями одностороннего питания. Резервирование отдельных элементов сети при их повреждении производится автоматически через замкнутую сеть 0,4 кВ, При этом обеспечивается бесперебойное питание потребителей при повреждении линий 6–20 кВ и трансформаторов, а также линий 0,4 кВ в зависимости от принятого способа их защиты (рис. 3.23). Как было показано, при защите замкнутых линий 0,4 кВ плавкими предохранителями происходит отключение потребителей в случае повреждения самих линий. Если бы защита сети базировалась на принципе самоликвидации места повреждения за счет выгорания кабеля и запекания его изоляции с обеих сторон, как это имело место в первых глухо замкнутых сетях США, то бесперебойность электроснабжения потребителей нарушалась бы только в случае повреждений на вводах 0,4 кВ к ним. Указанный принцип защиты оказался наиболее приемлемый для сетей с одножильными кабелями с искусственной изоляцией, прокладываемыми в блоках. В сетях е четырехжильными кабелями с бумажно-масляной изоляцией, используемыми в нашей стране, применение подобного принципа вызывает затруднения.

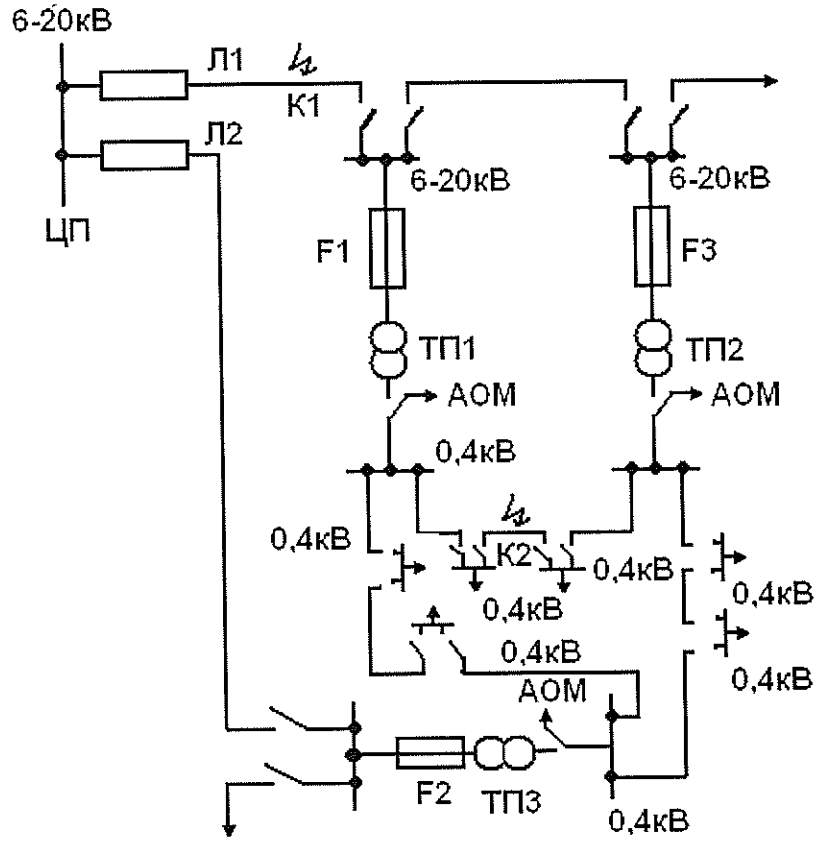


Рис. 3.23. Замкнутая сеть напряжением 0,4 кВ без применения защиты

Самоликвидация места повреждения происходит за счет того, что дуга, возникающая в месте короткого замыкания, через несколько периодов гаснет сама собой вследствие образования большого количества неионизированных газов, выделяющихся при горении изоляции кабеля и низкого напряжения сети, не способного поддерживать дугу. Надежное гашение дуги происходит при напряжении 0,4 кВ и токе через дугу 2,5–18 А. В месте повреждения кабель выгорает, концы: его оказываются заизолированными спекшейся массой из изоляции кабеля. Однако с увеличением мощности короткого замыкания и ухудшением условий выгорания кабеля в сетях США стали применяться ограничители (грубые предохранители), локализующие поврежденный участок при затяжном процессе гашения дуги в месте повреждения кабеля.

В отличие от петлевой схемы выбор параметров отдельных элементов сети производится по условию питания всех ее потребителей в нормальном и послеаварийном режимах, возникающих в сети при повреждениях ее элементов. Сечение линий напряжением 0,4 кВ и мощность трансформаторов должны определяться с учетом токораспределения в замкнутой сети и проверяться по условиям послеаварийного режима при выходе из работы одной из распределительных линий 6–20 кВ вместе с трансформаторами. При этом пропускная способность линий и мощность оставшихся в работе трансформаторов должны быть достаточными для обеспечения работы всех потребителей сети без ограничения их мощности на время послеаварийного режима. Сечение линий напряжением 6–20 кВ также должно определяться с учетом выхода из работы других линий 6–20 кВ.

Сеть напряжением 0,4 кВ, показанная на рис. 3.23, выполнена замкнутой без применения защиты. Сеть напряжением 6–20 кВ состоит из отдельных распределительных линий Л1 и Л2. На стороне 0,4 кВ трансформаторов устанавливаются автоматы обратной мощности (АОМ), отключающиеся при повреждениях в сети 6–20 кВ (линии или трансформаторов) и подпитке места повреждения К1 от неповрежденной линии Л2 через трансформатор ТП3 и замкнутую сеть напряжением 0,4 кВ. Отключение автомата производится только при изменении направления потока энергии на обратное.

При повреждении распределительной линии напряжением 6–20 кВ в точке К1 линия Л1 отключается со стороны ЦП. Трансформаторы ТП1 и ТП2, связанные с данной линией, отключаются от сети напряжением 0,4 кВ автоматами обратной мощности, установленными в ТП на напряжении 0,4 кВ, Место повреждения таким образом локализуется, а питание потребителей 0,4 кВ осуществляется от Л2 и ТП3.

При повреждении в точке К2 сети напряжением 0,4 кВ, место повреждения должно самоликвидироваться за счет выгорания кабеля, и электроснабжение может быть нарушено лишь при повреждениях на вводах к потребителю.

Так как использование явления самовыгорания четырехжильного кабеля с изоляцией с вязкой пропиткой встретило значительные затруднения, для защиты сети стали применять автоматы обратной мощности с селективными предохранителями, которые устанавливаются на всех линиях 0,4 кВ. При повреждении линии 0,4 кВ перегорают предохранители, установленные на ее концах, и электроснабжение потребителей, подключенных к данной линии, нарушается. Поскольку объем отключений потребителей небольшой, то сочетание автоматов обратной мощности, с предохранителями при наличии замкнутой сети напряжением 0,4 кВ наиболее распространено в городах Европы.

Замкнутые сети напряжением 0,4 кВ применяются у нас в стране и за рубежом с питанием от одного источника. Это позволяет использовать простейшее устройство автомата обратной мощности. При питании замкнутой сети от разных источников и кратковременном снижении напряжения на шинах одного из ЦП происходит изменение направления потока мощности через автоматы обратной мощности. Последние отключаются, следовательно, отключаются все ТП, связанные с этим источником. Автоматы обратной мощности в этой случае должны быть оборудованы устройствами автоматического повторного включения, работающими в зависимости от уровня напряжения на вторичной стороне трансформаторов. При восстановлении напряжения отключенные автоматы обратной мощности автоматически включаются и схема замкнутой сети восстанавливается. Устройство автоматического повторного включения значительно усложняет автоматы обратной мощности, так как необходимы автоматический привод для воздушного выключения и специальное реле напряжений. Поэтому схемы замкнутой сети с питанием от разных источников распространения не получили.

Замкнутая сеть напряжением 0,4 кВ обеспечивает более надежное электроснабжение потребителей, пониженные потери электроэнергии в сети и лучшее качество напряжения у потребителей. Поскольку питание такой сети осуществляется от одного источника, она может быть использована лишь для электроснабжения потребителей II категории.

На основе замкнутой схемы сети напряжением 0,4 кВ была разработана ее модификация, предусматривающая дополнительную установку устройств автоматического ввода резерва (АВР) в сети напряжением 6–20 кВ, пусковым органом которых служат автоматы обратной мощности. При этом сеть 0,4 кВ защищается предохранителями.

Ввод резервных линий напряжением 6–20 кВ может осуществляться не только действиями оперативного персонала, но и автоматически, если рассматриваемая ТП имеет дополнительную резервную связь с другой петлевой линией, питающейся от другого ЦП. Если каждая ТП оснащена устройством АВР на стороне 6–20 кВ, такая распределительная сеть будет называться полностью автоматизированной. Полностью автоматизированная сеть строится с использованием многолучевой схемы 6–20 кВ в сочетании с распределительными радиальными или петлевыми линиями 0,4 кВ (рис. 3.24).

Сечение петлевой линии напряжением 0,4 кВ, связывающей разные ТП, принимается с учетом передачи 20–30 % мощности трансформатора, т.е. как правило, большего значения, чем это определяется нагрузкой питаемых от нее в нормальном режиме потребителей. Это позволяет использовать данную линию для частичного резервирования трансформаторов разных ТП при аварийных и плановых переключениях ТП для производства ремонтных работ.

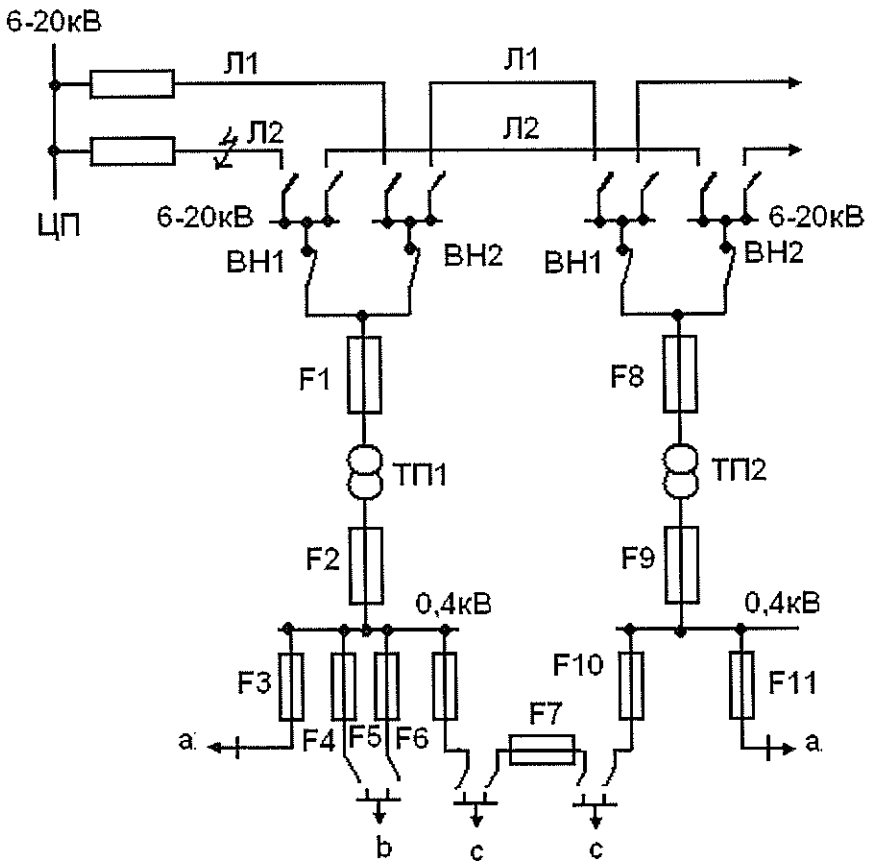


Рис. 3.24. Двухлучевая схема сети с АВР на напряжении 6–20 кВ

Параллельная работа трансформаторов ТП1 и ТП2 через сеть напряжением 0,4 кВ не допускается, так как при повреждениях в сети 6–20 кВ может наблюдаться остаточное напряжение в сети 0,4 кВ, что затрудняет выбор уставок реле напряжения для работы устройства АВР на стороне 6–20 кВ, приводящегося в действие после исчезновения напряжения. Кроме того, выключатели нагрузки должны отключать токи короткого замыкания, что не предусматривается их конструкцией. Например, при коротком замыкании в точке К1 (линия Л2) выключатель ЦП1 должен отключить эту линию. Однако подпитка точки короткого замыкания возможна через сеть 0,4 кВ от трансформатора ТП2, в связи с чем выключатель ВН1 должен отключать ток короткого замыкания. Кроме того, сигнал на включение выключателя ВН2 запаздывает, так как в цепи выключателя ВН1 имеется напряжение. При установке в цепях 0,4 кВ трансформаторов ТП1 и ТП2 автоматов обратной мощности исключается подпитка точки короткого замыкания, но трудности по согласованию селективности срабатывания названных аппаратов сохраняются.

Необходимость переустройства и недостаточная надежность работы выключателей нагрузки типа ВН, обеспечивающих включение резервной линии, привели к отказу от применения схем, подобных приведенной на рис. 3.24.

Двухлучевая схема сети для электроснабжения потребителей II категории имеет вид, показанный на рис. 3.25. Здесь ТП, подключенные к двухлучевым схемам, оснащены двумя или тремя трансформаторами. Отдельные секции распределительного устройства напряжением 10 кВ ТП связаны между собой через нормально отключенный разъединитель. Система автоматического ввода резерва на стороне 0,4 кВ ТП, как правило, присутствует. Кабельные линии 10 кВ в двухлучевых схемах (Л1 и Л2) имеют достаточно большое сечение жил.

При повреждении линии основного питания напряжением 10 кВ перевод на питание от резервной линия осуществляется включением вручную секционного разъединителя на стороне 10 кВ ТП. При выводе в ремонт одного силового трансформатора перевод нагруз-

ки на оставшийся в работе трансформатор выполняется включением секционного рубильника на стороне 0,4 кВ (см. рис. 3.25).

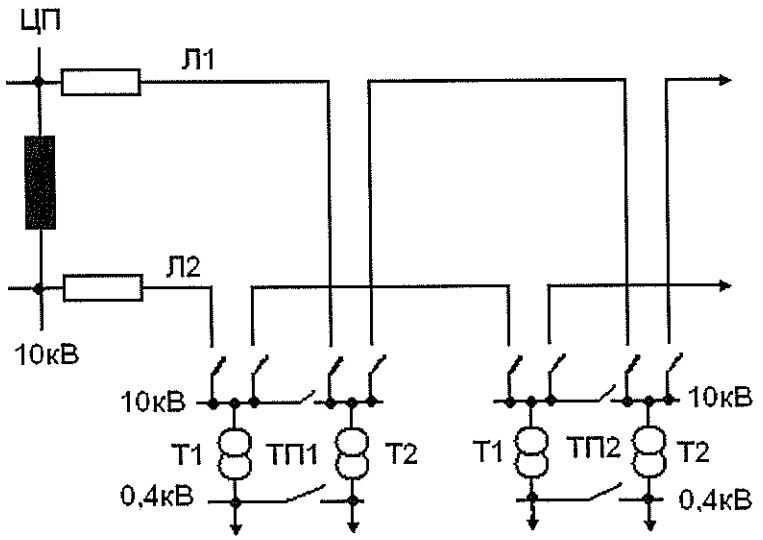


Рис. 3.25. Двухлучевая схема сети с напряжением 10 кВ

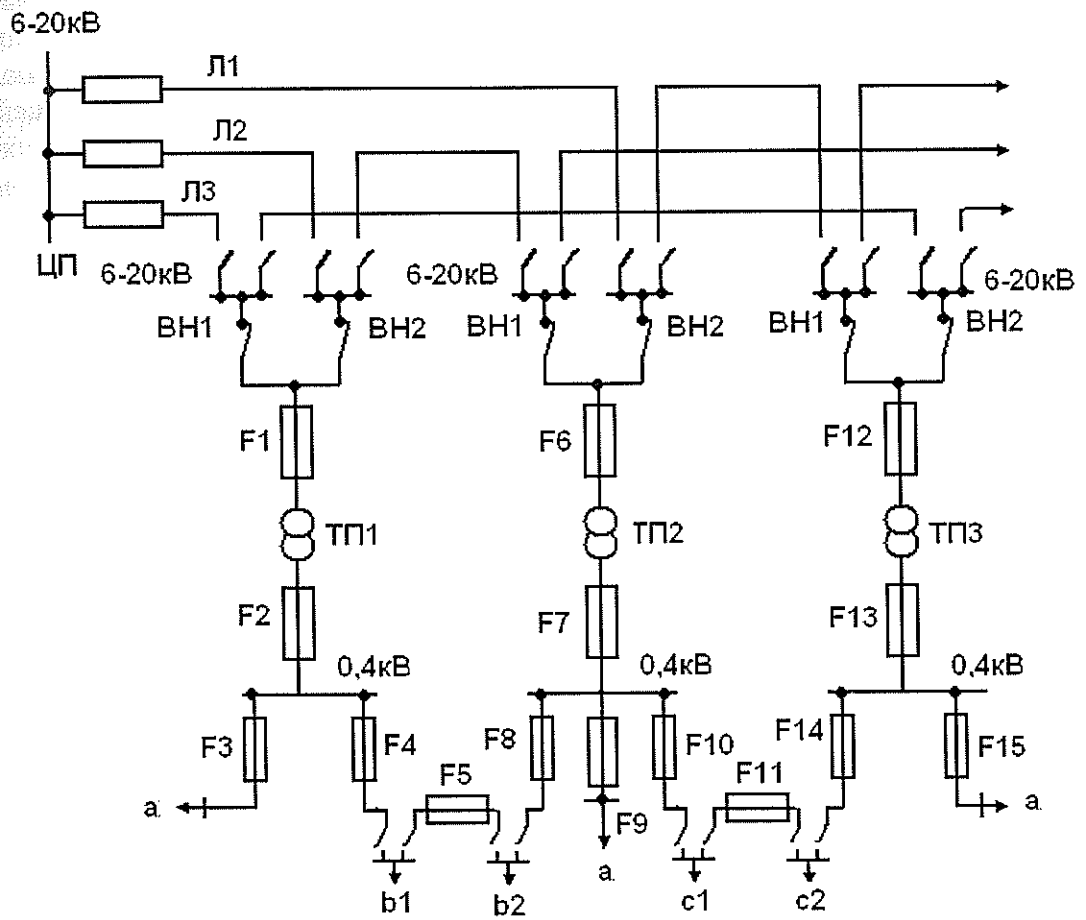


Рис. 3.26. Трехлучевая схема сети с АВР на напряжение 6–20 кВ

В крупных городах распределительная сеть выполняется многолучевой, с большим числом взаимно резервирующих линий. Присоединения ТП чередуются вдоль распределительных линий 6–20 кВ для лучшего использования пропускной способности линий. Так, если в аварийном режиме допускается загрузка кабельных линий на 130 %, то в нормаль-

ном режиме в двухлучевой схеме каждый кабель может быть загружен на 65 %. При построении сети с тремя или четырьмя линиями использование пропускной способности увеличивается до 75–80 % (здесь считается, что два кабеля загружаются в нормальном режиме на 65 %, а один или два других – на 100 %). В схеме, приведенной на рис. 3.26, питание ТП1 осуществляется по линии Л3, резервирование – по Л2, питание ТП2 – по Л2, резервирование – по Л1, питание ТП3 – по Л1, резервирование – по линии Л3.

Линии напряжением 6–20 кВ могут прокладываться также от различных источников. Как видно из рис. 3.25 и 3.26, эти схемы могут использоваться лишь для питания потребителей II и III категорий (здесь нет или резервирования трансформаторов, или АВР).

Рассмотрим построение схем электроснабжения потребителей третьей категории надёжности.

Схемы электроснабжения потребителей третьей категории

Стремление к сохранению питания всех потребителей при повреждении в любом элементе сети повлекло бы за собой необходимость неоправданного резервирования линий и трансформаторов и увеличение стоимости сети. Поэтому городские сети для питания потребителей III категории выполняются по радиальным нерезервируемым линиям напряжением 6–20 кВ и 0,4 кВ (рис. 3.27), а также по петлевым резервируемым линиям напряжением 6–20 кВ с целью обеспечения двухстороннего питания каждой ТП и радиальным резервируемым линиям напряжением 0,4 кВ к потребителям (рис. 3.28). Особенность прокладки линий напряжением 6–20 кВ в городской сети состоит в заходе магистралей в каждую ТП, что создает условия для выделения поврежденного участки линии и последующей подачи напряжения части ТП.

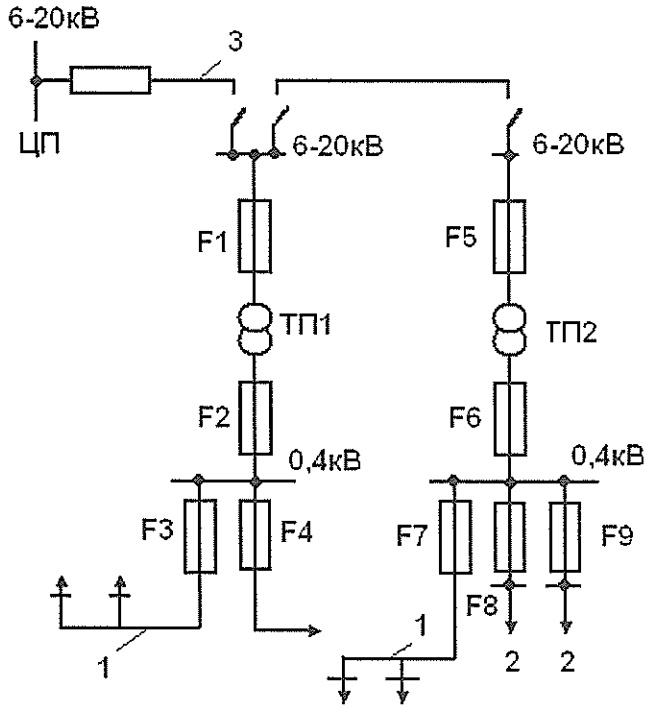


Рис. 3.27. Радиальная нерезервированная сеть:
1 – распределительная линия напряжением 0,4 кВ; 2 – вводы к потребителям; 3 – распределенная линия напряжением 6–20 кВ; ЦП – центральный распределительный пункт; F1–F9 – предохранители; ТП – трансформаторная подстанция

Схема, сети, приведенная на рис. 3.27, применяется в малых городах, где линии напряжением 6–20 кВ выполняются воздушными с нагрузкой, меньшей 400 кВА. Эта сеть

наиболее дешевая. Длина высоковольтной магистрали составляет до 2 км при максимальной нагрузке до 1,5 МВт. Здесь при повреждении любого элемента распределительной сети питание потребителей может быть восстановлено лишь после ремонта этого элемента или его замены, так как в сети отсутствуют резервные элементы. Каждая ТП используется для питания своего района сети напряжением 0,4 кВ, которые между собой не связываются. Параметры элементов сети выбирают исходя из нормального режима, т.е. сечение линии напряжением 6–20 кВ определяется суммарной нагрузкой потребителей, питаемых от ТП1 и ТП2. Сечение линий напряжением 0,4 кВ выбирается по нагрузке присоединенных к ней потребителей. Мощность трансформаторов ТП1 и ТП2 выбирается в зависимости от суммарной нагрузки потребителей, питаемых от этих ТП.

Поскольку группы приемников электроэнергии суммарной мощностью свыше 400 кВА относятся к приемникам II категории, наибольшее распространение получила схема, приведенная на рис. 3.27. Петлевая линия – это не что иное, как линия с двухсторонним питанием, которая работает по разомкнутой схеме. Работа линий в замкнутом режиме экономически не оправдана из-за необходимости установки большого количества выключателей и устройств релейной защиты от повреждений. Схема, показанная на рис. 3.28, предназначена для электроснабжения приемников III категории, так как питание отдельных потребителей осуществляется по радиальной сети напряжением 0,4 кВ. В связи с тем что совокупность потребителей с суммарной нагрузкой более 400 кВА должна рассматриваться как приемник II категории, питание ТП по сети напряжением 6–20 кВ осуществляется с резервированием. Резерв трансформаторной мощности в ТП не предусматривается.

Схема сети, показанная на рис. 3.28, применяется в малых городах и поселках городского типа при выполнении сети напряжением 6–20 кВ воздушными линиями. В нормальном режиме линия Л1, отходящая от ЦП1, питает ТП1 и ТП2, а линия Л2, отходящая от ЦП2, питает ТП3.

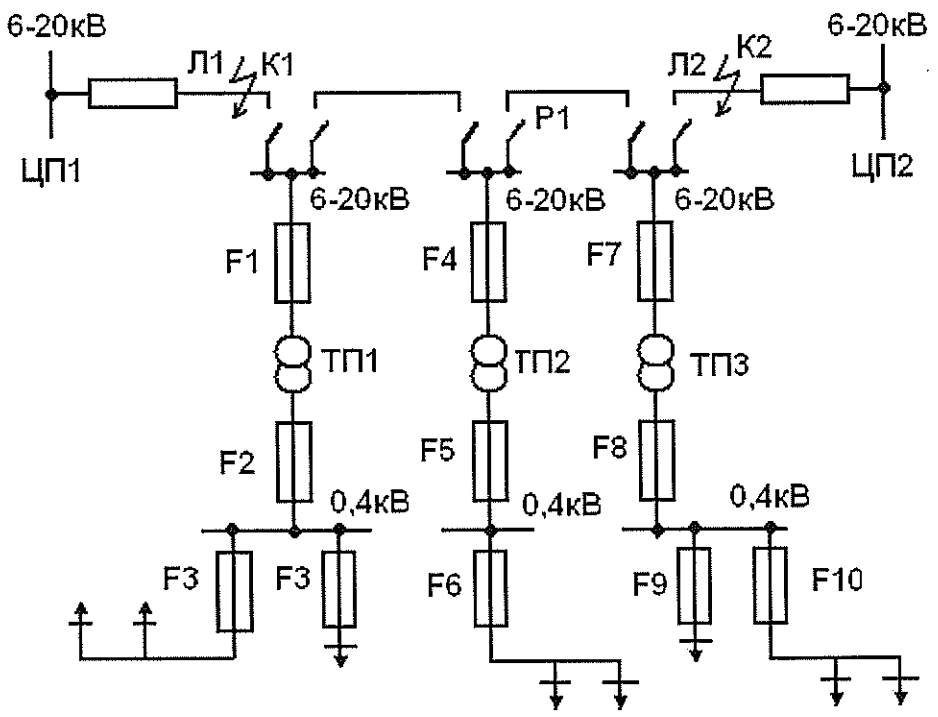


Рис. 3.28. Петлевая линия напряжением 6–20 кВ и нерезевируемые линии напряжением 0,4 кВ; ЦП – центр питания

Разъединитель Р1 отключен. При коротком замыкании в точке К1 автоматически отключается выключатель в ЦП1 и прекращается подача электроэнергии ТП1 и ТП2. После

нахождения места повреждения и его локализации (отключения разъединителя распределительного устройства (РУ) 6–20 кВ ТП1) включается разъединитель Р1 и питание ТП1 и ТП2 восстанавливается от ЦП2 до линии Л2. Заметим, что операции с разъединителями проводятся при ненагруженных трансформаторах ТП. Аналогичная ситуация характерна и при коротком замыкании на головном участке линии Л2 (точка К2). Здесь для локализации поврежденного участка должен быть отключен выключатель ЦП2 (после чего прекращена подача электроэнергии к ТП3) и разъединитель 6–20 кВ в РУ ТП3. Питание ТП3 восстанавливается по линии Л1 от ЦП1 включением разъединителя Р1.

Таким образом, сечение участков линии Л1, Л2 должно быть рассчитано на пропуск всей мощности ТП, подключенных к петлевой линии. В связи с этим петлевая линия на всем протяжении выполняется одного и того же сечения. Резерв трансформаторной мощности в ТП не предусматривается.

Петлевая линия может работать и в замкнутом режиме (разъединитель Р1 нормально включен). Однако в этом случае при коротком замыкании в какой-либо точке линии, например К1 или К2, должны отключиться выключатели обоих центров питания, т.е. ЦП1 и ЦП2, и на все ТП будет прекращена подача электроэнергии на время поиска и локализации поврежденного участка. При работе петлевой линии в разомкнутом режиме, как показано выше, погашается при повреждениях на линии лишь часть ТП. Данное обстоятельство имеет решающее значение при выборе режима работы схемы сети.

Схемы распределительных сетей напряжением 0,4–20 кВ

Распределительные сети 10(6) кВ рекомендуется использовать для совместного питания городских коммунально-бытовых и промышленных потребителей. При технико-экономических обоснованиях допускается сооружение питающих сетей 10(6) кВ для самостоятельного электроснабжения отдельных крупных потребителей. Построение городской электрической сети по условиям обеспечения необходимой надежности электроснабжения потребителей, как правило, выполняется применительно к основной массе электроприемников рассматриваемого района города. При наличии отдельных электроприемников более высокой категории, или особой группы первой категории, этот принцип построения сетей дополняется необходимыми мерами по созданию требуемой надежности электроснабжения этих электроприемников.

Схема распределительной сети должна выполняться с условием, чтобы секции сборных шин 10(6) кВ ЦП не включались в нормальном и послеаварийном режимах на параллельную работу через указанную сеть. Нагрузочная способность линий и трансформаторов должна определяться принятым способом построения распределительной сети, расчетными режимами ее работы, с учетом перегрузочной способности оборудования и кабелей в послеаварийном режиме. Целесообразность сооружения РП 10(6) кВ должна обосновываться технико-экономическим расчетом. Нагрузка РП на расчетный срок должна составлять на шинах 10 кВ не менее 7 МВт, на шинах 6 кВ – не менее 4 МВт. Распределительные пункты 10(6) кВ следует, как правило, выполнять с одной секционированной системой сборных шин с питанием по взаимнорезервируемым линиям, подключенным к разным секциям. На секционном выключателе должно предусматриваться устройство АВР. При соответствующих обоснованиях допускается применение других схем.

При петлевой, замкнутой и радиальной схемах распределительных сетей 10(6) кВ должны применяться ТП, как правило, с одним трансформатором. Основным принципом построения распределительной сети 10(6) кВ для электроснабжения электроприемников первой категории является двухлучевая схема с двусторонним питанием при условии подключения взаимнорезервирующих линий 10(6) кВ к разным независимым источникам питания. При этом на шинах 0,4 кВ двухтрансформаторных ТП и непосредственно у потребителя (при наличии электроприемников первой категории) должно быть предусмотрено

АВР. Следует также рассматривать питание электроприемников первой категории по сети 0,4 кВ от разных ТП, присоединенных к разным независимым источникам. При этом необходимо предусматривать необходимые резервы в пропускной способности элементов системы в зависимости от нагрузки электроприемников первой категории.

Основным принципом построения распределительной сети 10(6) кВ для электроприемников второй категории является сочетание петлевых схем 10(6) кВ, обеспечивающих двухстороннее питание каждой ТП, и петлевых схем 0,4 кВ для питания потребителей. При этом линии 0,4 кВ в петлевых схемах могут присоединяться к одной или разным ТП.

Рекомендуется параллельная работа трансформаторов на напряжении 0,4 кВ по схеме со «слабыми» связями или по полузамкнутой схеме при условии обслуживания указанных сетей 0,4 кВ электроснабжающей организацией. Допускается применение автоматизированных схем (двухлучевых и др.) для питания электроприемников второй категории, если их применение приводит к увеличению приведенных затрат на сооружение сети не более, чем на 5 %.

Основным принципом построения распределительной сети 10(6) кВ для электроприемников третьей категории является сочетание петлевых линий 10(6) кВ и радиальных линий 0,4 кВ к потребителям. При применении воздушных линий электропередачи для питания электроприемников третьей категории резервирование линий может не предусматриваться. При применении в сети 0,4 кВ кабельных линий должна учитываться возможность использования временных шланговых кабелей.

Для электроснабжения районов с электроприемниками первой и второй категории рекомендуется применение на напряжении 10(6) кВ комбинированной петлевой двухлучевой схемы с двухсторонним питанием. Для жилых и общественных зданий с электрическими плитами, а также всех зданий высотой 9 этажей и более при питании от однотрансформаторных ТП следует предусматривать резервирование по сети 0,4 кВ от других ТП.

При этом, допускается перегрузка трансформаторов:

– для резервируемых распределительных сетей 0,4 кВ – аварийная – до 1,7–1,8 номинальной мощности;

– для нерезервируемых распределительных сетей 0,4 кВ – систематическая – до 1,5 номинальной мощности.

Перегрузочная способность кабелей принимается в соответствии с требованиями ПУЭ и будет приведена ниже при рассмотрении способов расчёта электрических сетей.

Дополнительные требования к проектированию

Уровни и регулирование напряжения. Компенсация реактивной мощности. В городских электрических сетях должны предусматриваться технические мероприятия по обеспечению качества электрической энергии согласно требованиям ГОСТ 13109–97. В электрических сетях должны быть обеспечены отклонения напряжения у приемников электрической энергии, не превышающие ±5 % номинального напряжения сети в нормальном режиме и ±10 % в послеаварийном режиме. Расчет электрических сетей на отклонение напряжения производится для режимов максимальных и минимальных нагрузок. При отсутствии необходимых данных допускается принимать нагрузку в минимальном режиме в пределах 25–30 % максимальной.

При разнородном составе потребителей следует также производить расчет сети для промежуточного уровня нагрузок в утренние и дневные часы суток. Предварительный выбор сечений проводов и кабелей допускается производить исходя из средних значений предельных потерь напряжения в нормальном режиме: в сетях 10(6) кВ не более 6 %, в сетях 0,4 кВ (от ТП до вводов в здания) не более 4–6 %.

Большие значения относятся к линиям, питающим здания с меньшей потерей напряжения во внутридомовых сетях (малоэтажные и односекционные здания), меньшие значе-

ния – к линиям, питающим здания с большей потерей напряжения во внутридомовых сетях (многоэтажные многосекционные жилые здания, крупные общественные здания и учреждения).

На шинах напряжением 10(6) кВ ЦП должно обеспечиваться встречное автоматическое регулирование напряжения, глубина которого определяется составом потребителей и параметрами сети. В отдельных случаях, когда в рационально выполненной сети с централизованным встречным регулированием напряжения на шинах ЦП не обеспечиваются нормированные отклонения напряжения, допускается применение дополнительных средств местного регулирования напряжения, в первую очередь, с помощью батарей конденсаторов.

Сети 0,4–10 кВ должны проверяться в соответствии с ГОСТ 13109–97 на допустимые значения размаха изменения напряжения при пуске электродвигателей, а также по условию их самозапуска. Потребители, электроприемники которых ухудшают качество электрической энергии (тяговые подстанции городского транспорта, сварочные установки и др.) должны предусматривать соответствующие мероприятия по его улучшению с установкой фильтров или стабилизирующих устройств в комплексе с электроприемниками потребителей.

Компенсация реактивной нагрузки промышленных и приравненных к ним потребителей выполняется в соответствии с действующими нормативными документами по расчетам с потребителями за компенсацию реактивной мощности и по компенсации реактивной мощности в электрических сетях промышленных предприятий.

Компенсирующие устройства рекомендуется устанавливать непосредственно у электроприемников.

Для жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки не предусматривается.

Условия компенсации реактивной нагрузки местных и центральных тепловых пунктов, насосных, котельных и других потребителей, предназначенных для обслуживания жилых и общественных зданий, расположенных в микрорайонах, определяются СП 31-110-2003.

Защита, автоматика и телемеханика. Релейная защита и автоматика в городских электрических сетях должна выполняться с учетом требований ПУЭ. Устройства релейной защиты и автоматики в городских распределительных сетях должны, как правило, выполняться на переменном оперативном токе и, в обоснованных случаях, на выпрямленном токе. Эти устройства должны выполняться по наиболее простым и надежным схемам с минимальным количеством аппаратуры.

Питающие сети 10(6) кВ должны выполняться с учетом автоматического резервирования линий в РП. При параллельной работе питающих линий на приемных концах должна применяться максимальная токовая направленная защита. Для защиты радиальных линий 10(6) кВ с односторонним питанием от многофазных замыканий должна предусматриваться максимальная токовая защита. На воздушных и смешанных (кабельно-воздушных) линиях, как правило, должна устанавливаться двухступенчатая токовая защита, первая ступень которой должна выполняться в виде токовой отсечки, а вторая – в виде максимальной токовой защиты с выдержкой времени.

Устройство АВР, как правило, должно предусматриваться на воздушных и смешанных линиях. На секционных выключателях РП 10(6) кВ должна устанавливаться максимальная токовая защита с ускорением действия защиты при АВР. При необходимости сокращения выдержек времени в сети допускается предусматривать на секционном выключателе защиту, вводимую на время действия АВР. При наличии в ячейках РУ 10(6) кВ дуговой защиты устройство АВР должно быть выполнено с блокировкой, предотвращающей включение секционного выключателя на секцию, имеющую внутреннее повреждение.

Для защиты трансформаторов в ТП со стороны 10(6) кВ следует, как правило, применять предохранители при условии обеспечения селективности их работы с защитами смежных элементов. На линиях 10(6) кВ рекомендуется предусматривать указатели протекания токов короткого замыкания.

Для защиты элементов сетей напряжением до 1 кВ рекомендуется применять закрытые плавкие предохранители. Если защита линий до 1 кВ и трансформаторов ТП находятся в ведении одной организации, то защиту трансформаторов со стороны низшего напряжения допускается не предусматривать.

В тех случаях, когда при защите линий до 1 кВ от междуфазных КЗ не выполняется требование РД 34.20.185–94 рекомендуется предусматривать специальную защиту, обеспечивающую отключение линии при однофазном КЗ.

При параллельной работе трансформаторов через сеть 0,4 кВ в точках токораздела петлевых линий следует устанавливать предохранители с номинальным током на одну-две ступени меньше в зависимости от значения тока КЗ, чем номинальный ток головных предохранителей петлевых линий в ТП. При двухлучевых (многолучевых) схемах сетей с АВР на напряжении 0,4 кВ или 10(6) кВ параллельная работа трансформаторов через сеть 0,4 кВ не допускается.

Защита линий выше 1 кВ до 6(10) кВ от замыканий на землю, как правило, должна выполняться с действием на сигнал.

В распределительных сетях 10(6) кВ рекомендуется предусматривать телемеханизацию для контроля за состоянием и нагрузкой основного оборудования и линий 10(6) кВ ЦП и РП. Телемеханизацию распределительных сетей рекомендуется предусматривать в следующем объеме:

– телесигнализация положения основного коммутационного оборудования ЦП и РП;

– телеизмерение нагрузки линий 10(6) кВ ЦП и РП и понижающих трансформаторов ЦП;

– телеизмерение напряжения на шинах 10(6) кВ ЦП и РП;

– аварийно-предупредительная сигнализация в минимальном объеме, но не менее двух общих сигналов: авария и неисправность;

– телеуправление линейными выключателями 10(6) кВ ЦП и РП, если объем автоматизации сетей 10(6) кВ не обеспечивает необходимой надежности работы.

В качестве каналов связи для телемеханики рекомендуется использовать городские телефонные сети (прямые каналы или каналы, работающие через аппаратуру АТС), радиоканалы, высокочастотные и другие каналы. Устройства телемеханики должны обеспечивать возможность их совместной работы с ЭВМ.

Проектирование электрических сетей зданий и сооружений также является объемной задачей.

3.4. Проектирование систем электроснабжения зданий и сооружений

Проектирование целесообразно начинать с получения в электросбытовой компании справки на разрешённую мощность и технические условия на подключение к электрическим сетям. Для получения справки на разрешённую мощность необходимо выполнить расчёт электрической мощности потребителей здания, сооружения. Вполне понятно, что указанный расчёт будет приблизительным. При дальнейшем проектировании расчёт выполняется более точно. Если заданий несколько, то следующим этапом будет определение расчёта всего комплекса зданий. Исходя из найденной расчётной мощности всего комплекса, определяется расчётная мощность источника электроснабжения. После чего разрабатывают рациональную схему питающих, распределительных и групповых сетей и определяют расчётные сечения проводников этих сетей. Затем рассчитывают сверхтоки, возможные в сети, выбирают защитные аппараты с учётом селективности их срабатывания и проверяют потери напряжения в сети.

Практика показывает, что наиболее рациональной и эффективной является следующая последовательность проектирования:

– анализ потребителей электроэнергии здания, сооружения и определение расчётной мощности потребителей;

– определение необходимой мощности источника электроэнергии и выбор места расположения источника электроэнергии (при необходимости);

– выбор вида проводок и способа прокладки кабелей и проводов;

– выбор электрооборудования;

– разработка планов расположения электрооборудования и планов электрических сетей здания, сооружения;

– разработка схем электроснабжения;

– разработка отдельных более сложных схем электроснабжения отдельных потребителей с элементами автоматики и электропривода;

– выбор марок и сечений кабелей (проводов) питающих, распределительных и групповых линий по расчётным токам;

– расчёт сопротивления петли «фаза-нуль» и определение токов однофазных коротких замыканий в характерных узлах сети;

– выбор коммутационных аппаратов и аппаратов защиты;

– расчёт потерь напряжения в сети;

– расчёт годового потребления электроэнергии;

– разработка заземляющего устройства здания и расчёт его основных параметров;

– разработка системы уравнивания (выравнивания) потенциалов и выбор PE-проводников;

– разработка системы внутренней и внешней молниезащиты, расчёт заземляющего устройства для молниезащиты (для зданий и сооружений I категории);

– выработка рекомендаций по монтажу и эксплуатации электрических сетей и электроустановок здания, сооружения.

Анализ потребителей электроэнергии и расчёт электрических нагрузок является первым этапом проектирования любого объекта.

Потребители электроэнергии характеризуются родом тока, количеством фаз, величиной напряжения и частоты, способом и характером размещения, требуемой надёжностью электроснабжения. Требуемая надёжность электроснабжения и характер размещения потребителей определяют выбор количества источников электроснабжения и их мощность, а следовательно и схему электроснабжения. Для жилых и общественных зданий рекомендуемые степени надёжности электроснабжения приведены в табл. 5.1 СП 31-110–2003. Для промышленных предприятий, строительных площадок, предприятий связи и т.д. категории надёжности электроснабжения регламентируются соответствующими СНиПами и СП. При

отсутствии указанных документов необходимо руководствоваться Правилами устройства электроустановок.

Мощность источника (источников) электроснабжения потребителей здания, сооружения должна быть достаточной для обеспечения потребителей электроэнергией. Достаточно часто источник электроснабжения задаётся электроснабжающей организацией в технических условиях.

Задачей расчёта электрических нагрузок является определение расчётных активной и реактивной нагрузок (максимальных тридцатиминутных) в узловых точках системы электроснабжения здания или сооружения. На основе данных расчёта определяют мощность источника электроэнергии; находятся расчётные токи, выбирается сечение кабелей, номинальные данные коммутационных аппаратов. Для расчёта питающих линий, вводов в здания в качестве таких узлов принимаются: вводные распределительные щиты (ВРЩ) зданий и сооружений, сборные шины 0,4 кВ трансформаторных подстанций. Для расчёта групповых распределительных линий такими узловыми точками будут потребители группы, шины групповых и распределительных щитов.

Расчёт коммутирующих нагрузок может производиться различными методами: методом удельных расходов электроэнергии на единицу продукции; методом удельных расходов электроэнергии на единицу производственной мощности; по средней мощности и коэффициенту максимума; методом коэффициента спроса.

В проектах электроснабжения и электрооборудования зданий и сооружений расчётные электрические нагрузки на вводных распределительных щитах (ВРЩ) зданий и сооружений определяются методом удельной мощности (нагрузки) или методом коэффициента спроса.

Рассмотрим *порядок расчёта электрических нагрузок* зданий или сооружений.

При определении мощности источника электроснабжения необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

– мощность источника электроэнергии должна быть такой, чтобы потребитель был обеспечен электроэнергией в нормальном и аварийном режимах работы;

– при выборе мощности трансформаторов необходимо учитывать, что коэффициент кратности допустимой систематической перегрузки принимается – 1,2, а коэффициент кратности аварийной перегрузки – 1,4;

– по экономическим соображениям при напряжении сети 0,4 кВ каждая ТП должна питать потребители, момент нагрузки которых не превышает 15 кВт/км.

Место расположения ТП должно определяться координатами центра электрических нагрузок. Трансформаторные подстанции необходимо установить в центре нагрузок. Окончательно место расположения ТП необходимо принимать с учётом архитектурно-планировочных соображений, при этом допускается смещение места расположения ТП относительно центра электрических нагрузок на 15–25 метров.

При выборе способа прокладки кабелей и проводов, а также выборе вида проводки, необходимо руководствоваться приведёнными ниже рекомендациями.

Кабельные вводы в здания следует выполнять в трубах на глубине не менее 0,5 м и не более 2 м от поверхности земли. При этом в одну трубу следует затягивать один силовой кабель. Прокладку труб следует выполнять с уклоном в сторону улицы. Концы труб, а также сами трубы при прокладке через стену должны иметь тщательную заделку для исключения возможности проникания в помещения влаги и газа. По подвалу и техническому подполью здания допускается прокладка силовых кабелей напряжением до 1 кВ, питающих электроэнергией другие секции здания.

Внутренние электрические сети должны выполняться кабелями и проводами с медными жилами и не распространяющими горения.

Допускается применение в питающих и распределительных сетях кабелей и проводов с алюминиевыми жилами сечением не менее 16 мм^2. Питание отдельных электроприемников, относящихся к инженерному оборудованию зданий (насосы, вентиляторы, калорифе-

ры, установки кондиционирования воздуха и т.п.), кроме оборудования противопожарных установок, допускается выполнять проводами и кабелями с алюминиевыми жилами сечением не менее 2,5 мм^2.

При выполнении внутренних электропроводок необходимо руководствоваться следующими положениями:

1. Электроустановки разных организаций, обособленных в административно-хозяйственном отношении, расположенные в одном здании, могут быть присоединены ответвлениями к общей питающей линии или питаться отдельными линиями от ВРУ или ГРЩ.

2. К одной линии разрешается присоединять несколько стояков. На ответвлениях к каждому стояку, питающему квартиры жилых домов, имеющих более 5 этажей, следует устанавливать аппарат управления, совмещенный с аппаратом защиты.

3. В жилых зданиях светильники лестничных клеток, вестибюлей, холлов, поэтажных коридоров и других внутридомовых помещений вне квартир должны питаться по самостоятельным линиям от ВРУ или отдельных групповых щитков, питаемых от ВРУ. Присоединение этих светильников к этажным и квартирным щиткам не допускается.

4. Для лестничных клеток и коридоров, имеющих естественное освещение, рекомендуется предусматривать автоматическое управление электрическим освещением в зависимости от освещенности, создаваемой естественным светом.

5. Питание электроустановок нежилого фонда рекомендуется выполнять отдельными линиями.

В помещениях жилых и общественных зданий, как правило, применяется скрытая электропроводка. Открытую проводку выполняют в технических этажах и подпольях, в не отапливаемых подвалах, тепловых пунктах, вентиляционных камерах, насосных, в сырых и особо сырых помещениях.

Групповые сети в помещениях следует выполнять сменяемыми: скрыто в каналах специальных строительных конструкций, в замоноличенных трубах; открыто – в электротехнических плинтусах, кабель-каналах, коробах и т.п.

Вертикальные участки («стояки») питающих линий должны прокладываться в трубах, коробах, каналах строительных конструкций.

Применение несменяемой замоноличенной прокладки проводов и кабелей в панелях стен, перегородок и перекрытий, выполненной при их изготовлении или выполненной в монтажных стыках при монтаже зданий, не допускается.

В жилых зданиях сечения медных проводников должны соответствовать расчётным значениям, но быть не меньше указанных в табл. 3.4.1.

Таблица 3.4.1

Наименьшие допустимые сечения кабелей и проводов электрических сетей в жилых зданиях

Наименование линий	Наименьшее сечение кабелей и проводов с медными жилами, мм^2
Линии групповых сетей	1,5
Линии от этажных до квартирных щитков и к расчетному счетчику	2,5
Линии распределительной сети (стояки) для питания квартир	4
Линии, питающие однофазные электрические плиты	6

В жилых зданиях прокладка вертикальных участков распределительной сети внутри квартир не допускается.

Запрещается прокладка от этажного щитка в общей трубе, общем коробе или канале проводов и кабелей, питающих линии разных квартир. Допускается не распространяющая горение прокладка в общей трубе, общем коробе или канале строительных конструкций, выполненных из негорючих материалов, проводов и кабелей питающих линий квартир

вместе с проводами и кабелями групповых линий рабочего освещения лестничных клеток, поэтажных коридоров и других внутридомовых помещений.

Во всех зданиях линии групповой сети, прокладываемые от групповых, этажных и квартирных щитков до светильников общего освещения, штепсельных розеток и стационарных электроприемников, должны выполняться трехпроводными (фазный – L, нулевой рабочий – N и нулевой защитный – PE проводники). Не допускается объединение нулевых рабочих и нулевых защитных проводников различных групповых линий. Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники не допускается подключать на щитках под общий контактный зажим.

Электропроводку в помещениях следует выполнять сменяемой: скрыто – в каналах строительных конструкций, замоноличенных трубах; открыто – в электротехнических плинтусах, коробах и т.п.

В технических этажах, подпольях, неотапливаемых подвалах, чердаках, вентиляционных камерах, сырых и особо сырых помещениях электропроводку рекомендуется выполнять открыто.

В зданиях со строительными конструкциями, выполненными из негорючих материалов, допускается несменяемая замоноличенная прокладка групповых сетей в бороздах стен, перегородок, перекрытий, под штукатуркой, в слое подготовки пола или в пустотах строительных конструкций, выполняемая кабелем или изолированными проводами в защитной оболочке. Применение несменяемой замоноличенной прокладки проводов в панелях стен, перегородок и перекрытий, выполненной при их изготовлении на заводах стройиндустрии или выполняемой в монтажных стыках панелей при монтаже зданий, не допускается.

Электрические сети, прокладываемые за непроходными подвесными потолками и в перегородках, рассматриваются как скрытые электропроводки и их следует выполнять: за потолками и в пустотах перегородок из горючих материалов в металлических трубах, обладающих локализационной способностью, и в закрытых коробах; за потолками и в перегородках из негорючих материалов – в выполненных из негорючих материалов трубах и коробах, а также кабелями, не распространяющими горение. При этом должна быть обеспечена возможность замены проводов и кабелей.

Под подвесными потолками из негорючих материалов понимают такие потолки, которые выполнены из негорючих материалов, при этом другие строительные конструкции, расположенные над подвесными потолками, включая междуэтажные перекрытия, также выполнены из негорючих материалов.

В помещениях для приготовления и приема пищи, за исключением кухонь квартир, допускается открытая прокладка кабелей. Открытая прокладка проводов в этих помещениях не допускается.

В кухнях квартир могут применяться те же виды электропроводок, что и в жилых комнатах и коридорах.

В саунах, ванных комнатах, санузлах, душевых, как правило, должна применяться скрытая электропроводка. Допускается открытая прокладка кабелей.

В саунах, ванных комнатах, санузлах, душевых не допускается прокладка проводов с металлическими оболочками, в металлических трубах и металлических рукавах.

Через подвалы и технические подполья секций здания допускается прокладка силовых кабелей напряжением до 1 кВ, питающих электроприемники других секций здания. Указанные кабели не рассматриваются как транзитные, прокладка транзитных кабелей через подвалы и технические подполья зданий запрещается.

Открытая прокладка транзитных кабелей и проводов через кладовые и складские помещения не допускается.

Линии, питающие холодильные установки предприятий торговли и общественного питания, должны быть проложены от ВРУ или ГРЩ этих предприятий.

Выбор сечения проводников следует проводить согласно требований ПУЭ и рекомендаций, которые будут изложены в данном справочном пособии.

Однофазные двух- и трехпроводные линии, а также трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании однофазных нагрузок, должны иметь сечение нулевых рабочих (N) проводников, равное сечению фазных проводников.

Трехфазные четырех- и пятипроводные линии при питании трехфазных симметричных нагрузок должны иметь сечение нулевых рабочих (N) проводников, равное сечению фазных проводников, если фазные проводники имеют сечение до 16 мм^2 по меди и 25 мм^2 по алюминию, а при больших сечениях – не менее 50 % сечения фазных проводников.

Сечение PEN-проводников должно быть не менее сечения N-проводников и не менее 10 мм^2 по меди и 16 мм^2 по алюминию независимо от сечения фазных проводников.

Сечение PE-проводников должно равняться сечению фазных при сечении последних до 16 мм^2, 16 мм^2 при сечении фазных проводников от 16 до 35 мм^2 и 50 % сечения фазных проводников при больших сечениях.

Сечение PE-проводников, не входящих в состав кабеля, должно быть не менее 2,5 мм^2 – при наличии механической защиты и 4 мм^2 – при ее отсутствии.

В зданиях со строительными конструкциями, выполненными из негорючих и слабогорючих материалов (группа Г1), допускается несменяемая замоноличенная прокладка групповых сетей в бороздах стен, перегородок, перекрытий, под штукатуркой, в слое подготовки пола или в пустотах строительных конструкций, выполняемая кабелем или проводами в защитной оболочке. Применение несменяемой замоноличенной прокладки проводов и кабелей в панелях стен, перегородок и перекрытий, выполненной при их изготовлении или выполненной в монтажных стыках при монтаже зданий, не допускается.

В зданиях со строительными конструкциями, выполненными из горючих материалов групп Г2 и (или) Г3, допускается: открытая прокладка одиночных кабелей и проводов в защитной оболочке с медными жилами сечением не более 6 мм^2 в ПВХ изоляции в исполнении НГ или LS без подкладки; скрытая прокладка под штукатуркой кабелей и проводов в защитной оболочке с медными жилами сечением не более 6 мм^2 в исполнении НГ или LS по намету штукатурки.

В неотапливаемых подвалах, технических подпольях и коридорах, на чердаках, в сырых и особо сырых помещениях, насосных, тепловых пунктах, а также в зданиях, сооружаемых из деревянных конструкций, электропроводки разрешается выполнять открыто.

Под проводами в защитной оболочке понимаются изолированные провода в общей оболочке, обеспечивающей механическую защиту в соответствии с условиями применения.

В помещениях, в которых возможно перемещение технологического оборудования в связи с изменением производственного цикла (торговые, выставочные, демонстрационные и читальные залы, цехи предприятий бытового обслуживания, лаборатории и т.п.), и в помещениях с гибкой планировкой для возможности переустройства электропроводок в процессе эксплуатации рекомендуется предусматривать в полу трубы или каналы с подпольными герметизированными закрывающимися коробками (модульные проводки).

Размещение светильников, а также аппаратов управления освещением в помещениях с гибкой планировкой должно допускать возможность изменения планировки этих помещений.

Групповые сети в помещениях следует выполнять сменяемыми: скрыто – в специальных каналах строительных конструкций, замоноличенных трубах; открыто – в электротехнических плинтусах, коробах и т.п.

Распределительные сети следует выполнять сменяемыми:

– открыто – проводами в пластмассовых трубах и коробах, а также кабелями. В технических подпольях и этажах, помещениях инженерных служб, технических коридорах, подвалах и подпольях допускается прокладка на лотках в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571.15;

– скрыто – в специальных каналах и пустотах строительных конструкций, в бороздах, штробах, в слое подготовки пола кабелем или изолированными проводами в защитной оболочке.

Электропроводка должна соответствовать назначению и ценности сооружений, их конструкции и архитектурным особенностям, условиям окружающей среды, быть защищённой от воздействия окружающей среды и других внешних факторов.

Электропроводки в полостях над непроходными подвесными потолками и внутри сборных перегородок рассматриваются как скрытые, и их следует выполнять:

– за подвесными потолками и в пустотах перегородок, выполненных из негорючих материалов НГ и группы горючести Г1, электропроводки выполнять проводами и/или кабелями в удовлетворяющих требованиям пожарной безопасности неметаллических трубах и неметаллических коробах, а также кабелями с индексом НГ-LS (не распространяющие горение, с низким дымо- и газовыделением);

– за подвесными потолками и в пустотах перегородок, выполненных с использованием материалов группы горючести Г2, электропроводки выполнять проводами и/или кабелями в металлических трубах и металлических коробах со степенью защиты не ниже IP4X;

– за подвесными потолками и в пустотах перегородок, выполненных с использованием материалов группы горючести Г3, электропроводки выполнять кабелем в металлических трубах и металлических коробах со степенью защиты не ниже IP4X;

– за подвесными потолками и в пустотах перегородок, выполненных с использованием материалов группы горючести Г4, электропроводки выполнять проводами и/или кабелями в обладающих локализационной способностью металлических трубах, а также в обладающих локализационной способностью металлических глухих коробах;

– электропроводка должна быть сменяемой.

Локализационная способность – это способность стальной трубы выдерживать короткое замыкание в электропроводке, проложенной в ней, без прогорания ее стенок – табл. 3.4.2.

Таблица 3.4.2

Толщина стенки стальной трубы, обеспечивающая ее локализационную способность

Максимальное сечение жилы провода, мм^2		Толщина стенки трубы, не менее, мм
Алюминий	Медь	
До 4	До 2,5	Не нормируется
6	–	2,5
10	4	2,8
16; 25	6; 10	3,2
35; 50	16	3,5
70	25; 35	4,0

Сумма площадей поперечных сечений (с изоляцией и оболочкой) проводов и кабелей, прокладываемых в одном коробе, не должна превышать 40 % внутреннего поперечного сечения короба. Свободные торцы коробов должны быть закрыты торцевыми заглушками, а торцы коробов с выходящими из них кабелями и проводами должны быть заделаны легко удаляемым негорючим составом.

Допускается пересечение каналов и шахт одиночными линиями, выполненными проводами и кабелями, заключенными в трубы.

В одной трубе, одном рукаве, коробе, канале многоканального короба, пучке, замкнутом канале строительной конструкции здания, на одном лотке допускаются следующие варианты совместной прокладки:

– линий питания и управления электроприемников противопожарных устройств;

– линий питания вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха;

– всех цепей одного агрегата (например, агрегата по обработке картофеля в пищеблоке);

– силовых и контрольных цепей нескольких машин, панелей, щитов, пультов, обеспечивающих единый технологический процесс;

– цепей, питающих сложный светильник;

– осветительных сетей напряжением до 50 В с цепями напряжением до 380 В при условии заключения проводов цепей до 50 В в отдельную изоляционную трубку;

– цепей нескольких групп одного вида освещения с общим числом проводов не более 12 (без учета контрольных цепей);

– распределительных линий квартир и рабочего освещения лестниц, коридоров, вестибюлей жилых домов.

Прокладка проводов и кабелей групповых линий рабочего освещения с групповыми линиями аварийного освещения на одном лотке, монтажном профиле, в одном канале многоканального короба, в корпусах и штангах многоламповых светильников не рекомендуется; при необходимости их совместной прокладки должны быть приняты специальные меры, исключающие возможность повреждения огнем проводов аварийного освещения (устройство перегородок, покрытие огнезащитными составами и т.п.). Не разрешается прокладка в одном канале, рукаве, коробе и других конструкциях групповых линий, питающих разные квартиры, и взаиморезервируемых цепей.

Незащищенные изолированные провода наружной электропроводки должны быть расположены или ограждены таким образом, чтобы они были недоступны с мест, где возможно частое пребывание людей, например с балкона или крыльца.

Соединительные и ответвительные коробки, протяжные ящики и другие ответвительные устройства должны быть изготовлены из негорючих материалов. Металлические элементы электропроводок (конструкции, короба, лотки, трубы, рукава, коробки, скобы) должны быть защищены от коррозии.

Способ выполнения групповых электрических сетей в жилых комнатах и прихожих квартир жилых домов следует, как правило, выбирать по табл. 3.4.3. В кухнях квартир жилых домов рекомендуется применять те же виды электропроводок, что в жилых комнатах и прихожих.

В ванных комнатах и уборных должна применяться, как правило, скрытая электропроводка.

Не допускаются применение защищенных проводов в металлической оболочке, а также прокладка проводов в стальных трубах.

Открытая прокладка незащищенных изолированных проводов на изоляторах должна выполняться на высоте не менее 2 м.

Высота открытой прокладки защищенных проводов и кабелей и проводов, прокладываемых в трубах и коробах, плинтусах и наличниках с каналами для электропроводок, а также спусков к выключателям, розеткам, пусковым аппаратам, щиткам и светильникам, устанавливаемым на стенах, не нормируется.

Места прохода проводов в защитной оболочке и кабелей через стены, перегородки, междуэтажные перекрытия должны иметь уплотнения в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571.15 и гл. 2.1 ПУЭ. Для обеспечения возможности смены электропроводки проход кабелей и проводов в защитной оболочке должен быть выполнен в трубах или коробах; огнестойкость прохода должна быть не менее огнестойкости строительной конструкции, в которой он выполнен. Зазоры между проводами, кабелями и трубой или коробом следует заделывать легкоудаляемой массой из негорючего материала. Допускается прокладывать кабели и провода в защитной оболочке через строительные конструкции в специально выполненных отверстиях.

При скрытой прокладке проводов, как правило, следует применять выключатели и розетки в утопленном исполнении. Не разрешается скрытая установка по одной оси розеток и выключателей в стенах между разными квартирами.

Таблица 3.4.3

Способ выполнения групповых сетей в зависимости от типа здания

Здания	Способ выполнения групповых сетей	
	Открыто	Скрыто
Крупнопанельные полносборные из железобетонных конструкций и из монолитного железобетона	В коробах, специальных коробах, удовлетворяющих требованиям НПБ 246	В пустотах строительных конструкций – не распространяющими горение кабелями и изолированными проводами в защитной оболочке; в каналах строительных конструкций – кабелями и изолированными проводами в защитной оболочке; в замоноличенных трубах – изолированными проводами
С блочными или кирпичными несущими стенами, гипсо- и шлакобетонными перегородками и перекрытиями из пустотелых железобетонных плит	В коробах, специальных коробах, удовлетворяющих требованиям НПБ 246	В пустотах строительных конструкций – не распространяющими горение кабелями и изолированными проводами в защитной оболочке; в каналах строительных конструкций, под слоем штукатурки, штробах, в слое подготовки пола – кабелями и изолированными проводами в защитной оболочке с ПВХ изоляцией
Из деревянных и других конструкций из горючих материалов не ниже группы горючести Г3 по СНиП 21–01	В коробах, специальных коробах, удовлетворяющих требованиям НПБ 246. Допускается прокладка одиночным кабелем с медными жилами сечением не более 6 мм^2, не распространяющими горение, без подкладки	В металлических трубах – кабелями и изолированными проводами; под слоем штукатурки – кабелем, не распространяющим горение, по намету штукатурки

Выбор видов проводок и способов прокладки проводов и кабелей, труб и коробов с проводами по условиям пожарной безопасности должен осуществляться в соответствии с требованиями табл. 3.4.4.

Выбор оборудования по степени защиты от внешних воздействий в общем случае должен проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571.24–2000 «Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Глава 51. Общие требования». В ГОСТ определены требования к электрооборудованию в зависимости от различных внешних воздействий: температуры, влажности, высоты над уровнем моря, вибраций, механических воздействий, наличия воды и посторонних твёрдых частиц и других факторов. В табл. 3.4.5 приведены установленные ГОСТ Р 50571.24–2000 степени защиты электрооборудования от попадания внутрь воды и посторонних твёрдых частиц.

Разметку расположения электрооборудования начинают с определения места размещения вводно-распределительных устройств. Количество вводно-распределительных устройств (ВРУ) или главных распределительных щитов (ГРЩ), предназначенных для приема электроэнергии от городской сети и распределения ее по потребителям зданий, выбирается по соображениям обеспечения надежности электроснабжения с учетом конструкции здания и по построению схемы внешнего электроснабжения. В жилых домах ВРУ рекомендуется размещать в средних секциях. В общественных зданиях ГРЩ или ВРУ должны располагаться у основного абонента независимо от числа предприятий, учреждений и организаций, расположенных в здании. У каждого из абонентов, расположенных в здании, должно устанавливаться самостоятельное ВРУ, питающееся от общего ВРУ или ГРЩ здания.

Таблица 3.4.4

Выбор видов электропроводок и способов прокладки проводов и кабелей по условиям пожарной безопасности

Вид электропроводки и способ прокладки по основаниям и конструкциям		Провода и кабели
Из сгораемых материалов	Из несгораемых или трудносгораемых материалов	
Открытые электропроводки		
На роликах, изоляторах или с подкладкой несгораемых материалов[1]	Непосредственно	Незащищённые провода; защищённые провода и кабели в оболочке из сгораемых материалов
Непосредственно	“	Защищённые провода и кабели в оболочке из несгораемых и трудносгораемых материалов
В трубах и коробах из несгораемых материалов	В трубах и коробах из трудносгораемых и несгораемых материалов	Незащищённые провода и кабели в оболочке из сгораемых, трудносгораемых материалов
Скрытые электропроводки		
С подкладкой несгораемых материалов[1] и последующим оштукатуриванием или защитой со всех сторон сплошным слоем других несгораемых материалов	Непосредственно	Незащищённые провода; защищённые провода и кабели в оболочке из сгораемых материалов
С подкладкой несгораемых материалов[1]	“	Незащищённые провода и кабели в оболочке из трудносгораемых материалов
Непосредственно	“	То же из несгораемых
В трубах и коробах из трудносгораемых материалов – с подкладкой под трубы и короба несгораемых материалов[1] и последующим заштукатуриванием[2]	В трубах и коробах: из сгораемых материалов замоноличенно, в бороздах и т.п., в сплошном слое несгораемых материалов[3]	Незащищённые провода и кабели в оболочке из сгораемых, трудносгораемых и несгораемых материалов
То же из несгораемых материалов – непосредственно	То же из трудносгораемых и несгораемых материалов – непосредственно	
Примечания		
1. Подкладка из несгораемых материалов должна выступать с каждой стороны провода, кабеля, трубы или короба не менее чем на 10 мм.		
2. Заштукатуривание трубы осуществляется сплошным слоем штукатурки, алебастра и т.п. толщиной не мене 10 мм над трубой		
3. Сплошным слоем несгораемого материала вокруг трубы (короба) может быть слой штукатурки, алебастрового, цементного раствора или бетона толщиной не менее 10 мм.		

От общего ВРУ допускается питание потребителей, расположенных в других зданиях, при условии, что эти потребители связаны функционально.

ВРУ и ГРЩ должны размещаться в специально выделенных запирающихся помещениях (электрощитовых). Двери помещений должны быть негорючими и открываться наружу. Разрешается размещать электрощитовые в сухих подвалах, при условии, что эти помещения отделены противопожарными перегородками с пределом огнестойкости не менее 0,75 часа. В районах, подверженных затоплению, они должны устанавливаться выше уровня затопления.

Таблица 3.4.5

Степени защиты электрооборудования от попадания внутрь воды и посторонних твёрдых частиц (ГОСТ Р 50571.24–2000)

Наличие воды (ГОСТ Р 50571.2)	Степени защиты	Наличие посторонних твёрдых частиц (ГОСТ Р 50571.2)	Степени защиты
Незначительное	IPX0	Незначительное	IP0X
Свободно падающие капли	IPX1 или IPX2	Мелкие предметы (не менее 2.5 мм)	IP3X
Брызги	IPX3	Очень мелкие предметы (не менее 1 мм)	IP4X
Сплошные брызги	IPX4	Лёгкая пыль (слабая запылённость)	IP5X
Струи	IPX5	Умеренная пыль (запылённость)	IP6X, если пыль не должна проникать внутрь
Волны	IPX6		
Погружение	IPX7		
Нахождение под водой	IPX8	Сильная пыль (запылённость)	IP6X

ВРУ и ГРЩ разрешается размещать не в специальных помещениях при соблюдении следующих требований:

– степень защиты ВРУ должна быть не ниже IP31;

– устройства и щиты должны быть расположены в удобных и доступных для обслуживания местах (в отапливаемых тамбурах, вестибюлях, коридорах и т.п.);

– аппараты защиты и управления должны устанавливаться в металлическом шкафу или в нише стены, снабженных запирающимися дверцами. При этом рукоятки аппаратов управления не должны выводиться наружу, они должны быть съемными или запираться на замки.

В помещениях ВРУ и ГРЩ разрешается размещать оборудование слаботочных устройств и систем (усилители телесигналов, контроллеры автоматизированных систем, аппаратуру и щитки системы дымоудаления и т.п.).

Электрощитовые, а также ВРУ и ГРЩ не допускается располагать непосредственно под уборными, ванными комнатами, душевыми, кухнями пищеблоков, моечными и другими помещениями, связанными с мокрыми технологическими процессами, за исключением случаев, когда приняты специальные меры по надежной гидроизоляции, предотвращающие попадание влаги в помещения, где установлены распределительные устройства. Следует исключать возможность проникания шумов от оборудования электрощитовых, расположенных рядом с помещениями, в которых уровень шума ограничивается санитарными нормами.

Прокладка через электрощитовые трубопроводов систем водоснабжения, отопления (за исключением трубопроводов отопления щитовой), а также вентиляционных и других коробов разрешается как исключение, если они не имеют в пределах щитовых помещений ответвлений, а также люков, задвижек, фланцев, ревизий, вентилей. При этом трубопроводы холодной воды должны иметь защиту от конденсации влаги, а горячей воды – тепловую изоляцию.

Прокладка через электрощитовые газопроводов и трубопроводов с горючими жидкостями, канализации и внутренних водостоков не допускается.

Электрощитовые должны оборудоваться естественной вентиляцией и электрическим освещением. В них должна обеспечиваться температура не ниже 5 °С.

Распределительные пункты и групповые щитки следует, как правило, устанавливать в нишах стен в запирающихся шкафах. При наличии специальных шахт для прокладки пи-

тающих сетей распределительные пункты и групповые щитки следует устанавливать в этих шахтах с устройством запирающихся входов в шахты для доступа к щиткам и пунктам только обслуживающего персонала.

В лестничных клетках зданий высота установки осветительных и силовых щитков и пунктов, размещаемых в нишах и не выступающих из плоскости стен, не нормируется.

Открыто установленные щитки и пункты должны размещаться на высоте не менее 2,2 м от пола, при этом не допускается уменьшение проходов, заданных нормами противопожарной безопасности.

Установка распределительных пунктов, щитов, щитков непосредственно в производственных помещениях пищеблоков, торговых и обеденных залах допускается как исключение при невозможности принять иное решение. При установке в торговых и обеденных залах они должны размещаться в нишах строительных конструкций с запирающимися дверцами и иметь надлежащее архитектурное оформление.

В учебных кабинетах и лабораториях школ и средних специальных учебных заведений распределительные щитки для питания учебных приборов следует устанавливать вблизи стола преподавателя.

В жилых и общественных зданиях запрещается применение комплектных устройств, внутренние соединения которых выполнены с использованием алюминиевых проводников. Допускается использование в распределительных устройствах специальных алюминиевых сплавов.

Нагрузка каждой питающей линии, отходящей от ВРУ, не должна превышать 250 А. При превышении нагрузки стояка 250 А, стояк следует выполнять состоящим из двух линий. Линии питания лифтов, предназначенные для преимущественного использования пожарными подразделениями, должны иметь автономное управление с 1-го этажа.

При наличии в здании электроприемников, требующих первой категории по степени надежности электроснабжения, рекомендуется выполнять питание всего здания от двух независимых источников с устройством АВР независимо от требуемой степени обеспечения надежности электроснабжения других электроприемников.

При отсутствии АВР на вводе в здание питание электроприемников первой категории по надежности электроснабжения следует выполнять от самостоятельного щита (панели) с устройством АВР.

При наличии на вводе аппаратов защиты и управления этот щит (панель) с устройством АВР следует подключать после аппарата управления и до аппарата защиты. Если на вводе установлен автоматический выключатель, выполняющий функции управления и защиты, подключение щита (панели) с АВР должно производиться до автоматического выключателя.

Силовые распределительные пункты, щиты и щитки следует располагать, как правило, на тех же этажах, где размещены присоединенные к ним электроприемники.

Присоединяемые к силовым распределительным пунктам, щитам и щиткам электроприемники рекомендуется объединять в группы с учетом их технологического назначения.

Аппараты защиты и управления линий, питающих противопожарные устройства, расположенные на ВРУ (ГРЩ), должны иметь отличительную окраску (красную).

Включение и отключение электродвигателей пожарных насосов должно быть местное, непосредственно у электродвигателей. Кроме того, необходимо предусматривать их дистанционное включение со шкафов пожарных кранов.

Управление системами дымоудаления и подпора воздуха должно быть автоматическим и дублироваться дистанционным управлением.

Питание аварийного освещения должно быть независимым от питания рабочего освещения и выполняться: при двух вводах в здание – от разных вводов, а при одном вводе – самостоятельными линиями, начиная от ВРУ или ГРЩ.

Расположение оборудования в помещениях указывается на планах помещений здания. Как правило, расположение силового оборудования в общественных зданиях задано на

технологических чертежах проекта. Остается только определить положение распределительных щитов, коммутационных аппаратов и т.п. Осветительные приборы – светильники размещают на основании принятых светотехнических решений и проведенных расчетов. В некоторых случаях их размещают по желанию заказчика.

Расположение установочных приборов (выключателей, розеток и т.п.) определяют, руководствуясь указаниями СП 31-110–2003.

В муниципальных квартирах жилых домов рекомендуется предусматривать отдельные линии для питания штепсельных розеток жилых комнат, освещения, штепсельных розеток электроприемников кухни и коридора. При наличии розетки в зоне 3 ванной комнаты должна предусматриваться установка УЗО на ток до 30 мА.

Количество светильников (источников света) в помещениях определяется светотехническим расчетом в соответствии с требованиями СНиП 23-05–95 «Естественное и искусственное освещение» или находиться на основании рекомендуемых СП 31-110–2003 освещенностей в тех или иных помещениях. В одноквартирных домах и квартирах с повышенной комфортности уровень освещенности определяется заказчиком.

Количество розеток определяется из следующих соображений: в жилых комнатах квартир и общежитий должно быть установлено не менее одной розетки на ток 10(16) А на каждые полные и не полные 4 м периметра комнаты, в коридорах квартир – не менее одной розетки на каждые полные и не полные 10 $м^2$ площади коридоров.

В кухнях квартир должно устанавливаться не менее четырех розеток на ток 10(16) А. Электрические плиты на кухнях квартир следует подключать непосредственно к питающей линии. В жилых комнатах допускается установка сдвоенных розеток на ток 10(16) А. В кухнях допускается установка сдвоенных розеток на ток 16 А. Сдвоенная розетка, установленная в жилой комнате, считается одной розеткой. Сдвоенная розетка, установленная в кухне, считается двумя розетками.

Не разрешается скрытая установка по одной оси розеток и выключателей в стенах между разными квартирами.

В одноквартирных домах и квартирах повышенной комфортности, а также в дачных домах и в домах на участках садоводческих товариществ количество розеток определяется заказчиком (заданием на проектирование).

Распределительные линии сети рабочего, эвакуационного освещения и освещения безопасности, освещения витрин, рекламы и иллюминации в зданиях должны быть самостоятельными, начиная от ВРУ или ГРЩ.

Сети эвакуационного и освещения безопасности могут быть общими.

Схемы электрических сетей зданий и сооружений должны строиться, исходя из требований, предъявляемых к электробезопасности и надежности электроснабжения электроприемников зданий.

При разработке схем электрических сетей жилых домов следует учитывать следующее:

– питание квартир и силовых электроприемников, в том числе лифтов, должно, как правило, осуществляться от общих секций ВРУ. Раздельное их питание следует выполнять только в случае, когда расчетом будет подтверждено, что величины размахов изменения напряжения на зажимах ламп в квартирах при включении лифтов выше регламентируемых ГОСТ 13109–97;

– распределительные линии питания вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха при пожаре, установленные в одной секции, должны быть самостоятельными для каждого вентилятора, начиная от щита противопожарных устройств ВРУ. При этом соответствующие вентиляторы или шкафы, расположенные в разных секциях, допускается питать по одной линии независимо от числа секций, подключенных к ВРУ;

– к одной питающей линии разрешается присоединять несколько стояков, при этом в жилых зданиях высотой более пяти этажей на ответвлении к каждому стояку должен устанавливаться отключающий аппарат;

– освещение лестниц, поэтажных коридоров, вестибюлей, входов в здание, номерных знаков и указателей пожарных гидрантов, огней светового ограждения и домофонов должно питаться линиями от ВРУ. При этом линии питания домофонов и огней светового ограждения должны быть самостоятельными. Питание усилителей телевизионных сигналов, как правило, следует осуществлять самостоятельными линиями от ВРУ;

– силовые электроприемники общедомовых потребителей жилых зданий (лифты, насосы, вентиляторы и т.п.), как правило, должны получать питание от самостоятельной силовой сети, начиная от ВРУ.

В общественных зданиях от одной линии рекомендуется питать несколько вертикальных участков (стояков) питающей сети освещения. При этом в начале каждого стояка, питающего три и более групповых щитков, следует устанавливать защитный аппарат. Если стояк питается отдельной линией, установка защитного аппарата в начале стояка не требуется.

Электроустановки торговых предприятий, учреждений бытового обслуживания населения, административно-конторских и других помещений общественного назначения, встроенные в жилые дома, следует питать отдельными линиями от ВРУ (ГРЩ) дома. При этом у каждого потребителя должно устанавливаться самостоятельное ВРУ.

Питающие линии холодильных установок предприятий торговли и общественного питания должны быть самостоятельными, начиная от ВРУ или ГРЩ.

Электроприемники центральных тепловых пунктов (ЦТП) должны питаться не менее чем двумя отдельными линиями от ТП. Не допускается присоединение к этим линиям других электроприемников.

Питание систем диспетчеризации и освещения коллекторов следует выполнять от щитов ЦТП.

По одной линии следует питать не более четырех лифтов, расположенных в разных, не связанных между собой лестничных клетках и холлах. При наличии в лестничных клетках или в лифтовых холлах двух или более лифтов одного назначения они должны питаться от двух линий, присоединяемых каждая непосредственно к ВРУ или ГРЩ; при этом количество лифтов, присоединяемых к одной линии, не ограничивается. На вводе каждого лифта должен быть предусмотрен аппарат управления и защиты (предусматривается схемой и комплектацией лифта). Рекомендуется установка одного аппарата, совмещающего эти функции.

На вводах распределительных пунктов и групповых щитков должны устанавливаться аппараты управления.

Распределение электроэнергии к силовым распределительным щитам, пунктам и групповым щиткам сети электрического освещения следует, как правило, осуществлять по магистральной схеме.

Радиальные схемы следует, как правило, выполнять для присоединения мощных электродвигателей, групп электроприемников общего технологического назначения (например, встроенных пищеблоков, помещений вычислительных центров и т.п.), потребителей I категории по надежности электроснабжения.

Питание рабочего освещения помещений, в которых длительно могут находиться 600 и более человек (конференц-залы, актовые залы и т.п.), рекомендуется осуществлять от разных вводов, при этом к каждому вводу должно быть подключено около 50 % светильников.

Отклонения напряжения от номинального на зажимах силовых электроприемников и наиболее удаленных ламп электрического освещения не должны превышать в нормальном режиме ±5 %, а предельно допустимые в послеаварийном режиме при наибольших расчетных нагрузках – ±10 %. В сетях напряжением 12–50 В (считая от источника питания, например понижающего трансформатора) отклонения напряжения разрешается принимать до 10 %.

Для ряда электроприемников (аппараты управления, электродвигатели) допускается снижение напряжения в пусковых режимах в пределах значений, регламентированных для данных электроприемников, но не более 15 %.

С учетом регламентированных отклонений от номинального значения суммарные потери напряжения от шин 0,4 кВ ТП до наиболее удаленной лампы общего освещения в жилых и общественных зданиях не должны, как правило, превышать 7,5 %.

Размах изменений напряжения на зажимах электроприемников при пуске электродвигателя не должен превышать значений, установленных ГОСТ 13109–97.

В силовых распределительных сетях для питания электроприемников рекомендуется использовать радиальные схемы, допускается при насыщенности помещений однотипным оборудованием использовать магистральные схемы питания.

В радиальных схемах допускается присоединение шлейфом (PE-проводники должны присоединяться с помощью ответвления) второго электроприемника, если это не противоречит требованиям по подключению конкретного оборудования, при этом тип и сечение проводников перемычек должны соответствовать проводникам основной питающей линии, в обоснованных случаях допускается подключение шлейфом до трех дополнительных электроприемников, при этом суммарная нагрузка по току не должна более чем в два раза превосходить значение номинального рабочего тока вводного аппарата головного (первого) электроприемника.

Совместное питание по магистральной схеме электроприемников холодильного и технологического оборудования не допускается.

В лабораториях общеобразовательных школ, средних специальных учебных заведений и профессионально-технических училищ следует питать по магистральной схеме не более трех лабораторных щитков.

Количество присоединяемых к одной линии швейных машин в кабинетах домоводства общеобразовательных школ, в пошивочных цехах ателье и комбинатов бытового обслуживания населения, а также машин по ремонту и отделке обуви не ограничивается.

Аппараты управления силовыми электроприемниками должны устанавливаться возможно ближе к месту расположения управляемых механизмов:

– рассредоточено или группами на специальных конструкциях в шкафах станций управления;

– в напольных или навесных шкафах, устанавливаемых в нишах строительных конструкций, или открыто.

В схемах автоматического управления электродвигателями, при необходимости, должны быть предусмотрены устройства, исключающие их одновременное включение (например, путем отстройки по времени их включения).

В общественных зданиях питание штепсельных розеток для подключения электрических уборочных механизмов и рукосушителей (электрополотенец) должно осуществляться от силовой сети. Допускается подключение указанных электроприемников к сети электрического освещения.

Групповые сети освещения могут быть одно- , двух- и трехфазными в зависимости от их протяженности и числа присоединенных светильников. При этом в двух- и трехфазных групповых линиях запрещается использование предохранителей и однополюсных автоматических выключателей. Однофазные групповые линии следует выполнять трехпроводными, двухфазные – четырехпроводными и трехфазные – пятипроводными с отдельными N- и PE-проводниками. При использовании шинопроводов в системе TN допускается объединять N- и PE-проводники – PEN-шина, при этом сечение PEN-проводника должно быть не менее 10 мм^2 по меди. Запрещается объединять N- и PE-проводники разных групповых линий.

В муниципальных квартирах жилых домов рекомендуется предусматривать отдельные линии для питания штепсельных розеток жилых комнат, освещения, штепсельных розеток электроприемников кухни и коридора. При наличии розетки в зоне 3 ванной комна-

ты должна предусматриваться установка УЗО на ток до 30 мА. В обоснованных случаях число линий может быть уменьшено до двух. Эти групповые линии разрешается выполнять с учетом смешанного или раздельного питания нагрузок. При смешанном питании штепсельные розетки, устанавливаемые в кухне и коридоре, следует, как правило, присоединять к одной групповой линии, а в жилых комнатах – к другой.

В квартирах жилых домов, оборудованных электрическими плитами, должна быть предусмотрена отдельная групповая линия для питания этих плит. Линии для питания однофазных электроплит должны выполняться медными проводниками сечением не менее 6 мм^2.

К групповым линиям освещения лестничных клеток, поэтажных коридоров, холлов, вестибюлей, технических этажей, подполий и чердаков разрешается присоединять на фазу:

– до 60 ламп накаливания мощностью до 60 Вт;

– до 75 люминесцентных ламп мощностью 40 Вт;

– до 100 люминесцентных ламп мощностью 20 Вт и менее.

Для коммутации однофазных групповых линий могут использоваться как однополюсные, так и двухполюсные выключатели.

Распределение нагрузок между фазами сети освещения общественных зданий должно быть, как правило, равномерным; разница в токах наиболее и наименее нагруженных фаз не должна превышать 30 % в пределах одного щитка и 15 % – в начале питающих линий.

Схемных решений электроснабжения зданий и сооружений может быть достаточно много, но все их можно свести к нескольким вариантам рассмотренным ниже.

Основной источник питания зданий и сооружений как правило ТП. В крупных населенных пунктах и в больших городах на сторонах высшего или низшего напряжения устанавливаются устройства АВР. Категория надежности электроснабжения может быть различной, что было рассмотрено в п. 3.3. Достаточно часто на выбор схемы вводного устройства существенное влияние оказывают места установки счетчиков электрической энергии и граница балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности в электрических сетях. Расчетные счетчики активной энергии должны устанавливаться на границе раздела сетей по балансовой принадлежности между электроснабжающей организацией и каждым самостоятельным абонентом. Вместе с тем, при размещении в одном здании предприятий различного назначения и различных форм собственности выполнение подобного требования приводит к ряду трудностей: сложность организации узлов учета электрической энергии, увеличение расхода кабельной продукции при монтаже. В ряде случаев указанных трудностей можно избежать, используя при построении схемы электроснабжения понятия абонента (А) и субабонента (СА).

Граница раздела эксплуатационной ответственности и балансовой принадлежности сетей указывается в технических условиях на подключение потребителей абонента к электрическим сетям электроснабжающей организации или определяется проектом. Обычно граница такого раздела устанавливается по кабельным наконечникам линий питающих ВРУ, ГРЩ или на выводах низшего напряжения силовых трансформаторов ТП, РУ–0,4 кВ, который обслуживается абонентом (А).

Абонент здания – организация, в эксплуатации которой находится ГРЩ, – должен определяться проектом (обычно выбирается владелец здания или наиболее энергоемкий абонент). Вся мощность, потребляемая зданием, подается на ГРЩ, от которого производиться питание ВРУ субабонентов. Расчетные счетчики устанавливаются на ГРЩ, на ВРУ А размещаются контрольные приборы учета. Расчеты с энергоснабжающей организацией производятся А, функции которого усложнились в связи с лимитированием электроэнергии для здания в целом.

Границей раздела между А и СА являются кабельные наконечники питающих линий на ВРУ А, которые могут устанавливаться в отдельных щитовых помещениях, но могут размещаться и в щитовой А. Счетчики для учета электроэнергии устанавливаются общими.

На схемах, представленных на рис. 3.29–3.33 приведены наиболее характерные случаи электроснабжения зданий. На рис. 3.29–3.32 представлены схемы при питании зданий, сооружений от отдельно стоящей ТП, а на рис. 3.33 – от встроенной КТП.

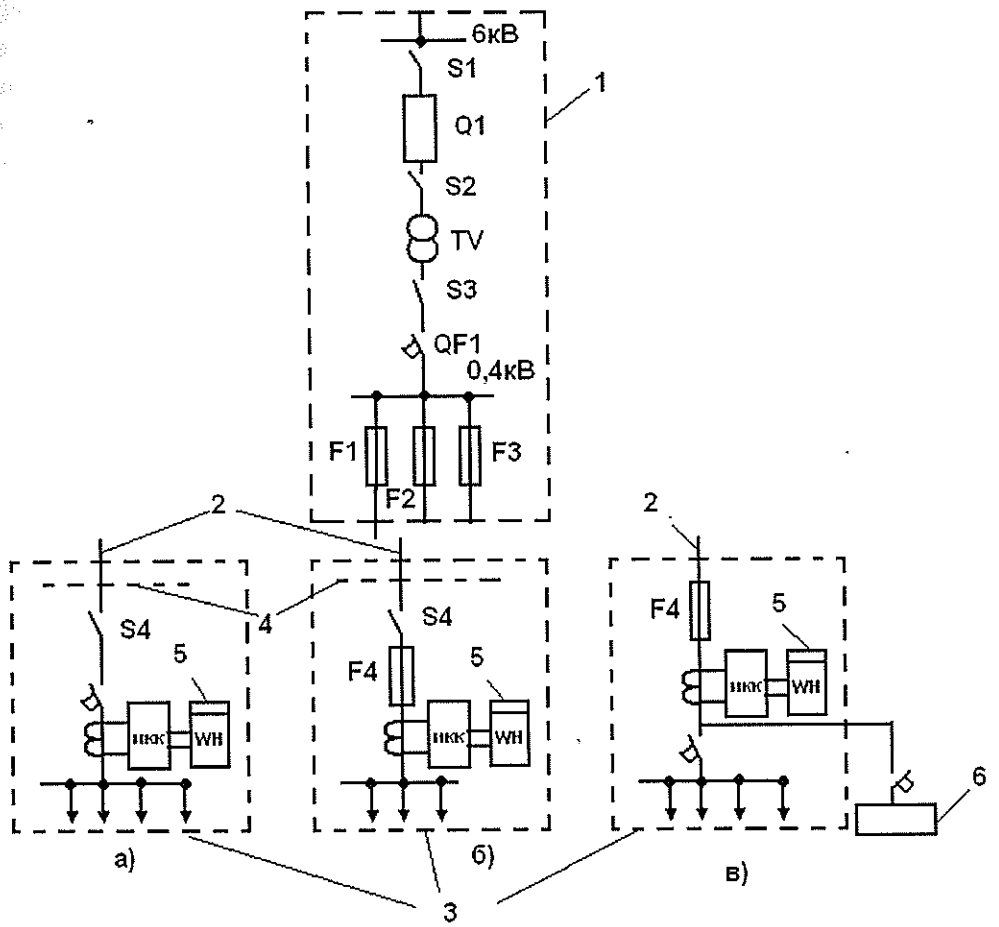


Рис. 3.29. Схемы электроснабжения зданий с потребителями третьей категории надежности от отдельно стоящей ТП: а) – с одной питающей линией; б) – с двумя питающими линиями; в) – вариант ВРУ; 1 – ТП; 2 – питающая линия; 3 – ВРУ здания; 4 – граница раздела с электроснабжающей организацией; 5 – расчетный счетчик электроэнергии; 6 – щиток аварийного освещения ЩАО

Если нагрузка здания относится к 3-й категории, то в здании устанавливается односекционное ВРУ. Питание такого ВРУ производиться от одного трансформатора, как правило, одной питающей линией (рис. 3.29, а). Разделение питающих линий рабочего освещения и АЭО производится начиная с шин ВРУ.

Возможен вариант схемы ВРУ (рис. 3.29, в), допускающий выполнение ревизии или ремонта основного распределительного щита без отключения ЩАО. В отдельных случаях в целях повышения надежности электроснабжения потребителя резервируется наиболее уязвимый участок сети от ТП до здания (рис. 3.29, б). При этом одна из питающих линий является резервной и в нормальном режиме нагрузки не несет. Рабочая и резервная линии могут присоединяться к разным трансформаторам. Эта же схема может использоваться для питания потребителей 2-й категории. Для потребителей 3-й категории схема неэкономична и может быть допущена как исключение.

Наиболее распространенная схема питания здания, нагрузки которого относятся ко 2-й категории, показана на рис. 3.30. Вводно-распределительное устройство потребителя представляет собой двухсекционный распределительный щит с двумя переключателями на вводе.

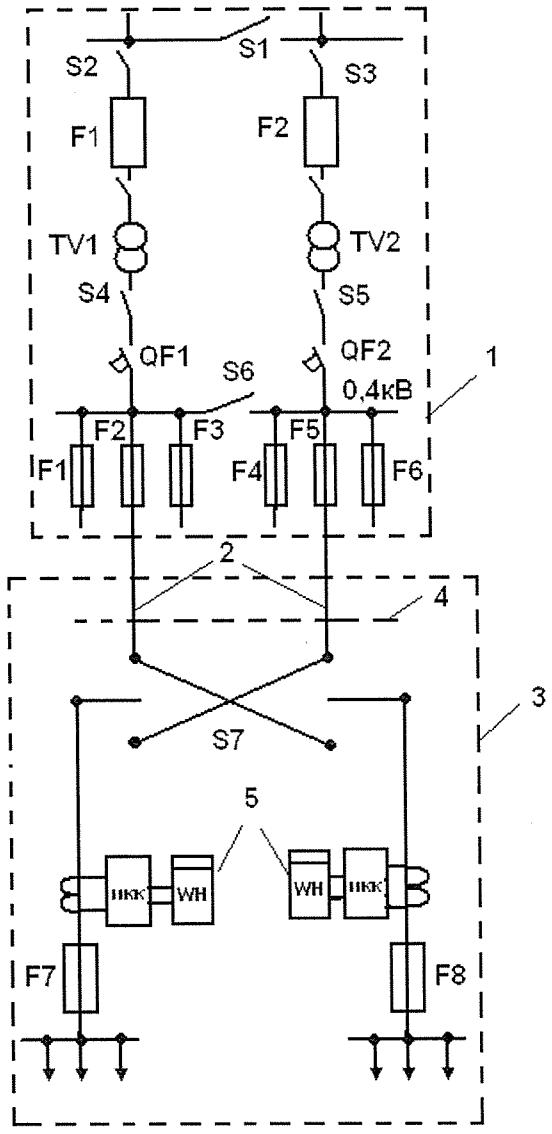


Рис. 3.30. Питание здания с потребителями второй категории надежности от отдельно стоящей ТП: 1 – ТП; 2 – питающие линии; 3 – ВРУ здания; 4 – граница раздела с электроснабжающей организацией; 5 – расчетный счетчик электроэнергии

Питающие линии от ТП до ВРУ выбирают с учетом работы в режиме возможного выхода из строя одной линии (при выполнении линии кабелем с пропитанной бумажной, поливинилхоридной или полиэтиленовой изоляцией допускается их перегрузка на время после аварии соответственно до 125, 115 и 100 %). Однако ток послеаварийного режима независимо от положения вводных переключателей не протекает через аппараты защиты и приборы учета каждой секции ВРУ. Такие ВРУ изготавливаются на токи, не превышающие 630 А. Необходимость выбора питающих сетей с учетом нагрузки послеаварийного режима обычно приводит к равенству сечений питающих линий обоих вводов. Наилучший режим нагрузки питающих линий в рабочем режиме обеспечивается при равномерной нагрузке из них. Поэтому в случаях, когда нагрузка освещения составляет менее 50 % общей нагрузки здания рекомендуется питать от одной секции ВРУ рабочее освещение и часть силовой нагрузки, характер которой позволяет такое объединение, а от второй секции – аварийное освещение и остальную часть силовой нагрузки. Не совмещение максимумов силовой и осветительной нагрузки приведет в этом случае к некоторому снижению загрузки трансформаторов и питающих линий в рабочем режиме.

На рис. 3.31 изображена схема питания здания, в котором размещены потребители разного назначения (один из них абонент). В этом случае границей раздела с энергоснаб-

жающей организацией являются наконечники питающих линий на ВРУ абонента, щит от которого является ГРЩ здания. Субабоненты получают питание от ГРЩ, и на их ВРУ устанавливаются контрольные счетчики. Линии от ГРЩ до ВРУ СА по согласованию могут находиться в эксплуатации А или СА. Если в здании находится несколько арендаторов, выполняющих функции А, то у одного из них устанавливается бузучетный ГРЩ на всю нагрузку здания, а расчетные счетчики размещаются на ВРУ каждого потребителя. Если по каким-либо причинам энергоснабжающая организация возражает против выполнения указанной схемы, питание каждого абонента выполняется по схеме, приведенной на рис. 3.31. Каждое из ВРУ абонентов может питаться от ТП самостоятельными линиями либо используется включение ВРУ нескольких абонентов в цепочку.

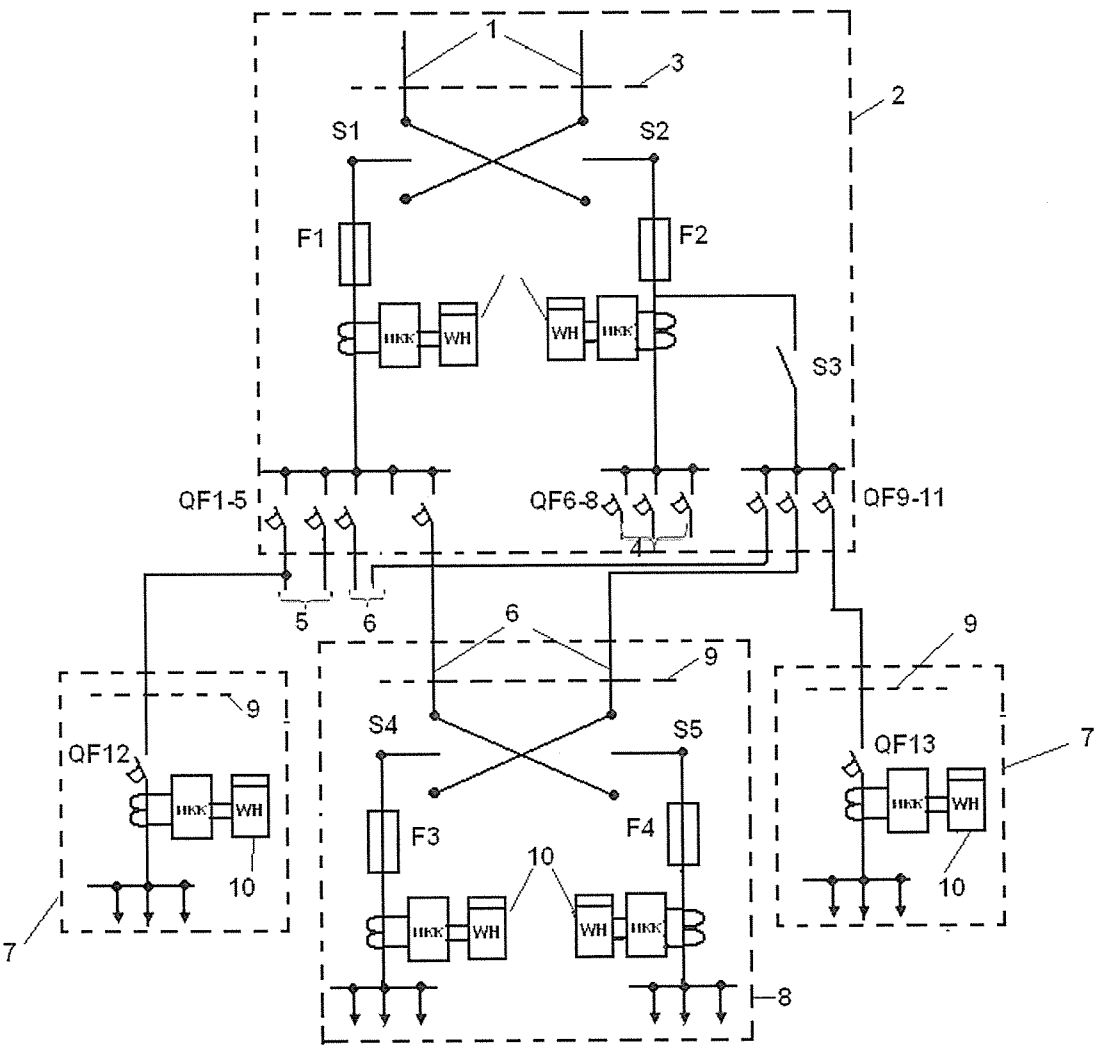


Рис. 3.31. Схема электроснабжения предприятия встроенного в жилой дом от ВРУ жилого дома: 1 – питающие линии от ТП; 2 – ВРУ жилого дома (владельца здания); 3 – граница раздела с энергоснабжающей организацией; 4 – питающие линии лифтов и других нужд жилого дома; 5 – питающие линии квартир; 6 – питающие линии нагрузками второй категории; 7 – ВРУ предприятий общественного значения с нагрузкой третьей категории (приемный пункт прачечной, мастерская по ремонту обуви); 8 – ВРУ общественного предприятия; 9 – граница раздела между жилым домом и общественным предприятием; 10 – расчетный счетчик электроэнергии

Часто сооружаются жилые дома, в первые этажи которых встраиваются разнообразные общественные предприятия. В этом случае целесообразно выполнять питание по схеме, указанной на рис. 3.31: линия эксплуатационного раздела с энергоснабжающей организацией пройдет по вводам во ВРУ (ГРЩ) дома, от которого питаются ВРУ всех общест-

венных потребителей. Однако в отличие от схемы, данной на рис. 3.31, на ВРУ жилого дома не устанавливаются расчетные счетчики, общие для общедомовых потребителей и нагрузок общественных помещений. Расчетные счетчики устанавливаются на ВРУ каждого потребителя. Такая схема питания имеет преимущества перед схемой независимого питания жилого дома и встроенных в него общественных потребителей, поскольку приводит к экономии кабельных изделий и мест на сборках низшего напряжения ТП.

Схема электроснабжения здания от встроенных ТП в значительной мере зависит от установления границы раздела между электроснабжающей организацией и абонентом. В качестве примера рассмотрим наиболее характерные схемы использования встроенной КТП. Если мощность полностью потребляется зданием, границу раздела целесообразно установить на выводах низкого напряжения трансформаторов (рис. 3.32).

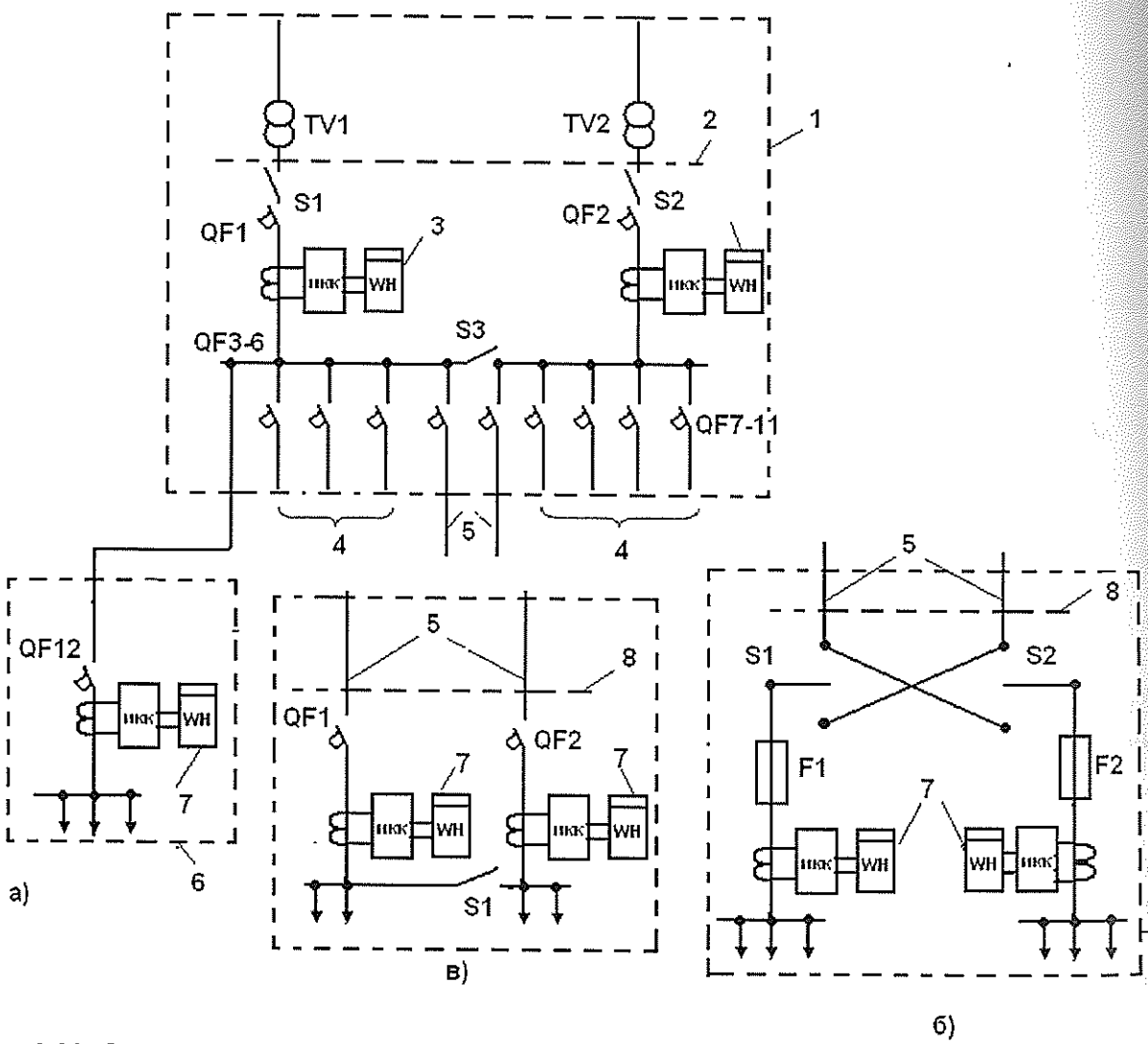


Рис. 3.32. Схема электроснабжения здания от встроенной КТП (потребляется 100 % S_{H} КТП): а – общая схема питания; б и в – схемы ВРУ субабонента; 1 – КТП; 2 – граница раздела с электроснабжающей организацией; 3 – расчетный счетчик электроэнергии; 4 – питающие линии главного абонента; 5 – питающие линии к ВРУ субабонента; 6 – ВРУ субабонента с нагрузками третьей категории; 7 – контрольный счетчик электроэнергии; 8 – граница раздела между главным абонентом и субабонентом

В рассматриваемом случае РУ–0,4 кВ КТП является ГРЩ потребителя или абонента (если в здании размещается несколько организаций), а помещение ТП является одновременно и щитовым помещением. В целях экономии линейных автоматических выключателей КТП в помещении подстанции могут устанавливаться двухсекционные щиты с менее дефицитными автоматами, шины которых глухо присоединяются к шинам типа КТП, как

бы являясь их продолжением. Выделение для размещения ГРЩ отдельного помещения при сохранении той же схемы питания возможно, но нецелесообразно. Если здание потребляет только часть мощности КТП, то граница раздела устанавливается на вводах к потребителям (рис. 3.33), тогда щитовая потребителя или абонент размещается в отдельном помещении, обычно прилегающем к помещению КТП.

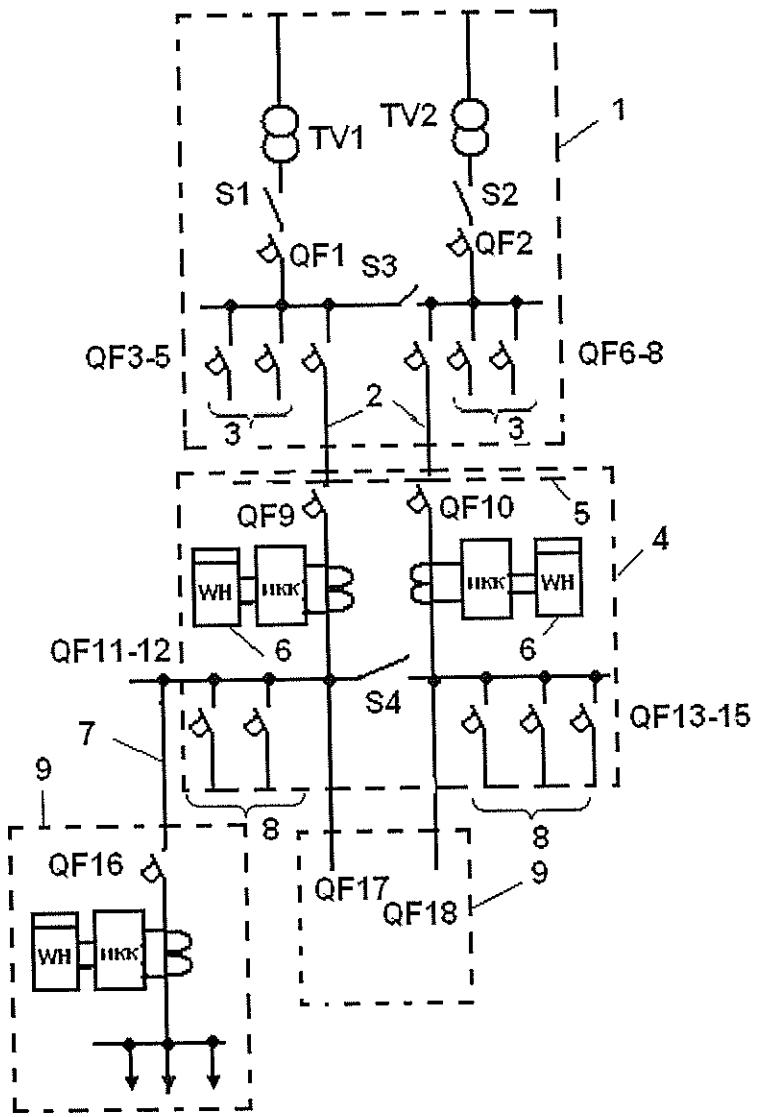


Рис. 3.33. Схема электроснабжения здания от встроенной КТП (потребляется часть мощности КТП): 1 – КТП; 2 – питающие линии к ГРЩ субабонента; 3 – питающие линии посторонних потребителей; 4 – ГРЩ главного абонента; 5 – граница раздела с электроснабжающей организацией; 6 – расчетный счетчик электроэнергии; 7 – питающие линии к ВРУ субабонента; 8 – питающие линии абонента; 9 – ВРУ субабонента

В зависимости от мощности потребителей схемы ГРЩ и ВРУ могут выполняться с переключателями (до 600 А) (рис. 3.32, б) или в виде двухсекционного щита с вводными и секционными автоматами (рис. 3.32, в). В последнем случае при выборе вводных защитных аппаратов и трансформаторов тока на каждой секции протекает ток всей нагрузки потребителя. Кроме того, во избежание неправильных действий персонала при аварийных переключениях, могущих привести к включению трансформаторов на параллельную работу, на ВРУ, выполненных по схеме на рис. 3.32, в, следует предусматривать блокировочные устройства, препятствующие включению секционного автомата (или рубильника) без отключения одного из вводов. От ВРУ по схеме на рис. 3.32, в можно осуществлять питание потребителей 1-й категории надежности.

Для этого предусматривают устройства АВР, выполняемые с помощью вводных и секционных автоматических выключателей, снабженных электроприводом. Если потребитель целиком относится к 1-й категории, то его ввод удобно выполнять по такой схеме независимо от нагрузки потребителя и расположения ТП. Для питания отдельных нагрузок потребителей, относящихся к 1-й категории, используются устройства АВР, выполняемые с помощью блоков автоматического переключения и устанавливаемые рядом с ВРУ (централизованное размещение) или непосредственно у потребителя. Рабочее и резервное питание на блоки подается от разных секций ВРУ, которое может быть выполнено по схемам на рис. 3.32, б и 3.32, в. Питающие линии к щитам и щиткам с нагрузками 1-й категории при централизованной установке АВР должны прокладываться изолированными проводами в трубах или выполняться кабелем.

Нами рассмотрены были первые пять этапов проектирования, остальные этапы будут рассмотрены отдельными пунктами главы, т.к. касаются не только жилых и общественных зданий и сооружений.

3.5. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий

Общие положения. Основными определяющими факторами при проектировании электроснабжения должны быть характеристики источников питания и потребителей электроэнергии и в первую очередь требование к бесперебойности электроснабжения (качество электроэнергии, допустимое время, частота и продолжительность перерывов и ограничений электроснабжения) с учетом возможности обеспечения резервирования в технологической части проекта.

Характеристики внешних источников питания следует принимать по техническим условиям на присоединение, выдаваемым энергоснабжающей организацией.

При проектировании электроснабжения энергоемких предприятий следует предусматривать по согласованию с заказчиком и с энергоснабжающей организацией регулирование электрической нагрузки путем отключения или частичной разгрузки крупных электроприемников, допускающих без значительного экономического ущерба для технологического режима перерывы или ограничения в подаче электроэнергии.

Проектирование объектов электроснабжения следует выполнять исходя из перспектив развития данного промышленного предприятия. При этом в проекте должно быть предусмотрено, чтобы осуществление первой очереди не приводило к значительным затратам, связанным с последующими очередями строительства, и чтобы сооружение последующих очередей строительства могло осуществляться, как правило, без перерывов электроснабжения.

Система электроснабжения в схемной, компоновочной и конструктивной частях должна обеспечивать возможность роста потребления электроэнергии предприятием без коренной реконструкции системы электроснабжения.

Система электроснабжения должна обеспечивать в условиях послеаварийного режима путем соответствующих переключений питание электроэнергией тех электроприемников, работа которых необходима для продолжения производства.

Резервирование питания электроприемников должно предусматриваться с минимальными затратами средств и электрооборудования. Для этого особое внимание должно быть обращено на:

– правильность определения категорий электроприемников. Определять категории следует по электроприемникам, а не по цехам в целом. Если имеется ограниченное число электроприемников I и II категории, вопросы обеспечения их надежного питания следует рассматривать особо, не допуская необоснованного отнесения других электроприемников к высшим категориям. Отделения цехов или отдельные группы электроприемников, тре-

бующие разной степени надежности питания электроэнергией, следует рассматривать как объекты с разными условиями резервирования, что должно учитываться при построении схем электроснабжения;

– полное использование перегрузочной способности трансформаторов, кабелей и другого электрооборудования при послеаварийных режимах. При этом выбор коммутационных аппаратов должен производиться так, чтобы их параметры не лимитировали полное использование перегрузочной способности электрооборудования;

– возможность использования взаимно резервируемых параллельных технологических потоков с питанием от независимых источников или резервных технологических агрегатов (насосов, компрессоров и т.п.) с отдельным питанием электроэнергией;

– автоматическую (или ручную) разгрузку при аварии от неответственных потребителей, с выделением питания нагрузок III категории для возможности их отключения по аварийному графику.

Мероприятия по обеспечению надежности электроснабжения должны определяться с учетом конкретных условий (назначения электроустановки, ее мощности, перспективы развития и т.п.), специфических особенностей данной отрасли промышленности, а также экономического ущерба от перерыва электроснабжения.

При проектировании электроснабжения объектов необходимо выявлять совместно с организацией, разрабатывающей проект технологической части, наиболее ответственных потребителей, требующих особо повышенной надежности питания, так называемые особые группы электроприемников, и выделять их из числа электроприемники I категории.

К особым группам электроприемников относятся приемники, обеспечивающие безаварийную остановку производства, перерыв в электроснабжении которых угрожает жизни и здоровью людей, взрывом, пожаром, порчей основного технологического оборудования.

Для этих целей кроме двух основных источников питания электроприемников I категории должен предусматриваться третий независимый источник, достаточный для безаварийной остановки производства. В качестве таких источников могут быть использованы небольшие дизельные электростанции, аккумуляторные батареи и др.

Схема электроснабжения электроприемников особой группы I категории должна обеспечивать:

– постоянную готовность третьего независимого источника и автоматическое его включение при исчезновении напряжения на обоих основных источниках питания;

– перевод независимого источника в режим горячего резерва при выходе из работы одного из двух основных источников питания.

Мощность третьего независимого источника должна быть минимальной, обеспечивающей питание только электроприемников особой группы, необходимых для безаварийной остановки производства. К этим источникам не должны подключаться другие электроприемники.

При проектировании надлежит предусматривать мероприятия, обеспечивающие возможность ведения электромонтажных работ индустриальными методами и применения комплектных крупноблочных узлов.

При проектировании электротехнических помещений должны учитываться требования технической эстетики в части цветовой отделки помещений и электрооборудования, согласно Указаниям по проектированию цветовой отделки интерьеров производственных зданий промышленных предприятий, утвержденным Росстроем.

Категории электроприемников по надежности электроснабжения должны определяться на основании ПУЭ и в соответствии с рекомендациями, приведенными в указаниях и инструкциях надзорных органов и Росстроя.

Определение электрических нагрузок электроприемников с переменным графиком нагрузки на всех ступенях питающих и распределительных сетей следует выполнять, как правило, по методу коэффициента использования и коэффициента максимума в соответствии с действующими указаниями по определению электрических нагрузок в промышлен-

ных установках, при этом расчетные нагрузки на трансформаторы следует корректировать с учетом нагрузок, определяемых по удельным расходам электроэнергии согласно инструкции по проектированию городских электрических сетей (РД 34.20.185–94).

Схемы электроснабжения промышленных предприятий. Ранее был приведен материал по схемам внешнего электроснабжения промышленных предприятий. Здесь мы вкратце рассмотрим систему внутреннего электроснабжения предприятия, а именно внутризаводские, межцеховые и внутрицеховые сети, т.е. сети от главной понизительной подстанции (ГПП) предприятия до приемников электроэнергии. Схемы напряжением 6–20 кВ промышленных сетей работают в разомкнутом режиме.

Для электроснабжения потребителей III категории может быть использована *радиальная воздушная линия* напряжением 6–20 кВ с глухими ответвлениями-отпайками (рис. 3.34).

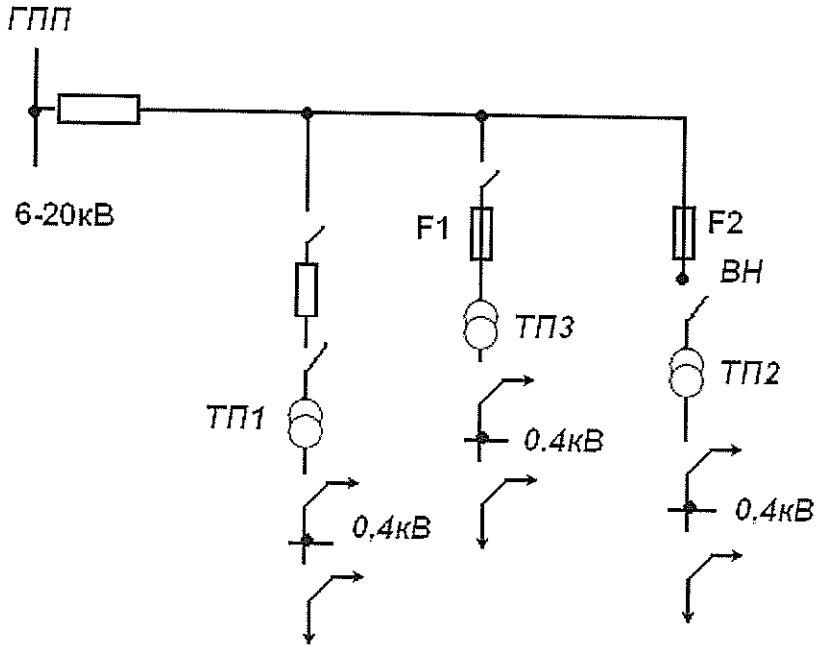


Рис. 3.34. Радиальная воздушная линия напряжением 6–20 кВ

При повреждении на магистрали все потребители, питающиеся от нее, отключаются на время поиска и устранения повреждения. Трансформаторные подстанции на стороне 6–20 кВ подключаются к линии через выключатели (при мощности трансформаторов 630 кВА и более), выключатели нагрузки и предохранители, разъединители и предохранители. От радиальной линии может питаться совокупность ТП (ТП1–ТП3, рис. 3.34), а также только одна ТП. В этом случае отпаек от линии нет, а сама линия может быть как воздушной, так и кабельной.

Большая группа схем сетей предназначена для электроснабжения одновременно потребителей II и III категорий, а также II и I категорий.

Для электроснабжения потребителей II категории применяется *радиальная линия с двумя параллельными кабелями,* присоединенными под один выключатель (рис. 3.35).

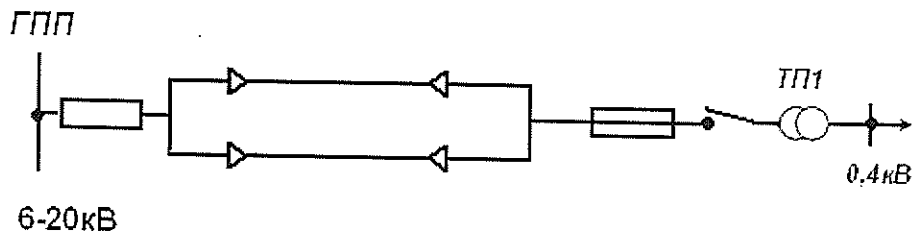


Рис. 3.35. Радиальная линия напряжением 6–20 кВ с двумя параллельными кабелями

Пропускная способность каждого кабеля составляет 50–70 % мощности ТП. При повреждении одного из кабелей потребители погашаются на время отыскания поврежденного кабеля и его отключения. Такая схема может быть применена в тех случаях, когда потребители допускают перерыв в электроснабжении до 30 мин.

Для электроснабжения потребителей II и III категорий применяется *петлевая схема.* Схема, показанная на рис. 3.36 и называемая *магистральной линией с двусторонним питанием,* может обеспечивать питание всех ТП от одного или двух источников. При повреждении линии в первом случае все потребители будут иметь перерыв в электроснабжении на время поиска и локализации поврежденного участка (порядка 30–40 мин). Во втором случае в течение указанного времени будет недоотпуск электроэнергии только части (около половины) потребителей, так как петлевая линия разомкнута в нормальном режиме примерно в точке естественного токораздела и ТП получают питание от обоих источников. К сети присоединяется не более 5–6 ТП. Сечение линии на всех участках одинаково и выбирается по мощности подключенных к сети ТП.

Разновидностями схемы, изображенной на рис. 3.36, которые применяются в промышленных сетях, служат *кольцевая разомкнутая магистраль* (или петлевая линия, работающая в разомкнутом режиме и питающаяся от одного источника), *радиальная линия с общей резервной линией* и *радиальная схема электроснабжении каждой цеховой подстанции с общей резервной магистральной линией* (рис. 3.37–3.40).

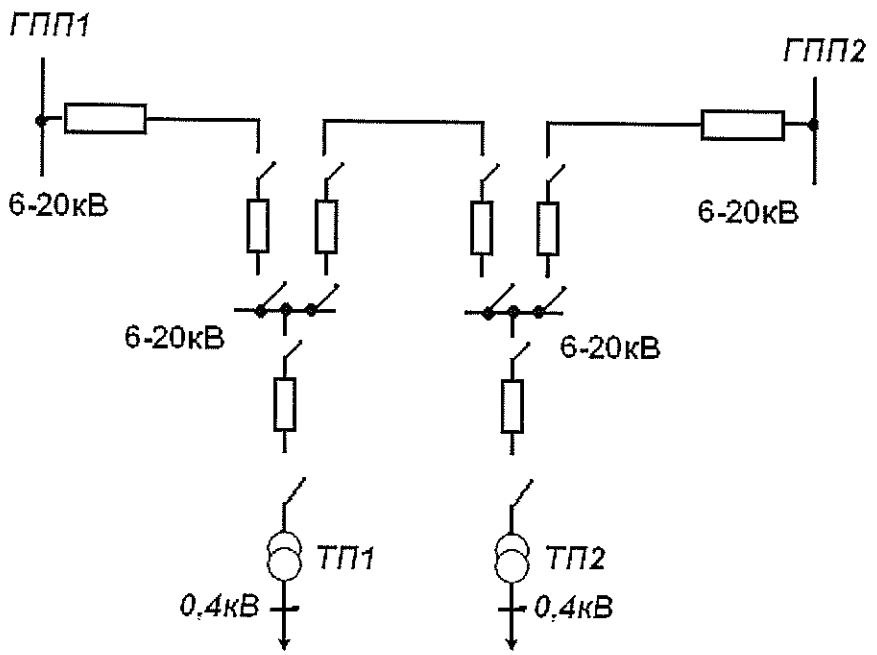


Рис. 3.36. Магистральная линия напряжением 6–20 кВ с двухсторонним питанием

В схеме, приведенной на рис. 3.37, кольцевая линия размыкается примерно в точке естественного токораздела. При повреждении на линии имеет место перерыв в электроснабжении на 1–2 ч, т.е. на время отыскания повреждения и восстановления питания. Пропускная способность линии составляет 80 % потребной мощности всех потребителей кольца.

К кольцевой схеме рекомендуется присоединять не более 5–6 трансформаторов цеховых подстанций.

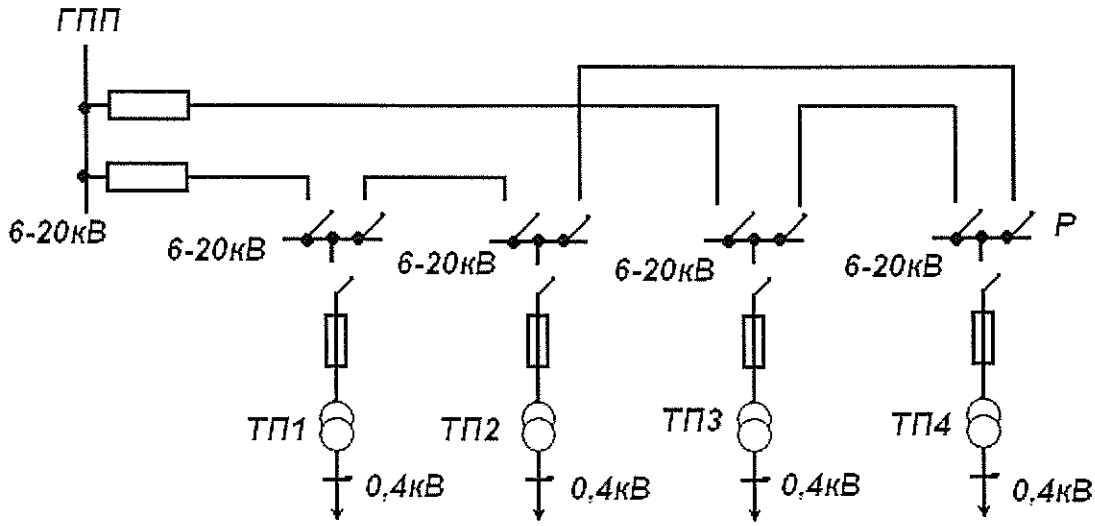


Рис. 3.37. Кольцевая разомкнутая магистраль напряжением 6–20 кВ
(Р – нормально отключенный разъединитель)

К схеме, показанной на рис. 3.38, рекомендуется присоединять не более 4–5 трансформаторов цеховых подстанций. Пропускная способность основных линий составляет 100 % потребной мощности ТП. Резервная магистраль рассчитывается на 100 % наибольшей из нагрузок по основным линиям.

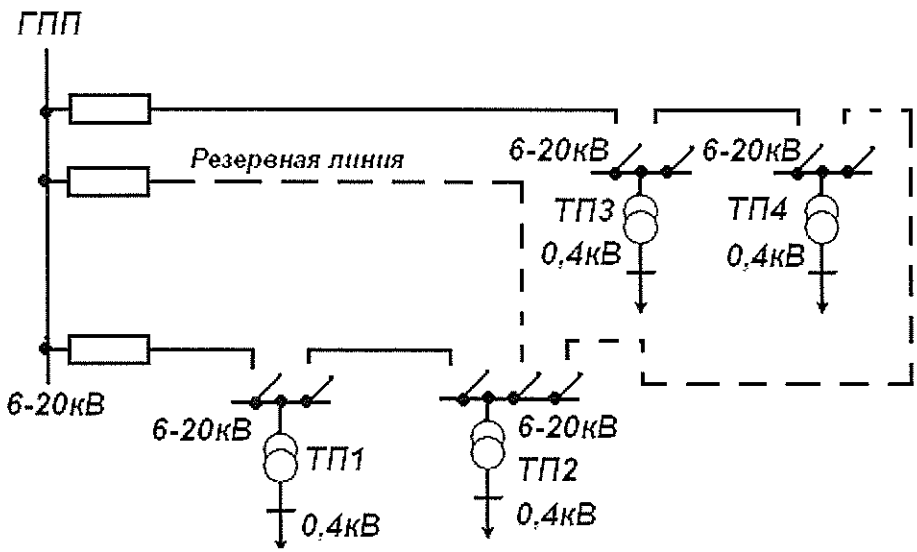


Рис. 3.38. Радиальная есть напряжением 6–20 кВ с общей резервной линией

В схеме, данной на рис. 3.39, перерыв в электроснабжении при повреждении на линии может достигать 30 мин. Резервная линия все время находится под напряжением. Пропускная способность каждой линии составляет 100 % потребной мощности. Резервная магистраль рассчитывается на 100% потребной мощности наиболее мощной подстанции.

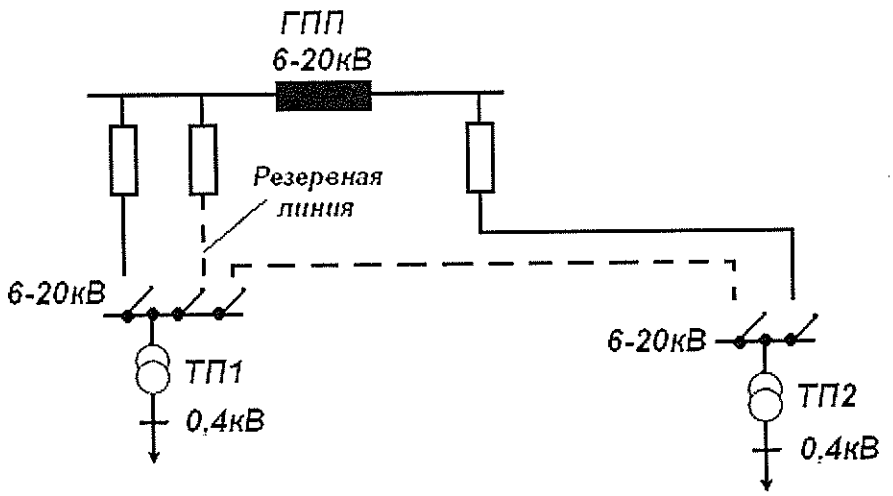


Рис. 3.39. Радиальная схема электроснабжения цеховых ТП с общей резервной линией напряжением 6–20 кВ

Для питания потребителей I категории применяется *двухлучевая схема сети с АВР на стороне низшего напряжения.* Если оба луча питаются от одного и того же ЦП, то такая схема называется в промышленных сетях *двойной сквозной магистралью одностороннего питания.* Она применяется для электроснабжения потребителей I и II категорий при бесшинных цеховых подстанциях на стороне высшего напряжения (так как нет резервирования по источникам питания).

Электроснабжение цеховых подстанций с потребителями I и II категорий может осуществляться двумя линиями с резервированием от второго источника (рис. 3.40). Пропускная способность резервной линии определяется мощностью потребителей, питание которых должно быть обеспечено при исчезновении напряжения на шинах первого источника. Выключатели приемного конца резервной линии нормально отключены. При мощности цеховой подстанции 10 МВА и более применяется схема, показанная на рис. 3.41. Пропускная способность резервной линии составляет 60 % потребной мощности. Секционные выключатели снабжены устройством АВР.

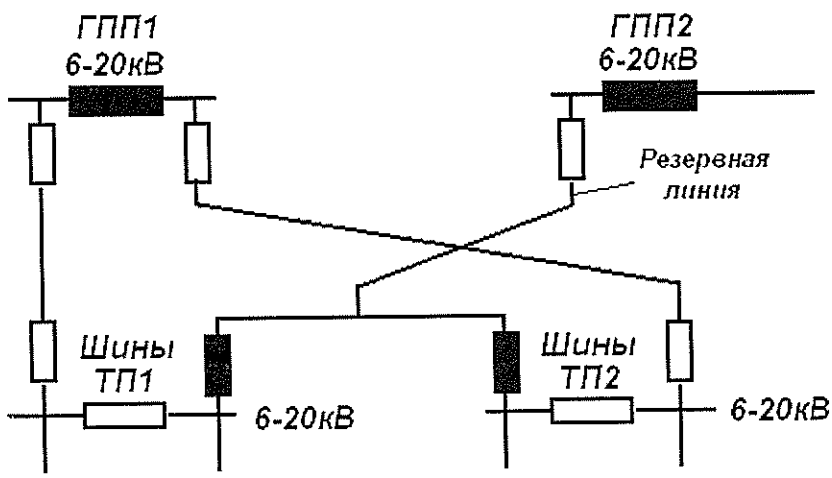


Рис. 3.40. Радиальная схема электроснабжения цеховых ТП с общей резервной линией напряжением 6–20 кВ от второго источника

Для упрощения внутризаводской сети напряжением 6–20 кВ при нагрузке промышленные потребителей 1000 кВА и более применяются питающие сети и распределительный пункты.

Питание РП может осуществляться по двум линиям» работающим раздельно с устройством АВР на секционном выключателе (см. рис. 3.41), Пропускная способность каждой линии составляет 50–70 % обшей потребной мощности. Такая схема применяется для потребителей I категории.

Для снижения стоимости ГПП в случае применения дорогостоящих выключателей две питающие линии пропускной способностью 50–70 % потребной мощности могут быть присоединены под один выключатель (рис. 3.42).

При необходимости использования выключателей с меньшей отключающей способностью может применяться схема, показанная на рис. 3.43.

Для электроснабжения потребителей I категории, например крупных предприятий металлургической и химической промышленности, применяется схема *двойных шинных магистралей двухстороннего питания* (рис. 3.44). Пропускная способность магистрали составляет 80 % полной потребной мощности потребителей, присоединенных к обеим магистралям.

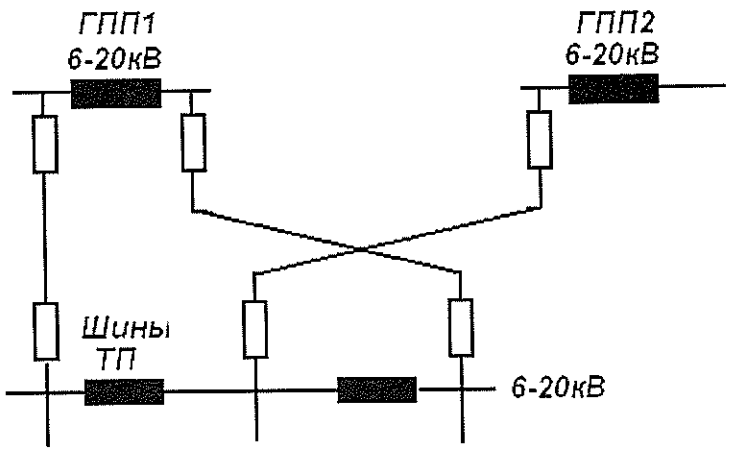


Рис. 3.41. Схема электроснабжения тремя линиями напряжением 6–20 кВ с АВР на секционных выключателях цехового ТП

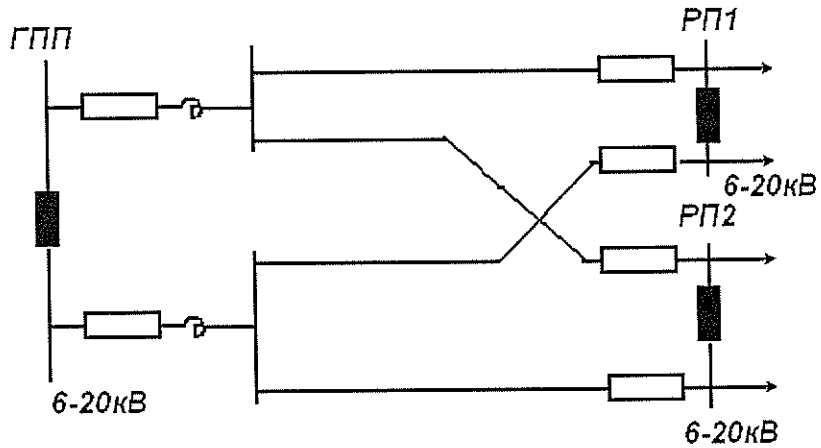


Рис. 3.42. Присоединение двух питающих линий напряжением 6–20 кВ под один выключатель

Электроснабжение РП может осуществляться также по двум линиям без выключателей на приемном конце (рис. 3.45). Такая схема применяется для электроснабжения потребителей II и III категорий.

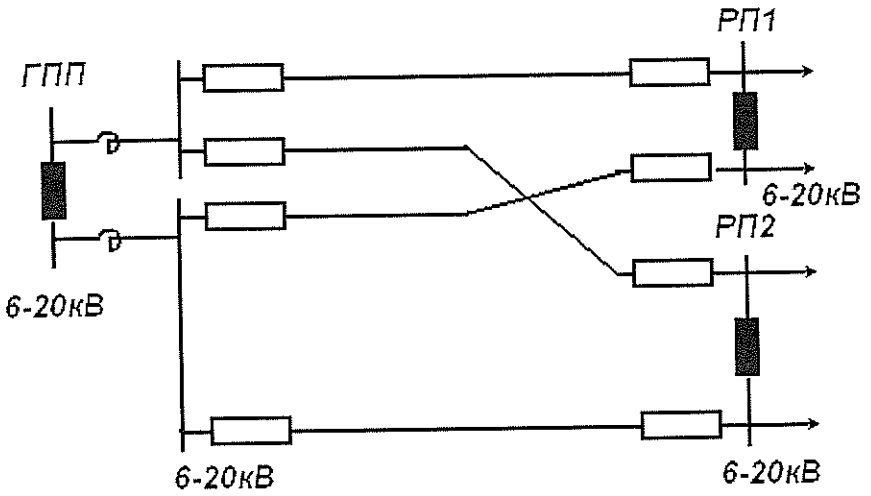


Рис. 3.43. Присоединение питающих линий напряжением 6–20 кВ с меньшей отключающей способностью

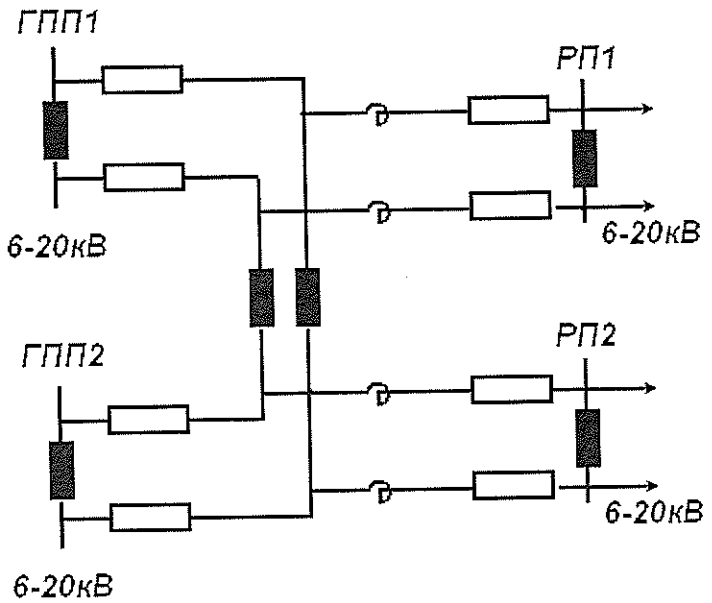


Рис. 3.44. Схема двойных шинных магистралей двухстороннего питания напряжением 6–20 кВ

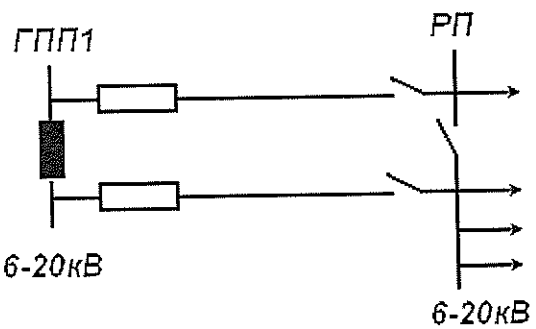


Рис. 3.45. Схема питания РП по двум линиям напряжением 6–20 кВ

В нормальном режиме линии работают раздельно (секционный разъединитель нормально отключен). Пропускная способность каждой линии составляет 60–70 % потребной мощности.

При наличии на промышленном предприятии потребителей всех трех категорий применяется так называемая *двухступенчатая схема электроснабжения с РП* (рис. 3.46).

Для электроснабжения потребителей I и II категорий энергоемких цехов металлургических и химических заводов применяют воздушные одиночные и двойные магистрали напряжением 35–220 кВ, проходящие на территории предприятия и называемые *глубоким вводом* (рис. 3.47, 3.48). В схеме глубокого ввода меньше потери энергии, капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

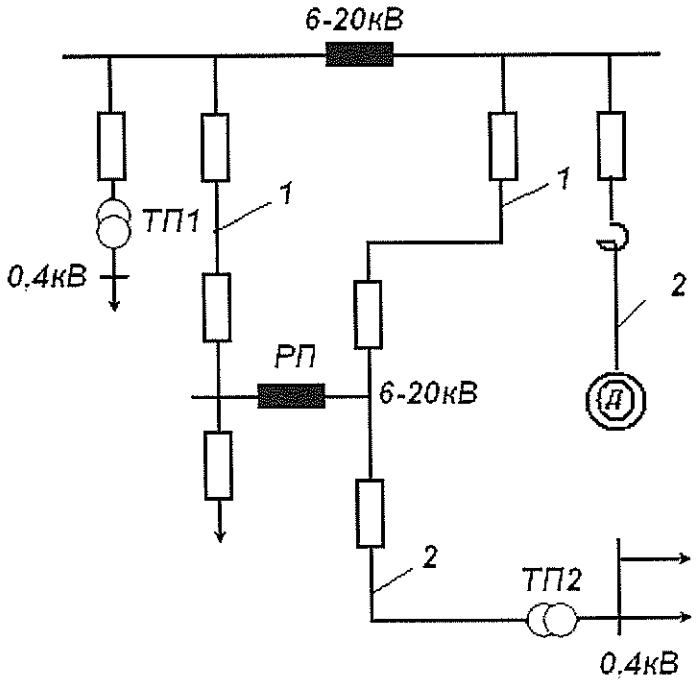


Рис. 3.46. Двухступенчатая схема электроснабжения промышленного предприятия с собственными распределительными пунктами: 1 – питающие линии напряжением 6–20 кВ; 2 – распределительные линии напряжением 6–20 кВ; Д – мощная сосредоточенная ударная нагрузка, питающаяся непосредственно от шин напряжением 6–20 кВ

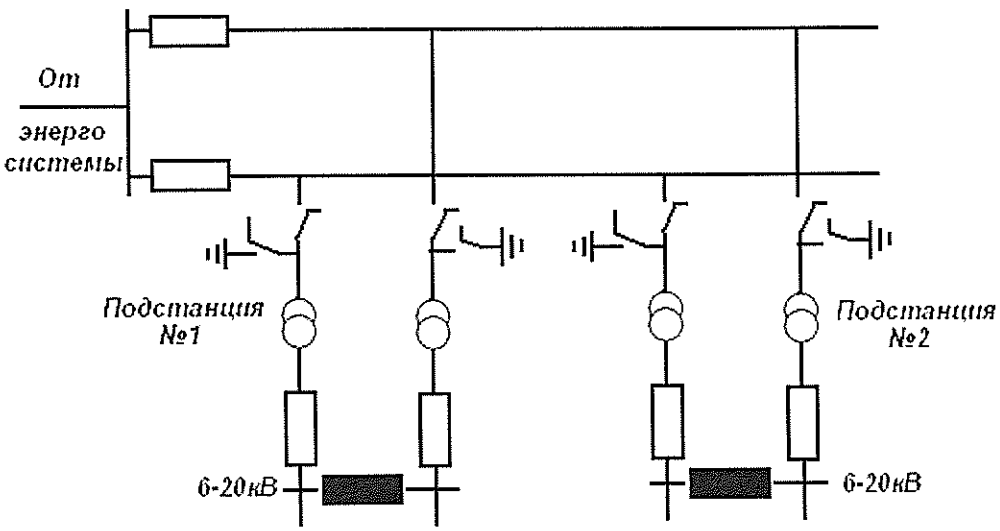


Рис. 3.47. Схема глубокого ввода с двумя магистралями 110–220 кВ

Схема, показанная на рис. 3.47 применяется для электроснабжения потребителей I и II категорий, а схема, приведенная на рис. 3.48, – для электроснабжения потребителей III категории.

Пропускная способность каждой магистрали напряжением 110–220 кВ (см. рис. 3.47) составляет примерно 80 % всей мощности потребителей, присоединенных к обеим магистралям. В схеме, изображенной на рис. 3.48, ТП1 предназначена для питания крупных токоприемников, а ТП2 – для питания относительно мелких потребителей.

Схемы межцеховых и внутрицеховых сетей напряжением до 1000 В. Питание приемников электроэнергии в цехах промышленных предприятий осуществляется цеховыми электрическими сетями напряжением до 1000 В, источниками питания которых служат цеховые трансформаторы. Схемы сетей выбирают в зависимости от мощности отдельных приемников, их количества, размещения на территории цеха, требуемой степени надежности.

Цеховые электрические сети выполняются радиальными и магистральными (рис. 3.49–3.51).

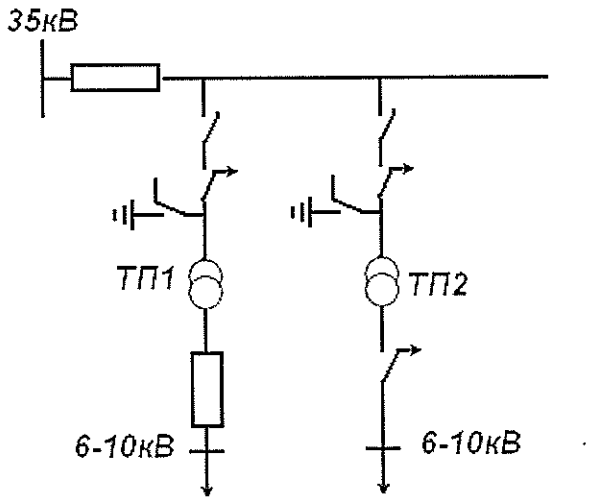


Рис. 3.48. Схема глубокого ввода с одиночной магистралью напряжением 35 кВ

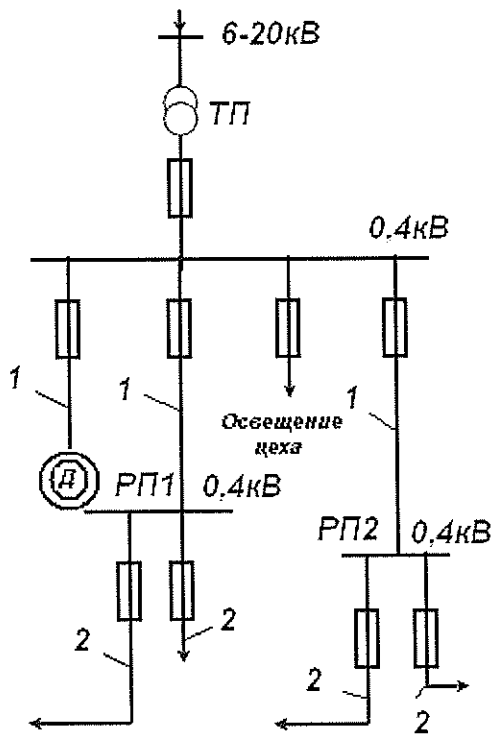


Рис. 3.49. Радиальная схема питающей цеховой сети напряжением до 1000 В:
1 – питающие линии; 2 – распределительные линии

Линии, отходящие от шин напряжением 0,4–0,66 кВ цеховых трансформаторов к цеховым распределительным пунктам, называются *питающими*. Линии от цеховых распределительных пунктов к приемникам электроэнергии называются *распределительными*.

В радиальных схемах (рис. 3.49) от источника питания отходят линии, питающие мощные электроприемники (двигатели Д) или групповые РП, от которых в свою очередь отходит распределительные линии, питающие электроприемники малой мощности. Радиальная схема обеспечивает высокую надежность питания (при повреждении питающей линии прекращается подача электроэнергии отдельному приемнику или ограниченной группе приемников), гибкость сети в отношении расширения (для новых групп приемников прокладываются самостоятельные питающие линии), возможность автоматизации. Однако радиальные схемы требуют больших затрат на установку распределительных щитов, прокладку кабеля и проводов.

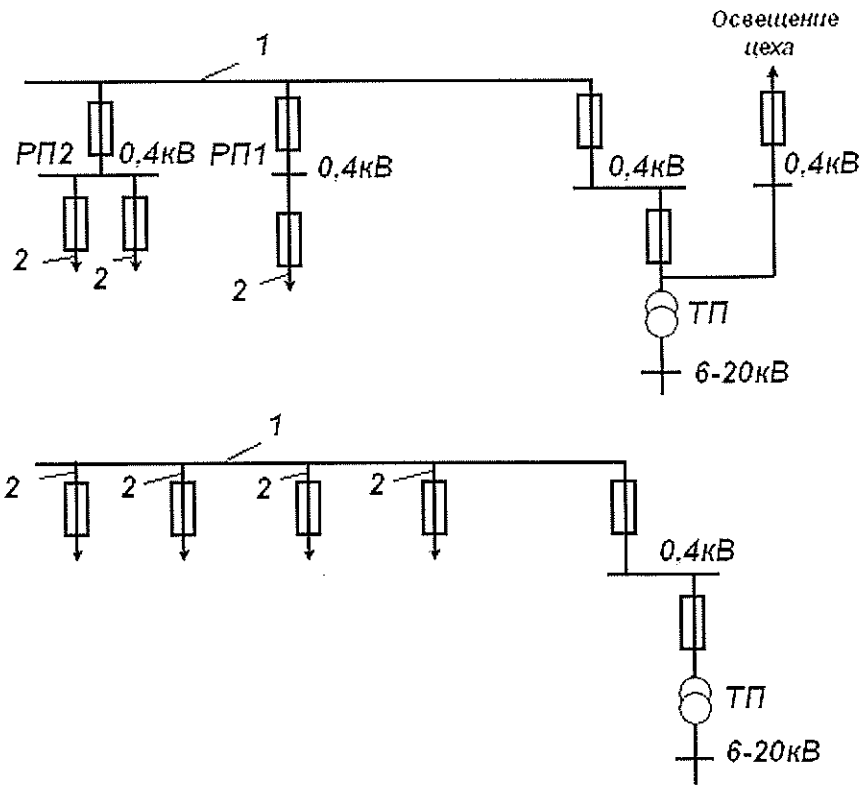


Рис. 3.50. Магистральная схема питающей цеховой сети напряжением до 1000 В с сосредоточенными нагрузками: 1 – магистральная питающая линия; 2 – распределительные линии с равномерно распределенной нагрузкой

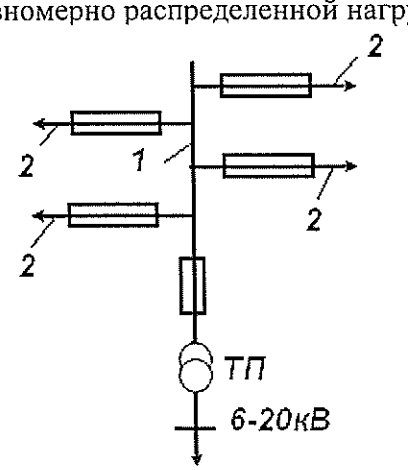


Рис. 3.51. Схема блока «трансформатор-магистраль»:
1 – питающая магистраль; 2 – распределительная магистраль

Магистральная схема питания (рис. 3.50) применяется в основном для равномерно распределенной нагрузки в цехах, когда приемники расположены достаточно близко друг к другу. При такой схеме питания удобно производить перегруппировку механизмов, станков без переделок, сети и без перерыва энергоснабжения (в случае выполнения сети магистральными и распределительными шинопроводами). Распределительная сеть выполняется по радиальной схеме, что дает возможность оперативно заменять или переносить приемники электроэнергии, не оказывая влияния на общецеховую систему электроснабжения.

Разновидностью магистральной схемы служит схема блока «трансформатор-магистраль» (рис. 3.51), обеспечивающая универсальность цеховой сети, высокую надежность, экономию материалов и аппаратуры, простую конструкцию стороны 0,4 кВ ТП.

Магистральные схемы отличаются относительно небольшими первоначальными капитальными затратами на сооружение сети, возможностью сооружения сети без распределительных щитов или со щитами на малое количество присоединений. Однако при повреждении магистрали прекращается электроснабжение многих потребителей.

Учитывая особенности радиальных и магистральных сетей, обычно применяют смешанные схемы в зависимости от характера производства, условий окружающей среды и т.п. Например, при системе блока «трансформатор-магистраль» электроснабжение осуществляется магистральным шинопроводом, к которому присоединяются распределительные штепсельные шинопроводы, а от них по радиальным линиям питаются все электроприемники цеха.

Осветительные нагрузки цехов при радиальных схемах силовой сети питаются отдельными линиями от щитов ТП. При магистральных схемах осветительные нагрузки питаются от головных участков магистралей.

В крупных цехах от щита подстанции до распределительного щита, установленного в цехе, может прокладываться самостоятельная осветительная сеть, которая называется питающей. От распределительных щитов питаются групповые щитки, в небольших цехах распределительные щиты могут не устанавливаться, а питающая сеть от источника питания подводится непосредственно к групповым щиткам.

Резервирование в цеховых сетях применяют только для приемников 1 категории. Схемы резервирования предусматривают подвод питания от разных ТП или от двух трансформаторов одной ТП. Нормально в работе должны быть все питающие линии. При подводе питания к сети цеха от нескольких блоков «трансформатор-магистраль» между шинными магистралями в местах их сближения выполняют нормально разомкнутые перемычки с пропускной способностью 40–70 % мощности трансформатора. Перемычки обеспечивают частичное резервирование и позволяют в часы малых нагрузок питать сеть от одной подстанции, отключив остальные.

Схемы электрических соединений подстанции. Схемы электрических соединений подстанций и распределительных устройств должны выбираться исходя из общей схемы электроснабжения предприятия и удовлетворять следующим требованиям:

– обеспечивать надежность электроснабжения потребителей и переток мощности по магистральным связям в нормальном и послеаварийном режимах;

– учитывать перспективу развития;

– допускается возможность поэтапного расширения;

– учитывается широкое применение элементов автоматизации и требования противоаварийной автоматики;

– обеспечивать возможность проведения ремонтных и эксплуатационных работ на отдельных элементах семы без отключения соседних присоединений.

При построении схемы подстанции на стороне напряжения 6–10 кВ следует по возможности избегать применения громоздких и дорогих выключателей. С этой целью параллельные токопроводы напряжением 6–10 кВ следует подключать непосредственно к трансформатору через отдельные выключатели, что обеспечивает также возможность раздельной работы токопроводов.

При отсутствии отбора энергии на напряжении 6–10 кВ помимо токопровода следует применять схему блок-трансформатор – токопровод.

Выключатели на вводах сборных шин напряжением 6–10 кВ и для их секционирования следует предусматривать:

– при наличии АВР;

– на подстанциях с большим числом отходящих линий (15–20 и более).

Межсекционные выключатели следует выбирать по фактически протекающему через них току, а не по полному току ввода или трансформатора.

Следует применять при напряжении 6–10 кВ выключатели нагрузки в комплекте с предохранителями во всех случаях, когда параметры этих аппаратов достаточны по рабочему и послеаварийному режимам, а также по токам короткого замыкания.

На отходящих линиях напряжением 6–10 кВ силовые предохранители следует устанавливать после разъединителя или выключателя нагрузки, считая по направления мощности.

При необходимости для улучшения тока короткого замыкания следует предусматривать применение:

– понижающих трансформаторов с расщепленными обмотками;

– токоограничивающих реакторов в целях вводов напряжением 6–10 кВ от трансформаторов;

– групповых реакторов на отходящих линиях напряжением 6–10 кВ с присоединением до 4 линий к одному реактору.

Индивидуального реактирования отходящих линий следует избегать.

При установке сдвоенного реактора на вводе следует предусматривать равномерное распределение нагрузки между секциями подстанции. Следует принимать величину тока каждой ветви сдвоенного реактора не менее 0,675 номинального тока обмотки трансформатора, либо суммарного тока нагрузки, учитывая возможность неравномерности нагрузок, а также изменения величин нагрузок по секциям в процессе эксплуатации.

Выбор напряжения. Напряжение каждого звена системы электроснабжения должно выбираться с учетом напряжений смежных звеньев.

Выбор напряжения питающей сети надлежит производить на основании технико-экономических сравнений вариантов в случаях когда:

– имеется возможность получения энергии от источника питания при двух и более напряжениях;

– предприятие с большой потребляемой мощностью нуждается в сооружении или значительном расширении существующих районных подстанций, электростанций или сооружения собственной электростанции;

– имеется связь электростанций предприятий с районными сетями.

При выборе вариантов предпочтение следует отдавать варианту с более высоким напряжением, даже при экономических преимуществах варианта с низшим из сравниваемых напряжений в пределах до 5–10 % по приведенным затратам.

Напряжение 20 кВ следует применять для электроснабжения отдельных объектов предприятия: карьеры, рудники и т.п., а также небольших соседних предприятий, населенных пунктов и т.п. в тех случаях, когда целесообразность его применения обоснована технико-экономическими расчетами, по сравнению с напряжением 35 и 10 кВ, с учетом перспективного развития предприятия.

Для распределительных сетей следует, как правило, применять напряжение 10 кВ. При этом питание электродвигателей средней мощности (350–630 кВт) до освоения производства их на напряжение 10 и 0,66 кВ следует осуществлять при напряжении 6 кВ по одному из следующих способов:

– от трансформаторов с расщепленными обмотками, если нагрузки 6 и 10 кВ соизмеримы, т.е. суммарная мощность электродвигателей на напряжение 6 кВ приближается к

половине мощности трансформатора и если возможно ограничение токов короткого замыкания на шинах 6 кВ без значительного усложнения схемы;

– от распределительных подстанций 10/6 кВ, когда суммарная мощность электродвигателей 6 кВ значительна, но недостаточна для рациональной загрузки ветви 6 кВ расщепленной обмотки трансформатора и в то же время число электродвигателей велико, а их единичные мощности относительно небольшие;

– по схеме блок-трансформатор – двигатель, если число двигателей 6 кВ невелико, мощности их значительны и они расположены обособленно друг о друга.

При проектировании ТЭЦ предприятия напряжение генераторов следует принимать по оптимальному варианту напряжения распределительной сети 10 или 6 кВ без промежуточной трансформации. Напряжение 3 кВ в качестве основного напряжения распределительной сети на новых предприятиях применяться не должно и оно допускается лишь для питания электродвигателей средней мощности при основном напряжении распределительной сети 10 кВ.

Напряжение 380/220 В должно применяться для питания силовых и осветительных электроприемников от общих трансформаторов. При проектировании больших и средних промышленных предприятий следует проверять технико-экономическую целесообразность применения напряжения 660 В для внутрицехового распределения энергии при следующих условиях:

– значительном удельном весе электродвигателей мощностью 350–630 кВт;

– протяженных и разветвленных сетях напряжением до 1000 В;

– первичном напряжении распределительной сети 10 кВ.

Технико-экономическое сравнение вариантов распределительной сети с напряжением 660 и 380/220 В должно выполняться с учетом перспективного развития предприятия, более низкой стоимости электродвигателей напряжением 660 В и более высокого их КПД по сравнению с электродвигателями напряжением 6–10 кВ, а также с учетом уменьшения потерь электроэнергии в сети 660 В по сравнению с сетью 380 В. Одновременно должно учитываться удорожание и усложнение эксплуатации вследствие необходимости частичного сохранения сети 380 В, наряду с сетью 660 В в объеме, необходимом для питания мелких силовых и осветительных электроприемников, катушек пускателей и вторичных цепей.

При проектировании электроснабжения необходимо предусматривать мероприятия и устройства, обеспечивающие качество электроэнергии, соответствующее требованиям ГОСТ 13109–97.

Мероприятия по обеспечению качества электроэнергии должны определяться комплексно, исходя из рациональной технологии и режима производства и оптимального решения системы электроснабжения в целом, с учетом как энергетических, так и технологических факторов.

При расчетах отклонений напряжения в сети предприятия должны также учитываются:

– пределы отклонения напряжений в энергосистемах при нормальных режимах работы, а также в периоды снижения суммарной нагрузки до 30 % и ниже от максимальной;

– пределы отклонений напряжения, фактически имеющие место на шинах источника питания данного предприятия, по данным энергосистемы и предполагаемые средства регулирования напряжения на этом источнике;

– данные об изменениях расчетных потерь напряжения в соответствующих элементах электросети предприятия при максимальном и минимальном режимах нагрузок.

В случаях, когда правильный выбор ответвлений у нерегулируемых под нагрузкой трансформаторов не обеспечивает отклонения напряжения у токоприемников в пределах, допускаемых ГОСТ 13109–97, должны быть разработаны следующие мероприятия по улучшению режимов напряжения в электросетях предприятия:

– применение на ГПП понизительных трансформаторов (автотрансформаторов) с автоматическим регулированием напряжения под нагрузкой. Это средство является основ-

ным и во многих случаях оказывается достаточным при применении глубоких вводов и разукрупненных ГПП, располагаемых в центрах нагрузок соответствующих групп потребителей;

– применение автоматически управляемых конденсаторных батарей, тиристорных компенсирующих устройств и синхронных электродвигателей с авторегулированием тока возбуждения;

– применение связей на напряжение до 1000 В между цеховыми подстанциями, позволяющими отключить часть трансформаторов в минимальном режиме нагрузок;

– использование регулирования напряжения генераторов на предприятиях, имеющих собственные электростанции.

Если режим электроприемников различен и они имеют разную удаленность от пункта питания, а также если имеются электроприемники, особо чувствительные к отклонениям напряжения, необходимо предусматривать дополнительные групповые или индивидуальные средства регулирования, в том числе в сетях до 1000 В. Следует предусматривать наиболее целесообразное сочетание регулирующих и компенсирующих устройств с применением в отдельных точках сети управляемых конденсаторных батарей для местного регулирования напряжения.

При проектировании электроснабжения промышленных предприятий, имеющих в своем составе электроприемники с резкопеременной ударной нагрузкой, необходимо производить анализ режимов их работы, определять их влияние на систему электроснабжения и рассчитывать колебания напряжения в питающих сетях и в характерных узлах нагрузки.

Необходимо предусматривать следующие комплексные мероприятия по ограничению величины набросов реактивной мощности:

– уменьшение реактивного сопротивления линий основного питания к подстанциям, питающим крупные электроприемники;

– повышение уровня токов короткого замыкания (КЗ) в сетях, питающих электроприемники с резкопеременными ударными нагрузками;

– ограничение токов пуска и самозапуска двигателей;

– выделение на отдельные трансформаторы или на отдельные ветви расщепленных обмоток трансформаторов потребителей, не терпящих толчков нагрузки;

– выделение питания групп электроприемников с ударными нагрузками, при значительной мощности их – на отдельные трансформаторы;

– присоединение ударных и спокойных нагрузок на разные плечи сдвоенного реактора, параметры которого должны быть выбраны исходя из условий стабилизации напряжения на ветви реактора, к которой присоединены электроприемники со спокойным режимом работы;

– применение специальных синхронных компенсаторов с быстродействующим возбуждением с потолком форсировки 3 и более, работающих в так называемом режиме слежения за реактивным током подключенных потребителей электроэнергии. При этом необходимо учитывать ток подпитки от синхронных двигателей и компенсаторов;

– применение синхронных электродвигателей, имеющих свободную реактивную мощность, для ограничения влияния ударных и вентильных цикличных нагрузок;

– применение автоматических быстродействующих регуляторов возбуждения для синхронных электродвигателей, получающих питание от общих шин с ударными нагрузками.

При запуске электродвигателей допускаются следующие понижения напряжения:

– на шинах питающих подстанций – до 20 % при питании чисто силовой резкопеременной нагрузки напряжением 6–10 кВ;

– на шинах цеховых подстанций при резком запуске подключенных к ним двигателей (1 раз в смену) – до 25 % номинального напряжения.

Должны предусматриваться следующие мероприятия по ограничению уровней высших гармоник:

– применение схем с увеличением числа фаз выпрямления;

– применение силовых фильтров высших гармоник с реактором, обеспечивающим плавное регулирование индуктивности в пределах до +15 %;

– применение устройств сеточного и фазового управления синусоидальным напряжением с минимальным искажением формы кривой напряжения;

– проведение мероприятий для локализации распространения высших гармоник по сети.

При проектировании следует производить анализ возможных несимметричных режимов в системе электроснабжения исходя из реальных условий работы отдельных электроприемников и с учетом влияния величины напряжения обратной последовательности на условия работы всей системы электроснабжения как по техническим, так и по экономическим показателям.

Выбор типа, мощности и других параметров подстанций, а также их расположение должны обусловливаться величиной и характером электрических нагрузок и размещением их на генеральном плане предприятия. При этом должны учитываться также архитектурно-строительные и эксплуатационные требования, конфигурация производственных помещений, расположение технологического оборудования, условия окружающей среды, охлаждения, пожарной и электрической безопасности.

Подстанции, как правило, должны проектироваться с учетом эксплуатации их без постоянного дежурного персонала с применением простейших устройств автоматики, сигнализации и т.п. При проектировании надлежит предусматривать, как правило, применение комплектного электрооборудования напряжением до и выше 1000 В. При выборе типов, схем и исполнений комплектных устройств следует исходить из экономии дорогих и дефицитных аппаратов и защит в соответствии с действительной необходимостью их применения на проектируемом объекте.

Комплектные распределительные устройства (КРУ) с выдвижными элементами следует применять:

– в наиболее сложных и ответственных установках, для потребителей I категории, где необходимо иметь быструю взаимозаменяемость выключателя или автомата;

– в электромашинных залах металлургических и химических предприятий, крупных компрессорных, насосных и кислородных станциях и других объектах аналогичного общепромышленного назначения.

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) и цеховые трансформаторы должны размещаться с наибольшим приближением к центру питаемой ими нагрузки, предпочтительно с некоторым смещением в сторону источнику питания.

При этом должны соблюдаться требования: минимума занимаемой полезной площади цеха, отсутствия помех производственному процессу, соблюдения электрической и пожарной безопасности.

В цехах с интенсивным движением транспорта, а также при насыщенности цеха оборудованием, готовыми изделиями и т.п. следует предусматривать ограждения КТП. Применять съемные ограждения следует только перед фронтом управления аппаратами без проходов в пределах ограждения. Установку КТП мощностью 630 кВА и более следует предусматривать без крепления к полу.

Внутрицеховые подстанции должны применяться в многопролетных цехах большой ширины с расположением их преимущественно у колонн или возле постоянных внутрицеховых помещений так, чтобы не занимать площадей, обслуживаемых кранами. При шаге колонн, недостаточном для размещения между ними подстанций, допускается такое размещение их на площади цеха, при котором одна из колонн основного здания находится в пределах периметра помещения подстанций. При этом колонна должна быть рассчитана с пределом огнестойкости не менее 1,5 ч. При равномерном распределении и большой плотности нагрузки и при загруженности цеха технологическим оборудованием целесообразно выделять специальный пролет для размещения подстанций. Транспортировка узлов элек-

трооборудования подстанций (транспортных блоков КТП) должна предусматриваться по возможности с помощью кранов или других цеховых транспортных приспособлений.

При выдаче чертежей строительных заданий на помещения, в которых устанавливаются трансформаторы, комплектные устройства и другое крупноблочное электрооборудование, должны указываться нагрузки от наиболее тяжелых частей этих устройств и места приложения этих нагрузок. Необходимо также указывать зоны передвижения этого электрооборудования при монтаже и эксплуатации.

Встроенные в цех или пристроенные к цеху закрытые трансформаторные подстанции или подстанции с открытой установкой трансформаторов возле наружной стены цеха должны предусматриваться, как правило, при недопустимости или затруднительности размещения внутрицеховых подстанций.

Преимущественное применение должны найти цеховые КТП с наружной установкой трансформаторов возле цехов в случаях, когда этому не препятствуют требования архитектурного оформления цехов или обеспечения необходимых проездов и разрывов между зданиями, а также агрессивности среды.

В цехах с производствами категорий А, Б и В цеховые подстанции следует, как правило, размещать в специальных пролетах (коридорах), отделенных от производственных помещений несгораемыми стенами с пределом огнестойкости 1,5 ч и имеющих выход непосредственно наружу. В энергоемких корпусах следует, как правило, предусматривать специальные пролеты для размещения электрооборудования подстанций.

Применение отдельно стоящих (внешних) цеховых подстанций должно ограничиваться следующими случаями:

– питание от одной подстанции нескольких цехов, если центр их нагрузок находится вне пределов этих цехов, а пристройка подстанций к одному из цехов, или же сооружение самостоятельных подстанций в каждом цехе экономически не оправданы;

– полная невозможность размещения подстанций внутри цехов или у их наружных стен по соображениям производственного характера.

Распределительные пункты следует, как правило, размещать на границе питаемых ими участков сети таким образом, чтобы не было обратных протоков энергии. Распределительные пункты, питающие электроприемники напряжением выше 1000 В, следует совмещать с ближайшими трансформаторными подстанциями, если это не вызывает значительного смещения последних с центра их нагрузок.

Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов должен производиться на основании технико-экономических расчетов исходя из удельной плотности нагрузки, полной расчетной нагрузки объекта (корпуса, цеха, отделения), стоимости электроэнергии и других факторов.

При плотности нагрузки 0,2 кВА/м^2 и более целесообразно применять трансформаторы мощностью 1600–2500 кВА.

Число типоразмеров трансформаторов на одном предприятии должно быть минимальным.

Для питания электрических нагрузок II категории следует, как правило, применять однотрансформаторные цеховые подстанции 10–6/0,4 кВ при условии резервирования мощности по перемычкам на вторичном напряжении, достаточной для питания наиболее ответственных потребителей или при наличии складского резерва трансформаторов. Двухтрансформаторные цеховые подстанции следует применять при сосредоточенных нагрузках или преобладании потребителей I категории.

Объем складского резерва трансформаторов зависит от общего количества трансформаторов, числа их типоразмеров, рода промышленности, сменности, характера графика нагрузки и других факторов и определяется в каждом конкретном случае отдельно.

Компенсация реактивной мощности. Мероприятия по компенсации реактивной мощности должны определяться на основе технико-экономического расчета, выполненного

комплексно на базе единого перспективного плана развития данного района с учетом баланса реактивной мощности, исходя из допускаемых пределов колебаний напряжения и искажения формы кривой напряжения и тока, установленных ГОСТ на качество электроэнергии.

Выбор средств компенсации должен производиться одновременно с выбором всех элементов питающей и распределительной сети для нормального и послеаварийного режимов работы.

Условия экономичности компенсирующих устройств определяются по минимуму приведенных затрат, при определении которых должны учитываться:

– затраты на компенсирующие устройства (КУ), коммутационные аппараты для них, устройства регулирования мощности КУ и др.;

– уменьшение стоимости трансформаторных подстанций и электрических сетей в связи со снижением токовых нагрузок;

– уменьшение потерь активной и реактивной мощности в питающих и распределительных сетях и трансформаторах.

При выборе компенсирующих устройств должно учитываться:

– обеспечение допустимых нагрузок элементов сети и трансформаторов;

– использование компенсирующих устройств в качестве одного из средств обеспечения качества электроэнергии в электрических сетях;

– обеспечение баланса и обоснованного резерва реактивной мощности в узлах сети при нагрузке источников реактивной мощности в допустимых пределах;

– обеспечение статической устойчивости работы сетей и электроприемников.

Выбор компенсирующих устройств должен производиться одновременно с выбором других основных элементов системы электроснабжения предприятия с учетом динамики роста электрических нагрузок и поэтапного развития системы. Выбор производится на основании следующих исходных данных:

– максимальных, минимальных и послеаварийных режимов реактивных мощностей, потребляемых в сети предприятия;

– технических условий энергосистемы с указанием величины реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы в сеть предприятия в режиме наибольших активных нагрузок энергосистемы.

При проектировании силового электрооборудования цехов и электропривода должно быть обеспечено наименьшее потребление реактивной мощности путем:

– правильного выбора мощности трансформаторов и электродвигателей;

– преимущественного применения синхронных электродвигателей для нерегулируемых электроприводов;

– применения специальных схем и режимов работы вентильных преобразователей.

В качестве основного средства компенсации на промышленных предприятиях следует применять батареи силовых конденсаторов для повышения коэффициента мощности. Способы компенсации при больших мощностях компенсирующих устройств должны выбираться исходя их технико-экономических соображений с учетом требований энергосистемы в отношении выдаваемой в данной точке сети реактивной мощности, регулирования напряжения, устойчивости работы системы и режима короткого замыкания.

При выборе компенсирующих устройств необходимо:

– определять целесообразную степень использования реактивной мощности генераторов собственных электростанций предприятия и синхронных электродвигателей в сетях до и выше 1000 В;

– учитывать реактивную мощность, генерируемую воздушными линиями, токопроводами и кабельными линиями напряжением выше 20 кВ, а также кабельными линиями напряжением 6 и 10 кВ значительной протяженности;

– рассматривать целесообразность применения для компенсации реактивной мощности преобразовательных установок, специальных схем компенсации с использованием:

конденсаторов, синхронных (специальных) компенсаторов, несимметричных систем управления схемами преобразователей.

Для предприятий с большой неравномерностью графика нагрузки должно предусматриваться автоматическое регулирование:

– возбуждения синхронных электродвигателей;

– мощности части конденсаторных батарей в зависимости от режима работы системы электроснабжения. Число и мощность нерегулируемых конденсаторных батарей принимается по наименьшей реактивной нагрузке сети предприятия.

Число и мощность ступеней регулирования конденсаторных установок следует определять в соответствии с графиками нагрузок и с учетом технических условий энергосистемы. Как правило, следует применять двух- или трехступенчатое регулирование конденсаторных батарей с подразделением их на секции одинаковой мощности. При небольшой разнице в нагрузках двух дневных смен следует применять двухступенчатое регулирование.

В необходимых случаях для увеличения числа ступеней регулирования допускается применять секции КУ разной мощности.

При наличии на предприятии нескольких конденсаторных установок применяется многоступенчатое регулирование суммарной реактивной мощности, вырабатываемой всеми конденсаторными установками предприятия, путем разновременного включения или отключения отдельных батарей в соответствии с графиком нагрузок. Распределение средств компенсации на разных ступенях системы электроснабжения производится на основании технико-экономических расчетов. Наибольший экономический эффект обеспечивает размещение этих средств вблизи от электроприемников с наибольшим потреблением реактивной мощности.

Конденсаторные батареи напряжением до 1000 В должны устанавливаться, как правило, в цехе у распределительных пунктов, либо присоединяться к магистральным шинопроводам. Централизованная установка конденсаторов напряжением до 1000 В на трансформаторных подстанциях или на головном участке магистрального шинопровода допускается лишь в тех случаях, когда установка конденсаторов в цехе невозможна по условиям пожарной безопасности.

Установка конденсаторов напряжением 6–10 кВ должна предусматриваться:

– на цеховых подстанциях, имеющих распределительное устройство напряжением 6–10 кВ;

– на разукрупненных ПГВ или ГПП, непосредственно от которых производится распределение электроэнергии по цеховым подстанциям.

Индивидуальная компенсация может быть допущена в виде исключения у крупных электроприемников с низким коэффициентом мощности и с большим числом часов работы в году. В проекте надлежит предусматривать применение наиболее простых и экономичных схем, комплектных конденсаторных установок и конструкций. Применяемые выключатели должны быть рассчитаны на броски тока при выключении конденсаторных батарей или их секций, в том числе при включении на параллельную работу.

При необходимости включения конденсаторных батарей на напряжение выше 10 кВ следует применять последовательное или параллельно-последовательное соединение однотипных конденсаторов с устройством дополнительной изоляции конденсаторов между фазами и изоляцией конденсаторов от земли.

При подключении конденсаторных батарей к сетям с источниками высших гармоник необходимо проверять вероятность перегрузки конденсаторов по току в резонансных или близких к ним режимах и применять необходимые мероприятия по их устранению.

3.6. Проектирование электрического освещения

Проекты электрического освещения часто входят составной частью в общий комплекс проектов электроснабжения, однако светотехническое проектирование столь специфично, что, как правило, не может успешно выполняться проектировщиками – электриками широкого профиля. Очень часто такие работы поручаются проектировщикам, специализирующимся на проектировании электрического освещения. Специализация при проектировании целесообразна при больших объемах работ и многообразии проектируемых объектов.

Организация проектных работ. Важной для успешного выполнения проектных работ является хорошая обеспеченность исполнителей руководящими, справочными и информационными материалами, в том числе справочниками по проектированию освещения, общероссийскими (Правила устройства электроустановок – ПУЭ, СНиП, ВСН) и отраслевыми нормами, каталогами изделий, номенклатурами заводов на текущий год и т.д. Большое значение имеют типовые проекты, выпускаемые ведущими проектными институтами и организациями.

При проектировании следует уделять серьезное внимание конструктивному решению отдельных узлов осветительных установок. В целях упрощения электромонтажных работ и облегчения организации допуска осветительных установок в эксплуатацию следует во всех возможных случаях применять конструктивные элементы, выпускаемые заводами с компоновкой их в возможно более крупные узлы. Таким узлом может быть, например, узел установки светильника с лампой ДРЛ на ферме, включающий устройство для крепления к ней, кронштейн, ПРА и сам светильник. В указанном случае сертификат соответствия выдается на узел в целом, если узел собирался из отдельных элементов (даже имеющих сертификаты), то необходимо проводить сертификационные испытания узла в целом. Однако очень часто не удается избежать и применения индивидуально разрабатываемых конструкций, в таких случаях в проектные группы и отделы включаются конструкторы светотехнических устройств.

В ряде случаев конструктивные чертежи, выпускаемые для определенного объекта, могут по своему характеру быть в дальнейшем использованы и в других проектах и тогда они оформляются как безобъектные чертежи многократного применения. В целях удобства последующего использования должен вестись каталог таких чертежей.

Исключительную роль во всяком проектировании должны играть типовые проекты, однако в светотехническом проектировании эта роль не столь велика отчасти из-за нередких изменений нормативных материалов, в основном же из-за неустойчивости номенклатур изделий светотехнической промышленности. Тем не менее, в ряде случаев, преимущественно для зданий непроизводственного и вспомогательного характера, такие проекты применяются, и задачей проектирующего является их так называемая «привязка» к конкретному объекту проектирования. При привязке проектируется внешняя питающая сеть (так как в типовых проектах сеть, естественно, разрабатывается, только начиная от ввода) и проверяется соответствие типового проекта требованиям и условиям данного момента, причем привязывающий несет ответственность за качество привязанного им проекта. При проектировании следует широко использовать проекты-аналоги, т.е. ранее выполненные проекты для объектов, подобных данному.

По окончании проекта рекомендуется составлять его «паспорт», в котором фиксировать итоговые и удельные показатели: мощность полную и удельную, расход проводниковых материалов на светильник, стоимость установки на один установленный киловатт и т.д. Такие показатели позволяют не только критически оценить эффективность данного проекта, но могут быть использованы и в последующих работах для предварительного определения стоимости, мощности и потребности в материалах и оборудовании.

Для выполнения полноценного проекта освещения необходимо иметь исчерпывающую информацию о проектируемом объекте. Для зданий – это детальная планировка по

всем отметкам, включая разного рода площадки, приямки, подвалы, высота особенности строительных конструкций во всех их деталях, назначение помещений, расположение, а иногда и конструкция технологического оборудования, размещение и размеры устройств вентиляции, водопровода, канализации и отопления, условия среды в помещениях, число работающих в них и т.д.

Для территорий должно быть известно размещение на генеральном плане зданий, дорог, проездов, различных открытых площадок, подземных и наземных коммуникаций и т.д. Во всех случаях должна быть известна сменность работы и источники питания электроэнергией.

Условия среды в помещениях часто определяются их назначением: так, конторское помещение не может быть ни пыльным, ни пожароопасным, сталеплавильный цех всегда является жарким и с токопроводящей пылью и т.д. Но наиболее ответственным является вопрос о степени пожаро- или взрывоопасности помещений, решать который, за исключением совершенно очевидных случаев, проектировщик-светотехник не имеет права, а должен получить точные письменные указания по этому вопросу.

Часто говорят, что проектировщик должен хорошо знать технологический процесс проектируемого предприятия и, в частности, условия зрительной работы на каждом рабочем месте. Это, конечно, верно, но с той оговоркой, что в планах организаций, как правило, повторяются однотипные объекты, во многих же случаях проектировщик может использовать апробированные типовые решения, так что нет необходимости каждый раз заново изучать производство. Равным образом нет необходимости изучать конструкцию станка и характер работы на нем, если известно, что этот станок поставляется укомплектованным устройством местного освещения.

Но если проектируется новое для данной организации производство или детально разрабатываются вопросы местного освещения, то глубокое знание производства, безусловно, необходимо. В подобных случаях наилучшее решение не всегда может быть найдено кабинетным путем и нередко приходится проверять намеченные решения на опытных установках. Опытные установки или макетирование иногда оказываются необходимыми также при проектировании архитектурно-художественного освещения.

При проектировании реконструкции освещения действующих предприятий все необходимые чертежи и данные могут быть получены у заказчика. При проектировании нового строительства проектировщику приходится работать в условиях так называемого параллельного проектирования, когда различные виды проектных работ ведутся одновременно и нередко заканчиваются в общий срок. Заданием в этом случае служат отдельно выполняемые чертежи: архитектурные (АР), технологические, отопления и вентиляции (ОВ), водопровода и канализации (ВК), металлоконструкций (КМ) и железобетонных конструкций (КЖ). В условиях общего срока окончания проектных работ проектирование освещения обычно приходится начинать по предварительным или промежуточным чертежам, корректируя начатую работу по мере уточнения заданий. Подчеркивается, что проект, выполненный без сверки с окончательными чертежами всех видов, не может быть полноценным.

На самых первых этапах проектирования (даже на стадии технического проекта) должны выдаваться строительные задания на мостики и площадки обслуживания, ниши, проемы, крупные отверстия, закладные детали, площади для прожекторов на крышах зданий, фундаменты для мачт и т.п. Кроме того, выдаются задания лицам, проектирующим электроснабжение, в которых указываются ожидаемые нагрузки и число фидеров на щитах подстанций.

Проектирование можно разделить на три части: светотехническую, электротехническую и составление смет и спецификаций (не считая параллельно выполняемой конструктивной части).

Можно, конечно, считать, что светотехническая часть состоит из выбора систем и видов освещения, источников света, типа светильников и т.д., но такое разделение крайне условно: имея перед собой определенное помещение, проектировщик решает все вопросы

не изолированно, а комплексно. Более того, размещая светильники, заранее приходится учитывать условия трассировки групповых сетей.

В зависимости от источников света освещение может быть: естественное («солнце» или «свет небосвода»), искусственное (электрические источники света), совмещенное, при котором недостаточное естественное освещение дополняется искусственным.

Естественное освещение создается солнечным светом, который по своему спектральному составу сильно отличается от электрического. Наряду с видимой частью спектра солнечное излучение содержит и невидимую, ультрафиолетовую, оказывающую положительное биологическое воздействие на организм. Естественное освещение характеризуется большим рассеиванием, что благоприятно для зрительной работы. В соответствии с требованием санитарных норм все помещения должны иметь естественное освещение, за исключением производств, где оно нарушает технологический процесс (например, фотолаборатории).

Естественная освещенность меняется в очень широких пределах: в безлунную ночь – 0,0005 лк, при полнолунии – до 0,2 лк, при прямом свете солнца – до 100000 лк.

В зависимости от системы устройства естественное освещение помещений подразделяется на *боковое* (через световые проемы в наружных стенках), *верхнее* (через фонари, световые проемы в покрытии, а также через проемы в стенах перепада высот здания), *комбинированное* – сочетание верхнего и бокового освещения.

Систему естественного освещения выбирают с учетом следующих факторов:

– назначения и принятого архитектурно-планировочного, объемно-пространственного и конструктивного решения зданий;

– требований к естественному освещению помещений, вытекающих из особенностей зрительной работы;

– климатических и светоклиматических особенностей места строительства зданий;

– экономичности естественного освещения.

В зависимости от географической широты, времени года, часа дня и состояния погоды уровень естественного освещения может резко изменяться за очень короткий промежуток времени и в довольно широких пределах, поэтому его нельзя характеризовать величиной абсолютной освещенности поверхности.

Поэтому основной величиной для расчета и нормирования естественного освещения внутри помещений принят коэффициент естественной освещенности (КЕО) – отношение (в процентах) освещенности в данной точке помещения $E_{ВН}$ к наблюдаемой одновременно освещенности под открытым небом $E_{НАР}$

$$\text{КЕО} = \frac{E_{ВН}}{E_{НАР}} \cdot 100 \cdot$$

Наименьшая расчетная освещенность, создаваемая естественным светом в помещении, определяется при наружной освещенности 5000 лк.

Гигиенические нормы для естественного освещения устанавливают требуемую величину КЕО в зависимости от системы освещения, точности работ и географического расположения объекта.

Точность зрительной работы определяется размерами объекта различения (линия на чертеже, точка, цифра, стрелка на шкале прибора, риска, трещина и пр.). Расстояние от объекта наблюдения до глаза человека принимается 0,35–0,5 м.

Работы делятся на разряды, от особо точных до требующих лишь общего наблюдения (табл. 3.6.1).

В производственных помещениях со зрительной работой I–III разрядов следует устраивать совмещенное освещение.

Таблица 3.6.1

Наименьшие допустимые значения светотехнических величин

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						Освещенность, лк			Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		КЕО, $e_н$, %			
						при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения			при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
						всего	в т.ч. от общего		P	$K_п$, %				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Наивысшей точности	Менее 0,15	I	а	Малый	Темный	5000 4500	500 500	– –	20 10	10 10	–	–	6,0	2,0
			б	Малый Средний	Средний Темный	4000 3500	400 400	1250 1000	20 10	10 10				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2500 2000	300 200	750 600	20 10	10 10				
			г	Средний Большой «	Светлый « Средний	1500 1250	200 200	400 300	20 10	10 10				
Очень высокой точности	От 0,15 до 0,30	II	а	Малый	Темный	4000 3500	400 400	– –	20 10	10 10	–	–	4,2	1,5
			б	Малый Средний	Средний Темный	3000 2500	300 300	750 600	20 10	10 10				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	2000 1500	200 200	500 400	20 10	10 10				
			г	Средний Большой «	Светлый Светлый Средний	1000 750	200 200	300 200	20 10	10 10				
Высокой точности	От 0,30 до 0,50	III	а	Малый	Темный	2000 1500	200 200	500 400	40 20	15 15	–	–	3,0	1,2
			б	Малый Средний	Средний Темный	1000 750	200 200	300 200	40 20	15 15				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	750 600	200 200	300 200	40 20	15 15				
			г	Средний Большой «	Светлый « Средний	400	200	200	40	15				
Средней точности	Св. 0,5 до 1,0	IV	а	Малый	Темный	750	200	300	40	20	4	1,5	2,4	0,9
			б	Малый Средний	Средний Темный	500	200	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	400	200	200	40	20				
			г	Средний Большой «	Светлый « Средний	–	–	200	40	20				

Продолжение табл. 3.6.1

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение					Естественное освещение		Совмещенное освещение	
						Освещенность, лк					КЕО, $e_н$, %			
						при системе комбинированного освещения		при системе общего освещения	Сочетание нормируемых величин показателя ослепленности и коэффициента пульсации		при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении
						всего	в т.ч. от общего		P	$K_П$, %				
Малой точности	Св. 1 до 5	V	а	Малый	Темный	400	200	300	40	20	3	1	1,8	0,6
			б	Малый Средний	Средний Темный	–	–	200	40	20				
			в	Малый Средний Большой	Светлый Средний Темный	–	–	200	40	20				
			г	Средний Большой «	Светлый « Средний	–	–	200	40	20				
Грубая (очень малой точности)	Более 5	VI		Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Работа в горячих цехах	Более 0,5	VII		То же		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Общее наблюдение за ходом производственного процесса														
Постоянное		VIII	а	«		–	–	200	40	20	3	1	1,8	0,6
Периодическое			б	«		–	–	75	–	–	1	0,3	0,7	0,2
При периодическом пребывании			в	Независимо от характеристик фона и контраста объекта с фоном		–	–	50	–	–	0,7	0,2	0,5	0,2

Совмещенным освещением называется освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным.

При совмещенном освещении нормированные значения КЕО для разрядов I–III принимаются соответственно 10,7 и 5 %. Значения КЕО на табл. 3.6.1 приведены для территорий РФ, расположенных севернее 45° с.ш. и южнее 60° с.ш. Для других территорий значения КЕО уточняются по коэффициентам светового и солнечного климата. Например, для территорий, расположенных южнее 15° с.ш., значение КЕО умножают на 0,75, а для территорий, расположенных севернее 60° с.ш., – на 1,2.

Наиболее благоприятно освещение при расположении окон на южной стороне. Освещенность увеличивается при светлой окраске стен и потолка благодаря многократному отражению света.

Расчет естественного освещения заключается в определении площади световых проемов для помещения. Расчет ведут по следующим формулам:
при боковом освещении

$$100\frac{S_O}{S_П} = \frac{e_н K_З \eta_0}{\tau_O r_1} \cdot K_{ЗД},$$

при верхнем освещении

$$100\frac{S_ф}{S_П} = \frac{e_н K_З \eta_ф}{\tau_ф r_2} \cdot K_Ф,$$

где S_O, $S_ф$ – площадь окон и фонарей, м^2;
$S_П$ – площадь пола, м^2;
$e_н$ – нормированное значение КЕО;
$K_З$ – коэффициент запаса ($K_З$ = 1,2–2,0);
η_0, $\eta_Ф$ – световые характеристики окна, фонаря;
τ_O, $\tau_ф$ – общие коэффициенты светопропускания (учитывает оптические свойства стекла, потери света в переплетах, из-за загрязнения остекленной поверхности, в несущих конструкциях, солнцезащитных устройствах);
r_1, r_2 – коэффициенты, учитывающие отражение света при боковом и верхнем освещении;
$K_{ЗД}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противостоящими зданиями ($K_{ЗД}$ = 1–1,7);
$K_Ф$ – коэффициент, учитывающий тип фонаря.

Значения коэффициентов для расчета естественного освещения выбирают по таблицам СНиП. Иногда для определения площади световых проемов используют световой коэффициент, равный

$$K_{СВ} = \frac{F_C}{F_П} = \frac{1}{4} \cdots \frac{1}{5},$$

где F_C – площадь световых проемов;
$F_П$ – площадь пола.

Искусственное освещение применяют в тех случаях, когда естественного света в помещении недостаточно или для освещения помещения в часы суток, когда естественная освещенность отсутствует. Искусственное освещение может быть общим, местным и комбинированным.

Общим называется освещение, при котором осветительные устройства размещают в верхней зоне помещения и равномерно освещают всю площадь, занятую рабочими местами и оборудованием. В тех случаях, когда для освещения открытых пространств невозможно разместить светильники над рабочей поверхностью, вместо ламп применяют прожекторы – на стартовом комплексе, заводских дворах, территориях складов и т.д. Прожекторные мачты размещают обычно по периметру освещаемой территории, чтобы они не мешали производственному, эксплуатационному процессу, движению транспорта.

Если светильники концентрируют световой поток непосредственно на рабочие места, то такое освещение называют *местным*. Использование только местного освещения недопустимо, так как резкий контраст между ярко освещенными и неосвещенными участками утомляет глаза, замедляет процесс работы и может послужить причиной несчастных случаев и аварий.

При работе с персональными ЭВМ обязательно должно быть общее и местное освещение также и для автоматизированных рабочих мест.

Комбинированным называют освещение, при котором наряду с общим искусственным освещением используются светильники местного освещения для создания на рабочих местах освещенности более высоких уровней. При этом освещенность рабочей поверхности светильниками общего освещения должна составлять не менее 10 % нормируемой.

Нормативные документы устанавливают *оптимальные уровни освещенности* рабочих поверхностей с целью обеспечения хороших условий для зрительной работы. Нормированная освещенность определяется точностью зрительной работы, контрастом объекта с фоном, системой освещения и типом источника света.

В зависимости от степени контраста объекта с фоном разряды зрительной работы делятся на подразряды.

Контраст объекта наблюдения с фоном считается: малым при $K < 0{,}2$; средним при $K = 0{,}2$–$0{,}5$ и большим при $K > 0{,}5$. При работе с ПЭВМ контраст должен быть малым, тогда глаза меньше устают и не снижается острота зрения.

Рабочие поверхности, являющиеся фоном, на котором распознается объект, классифицируются по коэффициенту их отражения. Фон считается: темным при коэффициенте отражения света от поверхности $\rho < 0{,}2$, средним – при $\rho = 0{,}2$–$0{,}4$ и светлым – при $\rho > 0{,}4$. Необходимый уровень освещенности тем выше, чем темнее фон, меньше объект различения и контраст объекта с фоном.

По функциональному назначению искусственное освещение подразделяется на рабочее, охранное, дежурное и аварийное освещение.

Рабочее освещение обязательно во всех помещениях и на освещаемых территориях для обеспечения нормальной работы людей и движения транспорта. Рабочим называется освещение, обеспечивающее нормируемые световые условия (освещенность, качество освещения) в помещениях и местах производства работ вне зданий.

Так, например, при IV разряде зрительной работы и подразряде «б» освещенность общего освещения должна быть не менее 200 лк. Однако, при повышенной опасности травматизма (при работе на высоте, с грузоподъемными механизмами и т.д.) нормы освещенности (см. рис. 3.52) следует повышать на одну ступень (СНиП 23-05–95), и тогда освещенность будет составлять 300 лк.

Аварийное освещение предусматривается для обеспечения минимальной освещенности в производственном помещении на случай внезапного отключения рабочего освещения. В свою очередь, аварийное освещение подразделяется на освещение безопасности и эвакуационное.

Освещение безопасности – освещение для продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения.

Эвакуационное освещение – освещение для эвакуации людей из помещения при аварийном отключении освещения в сооружении, здании, помещении.

Освещение безопасности следует предусматривать в случаях, если отключение рабочего освещения и связанное с этим нарушение обслуживания оборудования и механизмов может вызвать:

– взрыв, пожар, отравление людей;

– длительное нарушение технологического процесса;

– нарушение работы таких объектов, как электрические станции, узлы радио- и телевизионных передач и связи, диспетчерские пункты, насосные установки водоснабжения,

канализации и теплофикации, установки вентиляции и кондиционирования воздуха для производственных помещений, в которых недопустимо прекращение работ и т.п.;

– нарушение режима детских учреждении независимо от числа находящихся в них детей.

Эвакуационное освещение в помещениях или в местах производства работ вне зданий следует предусматривать:

– в местах, опасных для прохода людей;

– в проходах и на лестницах, служащих для эвакуации людей, при числе эвакуирующихся более 50 чел.;

– по основным проходам производственных помещений, в которых работают более 50 чел.;

– в лестничных клетках жилых зданий высотой 6 этажей и более;

– в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход людей из помещения при аварийном отключении нормального освещения связан с опасностью травматизма из-за продолжения работы производственного оборудования;

– в помещениях общественных и вспомогательных зданий промышленных предприятий, если в помещениях могут одновременно находиться более 100 чел.;

– в производственных помещениях без естественного света.

Освещение безопасности должно создавать на рабочих поверхностях в производственных помещениях и на территориях предприятий, требующих обслуживания при отключении рабочего освещения, наименьшую освещенность в размере 5 % освещенности, нормируемой для рабочего освещения от общего освещения, но не менее 2 лк внутри зданий и не менее 1 лк для территорий предприятий. При этом создавать наименьшую освещенность внутри зданий более 30 лк при разрядных лампах и более 10 лк при лампах накаливания допускается только при наличии соответствующих обоснований.

Эвакуационное освещение должно обеспечивать наименьшую освещенность на полу основных проходов (или на земле) и на ступенях лестниц в помещениях – 0,5 лк, на открытых территориях – 0,2 лк.

Неравномерность эвакуационного освещения (отношение максимальной освещенности к минимальной) по оси эвакуационных проходов должна быть не более 40:1.

Светильники освещения безопасности в помещениях могут использоваться для эвакуационного освещения.

Для аварийного освещения (освещения безопасности и эвакуационного) следует применять:

а) лампы накаливания;

б) люминесцентные лампы – в помещениях с минимальной температурой воздуха не менее 5 °С и при условии питания ламп во всех режимах напряжением не ниже 90 % номинального;

в) разрядные лампы высокого давления при условии их мгновенного или быстрого повторного зажигания как в горячем состоянии после кратковременного отключения питающего напряжения, так и в холодном состоянии.

В общественных и вспомогательных зданиях предприятий выходы из помещений, где могут находиться одновременно более 100 чел., а также выходы из производственных помещений без естественного света, где могут находиться одновременно более 50 чел. или имеющих площадь более 150 м^2, должны быть отмечены указателями.

Указатели выходов могут быть световыми, со встроенными в них источниками света, присоединяемыми к сети аварийного освещения, и не световыми (без источников света) при условии, что обозначение выхода (надпись, знак и т.п.) освещается светильниками аварийного освещения.

При этом указатели должны устанавливаться на расстоянии не более 25 м друг от друга, а также в местах поворота коридора. Дополнительно должны быть отмечены указа-

телями выходы из коридоров и рекреаций, примыкающих к помещениям, перечисленным выше.

Осветительные приборы аварийного освещения (освещения безопасности, эвакуационного) допускается предусматривать горящими, включаемыми одновременно с основными осветительными приборами нормального освещения, и не горящими, автоматически включаемыми при прекращении питания нормального освещения.

Охранное освещение (при отсутствии специальных технических средств охраны) должно предусматриваться вдоль границ территорий, охраняемых в ночное время. Освещенность должна быть не менее 0,5 лк на уровне земли в горизонтальной плоскости или на уровне 0,5 м от земли на одной стороне вертикальной плоскости, перпендикулярной к линии границы.

При использовании для охраны специальных технических средств освещенность следует принимать по заданию на проектирование охранного освещения

Для охранного освещения могут использоваться любые источники света, за исключением случаев, когда охранное освещение нормально не горит и автоматически включается от действия охранной сигнализации или других технических средств. В таких случаях должны применяться лампы накаливания.

Дежурное освещение – освещение сооружений, зданий, помещений в нерабочее время при отсутствии в них людей. Оно оборудуется на входах в сооружения, в местах общего пользования больниц и общежитий и т.д.

Для искусственного освещения в этом случае целесообразно использовать люминесцентные лампы. В современных осветительных установках, предназначенных для освещения производственных помещений, в качестве источников света применяют лампы накаливания, галогенные и газоразрядные.

Лампы накаливания. Свечение в этих лампах возникает в результате нагрева вольфрамовой нити до высокой температуры. Промышленность выпускает различные типы ламп накаливания: вакуумные (В), газонаполненные (Г) (наполнитель – смесь аргона и азота), биспиральные (Б), с криптоновым наполнением (К). Лампы накаливания просты в изготовлении, удобны в эксплуатации, не требуют дополнительных устройств для включения в сеть.

Недостаток этих ламп – малая световая отдача от 7 до 20 лм/Вт при большой яркости нити накала; низкий кпд, равный 10–13 %; срок службы 800–1000 час. Лампы дают непрерывный спектр, отличающийся от спектра дневного света преобладанием желтых и красных лучей, что в какой-то степени искажает восприятие человеком цветов окружающих предметов.

Галогенные лампы накаливания наряду с вольфрамовой нитью содержат в колбе пары того или иного галогена (например, йода), который повышает температуру накала нити и практически исключает испарение. Они имеют более продолжительный срок службы (до 3000 час.) и более высокую светоотдачу (до 30 лм/Вт).

Газоразрядные лампы излучают свет в результате электрических разрядов в парах газа. На внутреннюю поверхность колбы нанесен слой светящегося вещества – люминофора, трансформирующего электрические разряды в видимый свет. Различают газоразрядные лампы низкого (люминесцентные) и высокого давления.

Люминесцентные лампы создают в производственных и других помещениях искусственный свет, приближающийся к естественному, более экономичны в сравнении с другими лампами и создают освещение более благоприятное с гигиенической точки зрения.

К другим преимуществам люминесцентных ламп относятся больший срок службы (10000 час.) и высокая световая отдача, достигающая для ламп некоторых видов 75 лм/Вт, т.е. они в 2,5–3 раза экономичнее ламп накаливания. Свечение происходит со всей поверхности трубки, а, следовательно, яркость и слепящее действие люминесцентных ламп значительно ниже ламп накаливания.

Низкая температура поверхности колбы (около 5 °С), делает лампу относительно пожаробезопасной.

Несмотря на ряд преимуществ, люминесцентное освещение имеет и некоторые недостатки: пульсация светового потока, вызывающая стробоскопический эффект (искажение зрительного восприятия объектов различия – вместо одного предмета видны изображения нескольких, а также направления и скорости движения); дорогостоящая и относительно сложная схема включения, требующая регулирующих пусковых устройств (дроссели, стартеры); значительная отраженная блескость; чувствительность к колебаниям температуры окружающей среды (оптимальная температура 20–25 °С); понижение и повышение температуры вызывает уменьшение светового потока.

В зависимости от состава люминофора и особенностей конструкции различают несколько типов люминесцентных ламп: ЛБ – лампы белого света, ЛД – лампы дневного света, ЛТБ – лампы тепло-белого света, ЛХБ – лампы холодного света, ЛДЦ – лампы дневного света правильной цветопередачи. Наиболее универсальны лампы ЛБ. Лампы ЛХБ, ЛД и особенно ЛДЦ применяются в случаях, когда выполняемая работа предполагает цветоразличение.

Лампа высокого давления – дуговая ртутная лампа (ДРЛ) состоит из стеклянного баллона, на внутреннюю поверхность которого нанесен слой люминофора. Внутри баллона помещена кварцевая ртутная горелка. При дуговом разряде возникает ультрафиолетовое излучение, которое, проникая через кварцевое стекло горелки, вызывает свечение люминофора; свет излучается фиолетового оттенка. Мощность ламп ДРЛ – до 2000 Вт, светоотдача до 55 лм/Вт, срок службы – до 10000 час. Они позволяют создавать большие уровни освещенности, экономичны, применяются в высоких помещениях.

Недостаток ламп ДРЛ – искажение цветовосприятия, препятствующее применению их в ряде производств.

Этот недостаток устранен в металлогалогенных лампах – *дуговых ртутных лампах высокого давления с исправленной цветностью* (ДРИ). В них используются излучения от разрядов в среде щелочных и редкоземельных металлов. Лампы этого типа обладают светоотдачей до 110 лм/Вт и сроком службы 2000–5000 час.

Натриевые лампы высокого давления (ДНаТ) излучают золотисто-белый свет, имеют светоотдачу до 120 лм/Вт, продолжительность горения до 10000 час.

Ксеноновые лампы (ДКсТ) – самые мощные (до 50 кВт), их световая отдача 20–44 лм/Вт, спектр наиболее близок к естественному свету. Эти лампы успешно используются для освещения карьеров, строительных площадок, территорий промышленных предприятий и др. Световые приборы с ксеноновыми лампами типа «Аревик» («Солнце») устанавливаются вместо прожекторов на специальных площадках, мачтах или крышах зданий. При монтаже их используется питающий кабель с высоковольтной изоляцией (обычно ПРГ-6000).

Конструкция светильников предусматривает защиту глаз человека от слепящего действия лампы, обеспечивая необходимый защитный угол для наблюдателя. В зависимости от конструкции светильника световой поток может быть направлен в верхнюю или нижнюю полусферу. Выпускаются также светильники рассеянного света (шары).

По степени защищенности источника света от воздействия окружающей среды различают светильники: *открытые* – лампа не отделена от внешней среды; *защищенные* – лампа отделена оболочкой, допускающей свободный проход воздуха; *закрытые* – оболочка защищает от проникания внутрь светильника крупной пыли; *пыленепроницаемые* – оболочка защищает от проникания тонкой пыли; *влагозащищенные* и *взрывозащищенные*.

В сетевой части начальным и ключевым является вопрос о размещении групповых щитков; затем компонуются и наносятся на план все виды сетей и производится расчет их сечений.

В объем рабочих чертежей входят следующие основные документы:

1) пояснительная записка, которая составляется лишь в тех случаях, когда необходимо обоснование или описание проектных решений, итоговые же данные и пояснения монтажного характера предпочтительно давать непосредственно на планах;

2) планы осветительной установки по всем этажам или площадкам разных отметок; для наружного освещения – генеральный план (об оформлении этих планов сказано далее);

3) разрезы по архитектурно сложным зданиям с изображением светильников и мест трассировки сетей;

4) конструктивные чертежи, как индивидуальные, так и безобъектные; утвержденные типовые чертежи к проекту не прикладываются;

5) схемы или план-схемы питающих сетей, если это сети со всеми необходимыми данными не могут быть изображены на планах осветительной установки;

6) заказные спецификации;

7) таблица условных обозначений.

Если предусматривается дистанционное управление освещением, то в проекте даются также соответствующие схемы и конструктивные чертежи. На всех стадиях и во всех случаях к проекту не прилагается каких-либо материалов промежуточных расчетов.

Подробные указания по оформлению рабочих чертежей приведены гл. 2.

Остановимся лишь на некоторых вопросах оформления планов и спецификаций.

На планах осветительной установки показываются:

– архитектурно-строительная часть здания в упрощенном виде с указанием назначения каждого помещения;

– контуры основного оборудования, в отдельных случаях с указанием его наименования;

– принятые по каждому помещению значения освещенности;

– осветительные приборы с указанием типа, мощности и высоты установки.

– контактные разъемные соединения, выключатели, трансформаторы 12–36 В;

– групповые сети всех назначений;

– щитки и питающие сети.

Особое внимание должно уделяться маркировке сетей. Для каждого их участка должны быть ясны сечение и число жил, марки кабельных изделий и способ прокладки, причем общие или преобладающие для всего чертежа данные могут указываться в примечаниях к плану. Для того чтобы обеспечить равномерную загрузку всех фаз сети, на линиях должны указываться номера групп.

Это особенно важно, так как сейчас принято изображать группы одного вида освещения, прокладываемые по общей трассе, одной линией. На чертеже плана дается также экспликация конструктивных узлов установки светильников, трансформаторов и других аппаратов. Для монтажных организаций удобно, когда на планах приводится также полная спецификация оборудования и материалов, относящихся к данному плану, но пока это не принято в обязательном порядке.

В последние годы получили распространение некоторые приемы упрощенного оформления планов, в частности:

1. При наличии в пределах плана или проекта в целом нескольких помещений одинаковой площади и с идентичными проектными решениями на плане показывается только ввод сети в эти помещения и ставится марка «ЭП № ...», полный же план осветительной установки такого помещения вычерчивается один раз, под тем же номером, на том же или отдельном чертеже. Такое же решение возможно для повторяющихся участков больших производственных помещений.

2. Для протяженных помещений, таких, как транспортные галереи, вычерчивается только их начало и конец и указывается, что в разрыве установлено столько-то светильников.

3. Вполне идентичные группы или ряды светильников на плане не изображаются, а делается указание «аналогично оси...» или «аналогично группе № ...».

4. При длинных рядах светильников условное обозначение вычерчивается только для крайних светильников, места же ответвления от линии к остальным светильникам показываются короткими черточками.

Отдельные элементы оформления планов показаны на рис. 3.52, причем дополнительно к изображению светильников, сети и выключателей даются только те знаки и надписи, которые поясняются данной схемой.

Изображение на планах осветительной сети является одновременно и ее однолинейной схемой, для правильного прочтения которой в ряде случаев необходимо отмечать число проводников в линии с помощью засечек (при двух проводах в линии засечки не наносятся). Из рис. 3.52, *а* благодаря засечкам ясно, что один выключатель управляет двумя левыми светильниками, второй – двумя правыми, а контактное разъемное соединение включено в сеть «напрямую». В случае, показанном на рис. 3.52, *б*, число засечек будет одинаковым, когда совместно выключаются два левых светильника или два крайних. Чтобы схема читалась однозначно, взаимное соответствие выключателей и управляемых ими светильников отмечено римскими цифрами.

На рис. 3.52, *в* указан номер питающей группы (7), класс пожароопасности (П–1), освещенность (50 лк), тип светильников (ППР), мощность лампы (150 Вт), высота установки светильников (2,7 м) номер конструктивного узла крепления светильника (3), марка кабеля и его сечение (АНРГ, 4 мм^2). При относительно большом числе светильников на плане перед обозначением типа светильников может указываться также их число, как показано на рис. 3.52, *г* (6).

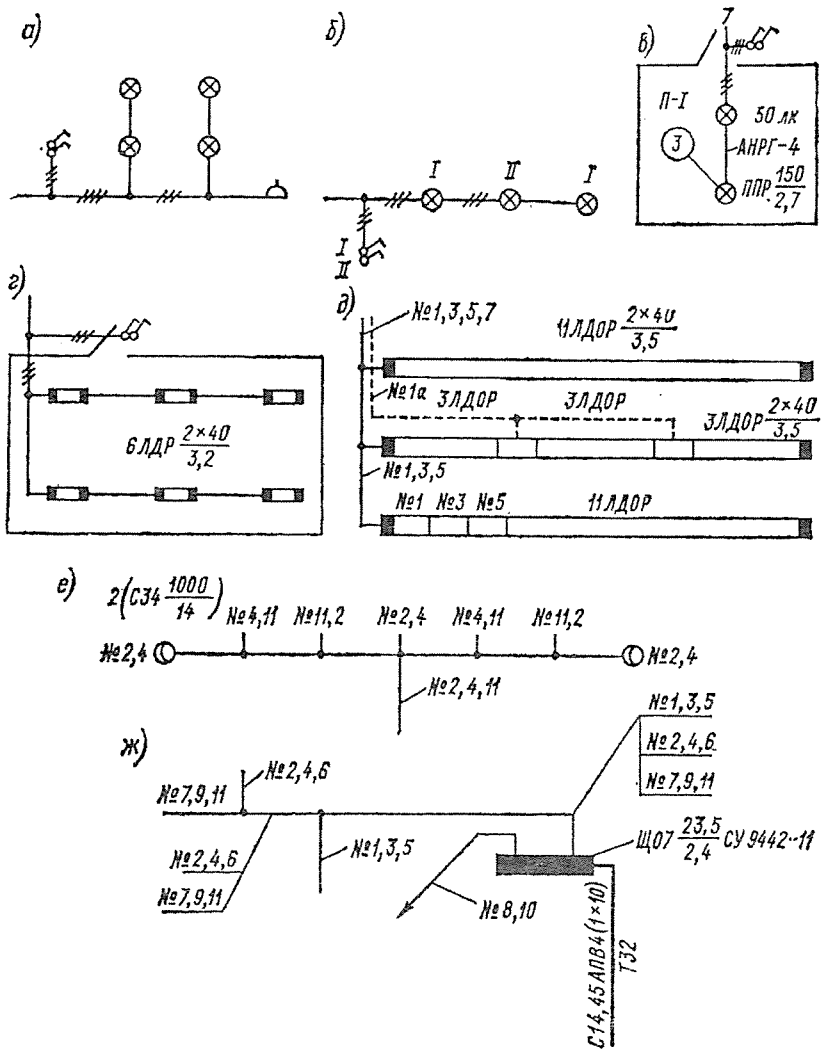


Рис. 3.52. Элементы оформления планов осветительных установок

На рис. 3.52, *д* показаны три варианта маркировки светильников с люминесцентными лампами, установленных в линию. Если весь ряд светильников питается одной группой, достаточна маркировка, показанная для верхней линии; если в ряду выделены светильники аварийного освещения, места их установки следует конкретизировать, как показано для средней линии; если необходимо пояснить, как распределены светильники между группами, номера групп надо указать хотя бы у первых светильников (нижняя линия).

В протяженных рядах светильников могут быть обозначены и замаркированы только крайние светильники (рис. 3.52, *е*) и показаны ответвления к остальным с указанием, если необходимо, номеров групп присоединения.

На рис. 3.52, *ж*, групповой щиток и питающая его линия замаркированы для случая, когда отдельно не выполняется ни схема, ни план-схема питающей сети (в противном случае на плане осветительной установки у щитков и линий указываются только их номера). В данном случае у щитка, помимо его номера, указана мощность (23,5 кВт), потеря напряжения от источника питания до щитка (2,4 %) и тип щитка (СУ 9442-11). У питающей линии указана ее длина (45 м), марка провода, число и сечение проводов, способ прокладки (в водогазопроводной трубе с условным проходом 32 мм).

От щитка на схеме отходят 12 групповых линий, но физически они объединены в четыре четырехжильных кабеля, фазовые жилы которых обслуживают каждая свою группу, а нулевая жила является общей для трех групп, причем последние должны быть присоединены к различным фазам сети. Одни из кабелей опускается вниз «стояком». У каждой маркировочной «полки» должны быть указаны номера групп, обслуживаемых данным кабелем, а также марка, сечение и число жил данного кабеля. Можно ограничиться указанием марок и сечений в примечаниях к плану, в отношении же числа жил указать, что оно равно числу совмещенных в кабеле групп плюс одна. Все сказанное относится, конечно, также и к проводке, выполненной проводами в трубах.

Применение групп с общим для нескольких групп нулевым проводником технически целесообразно, показание же нескольких кабелей одной линией – необязательный условный прием, имеющий целью несколько упростить светотехнические чертежи, обычно перегруженные обозначениями и надписями.

Оформление заказных спецификаций в составе рабочих чертежей регламентировано рядом документов, и здесь можно отметить только некоторые принципиальные моменты. Спецификация должна охватывать все оборудование и материалы, кроме мелких вспомогательных материалов и метизов. Количества должны быть правильными и включать установленный запас. При составлении спецификаций наиболее трудоемкой операцией является обмер сети по плану (рекомендуется выполнять его мерным шнурком с узелками через 10 см; работа с курвиметром значительно медленнее), но эта операция неизбежна и определять потребность в кабельных изделиях по укрупненным показателям или данным проектов-аналогов можно только на стадии технического проекта.

Необходимые светотехнические расчеты будут представлены в гл. 4.

3.7. Проектирование систем уравнивания потенциалов

Назначение уравнивания потенциалов с помощью эквипотенциальных связей – сделать среду обитания человека свободной от появления разности потенциалов. Это означает, что все проводящие части электротехнического (ОПЧ) и неэлектротехнического оборудования, строительных конструкций (СПЧ) должны быть соединены между собой. Части, которые не могут сохранить общий потенциал (не могут быть присоединены к общей системе уравнивания потенциалов), должны быть отделены от остального оборудования таким образом, чтобы они не были доступны для одновременного прикосновения. Если в результате повреждения изоляции или индукции возникает импульс напряжения на одной из доступных проводящих частей, то все доступные одновременному прикосновению проводящие части должны приобрести то же самое напряжение для исключения появления разности напряжения, опасной для человека.

В случае, когда одна из доступных частей является «землей», все окружающее оборудование должно быть соединено с землей через возможно низкое сопротивление. Для этого недостаточно связать все доступные проводящие части оборудования и конструкций (ОПЧ и СПЧ) между собой. Особое внимание должно быть обращено на защиту от непреднамеренного внесения потенциала в места, где уравнивание потенциала не может считаться адекватной защитой.

В зданиях, сооружениях с ЭУ должна выполняться система уравнивания потенциалов, которая состоит из основной и дополнительной систем уравнивания.

Основная система уравнивания потенциалов

Основная система уравнивания потенциалов в электроустановках до 1000 В должна соединять между собой следующие проводящие части (рис. 3.53):

1) нулевой защитный PE- или PEN-проводник питающей линии в системе заземления TN;

2) заземляющий проводник, присоединенный к заземляющему устройству электроустановки, в системах заземления IT и TT;

3) заземляющий проводник, присоединенный к заземлителю повторного заземления на вводе в здание (если есть заземлитель);

4) металлические трубы коммуникаций, входящих в здание: горячего и холодного водоснабжения, канализации, отопления, газоснабжения и т.п.

Если трубопровод газоснабжения имеет изолирующую вставку на вводе в здание, к основной системе уравнивания потенциалов присоединяется только та часть трубопровода, которая находится относительно изолирующей вставки со стороны здания;

5) металлические части каркаса здания;

6) металлические части централизованных систем вентиляции и кондиционирования. При наличии децентрализованных систем вентиляции и кондиционирования металлические воздуховоды следует присоединять к шине PE щитов питания вентиляторов и кондиционеров;

7) заземляющее устройство системы молниезащиты 2-й и 3-й категорий;

8) заземляющий проводник функционального (рабочего) заземления, если такое имеется и отсутствуют ограничения на присоединение сети рабочего заземления к заземляющему устройству защитного заземления;

9) металлические оболочки телекоммуникационных кабелей.

Проводящие части, входящие в здание извне, должны быть соединены как можно ближе к точке их ввода в здание.

Указанные части защитными проводниками должны быть соединены с главной заземляющей шиной.

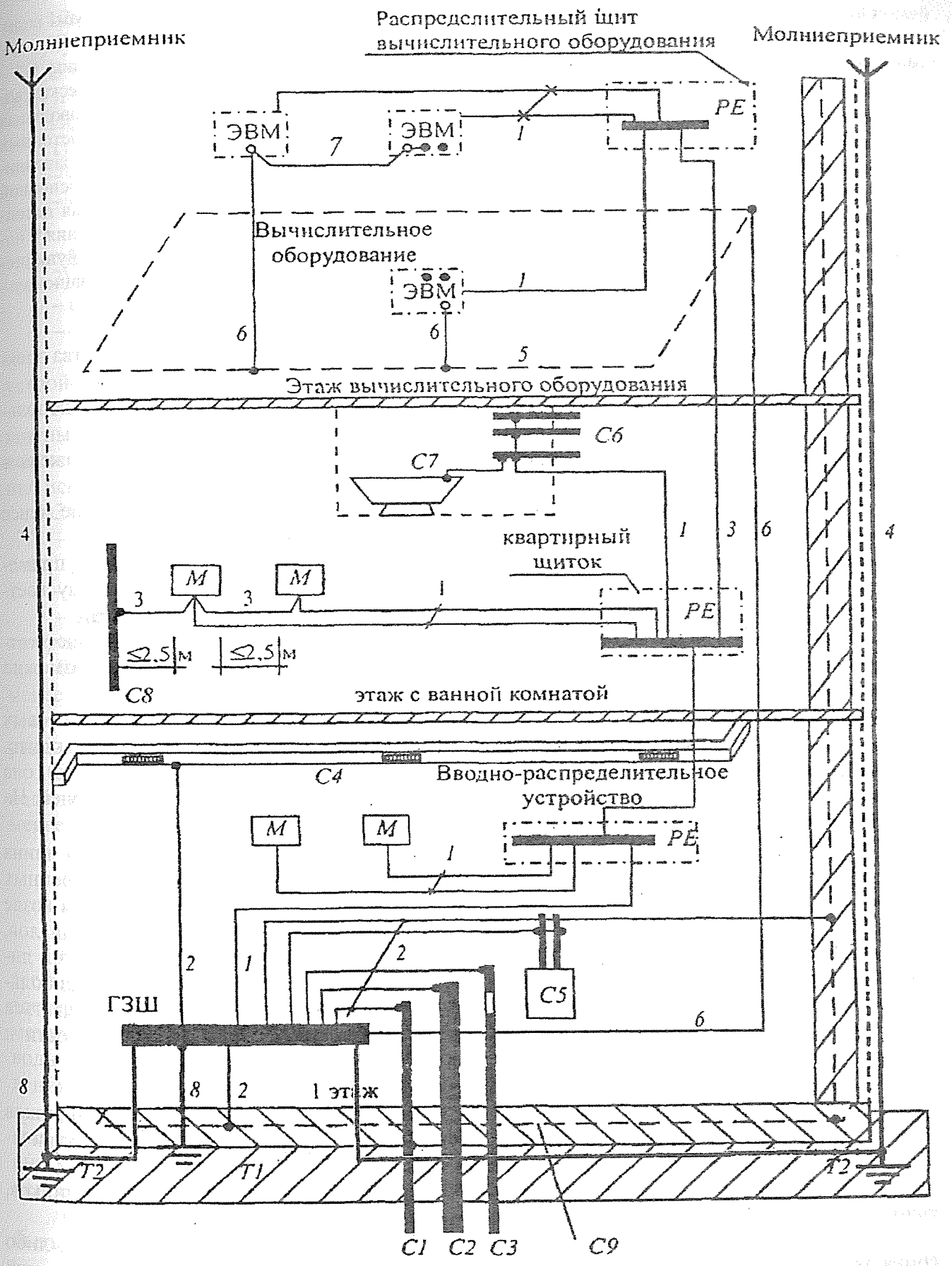


Рис. 3.53. Система уравнивания потенциалов в здании

Обозначения на рис. 3.53: М – открытая проводящая часть; С1 – металлические трубы водопровода, входящие в здание; С2 – металлические трубы канализации, входящие в здание; С3 – металлические трубы газоснабжения с изолирующей вставкой на вводе, входящие в здание; С4 – воздуховоды вентиляции и кондиционирования; С5 – система отопления; С6 – металлические водопроводные трубы в ванной комнате; С7 – металлическая ванна; С8 – сторонняя проводящая часть в пределах досягаемости от открытых проводящих частей; С9 – арматура железобетонных конструкций; ГЗШ – главная заземляющая шина; Т1 – естественный заземлитель; Т2 – заземлитель молниезащиты (если имеется); 1 – нулевой защитный проводник; 2 – проводник основной системы уравнивания потенциалов; 3 – проводник дополнительной системы уравнивания потенциалов; 4 – токоотвод системы молниезащиты; 5 – контур (магистраль) рабочего заземления в помещении информационного вычислительного оборудования; 6 – проводник рабочего (функционального) заземления; 7 – проводник уравнивания потенциалов в системе рабочего (функционального) заземления; 8 – заземляющий проводник.

Главная заземляющая шина может быть выполнена внутри вводного устройства электроустановки напряжением до 1000 В или отдельно от него.

Внутри вводного устройства в качестве главной заземляющей шины следует использовать шину PE.

При отдельной установке главная заземляющая шина должна быть расположена в доступном, удобном для обслуживания месте вблизи вводного устройства.

Сечение отдельно установленной главной заземляющей шины должно быть не менее сечения (PE-) PEN-проводника питающей линии.

Главная заземляющая шина должна быть, как правило, медной. Допускается применение главной заземляющей шины из стали. Применение алюминиевых шин не допускается.

В конструкции шины должна быть предусмотрена возможность индивидуального отсоединения присоединенных к ней проводников. Отсоединение должно быть возможно только с использованием инструмента.

В местах, доступных только квалифицированному персоналу (например, щитовых помещениях жилых домов), главную заземляющую шину следует устанавливать открыто. В местах, доступных посторонним лицам (например, подъездах или подвалах домов), она должна иметь защитную оболочку – шкаф или ящик с запирающейся на ключ дверцей. На дверце или на стене над шиной должен быть нанесен знак ⏚.

Если здание имеет несколько обособленных вводов, главная заземляющая шина должна быть выполнена для каждого вводного устройства. При наличии встроенных трансформаторных подстанций главная заземляющая шина должна устанавливаться возле каждой из них. Эти шины должны соединяться проводником уравнивания потенциалов, сечение которого должно быть не менее половины сечения PE (PEN)-проводника той линии среди отходящих от щитов низкого напряжения подстанций, которая имеет наибольшее сечение. Для соединения нескольких главных заземляющих шин могут использоваться сторонние проводящие части, если они соответствуют требованиям к непрерывности и проводимости электрической цепи.

В качестве защитных PE-проводников допускается использовать ОПЧ и СПЧ.

Использование открытых и сторонних проводящих частей в качестве PE-проводников допускается, если они отвечают требованиям к проводимости и непрерывности электрической цепи.

Сторонние проводящие части могут быть использованы в качестве PE-проводников, если они, кроме того, одновременно отвечают следующим требованиям:

1) непрерывность электрической цепи обеспечивается либо их конструкцией, либо соответствующими соединениями, защищенными от механических, химических и других повреждений;

2) их демонтаж невозможен, если не предусмотрены меры по сохранению непрерывности цепи и ее проводимости.

Использование специально предусмотренных защитных проводников для иных целей не допускается.

В качестве проводников системы уравнивания потенциалов могут быть использованы ОПЧ и СПЧ, требования к которым указаны выше.

Использовать для указанных целей в ЭУ до 1000 В допускается:

1) специально предусмотренные проводники:

– жилы многожильных кабелей;

– изолированные или неизолированные провода в общей оболочке с фазными проводами;

– стационарно проложенные изолированные или неизолированные проводники;

2) открытые проводящие части электроустановок:

– алюминиевые оболочки кабелей;

– стальные трубы электропроводок;

– металлические оболочки и опорные конструкции шинопроводов и комплектных устройств заводского изготовления.

Металлические короба и лотки электропроводок можно использовать в качестве защитных проводников при условии, что конструкцией коробов и лотков предусмотрено такое использование, о чем имеется указание в документации изготовителя, а их расположение исключает возможность механического повреждения;

3) некоторые сторонние проводящие части:

– металлические строительные конструкции зданий и сооружений (фермы, колонны и т.п.);

– арматура железобетонных строительных конструкций зданий;

– металлические конструкции производственного назначения (подкрановые рельсы, галереи, площадки, шахты лифтов, подъемников, элеваторов, обрамления каналов и т.п.).

Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее половины наибольшего сечения защитного проводника электроустановки, если сечение проводника уравнивания потенциалов при этом не превышает 25 мм^2 по меди или равноценное ему из других материалов.

Применение проводников большего сечения, как правило, не требуется. Сечение проводников основной системы уравнивания потенциалов в любом случае должно быть не менее: медных – 6 мм^2, алюминиевых – 16 мм^2, стальных – 50 мм^2.

Система дополнительного уравнивания потенциалов

Система дополнительного уравнивания потенциалов должна соединять между собой все одновременно доступные прикосновению открытые проводящие части стационарного электрооборудования и сторонние проводящие части, включая доступные прикосновению металлические части строительных конструкций здания, а также нулевые защитные проводники в системе заземления TN и защитные заземляющие проводники в системах заземления IT и TT, включая защитные проводники штепсельных розеток.

Для уравнивания потенциалов могут быть использованы специально предусмотренные проводники либо открытые проводящие части и сторонние проводящие части, если они удовлетворяют требованиям к защитным проводникам в отношении проводимости и непрерывности электрической цепи.

Сечение проводников дополнительной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее:

– при соединении двух открытых проводящих частей – сечения меньшего из защитных проводников, подключенных к этим частям;

– при соединении открытой проводящей части и сторонней проводящей части – половины сечения защитного проводника, подключенного к открытой проводящей части.

Сечения проводников дополнительного уравнивания потенциалов, не входящих в состав кабеля, должны соответствовать следующим требованиям.

Во всех случаях сечение медных защитных проводников, не входящих в состав кабеля или проложенных не в общей оболочке (трубе, коробе, на одном лотке) с фазными проводниками, должно быть не менее:

– 2,5 мм^2 – при наличии механической защиты;

– 4 мм^2 – при отсутствии механической защиты.

Сечение отдельно проложенных защитных алюминиевых проводников должно быть не менее 16 мм^2.

Соединения и присоединения заземляющих, защитных проводников и проводников системы уравнивания и выравнивания потенциалов должны быть надежными и обеспечивать непрерывность электрической цепи. Соединения стальных проводников рекомендуется выполнять посредством сварки. Допускается в помещениях и в наружных установках без агрессивных сред соединять заземляющие и нулевые защитные проводники другими способами, обеспечивающими требования ГОСТ 10434–82 «Соединения контактные электрические. Общие технические требования» ко 2-му классу соединений.

Соединения должны быть защищены от коррозии и механических повреждений. Для болтовых соединений должны быть предусмотрены меры против ослабления контакта. Соединения должны быть доступны для осмотра и выполнения испытаний за исключением соединений, заполненных компаундом или герметизированных, а также сварных, паяных и спрессованных присоединений к нагревательным элементам в системах обогрева и их соединений, находящихся в полах, стенах, перекрытиях и в земле.

При применении устройств контроля непрерывности цепи заземления не допускается включать их катушки последовательно (в рассечку) с защитными проводниками.

Присоединения заземляющих и нулевых защитных проводников и проводников уравнивания потенциалов к открытым проводящим частям должны быть выполнены при помощи болтовых соединений или сварки. Присоединения оборудования, подвергающегося частому демонтажу или установленного на движущихся частях или частях, подверженных сотрясениям и вибрации, должны выполняться при помощи гибких проводников. Соединения защитных проводников электропроводок и ВЛ следует выполнять теми же методами, что и соединения фазных проводников.

При использовании естественных заземлителей для заземления электроустановок и сторонних проводящих частей в качестве защитных проводников и проводников уравнивания потенциалов контактные соединения следует выполнять методами, представленными на рис. 3.54 и 3.55 (ГОСТ 12.1.030–81 «ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление»).

Места и способы присоединения заземляющих проводников к протяженным естественным заземлителям (например, к трубопроводам) должны быть выбраны такими, чтобы при разъединении заземлителей для ремонтных работ ожидаемые напряжения прикосновения и расчетные значения сопротивления заземляющего устройства не превышали безопасных значений.

Шунтирование водомеров, задвижек и т.п. следует выполнять при помощи проводника соответствующего сечения в зависимости от того, используется ли он в качестве защитного проводника системы уравнивания потенциалов, нулевого защитного проводника или защитного заземляющего проводника.

Присоединение каждой открытой проводящей части электроустановки к нулевому защитному или защитному заземляющему проводнику должно быть выполнено при помощи отдельного ответвления. Последовательное включение в защитный проводник открытых проводящих частей не допускается.

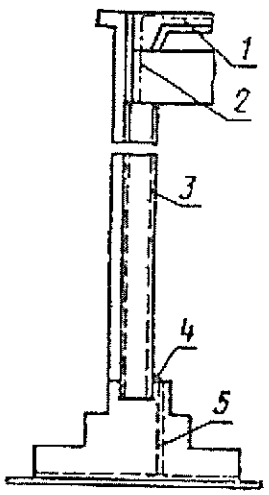


Рис. 3.54. Соединение арматуры железобетонных конструкций:
1 – молниеприемная сетка; 2 – токоотвод; 3 – арматура колонны; 4 – заземляющая перемычка; 5 – арматура фундамента

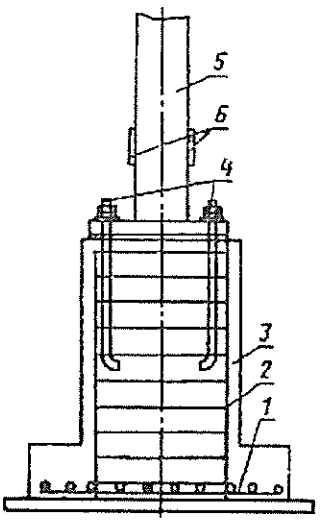


Рис. 3.55. Соединение металлической колонны с арматурой железобетонного фундамента:
1 – арматура подошвы; 2 – арматура фундамента; 3 – фундамент; 4 – фундаментные болты (не менее двух), соединенные с арматурой фундамента; 5 – стальная колонна; 6 – пластины для приварки проводников заземления

Присоединение проводящих частей к основной системе уравнивания потенциалов должно быть выполнено также при помощи отдельных ответвлений. Присоединение проводящих частей к дополнительной системе уравнивания потенциалов может быть выполнено при помощи как отдельных ответвлений, так и присоединения к одному общему неразъемному проводнику.

Не допускается включать коммутационные аппараты в цепи PE- и PEN-проводников, за исключением случаев питания электроприемников при помощи штепсельных соединителей.

Допускается так же одновременное отключение всех проводников на вводе в электроустановки индивидуальных жилых, дачных и садовых домов и аналогичных им объектов, питающихся по однофазным ответвлениям от ВЛ. При этом разделение PEN-проводника на PE- и N-проводники должно быть выполнено до вводного защитно-коммутационного аппарата.

Если защитные проводники и/или проводники уравнивания потенциалов могут быть разъединены при помощи того же штепсельного соединителя, что и соответствующие фазные проводники, розетка и вилка штепсельного соединителя должны иметь специальные защитные контакты для присоединения к ним защитных проводников или проводников уравнивания потенциалов. Если корпус штепсельной розетки выполнен из металла, он должен быть присоединен к защитному контакту этой розетки.

Особо следует рассмотреть вопрос использования элементов системы уравнивания потенциалов с системой молниезащиты. Все подключения системы молниезащиты к системе уравнивания потенциалов должны осуществляться через ограничители перенапряжений (или устройства защиты от перенапряжений – УЗИ или УЗИП).

На рис. 3.56 показаны присоединения ОПЧ и СПЧ к главной заземляющей шине непосредственно и через УЗП.

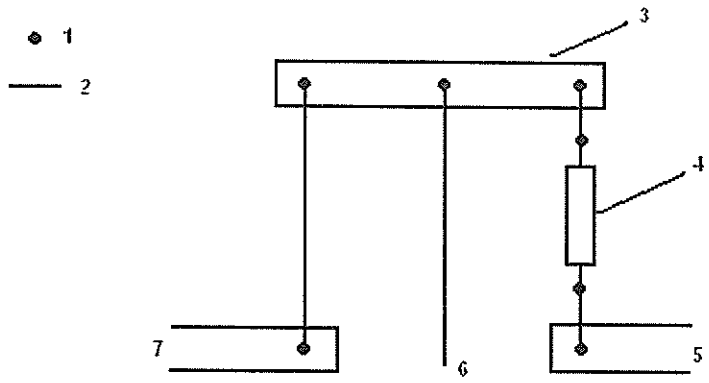


Рис. 3.56. Присоединение ОПЧ и СПЧ к уравнивающей шине, связанной с заземляющим устройством сооружения:
1 – соединение (опресованное, болтовое или сварное); 2 – уравнивающий проводник; 3 – ГЗШ; 4 – УЗП; 5 – части, молниезащитной системы, требующая присоединения через УЗП; 6 – к заземляющему устройству; 7 – части, требующие прямого присоединения

С системой уравнивания потенциалов должен быть соединен основной (магистральный) заземляющий проводник или основной заземляющий зажим; металлические части строительных и производственных конструкций, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования, подкрановые и железнодорожные рельсовые пути, система центрального отопления и системы вентиляции и кондиционирования воздуха. При этом должна быть обеспечена непрерывность электрической цепи, образованной стальными и железобетонными каркасами производственных зданий и сооружений на всём протяжении их использования в качестве токоотводов, PE- или PEN-проводников (рис. 3.57).

На рис. 3.58. показаны уравнивающие устройства в производственном здании, выполненном из железобетонных конструкций.

Связь молниезащитной системы (МЗС) с системой уравнивания потенциалов показана на рис. 3.59–3.60.

Связь для уравнивания потенциалов может быть обеспечена либо металлоконструкциями строительного и производственного назначения, либо специальными дополнительными проводниками, либо сочетанием того и другого.

В случае использования труб водопровода здания в качестве заземляющих или защитных проводников необходимо предусматривать шунтирование расходомеров при помощи проводника надлежащего сечения, в зависимости от того, используется ли он в качестве защитного проводника системы уравнивания потенциалов или заземляющего проводника. Конструктивное выполнение уравнивания потенциалов внутренней МЗС при входе наружных коммуникаций в одной точке показано на рис. 3.61.

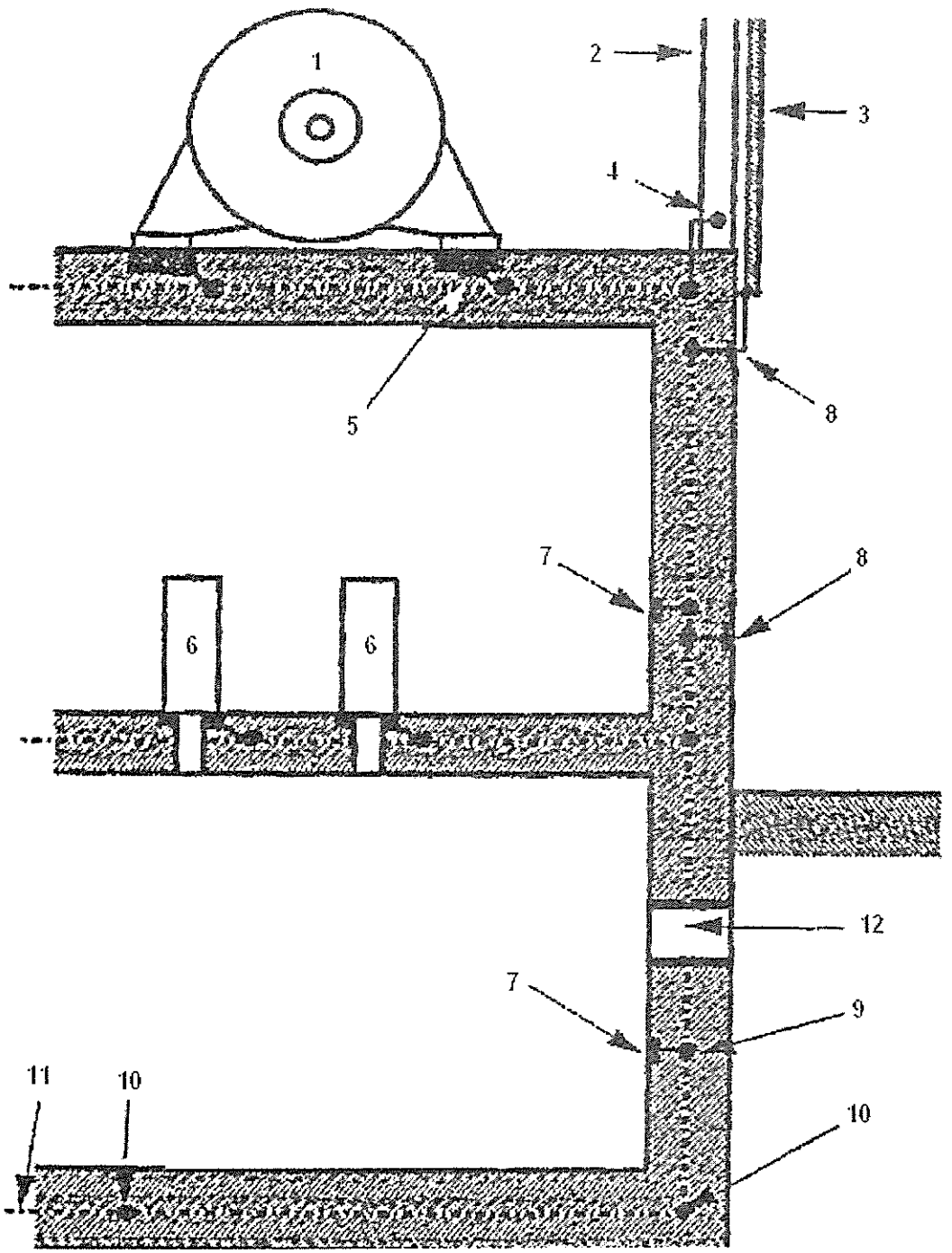


Рис. 3.57. Уравнивание потенциалов в железобетонном здании, арматура стен которого используется в качестве естественного токоотвода:
1 – электрооборудование; 2 – стальная колонна; 3 – металлическое покрытие фасада; 4 – соединитель, рассчитанный на протекание соответствующей части тока молнии; 5 – уравнивающий зажим; 6 – электрооборудование; 7 – уравнивающая шина внутренней МЗС; 8 – зажим для присоединения наружной МЗС к арматуре каркаса строения; 9 – зажим для соединения уравнивающей шины и арматуры; 10 – проводники фундаментного заземлителя; 11 – арматура фундамента; 12 – общий вход для различных коммуникаций

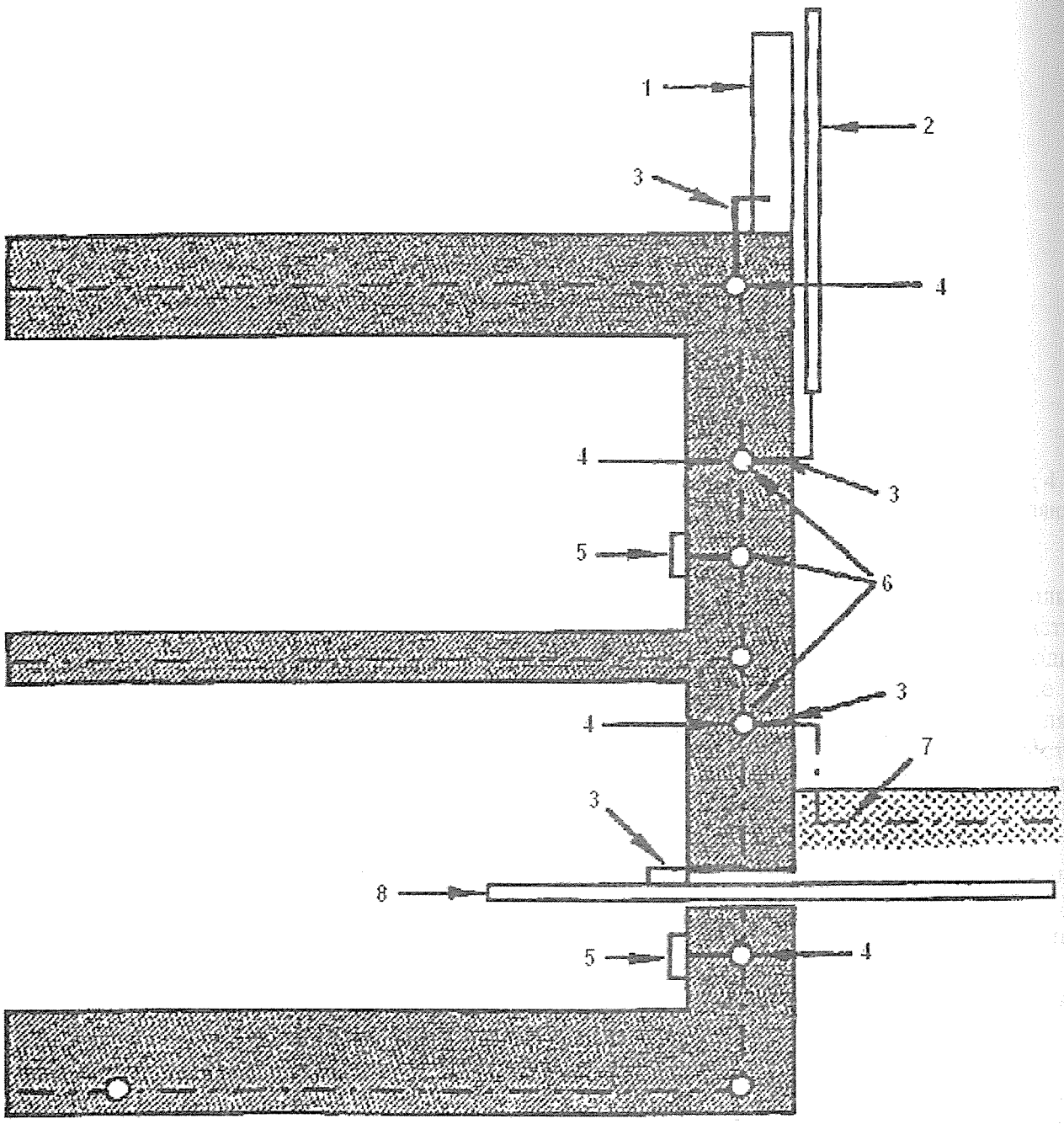


Рис. 3.58. Уравнивающие устройства в производственном железобетонном здании:
1 – стальная колонна; 2 – металлический фасад; 3 – уравнивающие проводники; 4 – арматурные стержни; 5 – уравнивающая шина; 6 – уравнивающий пояс; 7 – заземляющий проводник; 8 – металлический трубопровод

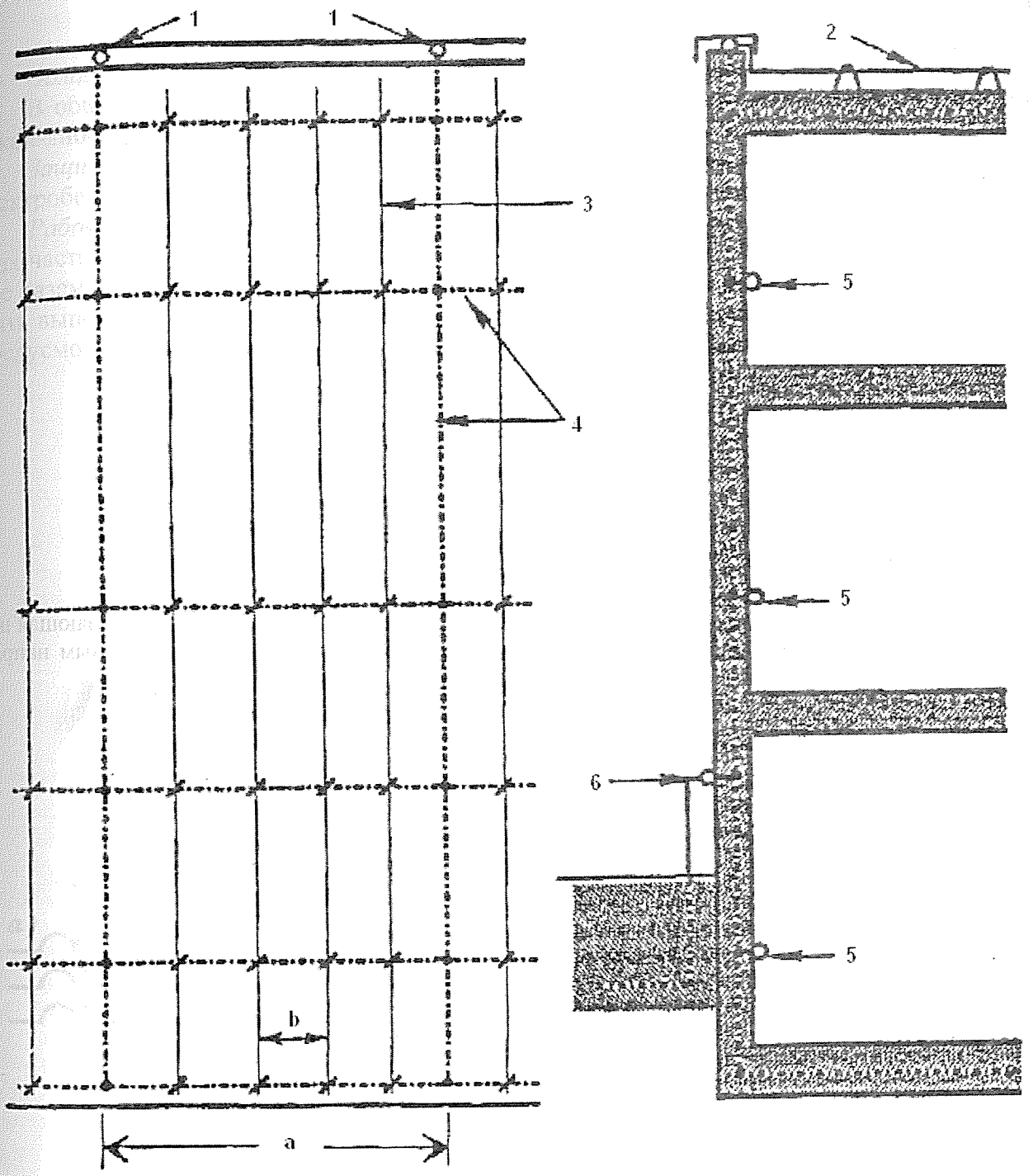


Рис. 3.59. МЗС железобетонного здания, использующая арматурные стержни для экранирования ЭМИ, а также в качестве естественных токоотводов и уравнивающих поясов внутренней МЗС:

1 – соединители между молниеприемной системой и токоотводами; 2 – горизонтальный молниеприемный проводник; 3 – арматурные стержни; 4 – токоотводы и уравнивающие пояса, выполненные из горячекатанной стали; 5 – уравнивающая шина внутренней МЗС; 6 – испытательный зажим; a = 5 м; b = 1 м

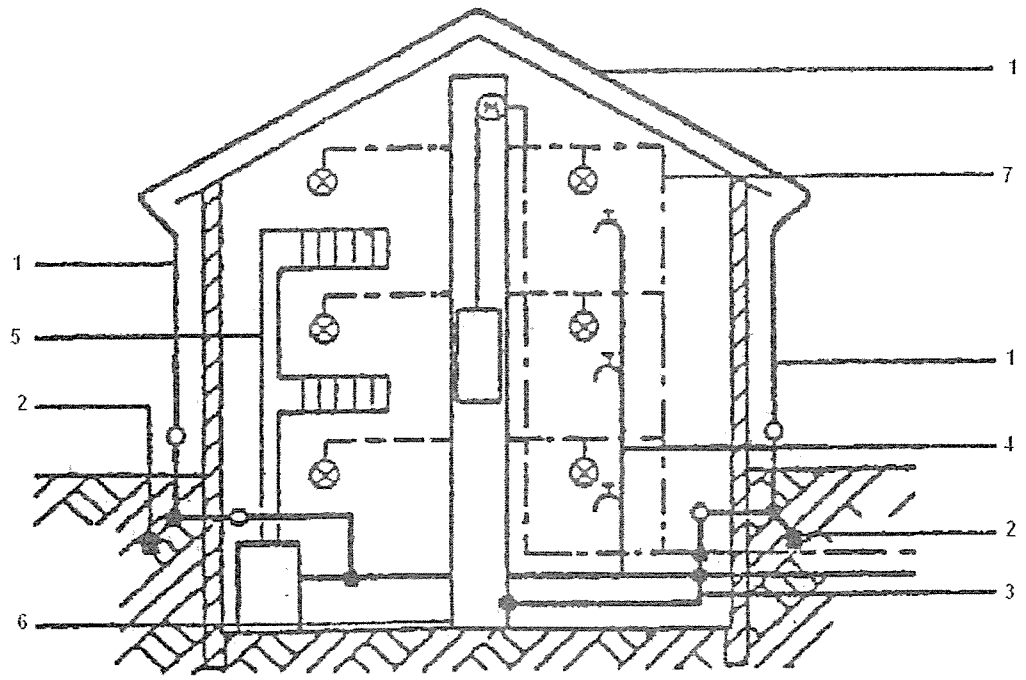


Рис. 3.60. Уравнивание потенциалов между наружной и внутренней МЗС:
1 – наружная молниезащитная система (МЗС); 2 – контурный заземлитель; 3 – уравнивающая шина; 4 – водопровод; 5 – металлические трубы центрального отопления; 6 – к лифтовым направляющим; 7 – электроустановка

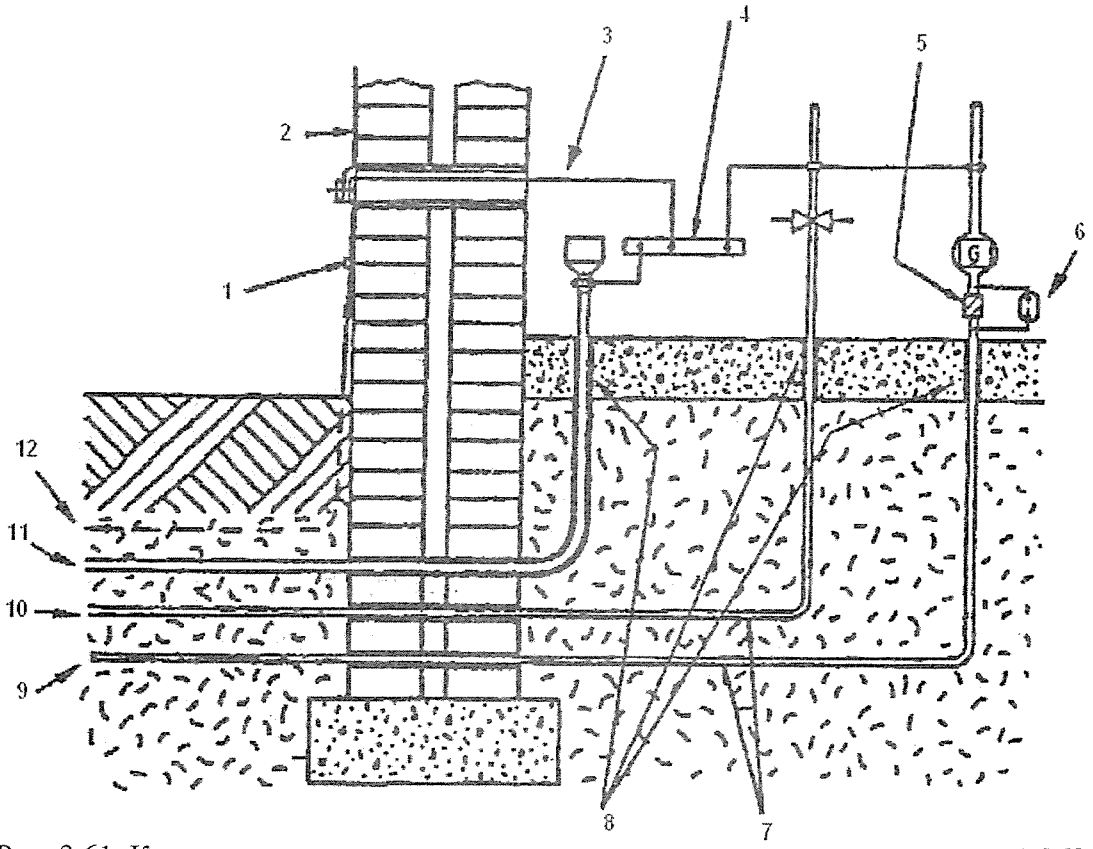


Рис. 3.61. Конструктивное выполнение уравнивания потенциалов внутренней МЗС при входе наружных коммуникаций в одной точке: 1 – испытательный зажим; 2 – токоотвод; 3 – к заземляющему устройству; 4 – уравнивающая шина; 5 – изолирующая вставка; 6 – искровой промежуток; 7 – трубопровод; 8 – герметик; 9 – газопровод; 10 – металлические трубы водопровода; 11 – питающий кабель; 12 – заземляющее устройство

Рассмотрим далее проектирование заземляющих устройств в электроустановках напряжением до 1000 В.

3.8. Проектирование заземляющих устройств

Область применения защитного заземления и защитного зануления.

В общем случае заземлением называется преднамеренное электрическое соединение какой-либо точки сети ЭУ или оборудования с ЗУ.

Защитным заземлением называется заземление, выполненное с целью обеспечения электробезопасности (ЭБ) (рис. 3.62).

Рабочим заземлением называется заземление какой-либо точки или точек токоведущих частей ЭУ, выполняемое для обеспечения работы ЭУ (не в целях ЭБ), например, глухое заземление нейтрали или вывода источника (рис. 3.63). Рабочее заземление должно быть выполнено таким образом, чтобы обеспечивалась нормальная работа ЭУ в режимах, предусмотренных эксплуатационной документацией ЭУ (также см. ГОСТ Р 50571.10–96).

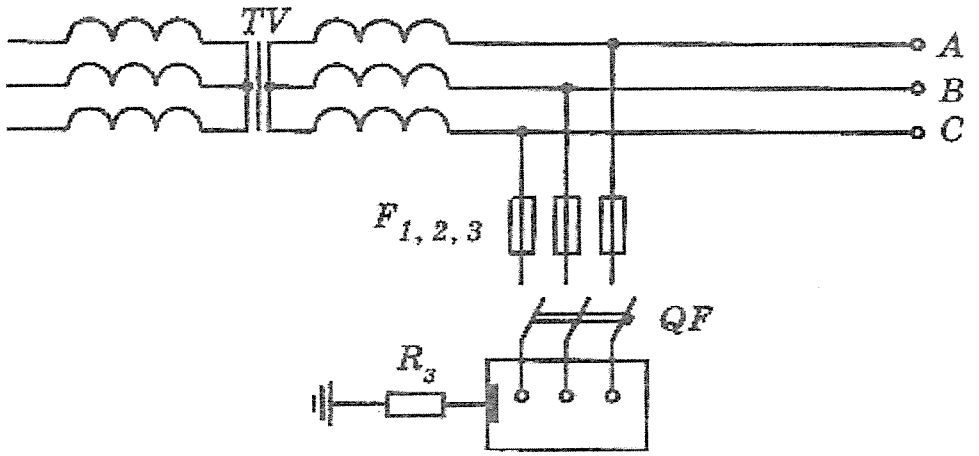


Рис. 3.62. Защитное заземление:
QF – автоматический выключатель

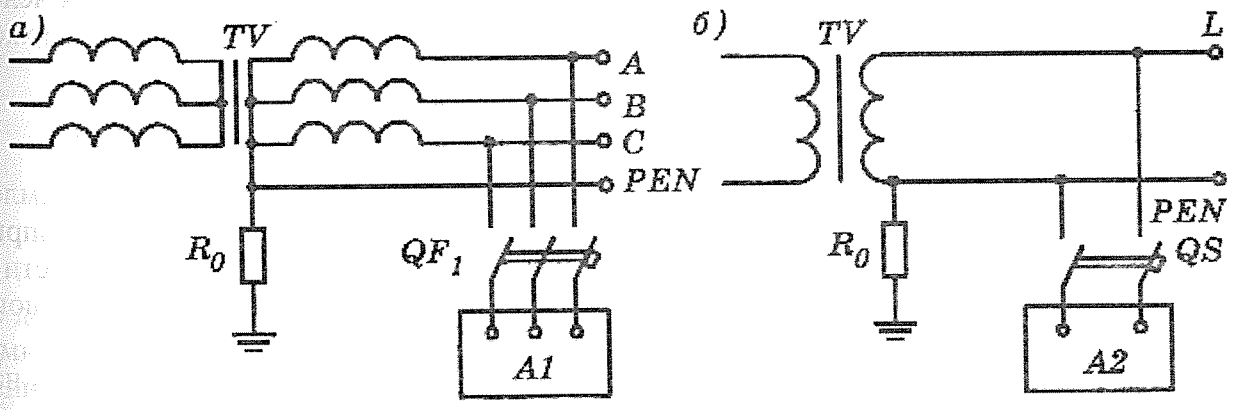


Рис. 3.63. Электроустановки в заземленных электрических сетях:
а – в трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью; б – в однофазной сети с глухозаземленным выводом источника тока (трансформатора): QF_1 – выключатель с автоматическим возвратом контактов (автомат защиты); *QS* – выключатель без автоматического возврата контактов (разъединитель)

Защитным занулением в ЭУ напряжением до 1 кВ называется преднамеренное соединение ОПЧ с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока, с глухозаземленным выводом источника однофазного тока, с заземленной точкой источника в сетях постоянного тока, выполняемое в целях ЭБ (рис. 3.64).

В ЭУ до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью или глухозаземленным выводом источника однофазного тока для защиты людей от поражения током при замыкании на корпус должно быть выполнено защитное зануление (см. рис. 3.64).

В этом случае при замыкании на металлический корпус ЭУ возникает цепь протекания тока короткого замыкания $I_{КЗ}$, который вызывает срабатывает защиты и отключение аварийной ЭУ от питающей сети. Применение в ЭУ до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью (система TN) или глухозаземленным выводом источника однофазного тока заземления корпусов электроприемников (ЭП) без их защитного зануления не рекомендуется.

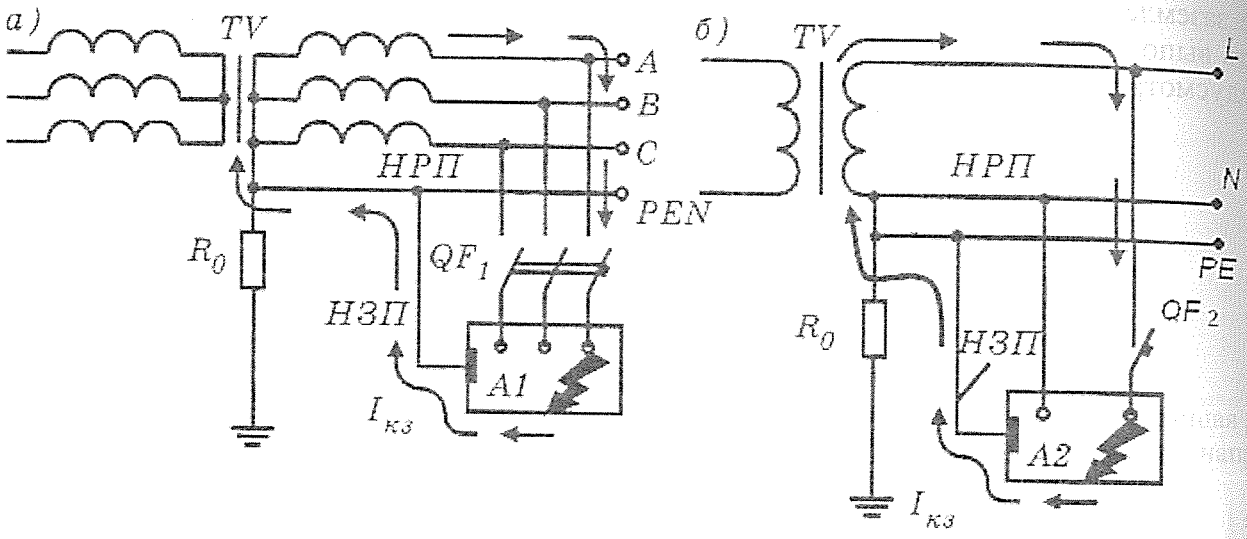


Рис. 3.64. Защитное зануление: а – в трехфазной электрической сети с глухозаземленной нейтралью; б – в однофазной электрической сети с глухозаземленным выводом трансформатора: НРП – нулевой рабочий проводник; НЗП – нулевой защитный проводник; $I_{КЗ}$ – ток короткого замыкания

Действительно, если в этих сетях корпус ЭУ заземлить без его защитного зануления (рис. 3.65), то в аварийной ситуации на заземленном корпусе возникает опасное для человека напряжение относительно земли $U_З = I_З R_З$. Если принять, что $R_0 = R_З = R$, то $U_З$ может достигать половины фазного напряжения сети:

$$U_З = I_З R_З = \frac{U_Ф}{R_З + R_0} R_З = \frac{U_Ф}{R + R} R = \frac{U_Ф}{2}.$$

Более того, поскольку в заземленных электрических сетях до 1 кВ (система заземления TN) обязательно должно быть выполнено защитное зануление корпусов электроприемников, то заземление корпуса одного из них без защитного зануления может привести к тому, что в аварийном режиме зануленные корпуса остальных ЗУ, питающихся от данного источника, могут оказаться под опасным напряжением U_0 (рис. 3.66).

Действительно, на нейтрали источника от тока замыкания $I_З$ возникает падение напряжения

$$U_0 = I_З R_0 = \frac{U_Ф R_З}{(R_З + R_0)}.$$

Если $R_0 = R_З = R$, то нейтраль источника, а с ней и корпуса всех зануленных ЗУ окажутся под напряжением $\frac{U_Ф}{2}$.

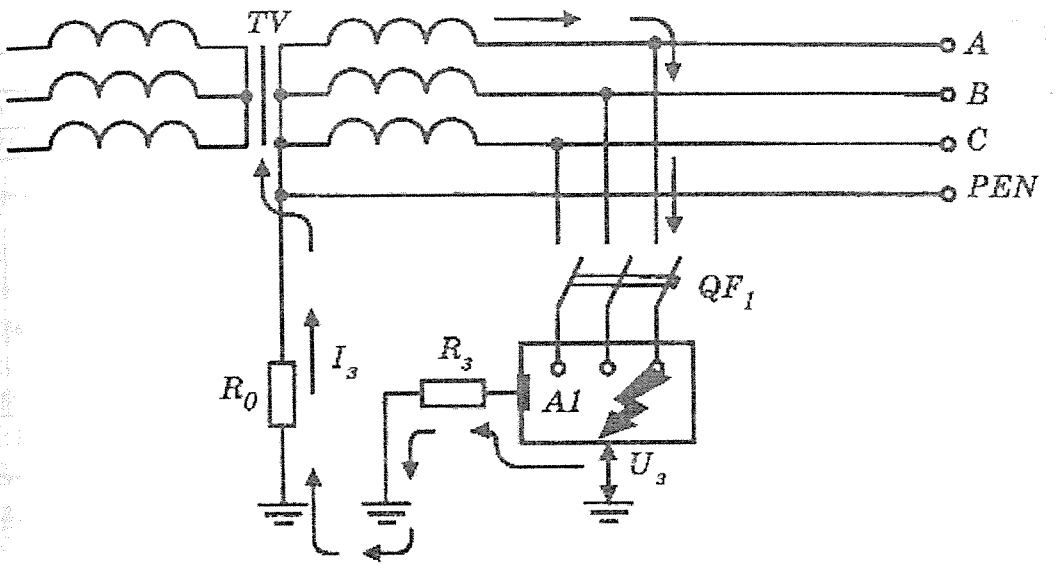


Рис. 3.65. Защитное заземление в заземленных электрических сетях

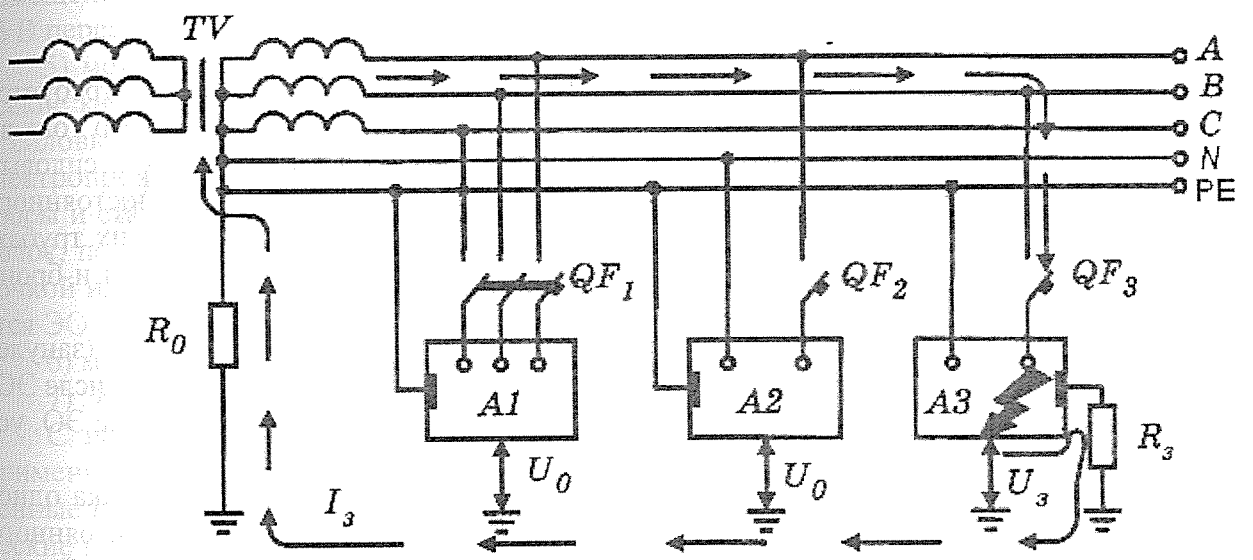


Рис. 3.66. Заземление корпуса (ОПЧ) электроустановки без его защитного зануления в заземленных электрических сетях

Таким образом, в заземленных электрических сетях до 1 кВ (система заземления TN) не допускается применять защитное заземление в качестве единственной меры защиты от замыкания тока на корпус (ОПЧ) ЭУ, но разрешается использовать его в качестве дополнения к защитному занулению (рис. 3.66).

Защитное заземление или защитное зануление ОПЧ электроустановок следует выполнять:

1) при номинальном напряжении выше 50 В переменного тока и выше 120 В постоянного тока – во всех ЭУ;

2) при номинальных напряжениях выше 25 В, но ниже 50 В переменного тока и выше 60 В, но ниже 120 В постоянного тока – только в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных помещениях и в наружных установках.

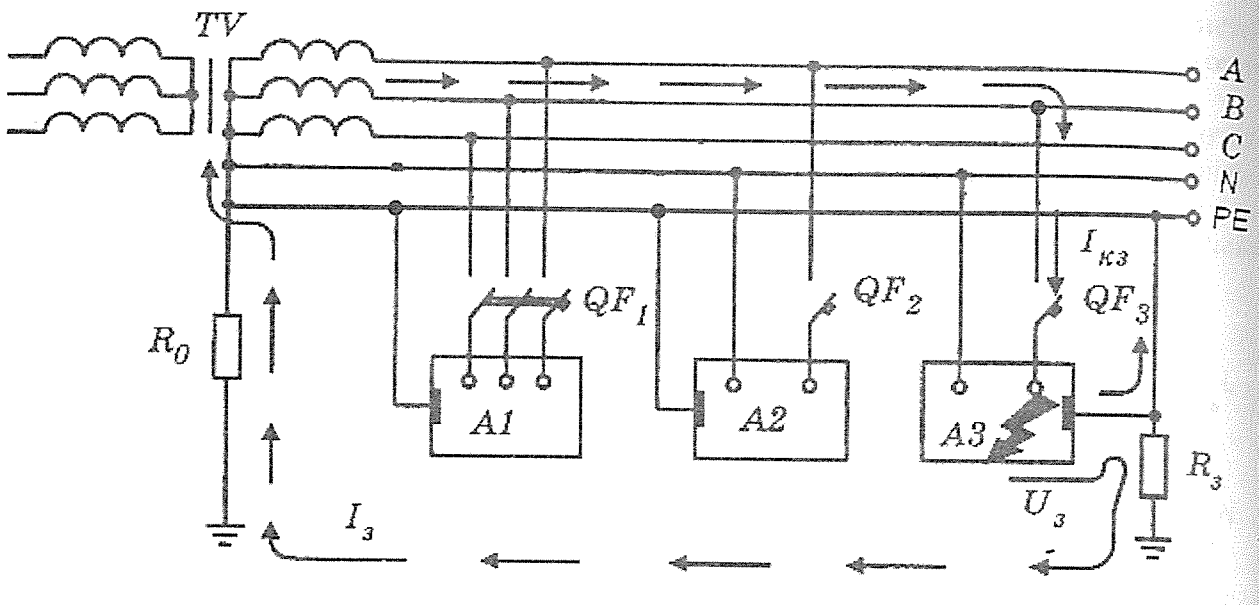


Рис. 3.67. Защитное зануление в сочетании с защитным заземлением в заземленных электрических сетях

Защитное заземление или защитное зануление ОПЧ электроустановок не требуется при номинальных напряжениях до 25 В переменного тока и до 60 В постоянного тока во всех случаях, за исключением металлических оболочек и брони контрольных и силовых кабелей, а также проводов напряжением до 25 В переменного тока и до 60 В постоянного тока, проложенных на общих металлических конструкциях, в том числе в общих трубах, коробах, лотках и т.п., вместе с кабелями и проводами, металлические оболочки и броня которых заземлены или занулены.

Во взрывоопасных зонах любого класса обязательным является заземление (зануление) корпусов ЭУ при всех напряжениях переменного и постоянного тока, в том числе ЭО, установленного на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, кроме ЭО, установленного внутри заземленных (зануленных) корпусов шкафов и пультов.

В ЭУ до 1 кВ с заземленной нейтралью или заземленным выводом источника однофазного тока, а также с заземленной точкой источника в трехпроводных сетях постоянного тока обязательно должно выполняться защитное зануление (система заземления ЭС типа TN). Применение в таких ЭУ заземления корпусов электроприемников без их защитного зануления (система заземления ТТ) не рекомендуется.

ЭУ до 1 кВ переменного тока с изолированной нейтралью или изолированным выводом источника однофазного тока (система IT), а также ЭУ постоянного тока с изолированной средней точкой, следует применять при недопустимости перерыва питания при первом замыкании на землю (для передвижных ЭУ, торфяных разработок, шахт и т.д.). Для таких ЭУ в качестве защитной меры должно быть выполнено защитное заземление в сочетании с контролем сопротивления изоляции сети или защитное отключение.

При невозможности выполнения защитного заземления, защитного зануления и защитного отключения допускается обслуживание ЭУ с изолирующих площадок. Изолирующие площадки должны быть выполнены как эксплуатационные площадки таким образом и таких размеров, чтобы прикосновение к представляющим опасность частям ЭУ возможно было только с площадок.

Электроустановки и их части, подлежащие защитному заземлению и защитному занулению

Доступные прикосновению ОПЧ должны быть заземлены или занулены путем присоединения к защитному проводнику в соответствии с особенностями ЭС и типами их систем заземления.

К частям, подлежащим защитному заземлению или защитному занулению, относятся:

1) корпуса электрических машин, трансформаторов, электрических аппаратов, светильников и других ЭУ;

2) приводы электрических аппаратов;

3) металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей и проводов на напряжения, не превышающие: 50 В переменного и 120 В постоянного тока – во всех случаях; 25 В переменного и 60 В постоянного тока – в помещениях с повышенной опасностью; 12 В переменного и 30 В постоянного тока – в особо опасных помещениях;

4) каркасы распределительных щитов, щитов управления, щитков освещения и силовых шкафов, а также съемные или открывающиеся части, если на последних установлено ЭО напряжением выше 50 В переменного тока или более 120 В постоянного тока, если в помещениях с ЭУ присутствуют условия, создающие повышенную опасность, то выше 25 В переменного и 60 В постоянного тока;

5) металлические конструкции РУ, металлические кабельные конструкции, металлические кабельные соединительные муфты, металлические оболочки и броня контрольных и силовых кабелей, металлические оболочки проводов, металлические рукава и трубы электропроводки, кожухи и опорные конструкции шинопроводов, лотки, короба, струны, тросы и стальные полосы, на которых укреплены кабели и провода (кроме струн, тросов и полос, по которым проложены кабели с заземленной или зануленной металлической оболочкой или броней), а также другие металлические конструкции, на которых устанавливается ЭО;

6) металлические корпуса передвижных и переносных электроприемников;

7) ЭО, установленное на движущихся частях станков, машин и механизмов.

С целью уравнивания потенциалов в тех помещениях и наружных ЭУ, в которых применяется защитное заземление или защитное зануление, строительные и производственные конструкции, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические корпуса технологического оборудования, подкрановые и железнодорожные рельсовые пути обязательно должны быть присоединены к магистрали заземления или зануления.

Не требуется преднамеренного защитного заземления или защитного зануления следующего ЭО:

1) корпусов ЭО, электрических аппаратов и электромонтажных конструкций, установленных на заземленных (зануленных) металлических конструкциях, РУ, на щитах, шкафах, станинах станков, машин и механизмов, при условии обеспечения надежного электрического контакта с заземленными или зануленными основаниями (исключение составляет заземление ЭУ во взрывоопасных зонах);

2) конструкций, перечисленных выше в п. 5, при условии надежного электрического контакта между этими конструкциями и установленными на них заземленными и зануленными ЭУ; при этом указанные конструкции не могут быть использованы для защитного заземления или защитного зануления установленных на них других ЭУ;

3) арматуры изоляторов всех типов, оттяжек, кронштейнов и осветительной арматуры при установке их на деревянных опорах ВЛЭП или на деревянных конструкциях открытых ТП, если это не требуется по условиям защиты от атмосферных перенапряжений. При прокладке по деревянной опоре кабеля с металлической заземленной оболочкой или неизолированного заземляющего проводника перечисленные части, расположенные на опоре, должны быть заземлены или занулены;

4) съемных или открывающихся частей металлических каркасов камер РУ, шкафов, ограждений, если на них не установлено электрооборудование или если напряжение установленного ЭО не превышает 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока (исключение составляет заземление ЭУ во взрывоопасных зонах);

5) корпусов электроприемников с двойной изоляцией;

6) металлических скоб, закрепов, отрезков труб механической защиты кабелей в местах их прохода через стены и перекрытия и других подобных деталей (в том числе протяжных и ответвительных коробок размером до 100 $см^2$) электропроводок, выполняемых кабелями или изолированными проводами, прокладываемыми по стенам и другим элементам строений.

Защитное заземление и защитное зануление электроустановок во взрывоопасных зонах. Во взрывоопасных зонах любого класса должны быть заземлены (занулены) ЭУ при всех напряжениях переменного и постоянного тока, том числе ЭО, установленное на заземленных (зануленных) металлических конструкциях кроме ЭО, установленного внутри заземленных (зануленных) корпусов шкафов и пультов. Классификация взрывоопасных зон представлена в табл. 3.8.1.

Во взрывоопасных зонах любого класса следует выполнять комплексное защитное устройство с целью заземления, уравнивания потенциалов, защиты от вторичных проявлений молнии, а также от статического электричества. Комплексное защитное устройство должно состоять из двух частей объединенных вместе заземлителей молниезащиты (кроме заземлителей отдельно стоящих молниеотводов для зданий и сооружений) и заземлителей ЭУ, комплексной магистрали и защитных проводников.

Комплексное защитное устройство должно быть выполнено таким образом или при его эксплуатации должны быть приняты такие меры, чтобы при демонтаже любого его участка или защищаемого элемента конструкции, оборудования, трубопровода и т.п. защита остальных элементов здания, помещения, сооружения, установки не нарушалась.

Комплексная магистраль *заземления* в двух или более различных местах по возможности с противоположных концов помещения или установки должна быть присоединена к заземлителю (заземлителям), а при наличии ЭУ до 1 кВ с заземленной нейтралью (система заземления TT и TN), кроме того, должна быть связана с системой уравнивания потенциалов. В защищаемом помещении, здании, сооружении, установке металлические конструкции, подкрановые и рельсовые пути, стационарно проложенные трубопроводы всех назначений, металлические и футерованные корпуса технологического и сантехнического оборудования, корпуса ЭО, в том числе зануленного нулевым защитным проводником, должны быть присоединены к комплексной магистрали при помощи защитных проводников.

В ЭУ в сетях с изолированной нейтралью при заземлении корпусов ЭО присоединением к комплексной магистрали допускается прокладывать защитные проводники как в общих оболочках с фазными, так и отдельно от них.

Проходы участков комплексной магистрали и защитных проводников через ограждающие взрывоопасные зоны конструкции (стены, перегородки, перекрытия) следует выполнять в отрезках труб или в проемах. Места проходов должны быть уплотнены материалом из несгораемого состава на всю глубину прохода. Проходы заземляющих проводников сквозь фундаменты должны быть выполнены в трубах или иных жестких обрамлениях с уплотнением мест прохода.

Соединенные секции лотков, коробок, профилей, кабельных блоков и прогонов, стальных труб электропроводок, а также струны, тросы, полосы и т.п., служащие для прокладки кабелей и проводов и (или) защиты их от механических повреждений, должны образовывать непрерывную электрическую цепь присоединением к комплексной магистрали неких корпусов электрических плит, кондиционеров, водонагревателей и переносных бытовых электрических приборов, а также металлических труб и коробов электропроводок.

Таблица 3.8.1

Классификация взрывоопасных зон

№ п/п	Класс зоны	Характеристика зоны
1	В–I	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются горючие газы или пары ЛВЖ в таком количестве и с такими свойствами, что они могут образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы, например, при загрузке или разгрузке технологических аппаратов, хранении и переливании ЛВЖ, находящихся в открытых емкостях, и т. п.
2	В–Iа	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов (независимо от нижнего концентрационного предела воспламенения) или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а образование таких смесей возможно только в результате аварии или неисправностей.
3	В–Iб	Зоны, расположенные в помещениях, в которых при нормальной эксплуатации взрывоопасные смеси горючих газов или паров ЛВЖ с воздухом не образуются, а образование таких смесей возможно только в результате аварий или неисправностей. Эти зоны отличаются одной из следующих особенностей: 1) горючие газы в этих зонах обладают высоким нижним концентрационным пределом воспламенения (15 % и более) и резким запахом при предельно допустимых концентрациях по ГОСТ 12.1.005–76, например, машинные залы аммиачных компрессорных и холодильных абсорбционных установок; 2) производственные помещения, связанные с обращением газообразного водорода, в которых по условиям технологического процесса исключается образование взрывоопасной смеси в объеме, превышающем 5 % свободного объема помещения. Взрывоопасная зона условно принимается от отметки, равной 0,75 общей высоты помещения, считая от уровня пола, но не выше кранового пути, если таковой имеется (например, помещения электролиза воды, зарядные станции тяговых и стартерных аккумуляторных батарей). Это положение не распространяется на электромашинные помещения с турбогенераторами с водородным охлаждением при условии обеспечения электромашинного помещения естественной вытяжной вентиляцией; эти электромашинные помещения имеют нормальную среду.
4	В–Iг	Пространства у наружных установок; технологических установок, содержащих горючие газы или ЛВЖ, за исключением наружных аммиачных компрессорных установок, надземных и подземных резервуаров с ЛВЖ или горючими газами (газгольдеры), эстакад для слива и налива ЛВЖ, открытых нефтеловушек, прудов-отстойников с плавающей нефтяной пленкой и т.п.
5	В–II	Зоны, расположенные в помещениях, в которых выделяются переходящие во взвешенное состояние горючие пыли или волокна в таком количестве и с такими свойствами, что они способны образовать с воздухом взрывоопасные смеси при нормальных режимах работы.
6	В–IIа	Зоны, расположенные в помещениях, в которых опасные состояния, свойственные зонам класса В–П, не имеют места при нормальной эксплуатации, а возможны только в результате аварий или неисправностей.

Для защитного зануления корпусов стационарных однофазных электрических плит, кипятильников, бытовых кондиционеров, электрополотенец и т.п., а также переносных бытовых приборов, необходимо проложить от группового этажного или квартирного щитка отдельный проводник сечением, равным сечению фазного проводника. Этот проводник следует присоединить к РЕ-шине питающей сети до счетчика (со стороны ввода) и до отключающего аппарата, если он установлен.

Защитное зануление корпусов трехфазных электрических плит следует осуществлять самостоятельным проводником, начиная от группового щитка (распределительного пунк-

та). Использование PEN-проводника для защитного зануления трехфазной электроплиты запрещается.

В жилых и общественных зданиях в помещениях без повышенной опасности металлические корпуса стационарно установленного осветительного оборудования занулять не требуется.

В общественных зданиях штепсельные розетки для подключения переносных и передвижных электроприемников должны иметь защитные контакты, подключенные к PE-, PEN-проводникам ЭС системы заземления TN. Для защитных контактов, расположенных вблизи одна от другой штепсельных розеток 25 и 10 А, устанавливаемых в кухнях жилых домов, общежитий и т.п., необходимо прокладывать один заземляющий провод от группового квартирного или этажного щитка. Все стационарные и переносные электроприемники, не имеющие двойной изоляции, стальные трубы электропроводок, металлические корпуса щитов, щитков, электрошкафов и т.п. должны иметь защитное зануление (заземление).

В жилых зданиях и помещениях заземлению (занулению) подлежат металлические корпуса ЭО и части электропроводок, проложенных в этих помещениях.

В помещениях с подвесными потолками, имеющими металлические конструкции и детали, следует занулять металлические корпуса светильников, встраиваемых в подвесные потолки или устанавливаемых за потолками.

В ванных комнатах жилых и общественных зданий, в банях, больницах, лечебных учреждениях и т.п. металлические корпуса ванн, а в душевых – поддоны должны быть соединены металлическими проводниками с трубами водопровода для уравнивания электрических потенциалов.

Виды заземляющих устройств и требования, предъявляемые к ним.

В зависимости от защищаемого объекта заземляющие устройства (ЗУ) могут быть одиночными и групповыми. На рис. 3.68 представлена классификация ЗУ по конструктивному исполнению.

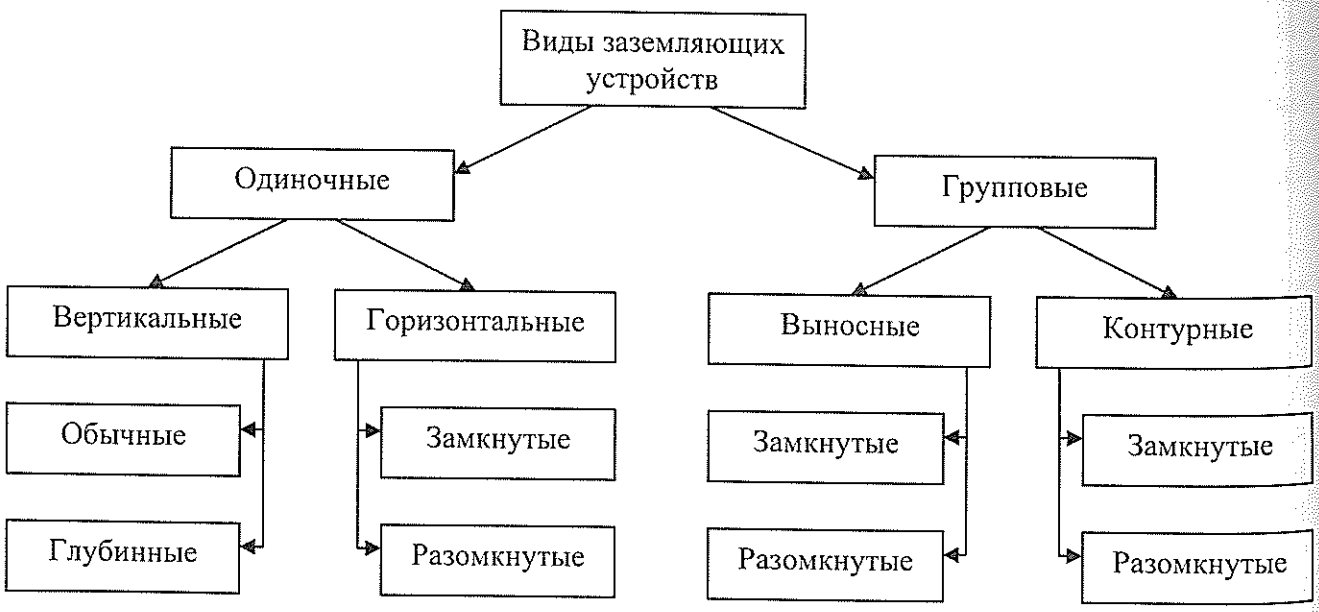


Рис. 3.68. Классификация заземляющих устройств по конструктивному исполнению

Наиболее простыми по исполнению являются одиночные ЗУ (рис. 3.69). Длиной до 5 м одиночные вертикальные ЗУ считаются обычными, а длиной более 5 м – глубинными. Глубинные ЗУ выполняют длиной до 30–40 м, на северо-западе России на такой глубине находится водоносный слой. Для уменьшения скорости коррозии стальных вертикальных заземлителей их выполняют омедненными.

Горизонтальные заземлители выполняют полосовой сталью, проложенной вдоль защищаемого объекта (разомкнутые) или в виде замкнутого прямоугольника, как вокруг здания с ЭУ, так и рядом со зданием.

Также ЗУ используются для отдельно стоящих ЭУ малой мощности (до 10–15 кВА).

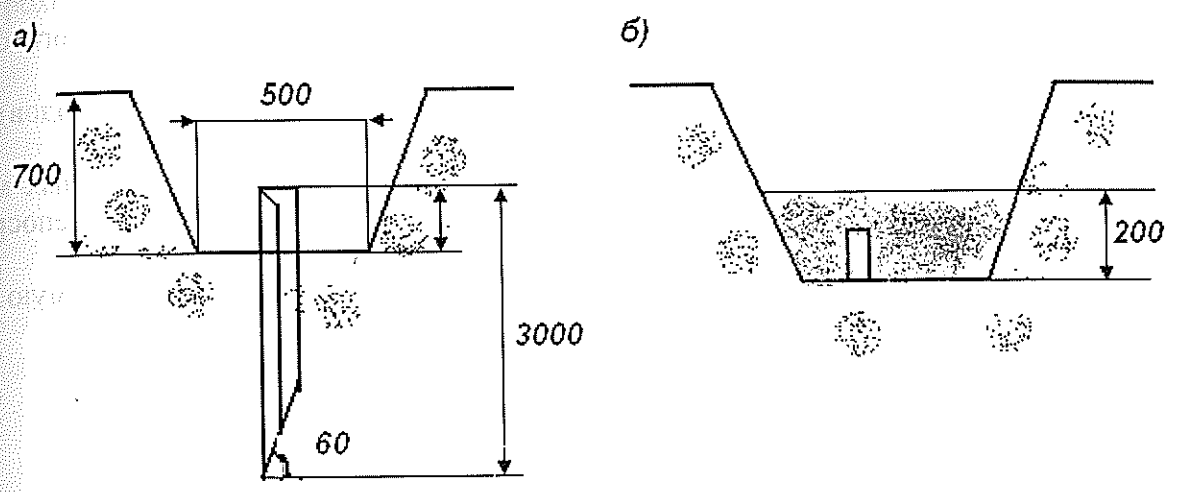


Рис. 3.69. Одиночные заземляющие устройства (заземлители):
а – вертикальное; б – горизонтальное

В зависимости от требований, предъявляемых к ЭУ, заземляющие устройства могут быть *объединенными* (*совмещенными*) или *раздельными*.

Допускается совмещать ЗУ рабочего, обеспечивающего нормальную работу ЭУ, и защитного заземлений. В этом случае, когда заземление требуется как для защиты, так и для нормальной работы ЭУ, в первую очередь следует соблюдать требования, предъявляемые к заземлению, обеспечивающему защиту.

В ЭС системы заземления TN для стационарно проложенных кабелей, имеющих площадь поперечного сечения не менее 10 мм^2 по меди или 16 мм^2 по алюминию, единственная жила может использоваться в качестве PEN-проводника при условии, что рассматриваемая часть ЭУ не защищена устройствами защитного отключения, реагирующими на дифференциальный ток.

Во избежание блуждающих токов изоляция PEN-проводника должна быть рассчитана на самое высокое напряжение, которое может быть к нему приложено. PEN-проводник не требуется изолировать внутри комплектных устройств управления и распределения электроэнергии.

В случаях, когда, начиная с какой-либо точки ЭУ, нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, запрещается объединять эти проводники за этой точкой по ходу энергии.

В месте разделения необходимо предусмотреть отдельные зажимы или шины нулевого рабочего и защитного проводников. PEN-проводник должен подключаться к зажиму, предназначенному для защитного проводника.

Раздельные заземляющие устройства обеспечивают только три функции:

1) защиту от поражения электрическим током;

2) нормальную работу ЭУ;

3) молниезащиту зданий, сооружений, ЭУ и т.п.

Кроме того, по расположению заземлителей относительно заземленных корпусов, заземляющие устройства подразделяют на выносные и контурные.

Выносное заземляющее устройство показано на рис. 3.70. Заземлители располагаются на некотором удалении от заземляемого оборудования. Поэтому заземленные корпуса находятся вне поля растекания тока в земле, и человек, касаясь корпуса, оказывается под полным напряжением относительно земли, если не учитывать коэффициент α_2, $U_{ПР} = U_З$).

Так как $\alpha_1 = 1$, ток, проходящий через человека:

$$I_Ч = I_З R_З / R_Ч.$$

Выносное заземление выполняет защитную функцию только за счет малого сопротивления заземляющего устройства.

Заземляющим устройством называют совокупность заземлителей (электродов) и заземляющих проводников (см. рис. 3.70).

Заземлителем называется проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду (см. рис. 3.70).

Заземляющим проводником называется проводник, соединяющий заземляемую часть ЭУ (точку) с заземлителем (рис. 3.70)

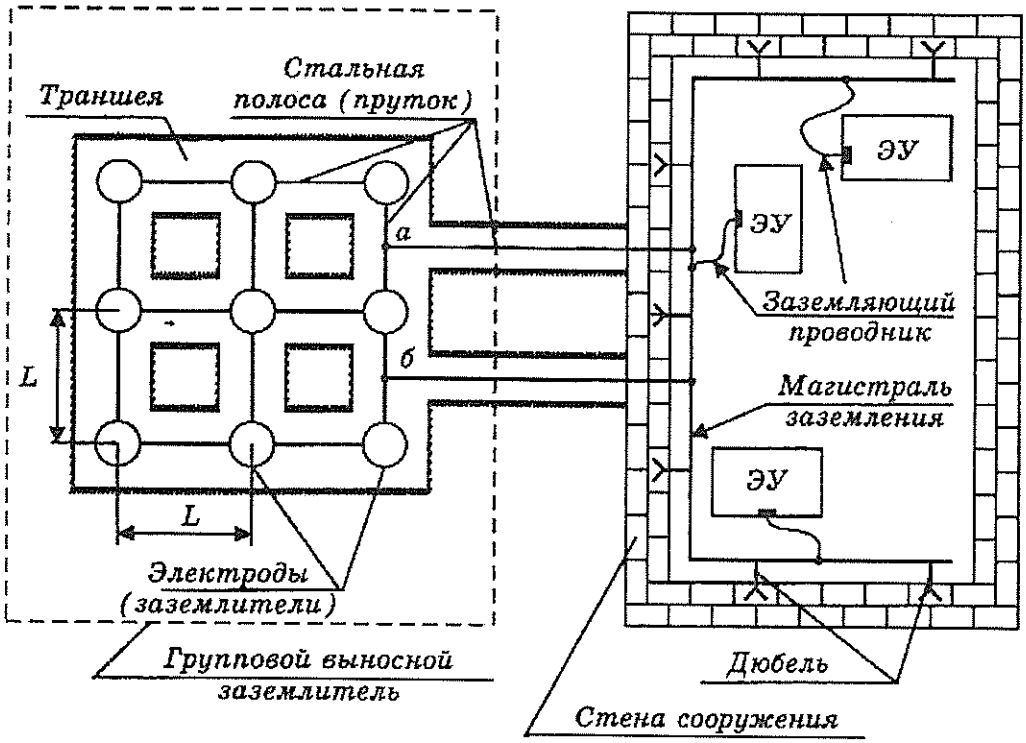


Рис. 3.70. Выносное замкнутое заземляющее устройство сооружения с групповым выносным заземлителем

Магистралью заземления или зануления называется, соответственно, заземляющий (см. рис. 3.70) или нулевой защитный проводник с двумя или более ответвлениями.

Нулевым рабочим (нейтральным) проводником (НРП – N) называется проводник в ЭУ до 1 кВ, предназначенный для питания электроприемников и соединенный с глухозаземленной нейтралью генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока (см. рис. 3.64), с глухозаземленным выводом источника однофазного тока (см. рис. 3.71), с глухозаземленной точкой источника в сетях постоянного тока.

Нулевым защитным проводником называется защитный проводник в ЭУ до 1 кВ, предназначенный для присоединения ОПЧ ЭУ к глухозаземленной нейтрали источника питания в сетях трехфазного тока (см. рис. 3.64) или к глухозаземленному выводу источника однофазного тока (рис. 3.71).

Контурное заземляющее устройство показано на рис. 3.72.

Заземлители располагаются по контуру вокруг заземляемого оборудования на небольшом (несколько метров) расстоянии друг от друга. Поля растекания токов заземлите-

лей частично перекрываются, и любая точка поверхности грунта внутри контура имеет значительный потенциал. Вследствие этого разность потенциалов между точками, находящимися внутри контура, снижена и коэффициент прикосновения α_1 намного меньше единицы.

Коэффициент напряжения шага также меньше максимально возможного значения. Ток, проходящий через человека, касающегося корпуса, меньше, чем при выносном заземлении.

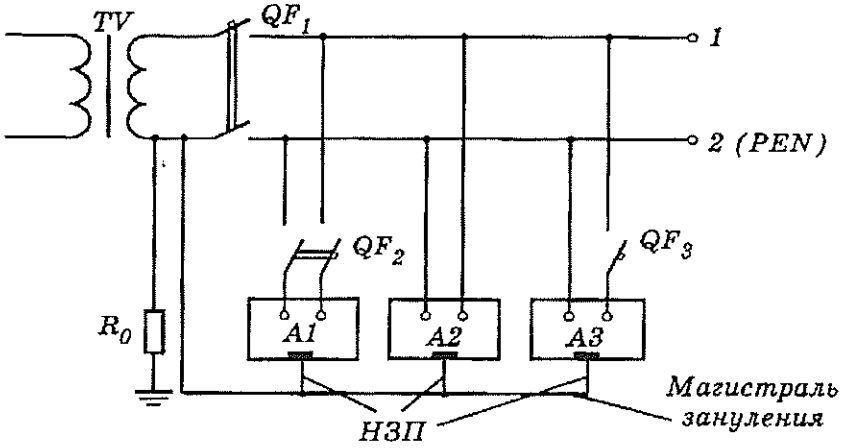


Рис. 3.71. Защитное зануление электроустановок в однофазной электрической сети

Иногда при выполнении контурного заземления внутри контура прокладывают горизонтальные полосы, которые дополнительно выравнивают потенциалы (рис. 3.72). Такие ЗУ называют контурными внутренними, т.к. выполняются в здании под полом. Из всех видов ЗУ, представленных на рис. 3.68, данное является более эффективным, но и более дорогостоящим. Сооружаются указанные ЗУ в основном в производственных помещениях с большим количеством электрооборудования.

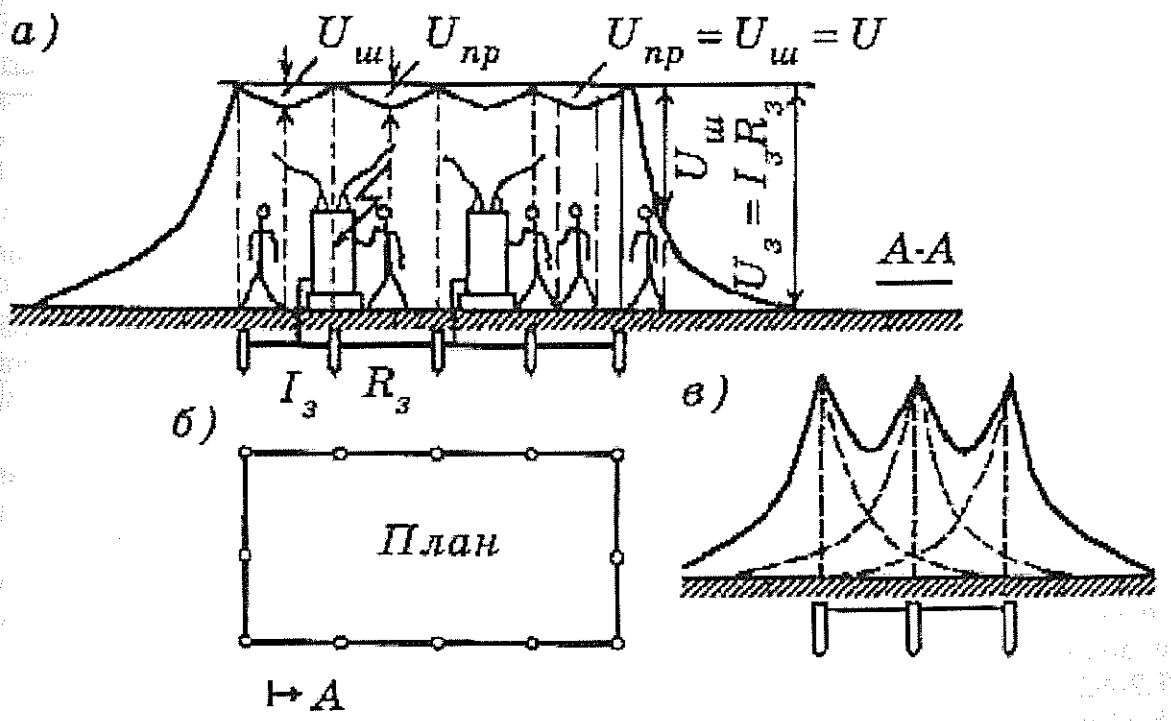


Рис. 3.72. Контурное внешнее заземляющее устройство:
а – разрез; *б* – план; *в* – распределение потенциалов

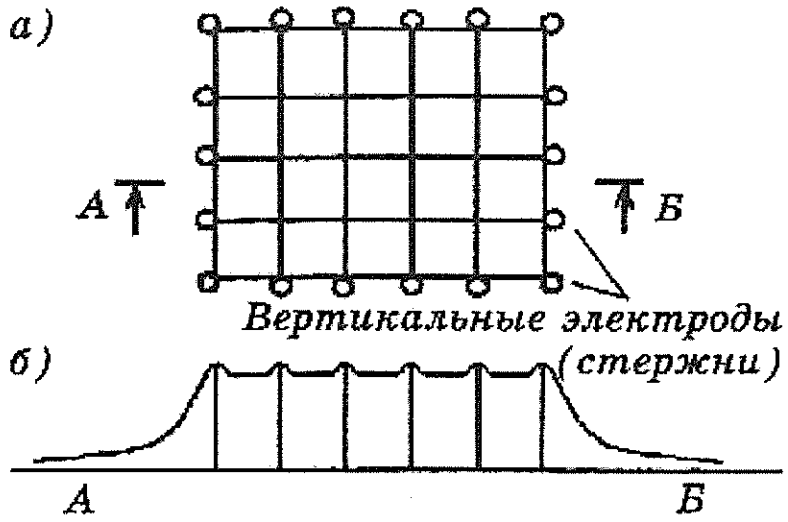


Рис. 3.73. Контурное внутреннее заземляющее устройство с выравниванием потенциалов внутри контура (сетка): *а* – план; *б* – форма потенциальной кривой

Выносные рядные ЗУ имеют вид представленный на рис. 3.74 и располагаются снаружи на расстоянии 1 м от стены здания.

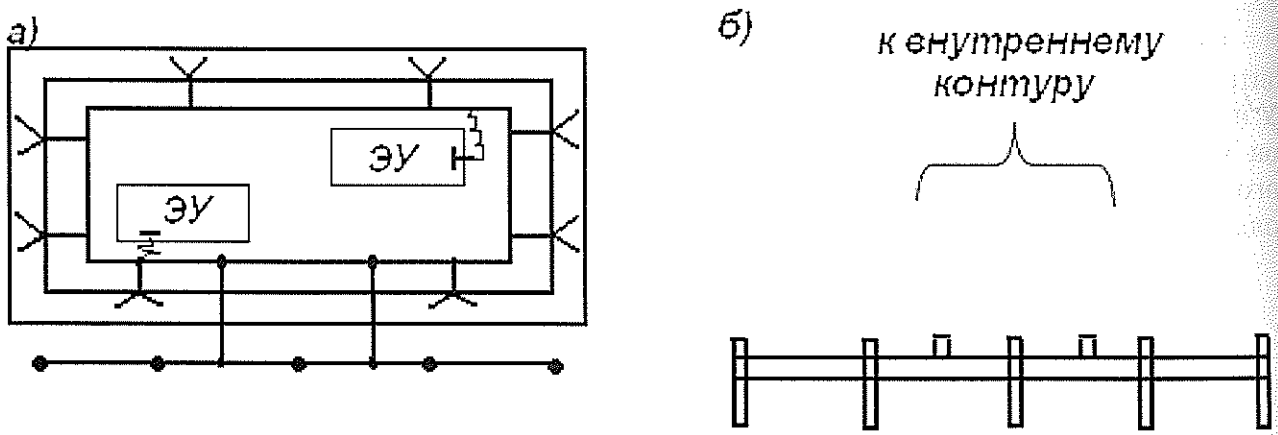


Рис. 3.74. Выносное рядное ЗУ: *а* – вид сверху; *б* – вид сбоку

Заземляющие устройства должны быть выбраны и смонтированы таким образом, чтобы удовлетворять следующим требованиям:

1. Значение сопротивления стеканию тока с ЗУ должно соответствовать требованиям защиты и работы установки в течение определенного периода (времени) ее эксплуатации.

2. Протекание токов замыкания на землю и токов утечки не должно создавать опасности в отношении нагрева, термической и динамической стойкости.

3. Применяемые в ЭУ заземляющие устройства по своим нормированным, гарантированным и расчетным характеристикам должны соответствовать условиям работы данной ЭУ.

4. Заземляющее устройство ЭУ и связанные с ним конструкции должны быть стойкими в отношении воздействия окружающей среды или защищены от этого воздействия, а также должны иметь дополнительную механическую защиту по ГОСТ 30331.2, ГОСТ 50571.2–92.

5. Строительная часть ЭУ (конструкций зданий и сооружений и их элементов) должна выполняться в соответствии с действующими Строительными нормами и правилами (СНиП) Госстроя РФ при обязательном выполнении дополнительных требований, которые будут приведены далее.

6. Заземляющее устройство ЭУ должно удовлетворять требованиям действующих директивных документов о запрещении загрязнения окружающей среды вредным или мешающим влиянием электрических полей.

7. Проектирование и выбор схем, компоновок и конструкций заземляющего устройства ЭУ должны производиться на основе технико-экономических сравнений, применения простых и надежных схем, внедрения новейшей техники, с учетом опыта эксплуатации, наименьшего расхода цветного металла и других дефицитных материалов, оборудования и т.п.

8. При опасности возникновения электрокоррозии или почвенной коррозии должны предусматриваться соответствующие мероприятия по защите заземляющего устройства, железобетонных фундаментов производственных зданий и сооружений, оборудования, трубопроводов и других подземных коммуникаций.

9. Буквенно-цифровое и цветовое обозначения одноименных нулевых защитных и нулевых рабочих шин в каждой ЭУ должны быть одинаковы.

10. Кроме того, необходимо, чтобы были выполнены требования ПУЭ по расположению шин.

Требования, предъявляемые к выполнению заземляющих устройств в электроустановках напряжением до 1000 В

ЗУ в электроустановках с глухозаземленной и изолированной нейтралью.

В электроустановках с глухозаземленной нейтралью нейтраль генератора или трансформатора трехфазного переменного тока, средняя точка источника постоянного тока, один из выводов источника однофазного тока должны быть присоединены к заземлителю при помощи заземляющего проводника.

Искусственный заземлитель, предназначенный для заземления нейтрали, как правило, должен быть расположен вблизи генератора или трансформатора. Для внутрицеховых подстанций допускается располагать заземлитель около стены здания.

Если фундамент здания, в котором размещается подстанция, используется в качестве естественных заземлителей, нейтраль трансформатора следует заземлять путем присоединения не менее чем к двум металлическим колоннам или к закладным деталям, приваренным к арматуре не менее двух железобетонных фундаментов.

При расположении встроенных подстанций на разных этажах многоэтажного здания заземление нейтрали трансформаторов таких подстанций должно быть выполнено при помощи специально проложенного заземляющего проводника. В этом случае заземляющий проводник должен быть дополнительно присоединен к колонне здания, ближайшей к трансформатору, а его сопротивление учтено при определении сопротивления растеканию заземляющего устройства, к которому присоединена нейтраль трансформатора.

Во всех случаях должны быть приняты меры по обеспечению непрерывности цепи заземления и защите заземляющего проводника от механических повреждений.

Если в PEN-проводнике, соединяющем нейтраль трансформатора или генератора с шиной PEN распределительного устройства напряжением до 1 кВ, установлен трансформатор тока, то заземляющий проводник должен быть присоединен не к нейтрали трансформатора или генератора непосредственно, а к PEN-проводнику, по возможности сразу за трансформатором тока. В таком случае разделение PEN-проводника на PE- и N-проводники в системе TN-S должно быть выполнено также за трансформатором током. Трансформатор тока следует размещать как можно ближе к выводу нейтрали генератора или трансформатора.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и

220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений PEN- или PE-проводника ВЛЭП напряжением до 1 кВ при количестве отходящих линий не менее двух. Сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. Однако сопротивление растеканию тока с ЗУ R_3 существенно зависит от удельного сопротивления земли (грунта) ρ.

При удельном сопротивлении земли $\rho > 100$ Ом•м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01 ρ раз, но не более десятикратного. Зависимости R_3 от напряжения источника тока и ρ представлены в табл. 3.8.3.

На концах ВЛ или ответвлений от них длиной более 200 м, а также на вводах ВЛ к электроустановкам, в которых в качестве защитной меры при косвенном прикосновении применено автоматическое отключение питания, должны быть выполнены повторные заземления PEN-проводника. При этом в первую очередь следует использовать естественные заземлители, например, подземные части опор, а также заземляющие устройства, предназначенные для грозовых перенапряжений (согласно гл. 2.4 ПУЭ).

Указанные повторные заземления выполняются, если более частые заземления по условиям защиты от грозовых перенапряжений не требуются.

Повторные заземления PEN-проводника в сетях постоянного тока должны быть выполнены при помощи отдельных искусственных заземлителей, которые не должны иметь металлических соединений с подземными трубопроводами.

Заземляющие проводники для повторных заземлений PEN-проводника должны иметь размеры не менее приведенных в табл. 3.8.2.

Таблица 3.8.2

Наименьшие размеры заземлителей и заземляющих проводников, проложенных в земле

Материал	Профиль сечения	Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм^2	Толщина стенки, мм
Сталь черная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	16	–	–
	для горизонтальных заземлителей	10	–	–
	Прямоугольный	–	100	4
	Угловой	–	100	4
	Трубный	32	–	3,5
Сталь оцинкованная	Круглый:			
	для вертикальных заземлителей	12	–	–
	для горизонтальных заземлителей	10	–	–
	Прямоугольный	–	75	3
	Трубный	25	–	2
Медь	Круглый	12	–	–
	Прямоугольный	–	50	2
	Трубный	20	–	2
	Канат многопроволочный	1,8*	35	–

* Диаметр каждой проволоки.

Общее сопротивление растеканию тока с заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений PEN-проводника каждой ВЛ в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию тока с заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

При удельном сопротивлении земли $\rho > 100$ Ом•м допускается увеличивать указанные нормы в $0{,}01\ \rho$ раз, но не более десятикратного. Предельно допустимые значения сопротивление растеканию тока с повторных заземлителей ЭУ напряжениям до 1 кВ в ЭС с заземленной нейтралью представлены в табл. 3.8.3.

Таблица 3.8.3

Предельно допустимое сопротивление повторных заземлителей электроустановок напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью

Линейное напряжение источника тока, В		Сопротивление заземляющего устройства $R_З$, Ом	Удельное сопротивление земли ρ, Ом•м
трехфазного	однофазного		
660 380 220	380 220 127	5/15 10/30 20/60	$\rho \le 100$
660 380 220	380 220 127	0,05 ρ /0,15 ρ 0,10 ρ /0,30 ρ 0,20 ρ /0,60 ρ	$100 < \rho < 1000$
660 380 220	380 220 127	50/150 100/300 200/600	$\rho \ge 1000$

Сопротивление ЗУ, используемого для защитного заземления открытых проводящих частей ЭУ в ЭС напряжением до 1 кВ с изолированной нейтралью, должно соответствовать условию:

$$R \le U_{ПР} / I_{ПЗ},$$

где R – сопротивление ЗУ, Ом;

$U_{ПР}$ – напряжение прикосновения, значение которого принимается равным 50 В (с учетом категорий помещений с ЭУ по опасности поражения электрическим током), В;

$I_{ПЗ}$ – полный ток замыкания на землю, А.

Как правило, не требуется принимать значение сопротивления заземляющего устройства менее 4 Ом. Допускается сопротивление заземляющего устройства до 10 Ом, если соблюдено приведенное выше условие, а мощность генераторов или трансформаторов не превышает 100 кВА, в том числе суммарная мощность генераторов или трансформаторов, работающих параллельно.

Достаточно часто ЭС с изолированной нейтралью напряжением до 1 кВ применяются для передвижных ЭУ, у которых мощность ограничена. Сопротивления заземляющих устройств для таких ЭУ в зависимости от мощности источника электропитания и удельного сопротивления земли представлены в табл. 3.8.4.

Таблица 3.8.4

Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства

Мощность генераторов, трансформаторов S, кВА	Сопротивление заземляющего устройства $R_З$, Ом	Удельное сопротивление земли ρ, Ом•м
$S > 100$ $S \le 100$	4 10	$\rho \le 500$
$S > 100$ $S \le 100$	$8 \cdot 10^{-3}\ \rho$ $2 \cdot 10^{-2}\ \rho$	$500 < \rho < 5000$
$S > 100$ $S \le 100$	40 100	$\rho \ge 5000$

При этом если генераторы или трансформаторы работают параллельно, то сопротивление определяется их суммарной мощностью. Для полноты излагаемого материала следует остановиться на особенностях заземления ЭУ в сетях в зависимости от типа системы заземления в соответствии с ГОСТ Р 50571.2–92

Особенности заземления электроустановок в электрических сетях системы TN

Система TN используется для заземления оборудования с целью защиты при косвенном прикосновении к ОПЧ при повреждении изоляции. PEN-проводник или PE-проводник присоединяется к заземляющему устройству питающей системы и частям, доступным прикосновению: открытым проводящим частям питаемого электрооборудования и сторонним проводящим частям.

В случае повреждения изоляции ток повреждения вызывает срабатывание устройства защиты от сверхтока, которое отключает ЭС. Кроме того, низкое сопротивление цепи обратного тока на участке от открытых проводящих частей до заземляющего устройства источника питания ограничивает напряжение прикосновения, которое может появиться на поврежденном оборудовании. Следовательно, это позволяет снизить вероятность поражения электрическим током.

Система TN может иметь одну из следующих разновидностей: TN-C, TN-S или TN-C-S, которые выбираются в зависимости от конкретных условий.

Электрические сети системы TN-C. Электрическая сеть системы TN-C имеет PEN-проводник, который выполняет одновременно функции нулевого рабочего и нулевого защитного проводников на всем протяжении сети (рис. 3.75).

На рис. 3.75 перечеркнуто УЗО-Д, чтобы показать нецелесообразность его использования в сетях системы TN-C. Действительно, УЗО-Д в такой сети не будет работать, так как основные токи, вызванные коротким замыканием, пройдут минуя его, а ток через защитное зануление $I_{ЗН}$ препятствует образованию разности токов и срабатыванию УЗО.

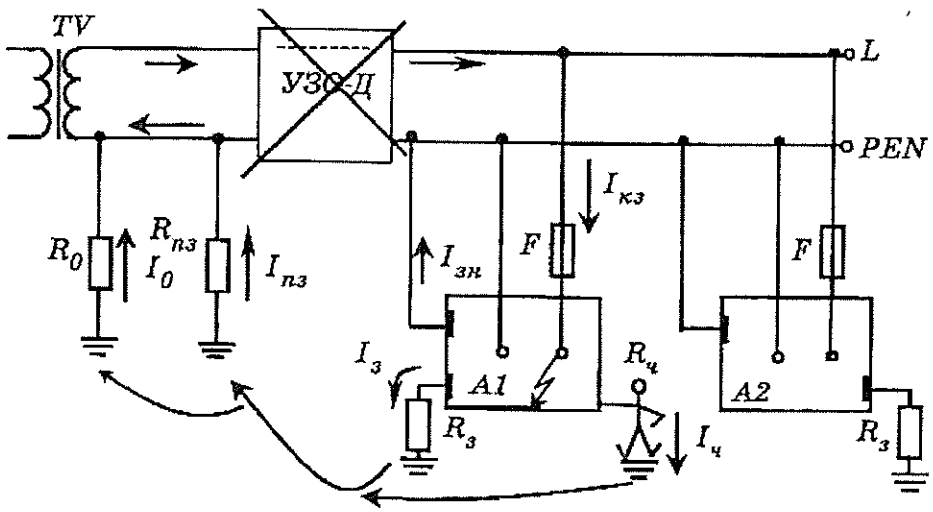


Рис. 3.75. Заземление ЭУ в однофазной электрической сети системы TN-C:
$R_{ПЗ}$ – повторное заземление совмещенного нулевого рабочего и нулевого защитного PEN-проводника; $R_З$ – сопротивление защитного заземления; I_0, $I_{ПЗ}$, $I_З$, $I_Ч$ – токи, протекающие соответственно через R_0, $R_{ПЗ}$, $R_З$, $R_Ч$; $I_{КЗ}$ – ток короткого замыкания; $I_{ЗН}$ – ток через защитное зануление

Применение УЗО-Д в таких сетях не разрешается по двум причинам.

Во-первых, ток короткого замыкания, который протекает от открытых проводящих частей (корпусов) поврежденной ЭУ через человека, через R_0 и $R_{ПЗ}$ в PEN-проводник, не воздействует на устройство защитного отключения как дифференциальный (разностный) ток. Для УЗО-Д ток $I_{КЗ}$ будет неразличим и только незначительная его часть будет возвращаться к источнику электропитания *TV* через УЗО-Д.

Ток $I_{КЗ}$ может протекать к *TV* и через другое ЭО, корпуса которого (ОЧП или СПЧ) имеют случайное или преднамеренное соединение с PEN-проводником. В этом случае УЗО-Д как защита от поражения электрическим током бесполезно.

Во-вторых, если корпуса ЭО заземлены (занулены) посредством PEN-проводника и корпуса имеют контакт с землей, часть тока нагрузки может возвращаться к источнику пи-

тания через землю при нормальных условиях эксплуатации. Эта часть тока будет восприниматься защитно-отключающим устройством как дифференциальный (разностный) ток и устройство будет срабатывать, если эта часть тока, проходящая через землю, будет больше тока уставки защитно-отключающего устройства. Величина тока уставки как правило, не превышает 0,5 А.

Однако, использование УЗО для объектов действующего жилого фонда с двухпроводными сетями, где электроприемники не имеют защитного заземления, является эффективным средством в части повышения электробезопасности. Срабатывание УЗО при замыкании на корпус в таких сетях происходит только при появлении дифференциального тока, то есть при непосредственном прикосновении к корпусу (соединении с «землей»). В соответствии с этим установка УЗО может быть рекомендована как временная мера повышения безопасности до проведения полной реконструкции. Решение об установке УЗО должно приниматься в каждом конкретном случае после получения объективных данных о состоянии электропроводок и приведения оборудования в исправное состояние (СП 31-110–2003, прил. А, п. 1.7).

Электрические сети системы TN-S. Если в сети системы TN отдельный нулевой защитный проводник не связан с нулевым рабочим проводником, то такая система обозначается TN-S (рис. 3.76).

В системе TN-S возможно и целесообразно в качестве дополнительной защиты использовать УЗО-Д. В такой сети цепь протекания тока нагрузки отделена от земли и, следовательно, УЗО-Д будет нормально функционировать, обеспечивая защиту от замыкания.

В ряде стран сети системы TN-C и TN-S и питания ЭУ производственных и высотных зданий со встроенными понизительными трансформаторными подстанциями.

В случаях, когда важно обеспечить защиту систем передачи информации и линий связи от помех, как правило, используется система TN-S (отдельный от других ЭУ защитный проводник – PE-проводник).

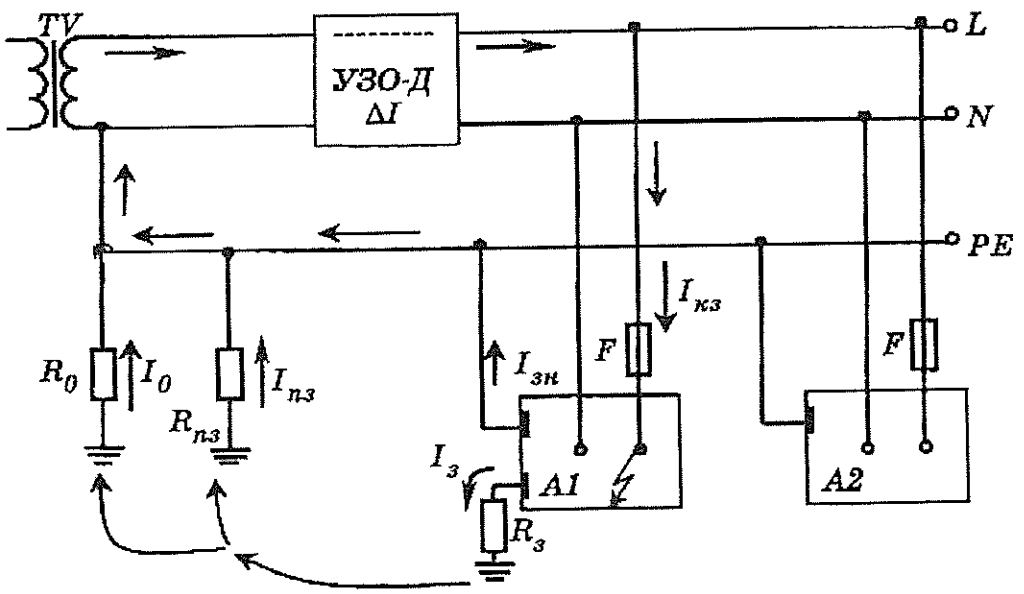


Рис. 3.76. Заземление ЭУ в однофазной электрической сети системы TN-S

Электрические сети системы TN-C-S. Наиболее часто в сетях общего пользования применяется система TN-C-S, которая является комбинацией систем TN-C и TN-S.

PEN-проводник в сети системы TN-C-S в России используется только в сетях общего пользования, а затем разделяется на нулевой рабочий и нулевой защитный проводники в зданиях и сооружениях потребителей (рис. 3.77).

В ЭУ зданий и сооружений США металлические кабелепроводы и распределительные щитки присоединяются к заземленному PEN-проводнику.

В ряде стран Европы PEN-проводник разделяется на нулевой рабочий проводник и PE-проводник при площади поперечного сечения ниже 10 мм^2 (по меди).

В США PEN-проводник разделяется на отдельные нулевой рабочий и PE-проводники на вводе электрической сети в здание. В США отсутствует критерий разделения PEN-проводника по площади поперечного сечения.

Во всех заземленных распределительных системах (системы TN) заземленный PEN-проводник часто соединяется с заземлителями в нескольких точках сети. Требования, относящиеся к условиям заземления этого типа систем, рассмотрены далее.

Устройства защитного отключения УЗО-Д (RCD, GFCI) не могут удовлетворительно функционировать в той части сети, где используется PEN-проводник, по тем же причинам, по которым эти устройства не могут удовлетворительно функционировать в системе TN-C.

Однако, на участке, где PEN-проводник разделен на отдельные PE- и N-проводники, применение УЗО не только возможно, но и желательно, также как и в системе TN-S.

В США N-проводник не разрешается присоединять к земле (заземлять) со стороны нагрузки после разделения. Исключением из этого правила являются сети, питающие устройства для приготовления пищи (кухни предприятий питания), оборудование предприятий типа прачечных, химчистки и электрические сети, идущие от одного здания или сооружения к другим зданиям или сооружениям, являющимся частями одного потребителя (например, сети, идущие от здания к гаражу или сараю).

В этом случае питающую линию второго здания или сооружения разрешается рассматривать также как основную. Это означает, что заземленный в начале линии N-проводник повторно заземляется, превращаясь в PEN-проводник.

При этом пропадает потребность в PE-проводнике в сетях между зданиями или конструкциями. В каждом конкретном случае имеется возможность выбора между системами TN-C, TN-S или TN-C-S, или, другими словами, – возможность решения вопроса о необходимости изоляции от земли N-проводника со стороны нагрузки после разделения PEN-проводника. Использование PEN-проводника в питающей сети и недопущение дополнительных соединений с землей N-проводника во всех точках сети со стороны нагрузки в здании рекомендуется во всех случаях. Систему TN-S необходимо использовать там, где в сетях потребителя требуется УЗО-Д (GFCI в США). В США защита с помощью УЗО-Д применяется для штепсельных розеток в подвальных помещениях домов, гаражах, кухнях, ванных комнатах, наружных установках.

Практика использования заземленного нейтрального проводника питающей сети для заземления металлических корпусов кухонного оборудования (электрических плит) предприятий по приготовлению пищи и корпусов ЭО для сушки одежды берет свое начало со времен Второй мировой войны как следствие экономии меди за счет отказа от PE-проводника. За время эксплуатации системы TN-C на этих предприятиях было зарегистрировано сравнительно небольшое число случаев поражения электрическим током.

Можно считать, что в этих производствах, характеризуемых наличием симметричной трехфазной нагрузки, система TN-C выдержала испытание временем и потому ее применение разрешено.

На рис. 3.77 символом U_K обозначено напряжение PEN-проводника, обусловленное падением напряжения в PEN-проводнике при протекании тока короткого замыкания. Во всех случаях сеть системы TN обеспечивает определенную степень защиты от поражения электрическим током, вызванным пробоем изоляции фазных проводников на заземленные ОПЧ, ограничением U_K, а также отключением поврежденной ЭУ защитой от сверхтока.

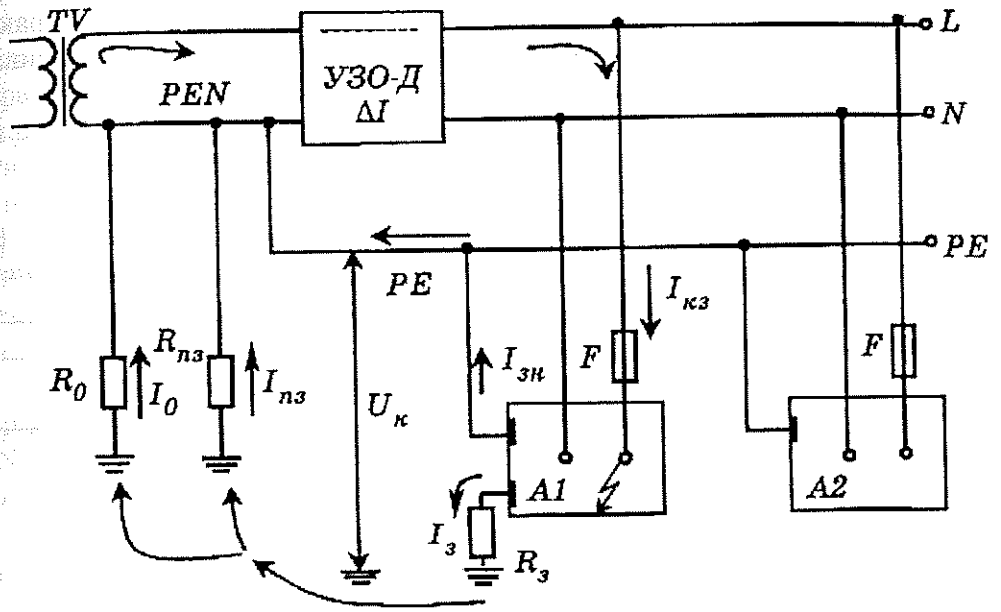


Рис. 3.77. Заземление ЭУ в однофазной электрической сети системы TN-C-S

Время-токовые характеристики устройства защиты от сверхтоков выбираются с учетом опасности перегрева проводников сети, вызываемого большими токами нагрузки в переходных режимах, а также с учетом пусковых токов двигателей.

Время-токовые характеристики устройства защиты от сверхтоков, как правило, выбираются без учета условий ЭБ, но, практика эксплуатации ЭУ показывает, что заземление оборудования в сочетании с устройством защиты от сверхтока может обеспечить необходимый уровень защиты от поражения электрическим током при аварийных режимах работы ЭУ.

Рассмотрим требования, предъявляемые к исполнению заземления в электрических сетях системы TN, которые соответствуют системам TN-C, TN-S и TN-C-S.

Нейтраль генератора, трансформатора на стороне до 1 кВ должна быть присоединена к заземляющему устройству при помощи специального искусственного заземляющего проводника (PE-проводника).

Сечение заземляющего проводника должно быть не менее указанного в табл. 3.8.5.

Использование нулевого рабочего проводника (N-проводника), идущего от нейтрали генератора или трансформатора на щит распределительного устройства, в качестве заземляющего проводника не допускается.

В качестве заземляющего устройства рекомендуется в первую очередь использовать железобетонные фундаменты производственных зданий и сооружений, если при этом обеспечиваются требования ЭБ, определяемые ГОСТ Р 50571.3–94 и ГОСТ Р 50571.10–96. В этом случае нейтраль трансформатора следует заземлять путем присоединения к металлической или железобетонной колонне здания или сооружения.

При отсутствии возможности использовать железобетонные фундаменты производственных зданий и сооружений должно быть выполнено искусственное заземляющее устройство в непосредственной близости от генератора или трансформатора. В отдельных случаях, например, для внутрицеховых подстанций, допускается сооружать заземляющее устройство около стены здания.

Все доступные прикосновению открытые проводящие части ЭУ должны быть присоединены к заземленной нейтральной точке источника питания посредством защитных проводников. Если нейтральной точки нет или она недоступна, должен быть заземлен фазный проводник, который запрещается использовать в качестве PEN-проводника.

Кроме указанных требований, необходимо учитывать следующее.

1. Если существуют другие точки связи с землей, рекомендуется защитные проводники также присоединять к этим точкам (повторное заземление).

2. В высотных зданиях повторное заземление защитных проводников практически невозможно. В этом случае аналогичную функцию выполняет система уравнивания потенциалов.

3. По той же причине рекомендуется заземлять защитные проводники на вводе в здания и помещения.

Таблица 3.8.5

Наименьшие размеры заземляющих и нулевых защитных проводников

Характеристики заземляющих и нулевых защитных проводников	Медь	Алюминий	Сталь		
			в зданиях	в наружных установках	в земле
Неизолированный проводник:					
сечение, мм^2	4	6	–	–	–
диаметр, мм	–	–	5	6	10
Сечение изолированного проводника, мм^2	1,5*	2,5	–	–	–
Сечение заземляющей и нулевой жил кабелей и многожильного провода в общей защитной оболочке с фазными жилами, мм^2	1,5*	2,5	–	–	–
Толщина полки из угловой стали, мм	–	–	2	2,5	40,1
Полосовая сталь:					
сечение, мм^2	–	–	24	48	48
диаметр, мм	–	–	3	4	4
Толщина стенки водопроводной трубы (стальной), мм	–	–	2,5	2,5	3,5
Толщина стенки тонкостенной трубы (стальной), мм	–	–	1,5	2,5	Не допускается

* При прокладке проводов в трубах сечение нулевых защитных проводников допускается применять равным 1 мм^2, если фазные проводники имеют то же сечение

В стационарных ЭУ функции защитного и нулевого рабочего проводов можно совместить в одном проводнике (PEN) при условии выполнения следующих требований:

– его сечение не менее 10 мм^2 по меди или 16 мм^2 по алюминию, и рассматриваемая часть ЭУ не защищена устройствами защитного отключения, реагирующими на дифференциальные токи;

– нулевой рабочий и нулевой защитный проводники разделены, начиная с какой-либо точки сети, при этом запрещается их объединять за этой точкой. В точке разделения необходимо предусмотреть раздельные зажимы или шины нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. PEN-проводник, совмещающий функции рабочего и защитного, должен подключаться к зажиму, предназначенному для защитного проводника.

СПЧ не могут быть использованы в качестве единственного PEN-проводника. В цепи PEN-проводника допускается устанавливать выключатели, которые одновременно с отключением PEN-проводника отключают все находящиеся под напряжением проводники.

Кроме того, допускается использование PEN-проводников осветительных линий для защитного зануления ЭО, питающегося по другим линиям, если все указанные линии питаются от одного трансформатора, их проводимость удовлетворяет требованиям данной главы и исключена возможность отсоединения PEN-проводников во время работы других линий. В таких случаях не должны применяться выключатели, отключающие PEN-проводники вместе с фазными.

В местах, где неизолированные PE- и PEN-проводники могут образовывать электрические пары или возможно повреждение изоляции фазных проводников в результате ис-

крения между неизолированным PE- или PEN-проводником и ОПЧ или СПЧ, например, при прокладке проводов в трубах, коробах, лотках, PE- и PEN-проводники должны иметь изоляцию, равноценную изоляции фазных проводников.

Не допускается использование PEN-проводников для питания ЭП однофазного тока. В этом случае в качестве нулевого рабочего проводника (N-проводника) должен быть использован отдельный третий проводник, присоединенный к PEN-проводнику в ответвительной коробке, низковольтном комплектном устройстве.

В сетях системы TN-S могут использоваться устройства защиты от сверхтока и устройства, реагирующие на дифференциальный ток. В сетях системы TN-C, как уже было рассмотрено, устройства защиты, реагирующие на дифференциальный ток, применяться не должны.

При применении устройств защиты, реагирующих на дифференциальный ток, в сетях системы TN-C-S запрещается использовать PEN-проводник на стороне нагрузки.

Присоединение защитного проводника к PEN-проводнику должно осуществляться на стороне источника питания по отношению к устройству защиты, реагирующему на дифференциальный ток.

Когда устройство защиты, реагирующее на дифференциальный ток, используют для автоматического отключения цепи вне зоны действия основной системы уравнивания потенциалов, ОПЧ не должны быть связаны с сетью системы TN, но защитные проводники должны присоединяться к заземлителю, имеющему сопротивление, обеспечивающее срабатывание этого устройства.

Вне зоны действия основной системы уравнивания потенциалов могут использоваться и такие защитные меры как питание через разделяющий трансформатор и применение дополнительной изоляции.

Характеристики устройств защиты и полное сопротивление цепи «фаза-нуль» (в случае, когда сопротивлением в месте замыкания можно пренебречь) должны обеспечивать при замыкании на ОПЧ автоматическое отключение питания в пределах нормированного времени.

Это требование выполняется при соблюдении следующего условия:

$$Z_S I_A > U_0,$$

где Z_S – полное сопротивление цепи «фаза-нуль»;

I_A – ток, меньший тока замыкания, вызывающий срабатывание устройства защиты за время, являющееся функцией номинального напряжения U_0 (табл. 3.8.6);

U_0 – номинальное напряжение (действующее значение) между фазой и землей.

В том случае, если U_0 принимает промежуточное значение, берется следующее, более высокое значение номинального напряжения.

Предельно допустимые времена отключения, приведенные в табл. 3.8.6, обеспечивают ЭБ сетей, питающих передвижные или переносные ЭП класса I, как посредством штепсельных розеток, так и без них. Для рассматриваемых распределительных сетей время отключения ЭУ устройствами защиты не должно превышать 5 с.

Таблица 3.8.6

Предельно допустимые времена отключения для системы TN

U_0, В	Время отключения t, с
127	0,8
220	0,4
280	0,2
Более 380	0,1

Превышение значений времени отключений ЭУ более указанных в табл. 3.8.6, но не более 5 с допускается только для распределительной сети, питающей стационарные ЭУ, и только при условии выполнения одного из следующих требований:

– полное сопротивление защитного проводника между распределительным щитом и точкой присоединения защитного проводника к основной системе уравнивания потенциалов не превышает

$$50\ Z_S/U_0,\ \text{Ом};$$

– наличие уравнивающей связи распределительного щита с основной системой уравнивания потенциалов.

В качестве PEN-проводника между нейтралью и щитом распределительного устройства следует использовать: при выводе фаз шинами – шину на изоляторах, при выводе фаз кабелем (проводом) – жилу кабеля.

Допускается использование в качестве PEN-проводника алюминиевой оболочки кабеля при выводе фаз кабелем с алюминиевой оболочкой и кожуха шинопровода при выводе фаз комплектным шинопроводом.

Проводимость PEN-проводника, идущего от нейтрали генератора или трансформатора, должна быть не менее 50 % проводимости вывода фаз.

Изоляция PEN-проводников должна быть равноценна изоляции фаз, за исключением тех случаев, когда в качестве PEN-проводников используются алюминиевые оболочки кабелей, оболочки и опорные конструкции шинопроводов, а также ОПЧ и СПЧ.

Если при использовании устройств защиты от сверхтока сформулированные условия (см. табл. 3.8.6) не выполняются, должно применяться дополнительное уравнивание потенциалов. В качестве альтернативы уравниванию потенциалов для защиты может использоваться устройство защитного отключения, реагирующее на дифференциальный ток.

В случаях замыкания фазного проводника на землю, например, в воздушных линиях электропередач, для того, чтобы потенциал защитного проводника и связанных с ним ОПЧ не превышал установленного значения 50 В, должно выполняться следующее соотношение:

$$R_З/R_{ЗС} \geq 50/(U_0 - 50),$$

где $R_З$ – суммарное сопротивление всех заземлителей, соединенных параллельно;

$R_{ЗС}$ – минимальное сопротивление заземлителя СПЧ, не присоединенных к защитному проводнику и оказавшихся в цепи замыкания фазы на землю;

U_0 – номинальное действующее значение фазного напряжения.

При этом сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтрали генератора или трансформатора или выводы источника однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей, а также заземлителей повторных заземлений PEN-проводника ВЛЭП до 1000 В при количестве отходящих линий не менее двух. При этом сопротивление заземлителя, расположенного в непосредственной близости от нейтрали генератора или трансформатора или вывода источника однофазного тока, должно быть не более 15, 30 и 60 Ом. При линейных напряжениях соответственно 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

При удельном сопротивлении горной породы ρ более 100 Ом·м допускается увеличивать допустимые нормы в 0,01 ρ раз, но не более чем в десять раз.

На ВЛЭП защитное зануление должно быть осуществлено PEN-проводником, проложенным на тех же опорах, что и фазные провода. На концах ВЛЭП (или ответвлений от них) длиной более 200 м, а также на вводах от ВЛЭП к электроустановкам, которые подлежат защитному занулению, должны быть выполнены повторные заземления PEN-проводника. При этом, в первую очередь, следует использовать естественный заземлитель, например, подземные части опор, а также заземляющие устройства, выполненные для защиты от грозовых перенапряжений.

Повторные заземления PEN-проводника в сетях постоянного тока должны быть осуществлены при помощи отдельных искусственных заземлителей, которые не должны иметь металлических соединений с подземными трубопроводами.

Общее сопротивление растеканию тока с заземлителей (в том числе естественных) всех повторных заземлений PEN-проводника каждой ВЛЭП в любое время года должно быть не более 5, 10 и 20 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380 и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока. При этом сопротивление растеканию тока с заземлителя каждого из повторных заземлений должно быть не более 15, 30 и 60 Ом соответственно при тех же напряжениях.

При удельном сопротивлении земли ρ более 100 Ом·м допускается увеличивать указанные нормы в 0,01 ρ раз, но не более чем в десять раз.

Особенности заземления электроустановок в электрических сетях системы ТТ

Электрическая сеть системы ТТ заземляется у источника питания. Для защиты от повреждения могут быть использованы устройства защиты от сверхтока или УЗО, несмотря на то, что у них различны чувствительность к ненормальным режимам и принцип работы.

Устройство защиты от сверхтока должно быть способно длительно пропускать номинальный ток. В случае повреждения оно должно отключать цепь за время, не превышающее нескольких секунд. Для этого значение тока повреждения должно значительно превосходить значение номинального тока.

Защитно-отключающие устройства чувствительны к весьма небольшим разностям токов в проводниках, питающих нагрузку. Разность токов в фазном и нулевом проводнике возникает при повреждении, когда имеются утечки тока на землю.

При нормальном режиме работы и при отсутствии утечек тока разность токов может быть равна нулю. Однако на практике установившийся разностный ток в обычной электрической сети, не имеющей повреждения, может достигать нескольких миллиампер. Требования, предъявляемые к устройствам защитного отключения, предусматривают чувствительность к малым разностным токам, отсутствие ложных срабатываний и надежность.

На рис. 3.78 изображена электрическая сеть системы ТТ с устройством защиты от сверхтока. В результате короткого замыкания ТВЧ электроустановки А1 электрически связаны с доступными прикосновению ОПЧ. Ток замыкания стекает в землю через $R_З$ и возвращается к источнику питания через ЗУ с сопротивлениями $R_{ПЗ}$ и R_0.

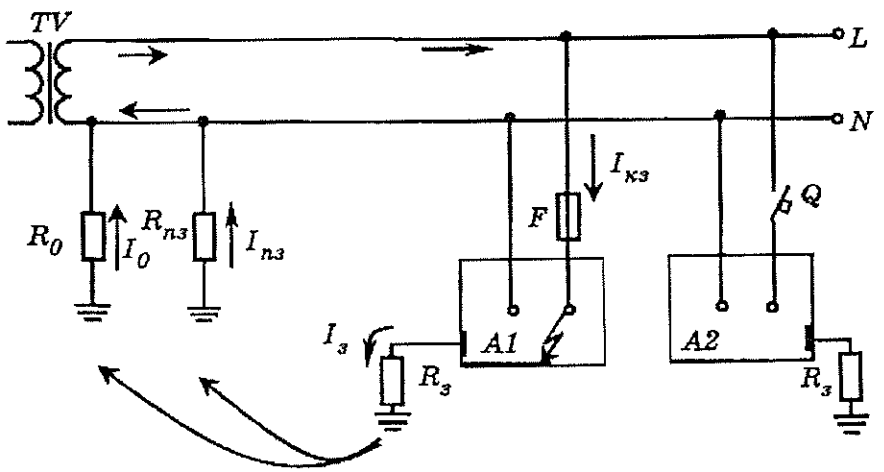


Рис. 3.78. Однофазная электрическая сеть системы ТТ с защитным заземлением и защитой от сверхтока

Для срабатывания устройства защиты от сверхтока при замыкании на корпус ЗУ необходимо, чтобы сопротивление цепи обратного тока (ЦОТ) от корпуса к земле и далее к источнику питания, было меньше или равно

$$R_{ЦОТ} \le U_{ПР.Д}/I_{КЗ},$$

где $U_{ПР.Д}$ – предельно допустимое напряжение на ОПЧ;

$R_{ЦОТ}$ – сопротивление цепи обратного тока;

$I_{КЗ}$ – ток короткого замыкания.

Приведенное выше выражение определения $R_{ЦОТ}$ должно выполняться для времени большего, чем время срабатывания устройств защиты от сверхтока. В противном случае может оказаться, что прикосновение к ОПЧ в период короткого замыкания будет опасным.

Для устойчивого срабатывания устройства защиты от сверхтока и для того чтобы иметь время срабатывания в пределах нескольких секунд, ток замыкания должен в несколько раз превышать значение уставки устройства.

Достаточно эффективно применение УЗО в рассматриваемых электрических сетях. Устройства защитного отключения УЗО-Д имеют дифференциальный ток уставки не более 0,5 А, что позволяет быстро отключать поврежденную ЗУ, несмотря на большое сопротивление ЦОТ, и следовательно, малый ток $I_{КЗ}$.

На рис. 3.79 изображена электрическая сеть системы ТТ и показана связь защитного заземления с УЗО-Д при коротком замыкании фазного провода на корпус (ОПЧ) электроустановки А1. Ток замыкания $I_З$ протекает через защитный повторный и рабочий заземлители и возвращается к источнику питания. В рассматриваемом случае ток замыкания протекает через УЗО-Д, которое срабатывает, если ΔI превышает его уставку.

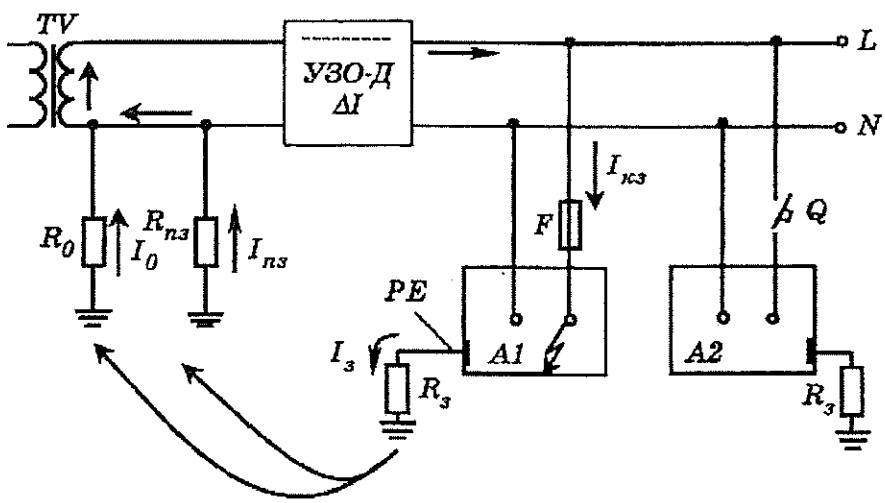


Рис. 3.79. Совместная работа защитного заземления и УЗО в однофазной сети системы ТТ

Для снижения опасности поражения электрическим током необходимо, чтобы сопротивление цепи протекания тока (ЦПТ) замыкания было как можно меньше или равно

$$R_{ЦПТ} \le U_{ПР.Д}/\Delta I_{УЗО},$$

где $R_{ЦПТ}$ – сопротивление цепи протекания тока замыкания;

$U_{ПР.Д}$ – предельно допустимое напряжение на ОПЧ;

$\Delta I_{УЗО}$ – ток уставки УЗО-Д.

Как и в предыдущем случае, при рассмотрении срабатывания защиты от сверхтока, $I_З$ в рассматриваемом случае равен

$$I_З = \frac{U_ф}{R_{ЗП} + R_З + R_Э};\ R_Э = \frac{R_0 R_{ЗП}}{R_0 + R_{ЗП}},$$

где $R_{ЗП}$ – сопротивление защитного проводника (РЕ);

$R_Э$ – эквивалентное сопротивление рабочего и повторного заземлений НРП.

Необходимо отметить, что $R_{ЦПТ}$ бывает значительно меньше критического значения, необходимого для срабатывания УЗО-Д.

В электрической сети системы ТТ нулевой рабочий проводник должен быть заземлен в нескольких точках между источником питания (трансформатором) и ЭУ потребителя. Поэтому сопротивление растеканию тока с заземлителей, связанных с НРП, мало. Напряжение на нулевом рабочем проводнике при протекании тока нагрузки от фазного проводника по N-проводнику остается низким (приблизительно 20 В) по отношению к условной земле. Однако напряжение на РЕ-проводнике (и на всех частях, связанных с ним) по отношению к условной земле может быть высоким (приблизительно 200 В), когда ток замыкания протекает через заземляющие проводники, связывающие РЕ-проводник и заземляющее устройство ЭУ потребителя.

На рис. 3.80 представлены возможные случаи замыкания питающих проводов на ОПЧ (корпус) ЭУ потребителя с заземлителем для УЗО-Д. Как правило, сопротивление указанного заземлителя $R_З$ больше, чем сопротивление других элементов, входящих в цепь протекания тока замыкания $I_З$, которое вызывает напряжение на ОПЧ относительно земли, приблизительно равное фазному напряжению сети.

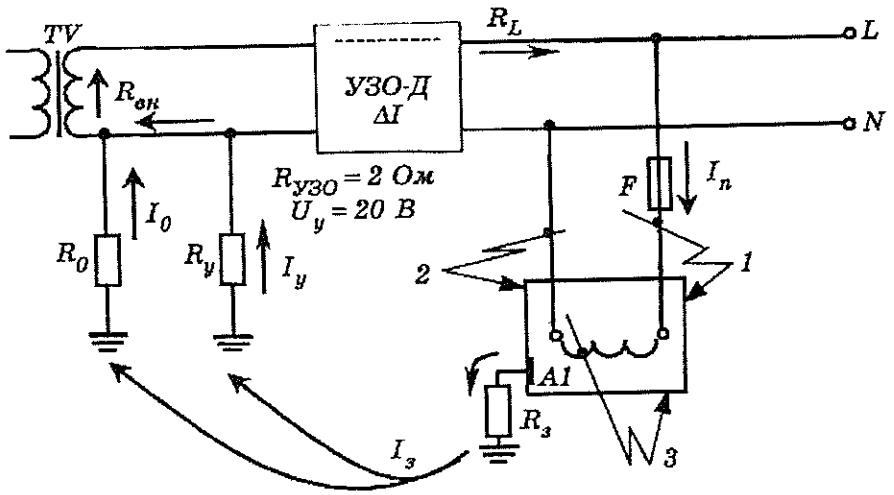


Рис. 3.80. Возможные случаи коротких замыканий электроустановки А1, питающейся от однофазной электрической сети системы ТТ:
1 – повреждение изоляции между фазным проводником и РЕ-проводником; 2 – повреждение изоляции между НРП и РЕ-проводником; 3 – повреждение изоляции внутри ЭУ потребителя; $R_У$ – сопротивление заземлителя для УЗО-Д; $R_З$ – сопротивление защитного заземления; R_L – сопротивление фазного проводника; $R_{ВН}$ – внутреннее сопротивление обмотки ЭУ

Более низким напряжение будет в следующих случаях:

– если фазное напряжение распределяется пропорционально сопротивлению обмотки (внутреннему сопротивлению) ЭУ потребителя и сопротивлению растекания тока с ЗУ – $R_З$ этой ЭУ (рис. 3.80, 3);

– если повреждение изоляции развивается медленно, вызывая медленное увеличение тока замыкания. Однако практика показывает, что подобные случаи маловероятны.

Рассмотрим, какой будет величина напряжения повреждения при замыканиях, представленных на рис. 3.80:

1) при повреждении изоляции между фазным проводником и РЕ-проводником, напряжение повреждения $U_П$ достигает 200 В;

2) при повреждении изоляции между НРП и РЕ-проводником, напряжение повреждения $U_П$ не будет превышать 20 В;

3) при повреждении изоляции внутри ЭУ потребителя (нагревательные элементы, обмотки двигателей и т.д.) величина напряжения повреждения $U_П$ определяется местом повреждения и может изменяться от 0 до 200 В при $U_Ф = 220$ В.

Появление тока повреждения может проходить по трем возможным направлениям:

1) повреждение изоляции – металлический контакт между ТВЧ и РЕ-проводником или проводящими частями, связанными с РЕ-проводником;

2) перенапряжение в сети – дуговое перекрытие ТВЧ с проводящими частями;

3) снижение сопротивления изоляции – утечки токов, развивающееся по поверхности изоляции.

В первом и втором случаях ток повреждения возрастает мгновенно. В третьем случае ток утечки остается очень малым (значительно ниже одного ампера) до тех пор, пока не произойдет пробой.

Особенности заземления электроустановок в электрических сетях системы IT

В ЭС системы IT источник питания изолирован от земли или соединен с землей через большое сопротивление или воздушный промежуток. ОПЧ электроприемника связаны с землей посредством заземляющего устройства. Не существует электрических сетей, расположенных вблизи от земли, которые можно было бы считать абсолютно изолированными от нее. В действительности, между землей и различными ТВЧ, включая провода, кабельные линии электропередачи и связанное с ними ЭО, имеются утечки токов через активную и емкостную составляющие сопротивления изоляции фаз относительно земли.

Если сопротивления между каждым из фазных проводников и землей равны между собой, то напряжения между каждым проводником и землей также будут равны между собой. Например, напряжение между каждым фазным проводником и землей в трехфазной электрической сети системы IT, симметрично нагруженной с линейным напряжением 230 В, измеренное вольтметром с большим внутренним сопротивлением, будет находиться в пределах от 110 до 160 В.

Как правило, в ЭС системы IT сравнительно небольшой протяженности сопротивление между фазным проводником и землей составляет несколько сотен кОм за счет емкости сети. Если между одним из фазных проводников электрической сети системы IT и землей в результате повреждения изоляции возникает глухое замыкание на землю, напряжение между этим проводником и землей практически падает до нуля.

В то же время напряжение двух других фазных проводников в ЭС системы IT возрастает практически до величины линейного напряжения.

На рис. 3.81 представлена ЭС системы IT при нормальном режиме работы и при аварийном режиме, когда одна из фаз (L_3) замкнута на землю через $L_{3M} = 0$. На векторных диаграммах рис. 3.81, *б* и 3.81, *в* изображены векторы напряжения фаз относительно земли при нормальном режиме работы сети и при однофазном замыкании на землю.

При нормальном режиме работы сети напряжения фазных проводников относительно земли по модулю практически равны. В идеальном случае, когда сеть нагружена симметрично, напряжение между каждой фазой и землей будет равно

$$U_{\phi 3} = \frac{U_л}{\sqrt{3}}.$$

В случае однофазного глухого замыкания фаза С приобретает потенциал земли, а напряжение двух других фаз становится равным линейному напряжению.

При возникновении однофазного замыкания под действием линейных напряжений, приложенных к двум другим фазным проводникам, через замкнутые контуры, образованные емкостной проводимостью между фазными проводниками и землей, будет протекать ток, значение которого для относительно коротких линий составляет несколько миллиампер, а для протяженных линий – несколько ампер.

Необходимо иметь в виду, что однофазные замыкания в ЭС системы IT возникают часто и могут оставаться незамеченными достаточно долго, поскольку ток замыкания не достигает значения тока уставки устройства защиты от сверхтока.

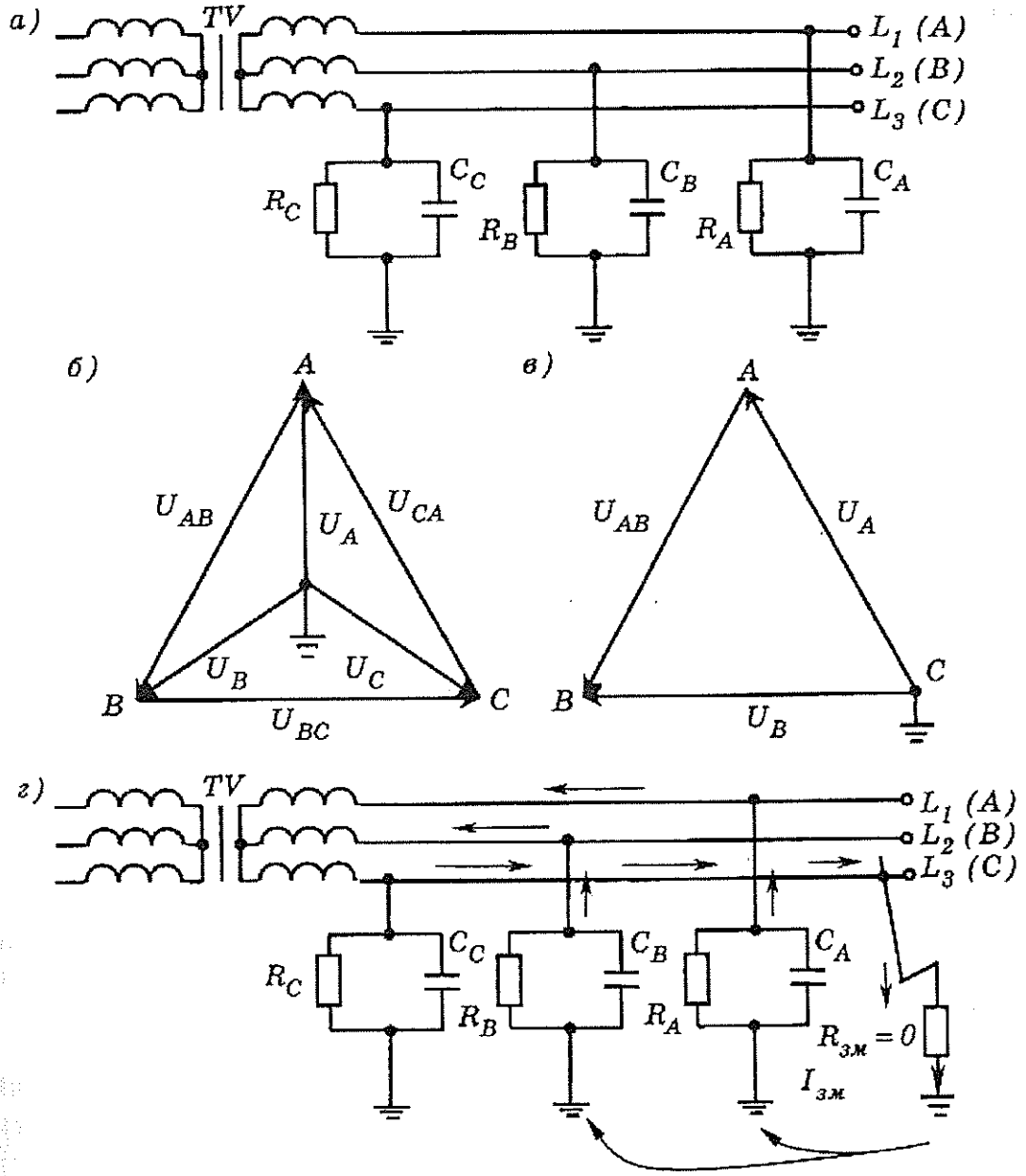


Рис. 3.81. Трехфазная трехпроводная ЭС системы IT:
а – электрическая схема сети IT при нормальном режиме работы; б – векторная диаграмма напряжений при нормальном режиме работы сети; в – векторная диаграмма напряжений при аварийном режиме работы сети; г – электрическая схема работы сети IT при аварийном режиме работы сети – замыкание фазы L_3 на землю через малое сопротивление $R_{ЗМ} = 0$

Если все доступные проводящие части заземлены, опасности нет. Проводник поврежденной фазы и все доступные проводящие части имеют потенциал земли.

При длительном протекании тока замыкания возможны замыкания и другого фазного проводника на землю, однако на практике такие случаи достаточно редки. Чаще всего от перенапряжений возможно замыкание и другого фазного проводника на корпус и через защитное заземление на землю, тогда ток замыкания будет протекать через оба повреждения последовательно. Если оба повреждения произошли в пределах одной эквипотенциальной системы, ток замыкания будет протекать по защитным проводникам оборудования. В этом случае ток замыкания будет достаточным для срабатывания устройства защиты от сверхтока.

На рис. 3.82 представлен аналогичный случай, когда оборудование связано защитным проводником и ток замыкания не протекает на землю через заземляющее устройство с сопротивлением $R_{зу}$.

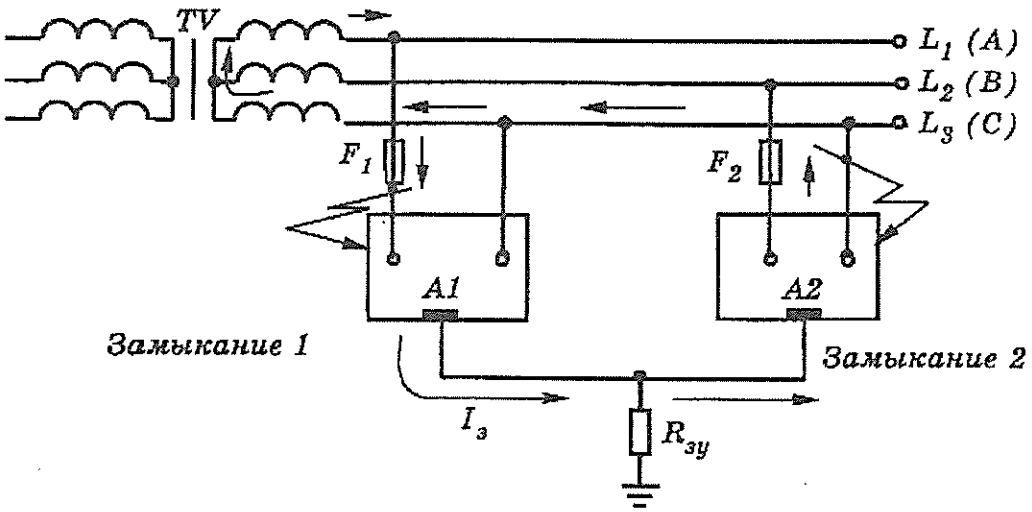


Рис. 3.82. Двойное замыкание в трехфазной трехпроводной электрической сети системы IT (корпуса ЭУ соединены между собой PE-проводником и заземлены на общее ЗУ с сопротивлением $R_{зу}$)

Другая ситуация возникает, когда каждая ЭУ имеет свое ЗУ с сопротивлением $R_{з1}$ и $R_{з2}$ и отсутствует заземляющий проводник, связывающий корпуса поврежденных ЭУ (рис. 3.83).

В этом случае ток замыкания протекает через заземляющие проводники и заземлители в землю. Эти заземляющие устройства могут иметь сопротивление не менее нескольких десятков Ом каждое.

Напряжение между двумя частями поврежденного оборудования и между каждой частью оборудования и землей может значительно превышать предельно допустимые значения с учетом времени срабатывания защиты. Напряжение между двумя частями поврежденного оборудования равно линейному напряжению.

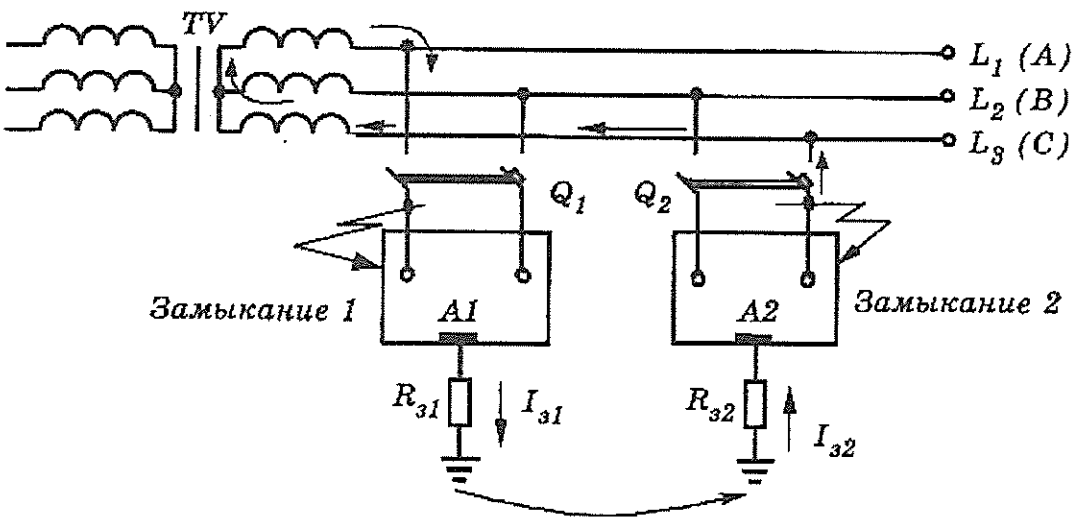


Рис. 3.83. Двойное замыкание в трехфазной трехпроводной электрической сети системы IT (корпуса ЭУ заземлены на индивидуальные ЗУ с сопротивлениями $R_{з1}$ и $R_{з2}$)

Если например, линейное напряжение равно 230 В и сопротивление заземляющих устройств $R_{з1} = 12$ Ом и $R_{з2} = 8$ Ом, общий ток замыкания в цепи повреждения

$$I_{з\Sigma} = \frac{U_л}{R_{з1} + R_{з2}} = 230/20 = 11{,}5 \text{ А}.$$

Напряжение на ОПЧ электроустановок А1 и А2 составляет 138 В и 92 В, соответственно. В случае прикосновения человека к корпусам ЭУ А1 или А2 ток, проходящий через его тело может быть смертельно опасным.

Электрические сети системы IT большой протяженности более опасны в эксплуатации, так как в них большое значение имеет емкость фаз относительно земли, а значит и полное сопротивление $Z_Ф$ будет недостаточным, чтобы уменьшить ток, проходящий через тело человека, до безопасных значений.

Даже при нормальном режиме работы электрической сети имеются утечки тока через активную и емкостную проводимости фаз относительно земли. Если все фазные проводники имеют равную активную и емкостную проводимости относительно земли, то токи утечки на землю всех фазных проводников имеют равную величину.

Поскольку активная составляющая тока утечки намного меньше емкостной, то активной составляющей можно пренебречь и результирующий ток утечки $I_{УТ}$ может быть рассчитан по формуле

$$I_{УТ} = U_Ф \omega C \text{ или } I_{УТ} = \frac{1}{\sqrt{3}} U \omega C, \text{ так как } R_Ф >> \frac{1}{\omega C},$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота;

U – линейное напряжение сети;

$U_Ф$ – фазное напряжение сети;

C – емкость фазных проводников относительно земли;

$R_Ф$ – сопротивление фазных проводников.

Когда в симметрично нагруженной ЭС системы IT возникает повреждение изоляции одного из фазных проводников, то напряжение на нем становится близким к нулю.

Напряжение двух других проводников относительно земли возрастает в $\sqrt{3}$ раз и становится равным линейному напряжению. Однако, одного повреждения недостаточно, для того чтобы ток замыкания $I_{ЗМ}$ достиг величины тока уставки защиты от сверхтока, так как цепь протекания $I_{ЗМ}$ имеет большое сопротивление.

Полный ток замыкания на землю равен векторной сумме токов утечки неповрежденных фаз и может быть определен по формуле

$$I_{ЗМ} = \sqrt{3} U \omega C,$$

где C – емкость относительно земли проводников и ЭО, подключенного к ним (табл. 3.8.7).

Современные установки с электрическим обогревом пола часто имеют несколько сотен метров нагревательных элементов. Емкость на землю этих элементов составляет 0,3 мкФ/км. Сегодня в современном коттедже емкость фазы на землю составляет несколько десятков микрофарад.

Например, в ЭС системы IT с линейным напряжением 230 В, имеющей емкость «фаза-земля» 0,3 мкФ, произошло замыкание одного из фазных проводников на землю. В этом случае ток замыкания на землю будет равен

$$I = \sqrt{3} \cdot 230 \omega C; \quad I = \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}3 \cdot 10^{-6}; \quad I = 37{,}5 \text{ мА}.$$

В рассматриваемом случае замыкание одной из фаз линии, питающей потребитель, будет вызывать срабатывание УЗО-Д с током уставки 30 мА, при этом ток протекает по цепи от питающего трансформатора через УЗО-Д – неповрежденные фазные проводники – емкостную проводимость этих проводников относительно земли на землю и далее, минуя УЗО-Д, через поврежденную изоляцию фазного проводника к питающему трансформатору.

Отключение источника питания, вызванное этим повреждением, нежелательно для сети потребителя, поскольку замыкание на землю одной из фаз питающей сети позволяет продолжать электропитание потребителей, так как от таких сетей питаются, как правило, потребители, не допускающие перерыва в электропитании и требующие высокой защищенности от поражения электрическим током.

Опыт эксплуатации ЭС системы IT в Норвегии подтверждает изложенное выше. В частности, после установки УЗО-Д частота нежелательных отключений при однофазных замыканиях резко возросла (рис. 3.84). Более того, перенапряжения, вызываемые молнией и коммутацией, могут вызывать протекание емкостных токов, амплитуды которых в несколько раз превышают токи, обусловленные рабочим напряжением системы.

В рассматриваемых сетях достаточно часто для защиты при повреждении используется защитное отделение (ЗОт) (электрическое разделение сетей). Защитное отделение способ защиты, при котором оборудование питается от вторичной обмотки разделяющего трансформатора, полностью изолированной от питающей первичной цепи, и проводники вторичной цепи не заземлены.

Таблица 3.8.7

Емкость по отношению к земле электрооборудования

Оборудование	Емкость па землю C, пФ
Персональный компьютер	23,3
Принтер	11,0
Стиральная машина	5,4
Посудомоечная машина	11,5
Микроволновая печь	17,0
Холодильник	1,6
Кухонный комбайн	10,7

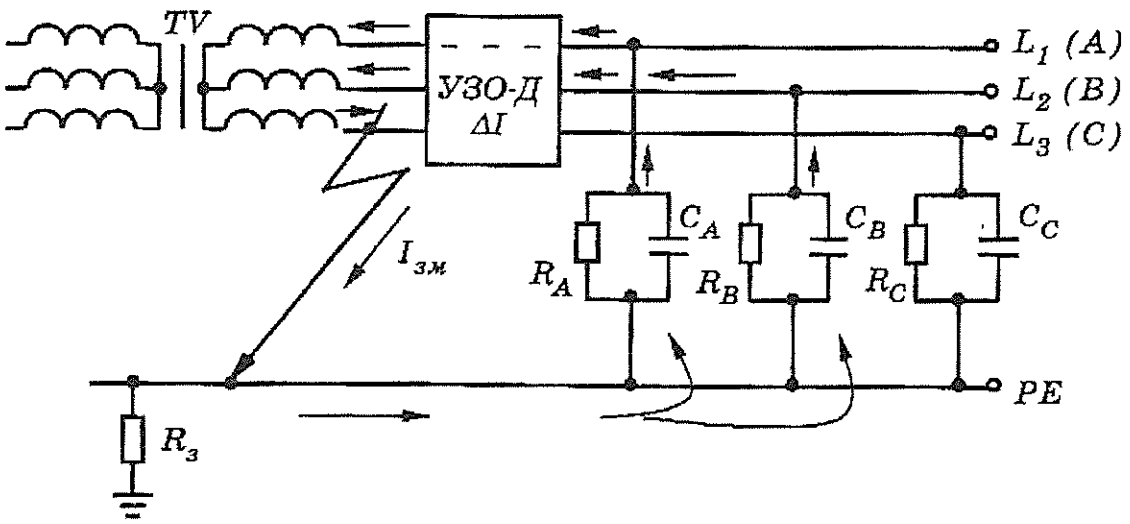


Рис. 3.84. Трехфазная четырехпроводная электрическая сеть системы IT с УЗО-Д, показывающая нежелательное срабатывание УЗО-Д

ЗОт широко используется для защиты электрических сетей сравнительно небольшой протяженности для одного или, реже, нескольких электроприемников. ЗОт обеспечивает защиту от электрического удара в случае прямого контакта отделенной цепи с ТВЧ и в случае повреждения изоляции.

Защита от электрического удара с помощью защитного отделения обеспечивается только при условии, что связь с землей отделенной цепи отсутствует. Повреждение изоляции проводников и оборудования может вызвать непреднамеренную связь с землей.

Активная и емкостная проводимости между отделенной цепью и землей должны быть достаточно малы, чтобы при прямом контакте ток, проходящий через тело человека, не был смертельным. При величине тока ниже 30 мА возникновение вентрикулярной фибрилляции маловероятно.

Сопротивление тела человека, касающегося ТВЧ или ОПЧ поврежденного оборудования, включено последовательно с сопротивлением проводника сети относительно земли ($R_\Phi \geq 0{,}5$ МОм), что существенно снижает протекающий через тело человека ток.

Оценка предельно допустимой длины отделенной электрической цепи должна учитывать предельно допустимый ток, протекающий при прикосновении. Если в качестве предельно допустимого тока принять 30 мА, то для изолированной вторичной однофазной цепи, питаемой напряжением 230 В, наименьшее допустимое полное сопротивление в цепи тока должно быть 8 кОм. В том случае, когда возникает вопрос о безопасности существующей отделенной сети, должны быть выполнены прямые измерения тока прикосновения между изолированной цепью и заземленными проводящими частями. Если доступные прикосновению ОПЧ отсутствуют, может быть использована расположенная на полу металлическая пластина размером 25х25 см^2. Сеть может считаться безопасной, если ток прикосновения, измеренный низкоомным амперметром, не превышает 30 мА.

На рис. 3.85 схематично показано защитное отделение и измерение тока прикосновения. Для защиты амперметра используется резистор, имеющий диапазон сопротивления от 5 до 100 кОм. При определенных условиях нежелательно, а в ряде случаев опасно отключать питание потребителя. Например, внезапное отключение насоса на химическом предприятии может привести к производственной аварии.

В тех случаях, когда необходимо поддерживать постоянное питание ЭП, может быть использован непрерывный контроль изоляции установки (защитный мониторинг изоляции). Если при этом произойдет замыкание одной из фаз на землю, защита сработает на сигнал. Насосы будут продолжать работать до тех пор, пока это необходимо по условиям безопасности. В протяженных промышленных сетях, питающихся от одного трансформатора, токи прикосновения, даже при нормальных условиях, могут достигать опасных значений из-за возможных случайных активных и емкостных утечек. Поэтому для сетей большой протяженности не следует применять систему IT.

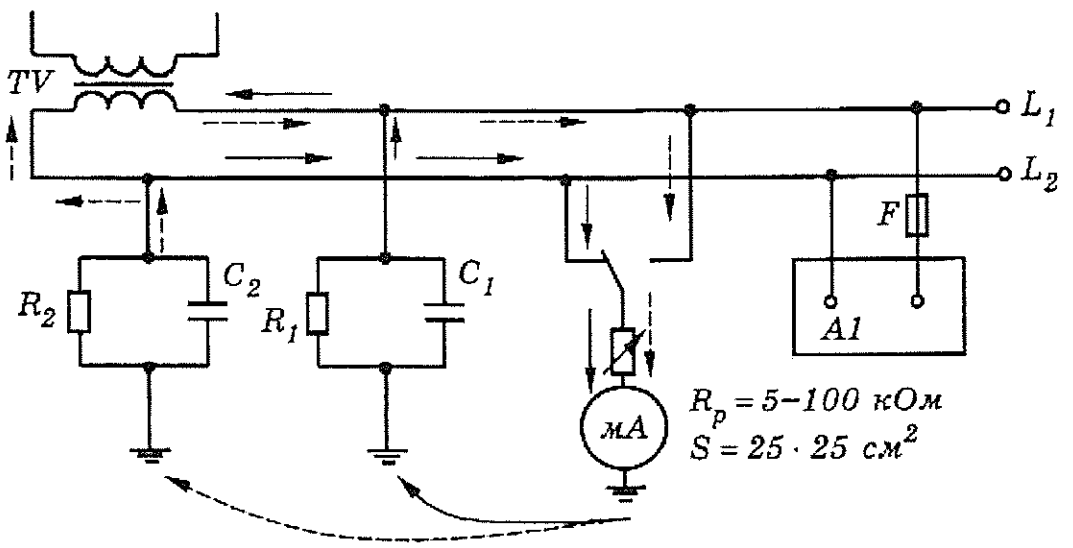


Рис. 3.85. Однофазная электрическая сеть системы IT с защитным отделением и контролем изоляции фаз относительно земли

Одиночное повреждение изоляции однофазного проводника не вызывает срабатывания устройства защиты от сверхтока и питание потребителя не прерывается. Если нагрузка не допускает внезапного отключения питания, первое повреждение должно быть обнаружено как можно за более короткое время. С этой целью часто используются различные устройства непрерывного контроля изоляции между фазными проводниками и землей, срабатывающие на сигнал, если сопротивление изоляции опускается ниже предельно допустимого уровня.

Глава 4. РАСЧЕТЫ И ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

4.1. Расчет электрических нагрузок

Как правило, расчет электрических нагрузок выполняют при проектировании систем электроснабжения (СЭС), однако в последнее время все чаще приходится выполнять расчеты и в процессе эксплуатации. Такие расчеты требуют энергоснабжающие предприятия при расширении производства, проведении реконструкции и т.п.

От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты на систему электроснабжения, эксплуатационные расходы, надежность работы электрооборудования.

Анализ режимов работы СЭС проводится при условии, что потребители электроэнергии (отдельный приемник электроэнергии, группа приемников, отдельное помещение или сооружение в целом) рассматривается в качестве нагрузок. Различают следующие виды нагрузок: активную мощность P, реактивную мощность Q, полную мощность S и ток I.

Рассмотрим основные характеристики электрических нагрузок.

Основные характеристики электрических нагрузок.

Режимы работы приемников электроэнергии разнообразны и изменяются во времени. Для характеристики потребляемой мощности пользуются следующими понятиями приведенными ниже.

1. *Номинальная активная мощность приемника электроэнергии* – это мощность, указанная на заводской табличке или в паспорте приемника электроэнергии (для источника света – на колбе или цоколе), при которой приемник электроэнергии должен работать.

Применительно к многодвигательным приводам, исключая крановые установки, под термином «приемник электроэнергии» следует понимать весь агрегат в целом, а под его номинальной мощностью – сумму номинальных мощностей всех его электродвигателей (приведенных к продолжительности включения ПВ = 1). Для крановых установок под термином «приемник электроэнергии» следует понимать электропривод каждого механизма, включая механизмы, приводимые двумя двигателями.

Для приемников повторно-кратковременного режима (ПКР) работы номинальную мощность определяют по паспортной мощности путем приведения ее к длительному режиму работы (ПВ = 1) в соответствии с формулами:

для электродвигателей $P_{НОМ} = P_{ПАС}\sqrt{ПВ_{ПАС}}$; для трансформаторов $S_{НОМ} = S_{ПАС}\sqrt{ПВ_{ПАС}}$,

где $P_{ПАС}$, кВ; $S_{ПАС}$, кВА; $ПВ_{ПАС} = \dfrac{t_В}{t_В + t_П} = \dfrac{t_В}{T_Ц}$ – паспортная продолжительность включения в долях единицы; $t_В$ – период, в течение которого приемник подключен к сети за цикл длительностью $T_Ц$; $t_П$ – продолжительность паузы в цикле.

2. Под *номинальной реактивной мощностью приемника электроэнергии* понимают реактивную мощность, потребляемую им из сети (знак плюс) или отдаваемую в сеть (знак минус) при номинальной активной мощности и номинальном напряжении.

Для синхронных двигателей дополнительно к указанным выше условиям предусматривают номинальный ток возбуждения или номинальный коэффициент мощности.

Паспортную реактивную мощность $Q_{ПАС}$ приемников ПКР аналогично активной мощности приводят к длительному режиму (ПВ = 1) по формуле

$$Q_{НОМ} = Q_{ПАС}\sqrt{ПВ_{ПАС}}\,.$$

3. *Номинальную мощность* (активную $P_{НОМ}$ и реактивную $Q_{НОМ}$) *группы приемников* определяют как алгебраическую сумму номинальных мощностей отдельных приемников, приведенных к ПВ = 1:

$$P_{НОМ}=\sum_{i=1}^{n} p_{НОМ,i}\,;\; Q_{НОМ}=\sum_{i=1}^{n} q_{НОМ,i}\,.$$

4. Для характеристики переменной нагрузки приемников электроэнергии за рассматриваемый интервал времени определяют средние нагрузки. *Средние активную и реактивную мощности приемника* за интервал времени определяют из выражений

$$P_{СР}=\frac{\int_0^t pdt}{t}\,;\; q_{СР}=\frac{\int_0^t qdt}{t}\,.$$

Средняя (активная или реактивная) мощность группы приемников представляет собой алгебраическую сумму средних мощностей отдельных приемников, входящих в данную группу:

$$P_{СР}=\sum_{i=1}^{n} p_{СР,i}\,;\; Q_{СР}=\sum_{i=1}^{n} q_{СР,i}\,.$$

В зависимости от интервала осреднения различают средние нагрузки за максимально загруженную смену, среднемесячные и среднегодовые нагрузки. Максимально загруженной считается смена с наибольшим потреблением электроэнергии, рассматриваемой группой приемников.

По среднесменной нагрузке определяют расчетную нагрузку, а по среднегодовой – годовые потери электроэнергии.

5. В определенные промежутки времени значения активной, реактивной, полной мощности или тока представляют собой наибольшее из соответствующих средних значений. Такие нагрузки называют *максимальными*. В зависимости от продолжительности различают два вида максимальных нагрузок:

– *максимальные длительные нагрузки* (продолжительностью 10, 30, 60 мин и т.д.);

– *максимальные кратковременные нагрузки – пиковые*, длительность которых составляет 1–2 с.

Вероятностная максимальная нагрузка за 30 мин принимается за *расчетную нагрузку по допустимому нагреву* (обычно пользуются сокращенным названием – *расчетная нагрузка*). Расчетная нагрузка по допустимому нагреву может быть активной P_P, кВт, реактивной Q_P, кВАр, полной S_P, кВА, или токовой I_P, А. Значения расчетной нагрузки определяют для выбора элементов системы электроснабжения по нагреву и расчета максимальных потерь мощности в них.

Пиковые нагрузки определяют для проверки сетей по условиям самозапуска электродвигателей, выбора плавких вставок предохранителей, расчета тока срабатывания максимальной токовой защиты, а также оценки потерь напряжения в контактных сетях и проверки колебаний напряжения в сетях проектируемого объекта.

При расчете электрических нагрузок применяют различные коэффициенты графиков нагрузок, характеризующие режимы работы приемников электроэнергии по мощности или во времени. Приведем определения основных коэффициентов.

Коэффициент использования активной мощности электроустановки равен отношению средней активной мощности за рассматриваемый период к номинальной активной мощности установки:

$$K_И = \frac{P_{СР}}{P_{НОМ}}\,.$$

Аналогично определяют коэффициенты использования по реактивной мощности.

Коэффициент формы характеризует неравномерность графика во времени.

Коэффициент заполнения графика нагрузки равен отношению средней мощности к максимальной:

$$K_{ЗАП} = \frac{P_{CP}}{P_{\max}}.$$

Он характеризует степень неравномерности суточного графика. Чем более равномерен график, тем коэффициент заполнения ближе к единице.

При неизменной нагрузке $K_{ЗАП}=1$.

Обратная коэффициенту заполнения величина называется *коэффициентом максимума*:

$$K_{\max} = \frac{P_{\max}}{P_{CP}} = \frac{1}{K_{ЗАП}}.$$

Этот коэффициент характеризует взаимное смещение максимумов нагрузки во времени, создаваемых отдельными группами потребителей.

Коэффициентом спроса K_C называют отношение расчетной P_P (при проектировании) или потребляемой $P_{ПОТ}$ (в условиях эксплуатации) мощности к номинальной (установленной) $P_{НОМ}$ ($P_{УСТ}$) мощности группы приемников $K_C = P_P / P_{НОМ}$ или $K_C = P_{ПОТ} / P_{УСТ}$.

Коэффициент участия в максимуме нагрузки (коэффициент разновременности максимумов) $K_{УЧ}$ показывает отношения расчетного максимума суммарного графика нагрузки нескольких групп потребителей к сумме расчетных максимумов нагрузок этих групп потребителей:

$$K_{УЧ} = \frac{P_{P\max}}{\sum_{i=1}^{n} P_{P\max i}}.$$

Методы расчета электрических нагрузок

На практике применяют различные методы определения электрических нагрузок, которые можно подразделить на три группы методов определения максимальных расчетных нагрузок:

первая группа методов – по установленной мощности и коэффициенту спроса;

вторая группа методов – по использованию средней мощности;

третья группа методов – по удельным показателям (например, на единицу продукции при заданном объеме выпуска продукции за определенный период времени). Данная группа применяется при проектировании СЭС промышленных предприятий.

Применение того или иного метода определяется допустимой погрешностью расчетов. При проведении укрупненных расчетов (в частности на стадии проектного задания) пользуются методами, базирующимися на данных о суммарной установленной мощности отдельных групп приемников. Методы, основанные на использовании данных о единичных приемниках, относят к наиболее точным.

Наиболее распространенным методом расчета электрических нагрузок является *метод коэффициента спроса.*

Для определения расчетных нагрузок по этому методу необходимо знать установленную мощность $P_{НОМ}$ группы приемников и коэффициенты мощности $\cos\varphi$ и спроса K_C данной группы, определяемые по справочным материалам.

Расчетную нагрузку группы однородных по режиму работы приемников определяют по формулам:

$$P_P = K_C \cdot P_{НОМ},$$

$$Q_P = P_P \operatorname{tg}\varphi,$$

где $\operatorname{tg}\varphi$ соответствует $\cos\varphi$ данной группы приемников.

Расчетную нагрузку узла системы электроснабжения, содержащего группы приемников электроэнергии с различными режимами работы, определяют с учетом разновременно-

сти максимумов нагрузки отдельных групп. Максимальная расчетная активная мощность, потребляемая приемниками, определяется с учетом коэффициента участия в максимуме:

$$P_{P\max} = K_{уч} \sum_{i=1}^{n} P_{Pi},$$

реактивная и полная расчетные мощности определяются соответственно:

$$Q_{P\max} = K_{уч} \sum_{i=1}^{n} Q_{Pi} \text{ и } S_{P\max} = \sqrt{P_{P\max}^2 + Q_{P\max}^2},$$

где $\sum_{i=1}^{n} P_{Pi}$, $\sum_{i=1}^{n} Q_{Pi}$ – сумма расчетных активных и реактивных нагрузок отдельных групп приемников соответственно.

При расчетах обычно принимают для приемников, получающих питание от мощных подстанций, $K_{уч}$ = 0,9÷0,8, для приемников, получающих питание от подстанций малой мощности, $K_{уч}$ = 1.

Таблица 4.1.1

Значение коэффициента спроса K_C

Группы электроприемников	Значение коэффициента спроса K_C
Сварочные трансформаторы ручной сварки	0,35
Вентиляторы санитарно-гигиенической вентиляции	0,65÷0,7
Вентиляторы производственные	0,75÷0,9
Насосы водяные	0,75÷0,9
Компрессоры	0,8
Осветительные установки	0,9÷1,0

Длительный опыт эксплуатации электроустановок различного типа позволил собрать обширные статистические материалы и получить усредненные значения величин коэффициентов спроса для различных групп электроприемников (табл. 4.1.1).

Определение расчетной нагрузки по установленной мощности и коэффициенту спроса является приближенным методом расчета, поэтому его применение рекомендуют для предварительных расчетов и определения нагрузок сооружения (здания) в целом.

В проектах расчет электрических нагрузок, как правило, оформляется в виде таблицы электрических нагрузок. В качестве примера ниже приведена таблица расчета электрических нагрузок для отдельного сооружения (табл. 4.1.2).

Расчетные электрические нагрузки жилых и общественных зданий массового строительства определяются с использованием удельных расчетных электрических нагрузок электроприемников квартир (зданий) в соответствии с требованиями.

Расчетные электрические нагрузки жилых зданий

Расчетную нагрузку групповых сетей освещения общедомовых помещений жилых зданий (лестничных клеток, вестибюлей, технических этажей и подполий, подвалов, чердаков, колясочных), а также жилых помещений общежитий следует определять по светотехническому расчету с коэффициентом спроса, равным 1.

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ–0,4 кВ ТП от электроприемников квартир ($P_{КВ}$) определяется по формуле, кВт:

$$P_{КВ} = P_{КВ.УД.} \cdot n, \quad (1)$$

где $P_{КВ.УД.}$ – удельная нагрузка электроприемников квартир, принимаемая по табл. 4.1.3 в зависимости от числа квартир, присоединенных к линии (ТП), типа кухонных плит, кВт/квартиру. Удельные электрические нагрузки установлены с учетом того, что расчетная

неравномерность нагрузки при распределении ее по фазам трехфазных линий и вводов не превышает 15 %;

n – количество квартир, присоединенных к линии (ТП).

Таблица 4.1.2

Таблица расчета электрических нагрузок

№ п/п	Наименование электроприемников	Установленная единичная мощность $P_{уст.ед}$, кВт	количество, шт	Установленная мощность группы $P_{уст.гр}$, кВт	Коэффициент спроса K_C	Коэффициент мощности cosφ	tgφ	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
								Расчетная активная мощность $P_{расч}$, кВт	Расчетная полная мощность S_P, кВА	Расчетная реактивная мощность, Q_P, кВАр	
1	подъемник ПС-16	8,8	3	26,4	0,10	0,83	0,81	2,6	3,2	2,1	
2	подъемник 5 т.	3,0	1	3,0	0,10	0,83	0,81	0,3	0,4	0,2	
3	установка для пуска УЗД-2	16,0	1	16,0	0,10	1,00	0,00	1,6	1,6	0,0	
4	кран-балка	4,5	1	4,5	0,20	0,83	0,81	0,9	1,1	0,7	
5	поломоечная машина BR-400	2,5	1	2,5	0,30	0,80	0,94	0,8	0,9	0,7	
6	вулканизатор В-101	0,80	3	2,40	0,65	1,00	0,00	1,56	1,56	0,0	
7	воздухораздаточная колонка В-111	0,20	1	0,20	0,20	0,83	0,81	0,04	0,05	0,0	
8	воздухораздаточная колонка В-113	0,20	1	0,20	0,20	0,83	0,81	0,04	0,05	0,0	
9	стенд для шиномонтажа	3,00	1	3,00	0,5	0,80	0,94	1,50	1,88	1,41	
10	аквадистилятор	7,80	1	7,80	0,6	1,00	0,00	4,68	4,68	0,00	
11	зарядное устройство	1,50	2	3,00	1,0	1,00	0,00	3,00	3,00	0,00	
12	сварочный аппарат	12,00	1	12,00	0,7	1,00	0,00	8,40	8,40	0,00	
13	сварочный полуавтомат	12,00	1	12,00	0,7	1,00	0,00	8,40	8,40	0,00	
14	установка мойки деталей	0,30	2	0,60	0,5	1,00	0,00	0,30	0,30	0,00	
15	моечная машина	5,60	1	5,60	0,7	1,00	0,00	3,92	3,92	0,00	
16	вентиляция приточная	20,05	1	20,05	0,5	0,83	0,81	10,03	12,08	8,12	
17	вентиляция вытяжная	14,70	1	14,70	0,5	0,83	0,81	7,35	8,86	5,95	
18	воздушная завеса	2,81	10	28,10	0,8	0,83	0,81	22,48	27,08	18,20	
19	воздушная завеса	2,48	2	4,96	0,8	0,83	0,81	3,97	4,78	3,21	
20	подьемник ворот	0,35	5	1,75	0,3	0,83	0,81	0,53	0,63	0,43	
21	электроводонагреватель	1,50	4	6,00	1,0	1,00	0,00	6,00	6,00	0,00	
22	компрессор	11,00	2	22,00	0,3	1,00	0,00	6,60	6,60	0,00	
23	освещение рабочее	14,92	1	14,92	1,0	1,00	0,00	14,92	14,92	0,00	
24	освещение аварийное	0,10	1	0,10	1,0	1,00	0,00	0,10	0,10	0,00	
25	розетки 380 В	1,00	20	20,00	0,3	1,00	0,00	6,00	6,00	0,00	
26	розетки 220 В	0,13	20	2,50	0,3	1,00	0,00	0,75	0,75	0,00	
27	Розетки 36 В	0,25	20	5,00	0,3	1,00	0,00	1,50	1,50	0,00	
	Итого			239,3	0,49	0,92	0,47	118,2	128,7	41,2	195,8

Таблица 4.1.3

Удельная расчетная электрическая нагрузка электроприемников квартир жилых зданий, кВт/квартиру

№ п/п	Потребители электроэнергии	Удельная расчетная электрическая нагрузка при количестве квартир													
		1–5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600	1000
1	Квартиры с плитами: на природном газе[1]	4,5	2,8	2,3	2,0	1,8	1,65	1,4	1,2	1,05	0,85	0,77	0,71	0,69	0,67
	на сжиженном газе (в том числе при групповых установках) и на твердом топливе	6,0	3,4	2,9	2,5	2,2	2,0	1,8	1,4	1,3	1,08	1,0	0,92	0,84	0,76
	электрическими, мощностью до 8 кВт	10	5,1	3,8	3,2	2,8	2,6	2,2	1,95	1,7	1,5	1,36	1,27	1,23	1,19
2	Домики на участках садоводческих товариществ	4,0	2,3	1,7	1,4	1,2	1,1	0,9	0,76	0,69	0,61	0,58	0,54	0,51	0,46

[1] В зданиях по типовым проектам.

Примечания:

1. Удельные расчетные нагрузки для числа квартир, неуказанного в таблице, определяются путем интерполяции.

2. Удельные расчетные нагрузки квартир учитывают нагрузку освещения общедомовых помещений (лестничных клеток, подполий, технических этажей, чердаков и т.д.), а также нагрузку слаботочных устройств и мелкого силового оборудования (щитки противопожарных устройств, автоматики, учета тепла и т.п., зачистные устройства мусоропроводов, подъемники для инвалидов).

3. Удельные расчетные нагрузки приведены для квартир средней общей площадью 70 м^2 (квартиры от 35 до 90 м^2) в зданиях по типовым проектам.

4. Расчетную нагрузку для квартир с повышенной комфортностью следует определять в соответствии с заданием на проектирование или в соответствии с заявленной мощностью и коэффициентами спроса и одновременности (табл. 4.1.4 и 4.1.5).

5. Удельные расчетные нагрузки не учитывают покомнатное расселение семей в квартире.

6. Удельные расчетные нагрузки не учитывают общедомовую силовую нагрузку, осветительную и силовую нагрузку встроенных (пристроенных) помещений общественного назначения, нагрузку рекламы, а также применение в квартирах электрического отопления, электроводонагревателей и бытовых кондиционеров (кроме элитных квартир).

7. Для определения при необходимости значения утреннего или дневного максимума нагрузок следует применять коэффициенты: 0,7 – для жилых домов с электрическими плитами и 0,5 – для жилых домов с плитами на газообразном и твердом топливе.

8. Электрическую нагрузку жилых зданий в период летнего максимума нагрузок можно определить, умножив значение нагрузки зимнего максимума на коэффициенты: 0,7 – для квартир с плитами на природном газе; 0,6 – для квартир с плитами на сжиженном газе и твердом топливе и 0,8 – для квартир с электрическими плитами.

9. Расчетные данные, приведенные в таблице, могут корректироваться для конкретного применения с учетом местных условий. При наличии документированных и утвержденных в установленном порядке экспериментальных данных расчет нагрузок следует производить по ним.

10. Нагрузка иллюминации мощностью до 10 кВт в расчетной нагрузке на вводе в здание учитываться не должна.

Таблица 4.1.4

Коэффициенты спроса K_C для квартир повышенной комфортности

Заявленная мощность, кВт	до 14	20	30	40	50	60	70 и более
Коэффициент спроса	0,8	0,65	0,6	0,55	0,5	0,48	0,45

Таблица 4.1.5

Коэффициенты одновременности K_O для квартир повышенной комфортности

Характеристика квартир	K_O при числе квартир												
	1–5	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600 и более
С электроплитами	1	0,51	0,38	0,32	0,29	0,26	0,24	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ–0,4 кВ ТП от электроприемников квартир повышенной комфортности определяется по формуле, кВт,

$$P_{P.KB} = P_{KB}\, n\, K_O,$$

где P_{KB} – нагрузка электроприемников квартир повышенной комфортности;

n – количество квартир;

K_O – коэффициент одновременности для квартир повышенной комфортности.

Расчетная нагрузка питающих линий, вводов и на шинах РУ–0,4 кВ ТП от общего освещения общежитий коридорного типа определяется с учетом коэффициента спроса K_C, принимаемого в зависимости от установленной мощности светильников $P_У$, приведенной ниже:

до 5 кВт	– 1
свыше 5 до 10 кВт	– 0,9
свыше 10 до 15 кВт	– 0,85
свыше 15 до 25 кВт	– 0,8
свыше 25 до 50 кВт	– 0,7
свыше 50 до 100 кВт	– 0,65
свыше 100 до 200 кВт	– 0,6
свыше 200 кВт	– 0,55

Расчетная нагрузка $P_{P.P}$, кВт, групповых и питающих линий от электроприемников, подключаемых к розеткам в общежитиях коридорного типа, определяется по формуле:

$$P_{P.P} = P_{УД}\, n_P\, K_{O.P},$$

где $P_{УД}$ – удельная мощность на 1 розетку, при числе розеток до 100 принимаемая 0,1, св. 100 – 0,06 кВт;

n_P – число розеток;

$K_{O.P}$ – коэффициент одновременности для сети розеток, определяемый в зависимости от числа розеток:

до 10 розеток	– 1
свыше 10 до 20 розеток	– 0,9
свыше 20 до 50 розеток	– 0,8
свыше 50 до 100 розеток	– 0,7
свыше 100 до 200 розеток	– 0,6
свыше 200 до 400 розеток	– 0,5
свыше 400 до 600 розеток	– 0,4
свыше 650 розеток	– 0,35

Расчетная нагрузка питающих линий $P_{P.ПЛ}$, кВт, вводов и на шинах РУ–0,4 кВ ТП от бытовых напольных электрических плит общежитий коридорного типа определяется по формуле:

$$P_{Р.ПЛ} = P_{ПЛ}\, n_{ПЛ}\, K_{С.\,ПЛ},$$

где $P_{ПЛ}$ – установленная мощность электроплиты, кВт;

$n_{ПЛ}$ – число электроплит;

$K_{С.ПЛ}$ – коэффициент спроса, определяемый в зависимости от числа присоединенных плит, должен приниматься:

1 при 1 плите;
0,9 при 2 плитах;
0,4 при 20 плитах;
0,2 при 100 плитах;
0,15 при 200 плитах.

Коэффициенты спроса даны для электроплит с четырьмя комфорками. При определении коэффициента спроса для плит с тремя комфорками число плит следует учитывать с коэффициентом 0,75 от числа установленных плит, а с двумя – с коэффициентом 0,5.

Определение коэффициента спроса для числа плит, не указанного выше, производится интерполяцией.

Расчетная нагрузка вводов и на шинах 0,4 кВ ТП при смешанном питании от них общего освещения, розеток, кухонных электрических плит и помещений общественного назначения в общежитиях коридорного типа определяется как сумма расчетных нагрузок питающих линий, умноженная на 0,75. При этом расчетная нагрузка питающих линий освещения общедомовых помещений определяется с учетом примеч. 3 к табл. 4.1.3.

Расчетная нагрузка линии питания лифтовых установок $P_{Р.Л}$, кВт, определяется по формуле:

$$P_{Р.Л} = K_{С.Л} \cdot \sum_{i}^{n_Л} P_{ni},$$

где $K_{С.Л}$ – коэффициент спроса, определяемый по табл. 4.1.6 в зависимости от количества лифтовых установок и этажности зданий;

$n_Л$ – число лифтовых установок, питаемых линией;

P_{ni} – установленная мощность электродвигателя i-го лифта по паспорту, кВт.

Таблица 4.1.6

Коэффициенты спроса $K_{С.Л}$ для лифтов домов различной высоты

№ п/п	Число лифтовых установок	$K_{С.Л}$ для домов высотой, этажей	
		до 12	12 и свыше
1	2–3	0,8	0,9
2	4–5	0,7	0,8
3	6	0,65	0,75
4	10	0,5	0,6
5	20	0,4	0,5
6	25 и свыше	0,35	0,4

Примечание. Коэффициент спроса для числа лифтовых установок, не указанного в таблице, определяется интерполяцией.

Расчетная нагрузка линий питания электродвигателей санитарно-технических устройств определяется по их установленной мощности с учетом коэффициента спроса, принимаемого по табл. 4.1.11.

Мощность резервных электродвигателей, а также электроприемников противопожарных устройств и уборочных механизмов при расчете электрических нагрузок питающих линий и вводов в здание не учитывается, за исключением тех случаев, когда она определяет выбор защитных аппаратов и сечений проводников.

Для расчета линий питания одновременно работающих электроприемников противопожарных устройств $K_С$ принимается равным 1. При этом следует учитывать одновременную работу вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха, расположенных только в од-

ной секции.

Расчетная нагрузка жилого дома $P_{Р.Ж.Д}$, кВт, (квартир и силовых электроприемников) определяется по формуле:

$$P_{Р.Ж.Д} = P_{КВ} + 0{,}9\ P_С,$$

где $P_{КВ}$ – расчетная нагрузка электроприемников квартир, кВт;

$P_С$ – расчетная нагрузка силовых электроприемников, кВт.

Расчетная нагрузка при смешанном питании ТП (питающей линией) жилых и нежилых зданий (помещений) определяется в соответствии с п. 6.31 СП 31-110–2003.

При проектировании реконструкции наружных электрических сетей в сельской местности расчетную нагрузку допускается принимать по фактическим данным с учетом их перспективного роста до 30 %. При этом суммарные расчетные нагрузки не должны превышать значений, определяемых в соответствии с требованиями Свода правил СП 31-110.

Питающие линии электроприемников жилых зданий и соответствующие им коэффициенты мощности приводятся ниже:

Квартир с электрическими плитами 0,98
То же, с бытовыми кондиционерами воздуха 0,93
Квартир с плитами на природном, сжиженном газе и твердом топливе 0,96
То же, с бытовыми кондиционерами воздуха 0,92
Общего освещения в общежитиях коридорного типа 0,95
Хозяйственных насосов, вентиляционных установок и других санитарно-технических устройств 0,8
Лифтов 0,65

Коэффициент мощности распределительной линии, питающей один электродвигатель, следует принимать по его каталожным данным.

Коэффициент мощности групповых линий освещения с разрядными лампами следует принимать по табл. 4.1.14.

Нагрузки общественных зданий

Коэффициенты спроса для расчета нагрузок рабочего освещения питающей сети и вводов общественных зданий следует принимать по табл. 4.1.7.

Коэффициент спроса для расчета групповой сети рабочего освещения, распределительных и групповых сетей эвакуационного и аварийного освещения зданий, освещения витрин и световой рекламы следует принимать равным 1.

Коэффициенты спроса для расчета электрических нагрузок линий, питающих постановочное освещение в залах, клубах и домах культуры, следует принимать равными 0,35 для регулируемого освещения эстрады и 0,2 – для нерегулируемого.

Расчетную электрическую нагрузку линий, питающих розетки $P_{Р.Р}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{Р.Р} = K_{С.Р}\ P_{У.Р}\ n,$$

где $K_{С.Р}$ – расчетный коэффициент спроса, принимаемый по табл. 4.1.8.

$P_{У.Р}$ – установленная мощность розетки, принимаемая 0,06 кВт (в том числе для подключения оргтехники);

n – число розеток.

При смешанном питании общего освещения и розеточной сети расчетную нагрузку $P_{Р.О}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{Р.О} = P'_{Р.О} + P_{Р.Р},$$

где $P'_{Р.О}$ – расчетная нагрузка линий общего освещения, кВт;

$P_{Р.Р}$ – расчетная нагрузка розеточной сети, кВт.

Таблица 4.1.7

Коэффициенты спроса $K_{C.O}$ для расчета нагрузок расчета освещения

№ п/п	Организации, предприятия и учреждения	$K_{C.O}$ в зависимости от установленной мощности рабочего освещения, кВт								
		до 5	10	15	25	50	100	200	400	св. 500
1	Гостиницы, спальные корпуса и административные помещения санаториев, домов отдыха, пансионатов, турбаз, пионерских лагерей	1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3	0,3
2	Предприятия общественного питания, детские ясли-сады, учебно-производственные мастерские профтехучилищ	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5
3	Организации и учреждения управления, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные здания профтехучилищ, предприятия бытового обслуживания, торговли, парикмахерские	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6
4	Проектные, конструкторские организации, научно-исследовательские институты	1	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65
5	Актовые залы, конференц-залы (освещение зала и президиума), спортзалы	1	1	1	1	1	1	–	–	–
6	Клубы и дома культуры	1	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,55	–	–
7	Кинотеатры	1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6	0,5	–	–

Примечание. Коэффициент спроса для установленной мощности рабочего освещения, не указанной в таблице, определяется интерполяцией.

Таблица 4.1.8

Коэффициент спроса $K_{C.P}$ для расчета электрических нагрузок линий питающих розеток

№ п/п	Организации, предприятия и учреждения	$K_{C.P}$		
		групповые сети	питающие сети	вводы зданий
1	Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, научно-исследовательские институты, учреждения финансирования, кредитования и государственного страхования, общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, учебные здания профтехучилищ	1	0,2	0,1
2	Гостиницы*, обеденные залы ресторанов, кафе и столовых, предприятия бытового обслуживания, библиотеки, архивы	1	0,4	0,2

* При отсутствии стационарного общего освещения в жилых комнатах гостиниц расчет электрической нагрузки розеточной сети, предназначенной для питания переносных светильников (например, напольных), следует выполнять в соответствии с требованиями СП 31-110–2003

Расчетную нагрузку силовых питающих линий и вводов $P_{P.C}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{P.C} = K_{C.C}\, P_{У.Е},$$

где $K_{C.C}$ – расчетный коэффициент спроса;

$P_{У.Е}$ – установленная мощность электроприемников (кроме противопожарных устройств и резервных), кВт.

Коэффициенты спроса для расчета нагрузки вводов, питающих и распределительных линий силовых электрических сетей общественных зданий следует определять по табл. 4.1.9.

Таблица 4.1.9

Коэффициенты спроса $K_{C.C}$ для расчета электрических нагрузок вводных силовых линий

№ п/п	Линии к силовым электроприемникам	$K_{C.C}$ принимается при числе работающих электроприемников	
		до 3	свыше 5
1	Технологического оборудования предприятий общественного питания, пищеблоков в общественных зданиях	По табл. 4.1.10	По табл. 4.1.10
2	Механического оборудования предприятий общественного питания, пищеблоков общественных зданий другого назначения, предприятий торговли	По поз. 1 табл. 4.1.11	По поз. 1 табл. 4.1.11
3	Посудомоечных машин	По табл. 4.1.12	–
4	Зданий (помещений) управления, проектных и конструкторских организаций (без пищеблоков), гостиниц (без ресторанов), продовольственных и промтоварных магазинов, общеобразовательных школ, специальных учебных заведений и профессионально-технических училищ (без пищеблоков)	По табл. 4.1.11	По табл. 4.1.11
5	Сантехнического и холодильного оборудования, холодильных установок систем кондиционирования воздуха	По поз. 1 табл. 4.1.11	По поз. 1 табл. 4.1.11
6	Пассажирских и грузовых лифтов, транспортеров	По п. 6.7 СП 31-110 и табл. 4.1.6	По п. 6.7 СП 31-110 и табл. 4.1.6
7	Кинотехнологического оборудования	см. текст	см. текст
8	Электроприводы сценических механизмов	0,5	0,2
9	Вычислительных машин (без технологического кондиционирования)	0,5	0,4
10	Технологического кондиционирования вычислительных машин	По поз. 1 табл. 4.1.11	По поз. 1 табл. 4.1.11
11	Металлообрабатывающих и деревообрабатывающих станков в мастерских	0,5	0,2
12	Множительной техники, фотолабораторий	0,5	0,2
13	Лабораторного и учебного оборудования общеобразовательных школ, профессионально-технических училищ, средних специальных заведений	0,4	0,15
14	Учебно-производственных мастерских профессионально-технических училищ, общеобразовательных школ и специальных учебных заведений	0,5	0,2
15	Технологического оборудования парикмахерских, ателье, мастерских, комбинатов бытового обслуживания, предприятий торговли, медицинских кабинетов	0,6	0,3
16	Технологического оборудования фабрик химчистки и прачечных	0,7	0,5
17	Руко- и полотенцесушителей	0,4	0,15

Примечания:
1. Расчетная нагрузка должна быть не менее мощности наибольшего из электроприемников.
2. Коэффициент спроса для одного электроприемника следует принимать равным 1.

Расчетную нагрузку питающих линий технологического оборудования и посудомоечных машин предприятий общественного питания и пищеблоков $P_{P.C}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{P.C} = P_{P.П.М} + 0{,}65\ P_{P.T} \geq P_{P.T},$$

где $P_{Р.П.М}$ – расчетная нагрузка посудомоечных машин, определяемая с коэффициентом спроса, который принимается по табл. 4.1.12, кВт;

$P_{Р.Т}$ – расчетная нагрузка технологического оборудования, кВт, определяемая с коэффициентом спроса, который принимается по табл. 4.1.10.

Суммарную расчетную нагрузку питающих линий и силовых вводов предприятий общественного питания $P_{Р.С}$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_{Р.С} = P_{Р.Т} + 0{,}6\ P_{Р.С.Т},$$

где $P_{Р.С.Т}$ – расчетная нагрузка линий сантехнического оборудования или холодильных машин, определяемая с коэффициентом спроса, который принимается по поз. 1 табл. 4.1.11 и примеч. 2 к табл. 4.1.10.

Таблица 4.1.10

Коэффициенты спроса $К_{С.С}$ для расчета электрических нагрузок теплового оборудования

Количество электроприемников теплового оборудования предприятий общественного питания и пищеблоков, подключенных к данному элементу сети	2	3	5	8	10	15	20	30	от 60 до 100	св. 125
$К_{С.С}$ для технологического оборудования	0,9	0,85	0,75	0,65	0,6	0,5	0,45	0,4	0,3	0,25

Примечания:

1. К технологическому оборудованию следует относить: тепловое (электрические плиты, мармиты, сковороды, жарочные и кондитерские шкафы, котлы, кипятильники, фритюрницы и т.п.); механическое (тестомесильные машины, универсальные приводы, хлеборезки, вибросита, коктейлевзбивалки, мясорубки, картофелечистки, машины для резки овощей и т.п.); мелкое холодильное (шкафы холодильные, бытовые холодильники, низкотемпературные прилавки и тому подобные устройства единичной мощностью менее 1 кВт); лифты, подъемники и прочее оборудование (кассовые аппараты, радиоаппаратура и т.п.).
2. Коэффициенты спроса для линий, питающих отдельно механическое, или холодильное, или сантехническое оборудование, а также лифты, подъемники и т.п. принимаются по табл. 4.1.9.
3. Мощность посудомоечных машин в максимуме нагрузок на вводах не учитывается.
4. Определение коэффициентов спроса для числа присоединенных электроприемников, не указанного в таблице, производится интерполяцией.

Таблица 4.1.11

Коэффициенты спроса для расчета электрических нагрузок сантехнического оборудования

№ п/п	Удельный вес установленной мощности работающего сантехнического и холодильного оборудования, включая системы кондиционирования воздуха и общей установленной мощности работающих силовых электроприемников, %	$К_{С.С}$ при числе электроприемников*										
		2	3	5	8	10	15	20	30	50	100	200
1	100–85	1 (0,8)	0,9 (0,75)	0,8 (0,7)	0,75	0,7	0,65	0,65	0,6	0,55	0,55	0,5
2	84–75	–	–	0,75	0,7	0,65	0,6	0,6	0,6	0,55	0,55	0,5
3	74–50	–	–	0,7	0,65	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45
4	49–25	–	–	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45
5	24 и менее	–	–	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5	0,45	0,45	0,4

* В скобках приведены коэфф. спроса для электродвигателей единичной мощностью св. 30 кВт.

Примечания: 1. Определение коэффициента спроса для числа присоединенных электроприемников, не указанного в таблице, производится интерполяцией.
2. В установленную мощность резервные электроприемники не включаются.

Таблица 4.1.12

Коэффициент спроса $K_{C.C}$ для посудомоечных машин

Количество посудомоечных машин	1	2	3
Коэффициент $K_{C.C}$	1,00 0,65	0,9 0,6	0,85 0,55

Примечание. В числителе приведены $K_{C.C}$ для посудомоечных машин, работающих от сети холодного водоснабжения, в знаменателе – от горячего водоснабжения.

Расчетную нагрузку силовых вводов предприятий общественного питания при предприятиях, организациях и учреждениях, предназначенных для обслуживания лиц, постоянно работающих в учреждении, а также при учебных заведениях, следует определять по приведенной выше формуле с коэффициентом 0,7.

Нагрузку распределительных линий электроприемников уборочных механизмов для расчета сечений проводников и установок защитных аппаратов следует, как правило, принимать равной 9 кВт при напряжении 380/220 В и 4 кВт при напряжении 220 В. При этом установленную мощность одного уборочного механизма, присоединяемого к трехфазной розетке с защитным контактом, следует принимать равной 4,5 кВт, а к однофазной – 2 кВт.

Мощность электроприемников противопожарных устройств, резервных электродвигателей и уборочных механизмов следует учитывать только в части рекомендаций для резервных электродвигателей уборочных механизмов.

Расчетную электрическую нагрузку распределительных и питающих линий лифтов, подъемников и транспортеров следует определять также как для лифтов.

Расчетную электрическую нагрузку конференц-залов и актовых залов во всех элементах сети зданий следует определять по наибольшей из нагрузок – освещения зала и президиума, кинотехнологии или освещения эстрады.

В расчетную нагрузку кинотехнологического оборудования конференц-залов и актовых залов следует включать мощность одного наибольшего кинопроекционного аппарата с его выпрямительной установкой и мощность работающей звукоусилительной аппаратуры с коэффициентом спроса, равным 1. Если в кинопроекционной установлена аппаратура для нескольких форматов экрана, то в расчетную нагрузку должна включаться аппаратура наибольшей мощности.

Расчетную электрическую нагрузку силовых вводов общественных зданий (помещений), относящихся к одному комплексу, но предназначенных для потребителей различного функционального назначения (например, учебных помещений и мастерских ПТУ, специальных учебных заведений и школ; парикмахерских, ателье, ремонтных мастерских КБО; общественных помещений и вычислительных центров и т.п.), следует принимать с коэффициентом несовпадения максимумов их нагрузок, равным 0,85. При этом суммарная расчетная нагрузка должна быть не менее расчетной нагрузки наибольшей из групп потребителей.

Расчетную нагрузку питающих линий и вводов в рабочем и аварийном режиме при совместном питании силовых электроприемников и освещения $P_р$, кВт, следует определять по формуле:

$$P_P = K\,(P_{P.O} + P_{P.C} + K_1 P_{P.X.C}),$$

где K – коэффициент, учитывающий несовпадение расчетных максимумов нагрузок силовых электроприемников, включая холодильное оборудование и освещение, принимаемый по табл. 4.1.13;

K_1 – коэффициент, зависящий от отношения расчетной нагрузки освещения к нагрузке холодильного оборудования холодильной станции, принимаемый по п. 3 примеч. к табл. 4.1.13;

$P_{P.O}$ – расчетная нагрузка освещения, кВт;

$P_{P.C}$ – расчетная нагрузка силовых электроприемников без холодильных машин систем кондиционирования воздуха, кВт;

$P_{Р.Х.С}$ – расчетная нагрузка холодильного оборудования систем кондиционирования воздуха, кВт.

Таблица 4.1.13

Коэффициенты *К*, учитывающие отношение расчетной нагрузки освещения к силовой

№ п/п	Здания	Коэффициент *К* при отношении расчетной нагрузки освещения к силовой, %		
		от 20 до 75	от 75 до 140	от 140 до 250
1	Предприятия торговли и общественного питания, гостиницы	0,9 (0,85)	0,85 (0,75)	0,9 (0,85)
2	Общеобразовательные школы, специальные учебные заведения, профтехучилища	0,95	0,9	0,95
3	Детские сады-ясли	0,85	0,8	0,85
4	Ателье, комбинаты бытового обслуживания, химчистки, с прачечными самообслуживания, парикмахерские	0,85	0,75	0,85
5	Организации и учреждения управления, финансирования и кредитования, проектные и конструкторские организации	0,95 (0,85)	0,9 (0,75)	0,95 (0,85)

Примечания: 1. При отношении расчетной осветительной нагрузки к силовой до 20 и св. 250 % коэффициент *К* следует принимать равным 1.

2. В скобках приведен коэффициент *К* для зданий и помещений с кондиционированием воздуха.

3. Коэффициент K_1 при отношении расчетной нагрузки освещения к расчетной нагрузке холодильного оборудования холодильной станции, %:

1	до 15		
0,8	20	0,6	50
0,4	100	0,2	св. 150

4. Коэффициент спроса для промежуточных соотношений определяется интерполяцией. В расчетной нагрузке освещения не учитываются нагрузки помещений без естественного освещения.

Расчетную электрическую нагрузку общежитий профессионально-технических училищ, средних учебных заведений и школ-интернатов следует определять в соответствии с требованиями изложенными выше, а ее участие в расчетной нагрузке учебного комплекса – с коэффициентом, равным 0,2.

Коэффициенты мощности для расчета силовых сетей общественных зданий рекомендуется принимать по табл. 4.1.14.

Применение светильников с люминесцентными лампами с некомпенсированными ПРА в общественных зданиях не допускается, кроме одноламповых светильников мощностью до 30 Вт, имеющих коэффициент мощности 0,5. При совместном питании линией разрядных ламп и ламп накаливания коэффициент мощности определяется с учетом суммарных активных и суммарных реактивных нагрузок.

Расчетная нагрузка питающей линии (трансформаторной подстанции) при смешанном питании потребителей различного назначения (жилых домов и общественных зданий или помещений) $P_Р$, кВт, определяется по формуле:

$$P_Р = P_{ЗД.макс} + K_1 P_{ЗД1} + K_2 P_{ЗД2} + ... + K_n P_{ЗДn},$$

где: $P_{ЗД.макс}$ – наибольшая из нагрузок зданий, питаемых линией (трансформаторной подстанцией), кВт;

$P_{ЗД1} ... P_{ЗДn}$ – расчетные нагрузки всех зданий, кроме здания, имеющего наибольшую нагрузку $P_{ЗД.макс}$, питаемых линией (трансформаторной подстанцией), кВт;

K_1, K_2, K_n – коэффициенты, учитывающие долю электрических нагрузок общественных зданий (помещений) и жилых домов (квартир и силовых электроприемников) в наибольшей расчетной нагрузке ($P_{ЗД.макс}$), принимаемые по табл. 4.1.15.

Ориентировочные расчеты электрических нагрузок общественных зданий допускается выполнять по укрупненным удельным электрическим нагрузкам, приведенным в табл. 4.1.16.

Таблица 4.1.14

Значения коэффициентов мощности сетей общественных зданий

Здания и сооружения	Коэффициент мощности
Предприятий общественного питания:	
полностью электрифицированных	0,98
частично электрифицированных (с плитами на газообразном и твердом топливе)	0,95
Продовольственных и промтоварных магазинов	0,85
Яслей-садов:	
с пищеблоками	0,98
без пищеблоков	0,95
Общеобразовательных школ:	
с пищеблоками	0,95
без пищеблоков	0,9
Фабрик химчистки с прачечными самообслуживания	0,75
Учебных корпусов профессионально-технических училищ	0,9
Учебно-производственных мастерских по металлообработке и деревообработке	0,6
Гостиниц:	
без ресторанов	0,85
с ресторанами	0,9
Зданий и учреждений управления, финансирования, кредитования и государственного страхования, проектных и конструкторских организаций	0,85
Парикмахерских и салонов-парикмахерских	0,97
Ателье, комбинатов бытового обслуживания	0,85
Холодильного оборудования предприятий торговли и общественного питания, насосов, вентиляторов и кондиционеров воздуха при мощности электродвигателей, кВт:	
до 1	0,65
от 1 до 4	0,75
св. 4	0,85
Лифтов и другого подъемного оборудования	0,65
Вычислительных машин (без технологического кондиционирования воздуха)	0,65
Коэффициенты мощности для расчета сетей освещения следует принимать с лампами:	
люминесцентными	0,92
накаливания	1
ДРЛ и ДРИ с компенсированными ПРА	0,85
то же, с некомпенсированными ПРА	0,3–0,5
газосветных рекламных установок	0,35–0,4

Для потребителей жилых и общественных зданий компенсация реактивной нагрузки, как правило, не требуется.

Для местных и центральных тепловых пунктов, насосных, котельных и других потребителей, предназначенных для обслуживания жилых и общественных зданий, расположенных в микрорайонах (школы, детские ясли-сады, предприятия торговли и общественного питания и другие потребители) компенсация реактивной нагрузки, как правило, не требуется, если в нормальном режиме работы расчетная мощность компенсирующего устройства на каждом рабочем вводе не превышает 50 кВАр (суммарная мощность компенсирующего устройства не более 100 кВАр). Это соответствует суммарной расчетной нагрузке указанных потребителей 250 кВт.

Таблица 4.1.15

Значения коэффициентов несовпадения максимумов

Здания (помещения) с наибольшей расчетной нагрузкой	Коэффициенты несовпадения максимумов															
	Жилые дома с плитами		Предприятия общественного питания		Средние учебные заведения, библиотеки	Общеобразовательные школы, профессионально-технические училища	Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	Предприятия торговли		Гостиницы	Парикмахерские	Детские сады-ясли	Поликлиники	Ателье и комбинаты бытового обслуживания	Предприятия коммунального обслуживания	Кинотеатры
	электрическими	на твердом и газообразном топливе	столовые	рестораны, кафе				односменные	полуторасменные, двухсменные							
Жилые дома с плитами: электрическими	–	0,9	0,6	0,7	0,6	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7	0,8	0,4	0,7	0,6	0,7	0,9
на твердом и газообразном топливе	0,9	–	0,6	0,7	0,5	0,3	0,4	0,5	0,8	0,7	0,7	0,4	0,6	0,5	0,5	0,9
Предприятия общественного питания (столовые, кафе и рестораны)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,5
Общеобразовательные школы, средние учебные заведения, профессионально-технические училища, библиотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Предприятия торговли (односменные и полутора-двухсменные	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Организации и учреждения управления, проектные и конструкторские организации, учреждения финансирования и кредитования	0,5	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,5
Гостиницы	0,8	0,8	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6	0,8	0,8	0,8	0,4	0,7	0,5	0,7	0,9
Поликлиники	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Ателье и комбинаты бытового обслуживания, предприятия коммунального обслуживания	0,5	0,4	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8
Кинотеатры	0,9	0,	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,8	0,7	0,8	0,2	0,4	0,4	0,5	–

Примечание.

1. При нескольких нагрузках, имеющих равное или близкое к равному наибольшее значение, расчет следует выполнять относительно той нагрузки, при которой P_P получается наибольшим.

2. Для гаражей, автостоянок и тепловых пунктов жилого дома с электрическими и газовыми плитами коэффициент участия в максимуме нагрузки равен 0,9.

Таблица 4.1.16

Значения укрупненных удельных электрических нагрузок зданий

№ п/п	Здания	Единица измерения	Удельная нагрузка
	Предприятия общественного питания:		
	Полностью электрифицированные с количеством посадочных мест:		
1	до 400	кВт/место	1,04
2	св. 400 до 1000	то же	0,86
3	св. 1000	то же	0,75
	Частично электрифицированные (с плитами на газообразном топливе) с количеством посадочных мест:		
4	до 400	то же	0,81
5	св. 400 до 1000	то же	0,69
6	св. 1000	то же	0,56
	Продовольственные магазины:		
7	Без кондиционирования воздуха	кВт/м^2 торгового зала	0,32
8	С кондиционированием воздуха		0,25
	Промтоварные магазины		
9	Без кондиционирования воздуха	то же	0,14
10	С кондиционированием воздуха	то же	0,16
	Общеобразовательные школы:		
11	С электрифицированными столовыми и спортзалами	кВт\1 учащегося	0,25
12	Без электрифицированных столовых, со спортзалами	то же	0,17
13	С буфетами, без спортзалов	то же	0,17
14	Без буфетов и спортзалов	то же	0,15
15	Профессионально-технические училища со столовыми	то же	0,46
16	Детские ясли-сады	кВт/место	0,46
	Кинотеатры и киноконцертные залы:		
17	С кондиционированием воздуха	то же	0,14
18	Без кондиционирования воздуха	то же	0,12
19	Клубы	то же	0,46
20	Парикмахерские	кВт/рабочее место	1,5
	Здания или помещения учреждений управления, проектных и конструкторских организаций:		
21	С кондиционированием воздуха	кВт/м^2 общей площади	0,054
22	Без кондиционирования воздуха	то же	0,043
	Гостиницы:		
23	С кондиционированием воздуха (без ресторанов)	кВт/место	0,46
24	Без кондиционирования воздуха	то же	0,34
25	Дома отдыха и пансионаты без кондиционирования воздуха	то же	0,36
26	Фабрики химчистки и прачечные самообслуживания	кВт/кг вещей	0,075
27	Детские лагеря	кВт/м^2 жилых помещений	0,023

Примечания: 1. Поз. 1–6 гр. 4 удельная нагрузка не зависит от наличия кондиционирования воздуха.

2. Поз. 15, 16 гр. 4 – нагрузка бассейнов и спортзалов не учтена.

3. Поз. 21, 22, 25, 27 гр. 4 – нагрузка пищеблоков не учтена. Удельную нагрузку пищеблоков следует принимать как для предприятий общественного питания с учетом количества посадочных мест, рекомендованного нормами для соответствующих зданий, и п. 6.21 Свода правил СП 31-110.

4. Поз. 23, 24 гр. 4 – удельную нагрузку ресторанов при гостиницах следует принимать как для предприятий общественного питания открытого типа.

5. Для предприятий общественного питания при числе мест, не указанном в таблице, удельные нагрузки определяются интерполяцией.

4.2. Компенсация реактивной мощности и выбор компенсирующих устройств

На электрических станциях генераторы электрической энергии вырабатывают одновременно активную и реактивную мощности, передаваемые по электрической сети потребителям. Одна часть потребителей-электроприемников для своей работы потребляет из сети чисто активную мощность (электрические лампы накаливания, нагревательные приборы, печи сопротивления и т.п.). У этих электроприемников ток совпадает по фазе с приложенным напряжением. Другая их часть, с наличием в цепи индуктивного сопротивления, в процессе работы потребляет не только активную, но и реактивную мощность, необходимую для создания электромагнитных полей (электродвигатели, сварочные и силовые трансформаторы и т.д.). У этих электроприемников ток отстает от приложенного напряжения на некоторый угол φ, называемый *углом сдвига* фаз. Косинус этого угла ($\cos\varphi$) называют *коэффициентом мощности цепи.*

Для линий трехфазного тока активная мощность (кВт)

$$P_A = \sqrt{3}\,U\,I\cos\varphi.$$

Реактивная мощность (кВАр)

$$Q = \sqrt{3}\,U\,I\sin\varphi \text{ или } Q = P_A\ \mathrm{tg}\varphi,$$

где $\mathrm{tg}\,\varphi$ – коэффициент реактивной мощности цепи;

$$\mathrm{tg}\varphi = Q / P_A.$$

Средневзвешенный коэффициент реактивной мощности определяется по показаниям счетчиков активной и реактивной энергий за определенный период времени (час, смену, сутки, месяц, квартал, год) из соотношения

$$\mathrm{tg}\varphi_{CP.B} = W_P / W_A.$$

По значению $\mathrm{tg}\varphi_{CP.B}$ по тригонометрическим таблицам можно определить значение $\cos\varphi_{CP.B}$.

Из выражения, приведенного выше, видно, что коэффициент реактивной мощности в отличие от коэффициента мощности $\cos\varphi$ является более показательным для оценки реактивной составляющей нагрузки, так как он непосредственно выражает значение реактивной мощности в долях активной мощности.

Из выражений, определяющих P_A и Q, также видно, что с уменьшением угла сдвига фаз φ значение $\cos\varphi$ возрастает и при тех же действующих значениях напряжения и тока активная мощность P_A возрастает, приближаясь к максимальной величине, в то время как реактивная мощность, уменьшаясь (значение $\sin\varphi \to 0$), приближается к нулю.

При увеличении угла сдвига фаз φ активная мощность при тех же значениях напряжения и тока уменьшается, а реактивная увеличивается. В этом случае при той же потребляемой активной мощности ток в сети возрастает.

Полная мощность (кВ·А), отдаваемая генератором в электрическую сеть при номинальных условиях работы, определяется выражением

$$S_{Г.НОМ} = \sqrt{P^2_{A\,Г.НОМ} + Q^2_{РГ.НОМ}},$$

где $P_{A\,Г.НОМ}$ – номинальная активная мощность генератора при номинальном значении коэффициента мощности, кВт; $Q = P_{A\,Г.НОМ}\,\mathrm{tg}\,\varphi_{Г.НОМ}$ – реактивная мощность, кВАр ($\mathrm{tg}\,\varphi_{Г.НОМ}$ соответствует номинальному значению коэффициента реактивной мощности генератора).

Из выражения $S_{Г.НОМ}$ видно, что с увеличением потребления реактивной мощности генератор должен вырабатывать ее сверх номинального значения, а для сохранения номинальной полной мощности генератора активная нагрузка должна быть снижена. Это приводит к тому, что все звенья электрической сети загружаются дополнительной реактивной мощностью, пульсирующей все время между источником питания и электроприемниками. Ток во всех звеньях сети при том же значении потребляемой активной мощности возрастает. Дополнительная загрузка генераторов на электрических станциях, силовых трансформаторов и сетей реактивной составляющей тока $I\sin\varphi$ (при той же передаваемой активной мощности) приводит к непроизводительному использованию полной мощности источни-

ков питания. Это вызывает дополнительные затраты на увеличение пропускной способности всей системы электроснабжения, т.е. на сооружение более мощных электростанций, подстанций, увеличение сечений проводов сетей, а также дополнительные эксплуатационные расходы. Кроме того, при увеличении тока в сети возникают дополнительные потери напряжения, вызывающие понижение напряжения у потребителей, удаленных от источника питания, что приводит к увеличению стоимости средств регулирования напряжения. Увеличение тока также влечет за собой увеличение потерь мощности и энергии на нагревание проводов сетей и обмоток электрических машин.

Таким образом, отрицательные последствия повышенного потребления электроприемниками реактивной мощности можно уменьшить, снижая потребление реактивной мощности до минимальных значений. Так, например, для электроустановок небольшой мощности, присоединенных к действующим сетям 6–10 кВ, ПУЭ рекомендуют выполнить полную компенсацию реактивной мощности в распределительных сетях напряжением до 1000 В.

Мероприятия по уменьшению потребления реактивной мощности электроприемниками. Наибольшими потребителями реактивной мощности являются асинхронные электродвигатели, сварочные и силовые трансформаторы, индукционные печи, газоразрядные лампы и др. Примерно около 65 % от общего баланса реактивной мощности, потребляемой промышленными предприятиями от энергосистем, приходится на асинхронные электродвигатели, 20 % – на трансформаторы.

Между значением реактивной мощности, вырабатываемой генераторами электрических станций, включенных в систему, и значением реактивной мощности, потребляемой потребителями, должен существовать баланс. Нарушение этого баланса за счет увеличенного потребления реактивной мощности приводит к отрицательным последствиям. Поэтому очень важной задачей является резкое снижение потребления реактивной мощности, особенно в часы максимальных нагрузок системы и потребителя.

Снижение потребления реактивной мощности осуществляют двумя способами – *естественным и искусственным.*

Для снижения потребления реактивной мощности электроприемниками естественным путем используется группа мероприятий, к числу которых относятся следующие.

Замена электродвигателей, работающих с недогрузкой или перегрузкой, на электродвигатели меньшей и большей мощности. При номинальных загрузках и напряжении асинхронный электродвигатель потребляет из сети номинальную реактивную мощность. В этом режиме электродвигатель работает с наилучшими энергетическими показателями. При этом значение коэффициента мощности имеет наибольшее значение.

При недогрузке электродвигателя потребляемая им из сети активная мощность уменьшается пропорционально механической нагрузке на валу, в то время как реактивная мощность вследствие незначительного изменения намагничивающего тока практически остается постоянной. Перегруженные асинхронные электродвигатели вследствие увеличения потоков магнитного рассеивания увеличивают потребление реактивной мощности.

Для снижения потребления реактивной мощности достаточно заменить слабо загруженные асинхронные электродвигатели электродвигателями меньшей мощности, необходимой для приводимого механизма. Это целесообразно делать в том случае, если электродвигатель содержит значительный запас мощности. Однако необходимо учитывать, что иногда такая замена может привести к увеличению потери активной мощности в электродвигателе и в сети. При загрузке электродвигателя менее чем на 45 % от его номинальной мощности замена его электродвигателем меньшей мощности всегда оправдана. При загрузке электродвигателя в пределах 45–70 % от номинальной мощности целесообразность его замены определяется технико-экономическим расчетом. При загрузке больше чем на 70 % – замена нерентабельна.

Понижение напряжения у малозагруженных электродвигателей. Практика показала, что снижение напряжения на выводах обмоток статора малозагруженного асинхронного

электродвигателя (не свыше 45 %) уменьшает потребление реактивной мощности. Кроме того, уменьшаются потери активной мощности, а это повышает КПД двигателя. Снижать напряжение у таких электродвигателей можно переключением обмоток с треугольника на звезду. При этом напряжение на концах каждой фазы обмотки статора уменьшается в $\sqrt{3}$ раз, а так как вращающий момент пропорционален квадрату приложенного напряжения, то активная мощность уменьшается в три раза. Поэтому при переключении обмотки статора с треугольника на звезду необходимо учитывать пусковые условия приводимого электродвигателем механизма. В связи с введением в ГОСТ напряжения 660 В и выпуском электродвигателей на напряжение 660/380 В переключение возможно при работе их в сети с номинальным напряжением 380 В. Для электродвигателей напряжением 380/220 В при работе в сети 380 В переключение с треугольника на звезду не применимо.

Ограничение холостого хода работающих электродвигателей. Учитывая, что при холостом ходе электродвигатель потребляет наибольшую реактивную мощность, при длительности холостого хода 10 с и более на время паузы надо отключать его от сети. Когда периоды работы на станках и механизмах периодически чередуются с межоперационными паузами, устанавливают автоматические ограничители холостого хода (автоматическое отключение и включение электродвигателя). Этим значительно уменьшаются потребление реактивной мощности и непроизводительный расход электроэнергии.

Правильный выбор электродвигателей по мощности и по типу. Электродвигатели с короткозамкнутым ротором вследствие меньших значений индуктивного сопротивления рассеивания имеют более высокий коэффициент мощности, чем электродвигатели с фазным ротором. Электродвигатели открытого типа, обладающие лучшими условиями охлаждения, по сравнению с закрытыми электродвигателями имеют лучшие энергетические показатели и при той же мощности и частоте вращения могут нести большую активную нагрузку. Поэтому для снижения реактивной мощности следует применять электродвигатели не с фазным, а с короткозамкнутым ротором и устанавливать их в открытом или защищенном исполнении, если это допускается по условиям окружающей среды.

Повышение качества ремонта электродвигателей. На энергетические показатели электродвигателей большое влияние оказывает качество их ремонта. Например, при износе подшипников, чтобы ротор двигателя при вращении не задевал за статор, вместо ремонта иногда делают обточку ротора, тем самым увеличивая зазор между статором и ротором. Это увеличивает намагничивающий ток, а следовательно, и потребление реактивной мощности. Иногда при перемотке электродвигателя неправильно подбирают сечение провода или не заполняют пазы электродвигателя соответствующим количеством проводов по сравнению с фабричной обмоткой. В результате после ремонта электродвигатель значительно увеличивает потребление реактивной мощности.

Отключение малозагруженных силовых трансформаторов с переводом нагрузки на другие трансформаторы. В часы малых нагрузок (во время ночных смен и в часы обеденных перерывов) напряжение на вторичной стороне силовых трансформаторов и в сети повышается. Повышение напряжения на зажимах работающих электродвигателей увеличивает намагничивающий ток и реактивную мощность. Своевременное отключение малозагруженных силовых трансформаторов (менее чем на 30 % от номинальной мощности) с переводом нагрузки на другие трансформаторы снижает потребление реактивной мощности.

Применение для освещения газоразрядных ламп ДРЛ, ДРИ и люминесцентных, имеющих в цепи индуктивное сопротивление (дроссель), при отсутствии компенсирующих устройств, особенно у ламп ДРЛ и ДРИ (коэффициент мощности $\approx 0{,}5 \div 0{,}6$), значительно увеличивает потребление реактивной мощности.

Для снижения потребления реактивной мощности люминесцентные лампы применяют с пускорегулирующими аппаратами, обеспечивающими коэффициент мощности не ниже 0,9, а для ламп ДРЛ и ДРИ применяют групповую и индивидуальную компенсацию реактивной мощности.

Все рассмотренные мероприятия по снижению потребления реактивной мощности должны планомерно осуществляться на предприятиях, тем более что они, как правило, не требуют значительных затрат.

Компенсация реактивной мощности с помощью специальных компенсирующих устройств

Значительное снижение потребления реактивной мощности естественными методами невозможно, поэтому в дополнение к естественным мероприятиям применяют искусственные методы компенсации реактивной мощности.

Наглядное представление о сущности компенсации реактивной мощности дает векторная диаграмма, представленная на рис. 4.1.

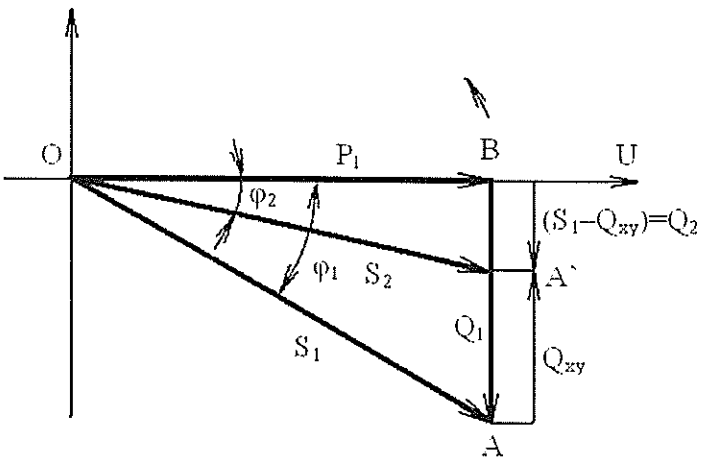


Рис. 4.1. Векторная диаграмма компенсации реактивной мощности

Пусть до компенсации потребитель потребляет активную мощность P_1 (кВт) – вектор **ОВ**, реактивную (от индуктивной нагрузки) мощность Q_1 – вектор **ВА**. Вектор **ОА** представляет полную потребляемую мощность S_1 (кВ·А). Если включить параллельно нагрузке компенсирующую установку (емкостную нагрузку) Q_{XY} – вектор **АА'**, то при той же потребляемой активной мощности P_1 реактивная мощность потребителя уменьшается на Q_1–Q_{XY}, а полная мощность S_2 станет меньше S_1; при этом ток в сети также снизится, так как $I_2 = S_2/(\sqrt{3}U) < I_1 = S_1/(\sqrt{3}U)$. В результате использования компенсирующей установки при том же сечении проводов можно повысить пропускную способность сети по активной мощности.

Из векторной диаграммы нетрудно определить мощность компенсирующей установки $Q_{KУ}$ (кВАр) для компенсации реактивной мощности. Для доведения потребления реактивной мощности от Q_1 до Q_2 найдем

$$Q_{KУ} = Q_1 - Q_2 = P_1(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2).$$

В практических расчетах по выбору компенсирующих установок исходят из «Указаний по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях». В соответствии с этими указаниями выбор компенсационных установок должен производиться для режима наибольших реактивных нагрузок. Мощность компенсирующей установки определяется выражением

$$Q_{KУ} = K(Q_{max} - Q_{СИСТ}) = K_{_} P_{max}(\operatorname{tg}\varphi_{max} - \operatorname{tg}\varphi_{ОПТ}),$$

где Q_{max} – фактическая наибольшая получасовая реактивная нагрузка потребителя в часы максимума активных нагрузок энергосистемы, кВАр; $Q_{СИСТ}$ – значение реактивной мощности, которой энергосистема должна снабжать потребителя в часы наибольших активных

нагрузок, кВАр [*]; K – коэффициент, учитывающий несовпадение расчетного максимума активной нагрузки потребителя с максимальной нагрузкой энергосистемы [**]; P_{max} – расчетная максимальная активная нагрузка потребителя, указанная в договоре с энергоснабжающей организацией, кВт; $\operatorname{tg}\varphi_{max} = Q_{max}/P_{max}$ – фактический тангенс угла потребителя в часы максимальной активной нагрузки энергосистемы; $\operatorname{tg}\varphi_{опт} = Q_{опт}/P_{max}$ – оптимальный тангенс угла потребителя в часы максимальной нагрузки энергосистемы (задается энергосистемой); $Q_{опт}$ – оптимальная реактивная нагрузка потребителя в часы максимальной нагрузки энергосистемы, кВАр.

На действующих предприятиях при определении $Q_{КУ}$ следует учитывать возможность снижения $\operatorname{tg}\varphi$ потребителя выполнением мероприятий, указанных ранее.

Так как выбор мощности компенсирующей установки производится по режиму наибольших реактивных нагрузок потребителя, то в периоды понижения нагрузок (ночные часы, обеденные перерывы, минимальные нагрузки), если установка постоянно включена, избыточная реактивная мощность, вырабатываемая установкой, будет передаваться в энергосистему. Это приведет к увеличению тока и потерям мощности в сети.

Кроме того, в сети потребителя возрастет напряжение, которое: может превзойти нормируемый предел, а это приведет к перенакалу электрических ламп и другим ущербам. Во избежание этих явлений применяют в зависимости от характера суточного графика нагрузок потребителя регулируемые либо нерегулируемые компенсационные установки, т.е. от степени неравномерности потребления реактивной мощности.

Компенсационные конденсаторные установки. В качестве конденсаторных установок на предприятиях почти всегда применяют батареи статических конденсаторов.

Широкое применение конденсаторных установок объясняется их преимуществами по сравнению с другими компенсационными устройствами, как, например, синхронными компенсаторами, перевозбужденными синхронными двигателями, и др. Основные их достоинства – малый вес, отсутствие вращающихся частей, незначительные потери активной мощности (0,3–0,45 кВт на 100 кВАр), возможность установки их непосредственно около отдельных или групп электроприемников, простое и дешевое обслуживание, безопасность и надежность в эксплуатации.

Конденсаторы характеризуются номинальным напряжением, мощностью, условиями работы (внутренняя или наружная установка), числом фаз, видом пропитки и габаритами. Конденсаторы с номинальным напряжением 220, 380, 500 и 660 В изготовляют как в однофазном, так и в трехфазном исполнении с единичной мощностью от 4,5 до 50 кВАр, а с напряжением 1,05, 3,15, 6,3, 10,5 кВ – только в однофазном исполнении с единичной мощностью от 13 до 75 кВАр.

Конденсаторы имеют следующее обозначение: К – определяет назначение конденсатора (косинусный силовой конденсатор для компенсации реактивной мощности), М – с пропиткой минеральным маслом, С – с пропиткой синтетическим жидким диэлектриком (например, соволом). При равном объеме мощность конденсатора с соволовым заполнением на 30–40 % больше мощности конденсатора с масляным заполнением. Однако соволовые конденсаторы не могут быть использованы при температуре ниже –10 °С, в то время как масляные конденсаторы работают даже при температуре –40 °С.

При компенсации реактивной мощности потребителей с помощью конденсаторов требуемая мощность конденсаторной установки собирается из мощностей отдельных конденсаторных банок, которые соединяются в батареи.

Регулирование. Конденсаторные батареи большой мощности делят на отдельные секции. Это удобно для осмотра и ремонта каждой секции, а также при необходимости произ-

---

[*] Это значение указывается в договоре с энергоснабжающей организацией на пользование электроэнергией.

[**] Коэффициент K определяется по графику нагрузки потребителя в часы максимальной нагрузки энергосистемы (время максимальной нагрузки энергосистемы задается энергоснабжающей организацией). При совпадении максимальных нагрузок во времени K=1

водить регулирование потребления реактивной мощности посменно в течение рабочего дня.

На цеховых силовых распределительных пунктах, магистральных токопроводах, групповых щитках освещения, питающих люминесцентные лампы и лампы ДРЛ, имеющие $\cos\varphi = 0{,}5$, устанавливаются нерегулируемые конденсаторные батареи.

В тех случаях, когда потребление реактивной мощности в течение суток колеблется в значительных пределах, мощность конденсаторной установки должна регулироваться. Регулирование осуществляется вручную или автоматически. Наиболее простой и дешевый способ регулирования мощности конденсаторных батарей – одноступенчатый, при котором вся мощность батареи отключается или включается в определенное время суток. На предприятиях со значительной неравномерностью графика потребления реактивной мощности применяется многоступенчатое регулирование. В этом случае в зависимости от потребления реактивной мощности включается или выключается различное количество секций конденсаторной батареи. При этом часть от общей мощности батареи, равной наименьшей реактивной нагрузке потребителя, должна быть нерегулируемой. В промышленности распространено автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей по времени суток, напряжению и току.

Регулирование по времени суток, как наиболее простой способ, осуществляется на предприятиях, где значение потребляемой реактивной мощности в рабочие периоды почти не меняется или меняется во времени. Зная суточный график потребления реактивной мощности, можно с помощью электрических часов включать или выключать секции конденсаторной батареи.

Регулирование мощности конденсаторных батарей по напряжению применяется в тех случаях, когда у потребителя необходимо одновременно регулировать реактивную мощность и напряжение. Например, при питании потребителя от нерегулируемого силового трансформатора, так как с увеличением реактивной мощности снижается напряжение, и, наоборот, с уменьшением потребления реактивной мощности напряжение повышается.

Автоматическое регулирование конденсаторной установки по току можно осуществить с помощью двух токовых реле. Одно из реле включает установку при росте нагрузок, другое отключает при снижении нагрузок. Имеются и другие способы регулирования конденсаторных установок по напряжению и току.

Разрядка. При отключении конденсаторной установки от сети вследствие остаточной электрической зарядки между обкладками конденсаторов на шинах батареи может сохраниться напряжение, близкое по значению к напряжению сети. Так как естественная саморазрядка конденсаторов происходит очень медленно, то при повторном включении неразряженной батареи в электрическую сеть напряжение на ее вводах может достигнуть двойного напряжения сети, что вызовет значительный бросок тока. Для создания безопасных условий при прикосновении к отключенным конденсаторам они автоматически разряжаются после отключения, при этом напряжение на вводах конденсаторов должно упасть до нуля.

Для быстрой разрядки предусматриваются разрядные активные или индуктивные сопротивления, подключаемые параллельно конденсаторам.

Значение разрядного сопротивления (Ом) можно определить по формуле

$$R_{РАЗР} = 15\frac{U_{ф}^{2}}{Q_{КУ}}\cdot 10^{6},$$

где $U_{Ф}$ – фазное напряжение сети, кВ; $Q_{КУ}$ – реактивная мощность конденсаторной установки, кВАр.

Разрядное сопротивление обычно подбирают так, чтобы потери активной мощности в нем при номинальном напряжении не превышали 1 Вт на 1 кВАр мощности батареи.

Разрядные сопротивления можно включать в схемы звездой, треугольником и открытым треугольником. Однако схема соединения треугольником имеет преимущество перед схемой соединения звездой в том отношении, что в случае обрыва цепи одного из сопро-

тивлений оставшиеся сопротивления будут соединены по схеме открытого треугольника и возможность разряда сохранится для всех трех фаз конденсаторной батареи.

В качестве разрядных сопротивлений в установках напряжением 380 В применяют лампы накаливания, соединенные последовательно по несколько штук в каждой фазе по схеме соединения треугольником, а в установках напряжением 6–10 кВ – два однофазных трансформатора напряжения, соединенных открытым треугольником. Для надежности разрядные сопротивления подключают к шинам конденсаторных батарей наглухо, без установки в цепи отключающих аппаратов и предохранителей.

Конденсаторные установки должны иметь защиту от токов короткого замыкания с наименьшим временем отключения, В трехфазных конденсаторах в отличие от однофазных предусмотрена индивидуальная защита каждой фазы от токов короткого замыкания, которая осуществляется плавкими предохранителями, вмонтированными внутрь корпуса. Однако независимо от индивидуальной защиты каждого конденсатора, конденсаторная установка должна иметь общую защиту.

В настоящее время для компенсации реактивной мощности широкое применение получили конденсаторные установки (КУ) и в том числе автоматизированные конденсаторные установки (АКУ), обладающие рядом преимуществ перед другими устройствами компенсации реактивной мощности – синхронными компенсаторами и синхронными двигателями, которые имеют большие активные потери электрической мощности и вращающиеся части, подверженные механическому износу.

Более эффективно применять автоматизированные КУ, ярким представителем АКУ является установка УККРМ-5 (регулируемые АКУ – предназначены для групповой компенсации реактивной мощности нескольких индуктивных нагрузок, присоединенных к одному распределительному устройству в сети напряжением 0,4 кВ). Установка УККРМ-5 состоит из серии установок для компенсации реактивной мощности номинальной мощностью от 100 до 400 кВАр с минимальным шагом регулирования ступени компенсации реактивной мощности от 5 до 25 кВАр.

Встроенный импортный микропроцессорный регулятор реактивной мощности, по надежности работы не уступающий современным телевизорам, обеспечивает поддержание необходимого коэффициента мощности с большой точностью и в широком диапазоне компенсируемой мощности. Кроме того, микропроцессорный регулятор позволяет производить измерение параметров компенсируемой сети с выводом результатов на его дисплей, а также при помощи дифференциального двухпроводного интерфейса предусмотрена передача результатов измерения в память удаленного компьютера.

Достоинства УККРМ-5:

- позволяют подключить дополнительную активную нагрузку, не увеличивая общей установленной мощности распределительного трансформатора;
- обеспечивают подключение дополнительной нагрузки без увеличения сечения питающего кабеля или его замены;
- позволяют уменьшить снижение напряжения на нагрузке;
- увеличивают срок службы электрооборудования;
- выполняют автоматическое отслеживание изменения нагрузки;
- осуществляют контроль параметров питающей сети;
- имеют большой диапазон мощностей;
- имеют низкие удельные потери активной мощности (не более 0,5 %);
- не имеют вращающихся частей;
- бесшумны в работе;
- имеют встроенный контроль элементов установки в процессе работы;
- выполняют аварийное предупреждение обслуживающего персонала;
- просты при монтаже и обслуживании;

- могут устанавливаться и подключаться в любой точке сети.

Технические характеристики и надежность работы АКУ определяют конденсаторы реактивной мощности, которые являются основным компенсирующим элементом. В УККРМ-5 используются современные импортные конденсаторы типа МКР от ведущих европейских производителей с экологически чистым наполнителем – инертным газом. Данные конденсаторы имеют защиты:

- от перенапряжения и коротких замыканий, в них используется самовосстанавливающийся диэлектрик из полимерной металлизированной пленки;
- от разрыва корпуса конденсатора.

При увеличении по разным причинам давления газа внутри конденсатора происходит удлинение корпуса конденсатора, после этого возникает разрыв технологического проводника-перемычки и конденсатор обесточивается.

Ресурс конденсаторов при эксплуатации в диапазоне температур от –40 до +50 °С превышает 100000 часов! Переключение конденсаторов производится специализированными контакторами, имеющими режим предвключения (опережающие контакты с навесными проволочными резисторами) для ограничения бросков тока при подключении конденсаторов к питающей сети. Дополнительная защита конденсаторов и контакторов производится плавкими предохранителями.

Используемые регуляторы реактивной мощности обеспечивают:

- Автоматический запуск прибора.

Регулятор автоматически определяет способ подключения, величину тока отдельных присоединенных компенсирующих ступеней конденсаторов. В автоматическом режиме работы регулятор обеспечивает поддержание заданного $\cos\varphi$ в пределах от 0,8 до 0,98. На дисплей регулятора может быть выведен любой параметр или измеренное значение тока, напряжения или численное значение $\cos\varphi$.

- При пропадании или изменении тока компенсирующей ступени конденсатора данная ступень выводится из процесса регулирования, но продолжает периодически тестироваться.
- Измеряет содержание в сети высших гармоник тока.

При превышении заданного уровня регулятор отключает все компенсирующие ступени.

- Регулятор с высокой точностью измеряет значения тока и напряжение компенсирующей сети.
- Регулятор имеет релейный выход «Авария» для сигнализации следующих состояний:
  - малый измеряемый ток сети;
  - большой измеряемый ток сети;
  - измеряемое напряжение сети пропало;
  - превышение уровня гармоник сети;
  - состояние недокомпенсации или перекомпенсации сети;
  - допустимое количество срабатываний ступени компенсации превысило заданное;
  - исчезновение ступени компенсации.

Регулятор может работать с интерфейсом типа RS 232 (длина линии до 15 м) или RS 485 (длина линии до 1200 м), который позволяет дистанционно наблюдать все измеряемые величины, а также выполнять настройку параметров регулятора.

УККРМ-5 выполнена в виде металлического, окрашенного порошковой эмалью шкафа с односторонним обслуживанием и степенью защиты IP31.

Внутри корпуса шкафа – съемные силовые блоки, на которых установлены конденсаторы, контакторы и предохранители. Силовые блоки электрически соединяются медными шинами нужного сечения, а металлические шасси заземляются. На лицевой панели шкафа

размещаются следующие элементы:

- регулятор реактивной мощности;
- ручка выключателя;
- индикатор включения сети.

Шкаф рассчитан на установку не более 3 силовых блоков. Мощность одного силового блока может быть от 25 до 200 кВАр. Охлаждение тепловыделяющих элементов внутри шкафа производится приточными вентиляторами.

Места установки и схемы подключения конденсаторных батарей. По месту подключения конденсаторных батарей различают индивидуальную, групповую и централизованную компенсации.

При индивидуальной компенсации батареи статических конденсаторов присоединяют непосредственно (наглухо) к клеммам асинхронных электродвигателей или других потребителей реактивной мощности. Индивидуальная компенсация является наиболее совершенной, так как в этом случае от реактивной мощности разгружаются не только внешние электрические сети и трансформаторы, но и внутренняя распределительная сеть. Однако этот способ требует значительных затрат на установку большого количества конденсаторных батарей. Кроме того, время использования компенсационных батарей невелико, так как с отключением от сети электроприемника отключается и компенсационная батарея. Поэтому индивидуальную компенсацию применяют очень редко, например для мощного электродвигателя или сварочного трансформатора с низким коэффициентом мощности и большой длительностью работы в году.

При групповой компенсации конденсаторные батареи в силовых сетях присоединяются непосредственно к шинам силовых распределительных пунктов или к шинам вводно-распределительного щита, а в осветительных сетях с люминесцентными (некомпенсированными ПРА) лампами и ртутными лампами типа ДРЛ – к шинам групповых осветительных щитков. При этом способе компенсации, время использования установленной мощности батареи увеличивается.

При централизованной компенсации конденсаторные батареи устанавливаются на подстанциях и присоединяются к шинам низшего или высшего напряжения трансформаторов. При подключении к шинам низшего напряжения разгружаются от реактивной мощности не только сети 6–10 кВ, но и трансформаторы на подстанции, а при подключении к шинам высшего напряжения – только сети высшего напряжения.

При централизованной компенсации время использования конденсаторных батарей значительно больше, чем при индивидуальной или групповой.

Возможны также варианты комбинированного размещения конденсаторных батарей, которые выбирают на основании технико-экономических расчетов, так как от выбора места установки батареи зависят его стоимость и значения потерь электрической энергии. Критерием экономичности является минимум приведенных затрат.

В городских сетях компенсационные батареи обычно устанавливают непосредственно у вводных устройств потребителей на напряжение 380 В, так как при этом достигается снижение потерь электроэнергии и разгрузка всех элементов сети 6–10 кВ от реактивной мощности и повышается качество напряжения. Установка конденсаторных батарей в цеховых подстанциях на стороне 380–660 В нецелесообразна, так как это не дает снижения потерь в сети низкого напряжения. Наибольший экономический эффект достигается при их размещении в непосредственной близости от электроприемников, потребляющих реактивную мощность.

Конденсаторные батареи нельзя устанавливать во взрыво- и пожароопасных помещениях, а также в помещениях с насыщенной токопроводящей пылью и химически активной средой.

Схема подключения конденсаторных батарей в сетях напряжением 380 В приведена на рис. 4.2. Из рисунка видно, что подключение может осуществляться рубильниками, автоматическими выключателями или контакторами при дистанционном управлении.

В установках напряжением выше 1 кВ конденсаторные батареи подключаются к шинам подстанции только с помощью масляных выключателей или выключателей нагрузки.

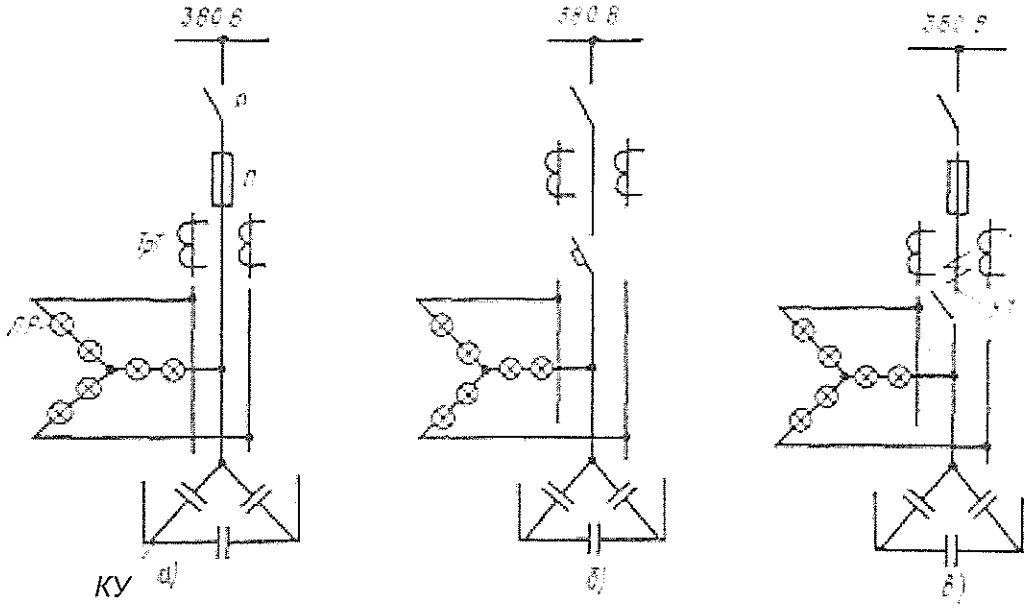


Рис. 4.2. Схемы присоединения конденсаторных установок напряжением 380 В: *а* – присоединение через рубильник *Р* и предохранитель *П*; *б* – присоединение через рубильник и автоматический выключатель; *в* – присоединение через рубильник, предохранитель и контактор; *ТрТ* – трансформаторы тока; *КТ* – контактор; *ЛР* – лампы разрядные; *КУ* – конденсаторная установка

Пример 1. По суточному графику нагрузки предприятия максимальная электрическая нагрузка приходится на 11–13 ч и составляет P_{max} = 310 кВт. Максимальный фактический тангенс угла предприятия равен 0,87. Энергосистема сообщила, что максимум ее нагрузки приходится на 17–19 ч и оптимальный тангенс угла предприятия должен составлять 0,25. Определить мощность компенсационной конденсаторной установки.

Таблица 4.2.1

Калькулятор для выбора коэффициента *F* реактивной мощности

Действующий cos φ \ Требуемый cos φ	Коэффициент *F*											
	0,80	0,82	0,84	0,85	0,87	0,89	0,91	0,93	0,95	0,96	0,98	1,00
0,30	2,43	2,48	2,53	2,56	2,61	2,67	2,72	2,78	2,85	2,89	2,98	3,18
0,35	1,93	1,98	2,03	2,06	2,11	2,16	2,22	2,28	2,35	2,38	2,47	2,68
0,39	1,61	1,66	1,72	1,74	1,79	1,85	1,91	1,97	2,03	2,07	2,16	2,36
0,44	1,29	1,34	1,39	1,42	1,47	1,53	1,59	1,65	1,71	1,75	1,84	2,04
0,49	1,03	1,08	1,13	1,16	1,21	1,27	1,32	1,38	1,45	1,49	1,58	1,78
0,53	0,85	0,90	0,95	0,98	1,03	1,09	1,14	1,20	1,27	1,31	1,40	1,60
0,58	0,65	0,71	0,76	0,78	0,84	0,89	0,95	1,01	1,08	1,11	1,20	1,40
0,62	0,52	0,57	0,62	0,65	0,70	0,75	0,81	0,87	0,94	0,97	1,06	1,27
0,67	0,36	0,41	0,46	0,49	0,54	0,60	0,65	0,71	0,78	0,82	0,90	1,11
0,72	0,21	0,27	0,32	0,34	0,40	0,45	0,51	0,57	0,64	0,67	0,76	0,96
0,76	0,11	0,16	0,21	0,24	0,29	0,34	0,40	0,46	0,53	0,56	0,65	0,86
0,81	0,03	0,08	0,10	0,16	0,21	0,27	0,33	0,40	0,43	0,52	0,72	
0,86	0,03	0,08	0,14	0,20	0,26	0,30						

Решение. По графику нагрузки предприятия определяем коэффициент K, составляющий 0,8 от максимального значения нагрузки. Мощность компенсационной установки $Q_{КУ} = K P_{max} (\mathrm{tg}\varphi_{max} - \mathrm{tg}\varphi_{ОПТ}) = 0{,}8 \cdot 310\ (0{,}87 - 0{,}25) = 153{,}7$ кВАр. Затем выбирают требуемую КУ по рассчитанной мощности.

Для расчета емкостной мощности КУ разработаны таблицы для расчета.

В табл. 4.2.1 по горизонтали отложен требуемый cos φ, по вертикали – текущий (действующий).

Емкостная реактивная мощность вычисляется по формуле:

$$Q_C = P_A \times F,$$

где Q_C – емкостная реактивная мощность,

P_A – активная мощность нагрузки,

F – коэффициент из таблицы.

Рассмотрим выбор сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током и экономической плотности тока.

4.3. Расчеты при выборе электрических проводок и кабельных линий

Выбор сечений проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током и экономической плотности тока

Предельно допустимые температуры нагрева проводов и кабелей. При прохождении тока по проводнику проводник нагревается и его температура повышается. Количество выделяемой при этом тепловой энергии (Дж), определяется уравнением

$$Q = I^2 R\, t, \qquad (4.3.1)$$

где I – ток [А]; R – активное сопротивление проводника [Ом];

t – время [с].

Нарастание температуры проводника будет продолжаться до тех пор, пока количество теплоты, получаемое проводником в единицу времени, не станет равным количеству теплоты, отдаваемому проводником за тот же промежуток времени в окружающую среду. В момент наступления равновесия между теплотой, выделяемой током в проводнике, и теплотой, отдаваемой в окружающую среду, рост температуры в проводнике прекратится. Температура, при которой наступает тепловое равновесие, называется установившейся.

Каждому длительно протекающему току по проводнику при заданных условиях охлаждения (температура среды, ветер, осадки) соответствует определенная установившаяся температура проводника. На практике часто пользуются не величиной абсолютной температуры, а величиной температуры перегрева τ, которая равна разности температур проводника $\vartheta_{ПРОВ}$ и окружающей среды $\vartheta_{СР}$: $\tau = \vartheta_{ПРОВ} - \vartheta_{СР}$.

Учитывая, что чрезмерно высокая температура проводов и кабелей приводит к преждевременному износу их изоляции, ухудшению контактных соединений и пожарной опасности, ПУЭ устанавливают в зависимости от марки проводов и кабелей, а также материала их изоляции длительно предельно допустимые температуры, при которых обеспечивается их надежная работа (табл. 4.3.1).

Однако в последнее десятилетие появились кабели с изоляцией из шитого полиэтилена и провода с изоляцией, стойкой к воздействию солнечного света, у которых длительно допустимая температура нагрева может быть отличной от приведенной в табл. 4.3.1.

В указанном случае необходимо использовать данные, приведенные в сертификате соответствия применяемых или выбранных проводов и кабелей.

Таблица 4.3.1

Допустимые температуры нагрева проводов и кабелей

Проводник и его изоляция	Длительно предельно допустимая температура нагрева проводника, °С	Предельно допустимая температура нагрева проводника при токах короткого замыкания, °С	
		Проводники	
		медный	алюминиевый
Шины: медные	70	300	–
алюминиевые	70	–	200
Кабели с изоляцией из пропитанной кабельной бумаги в свинцовой, алюминиевой или поливинилхлоридной оболочке напряжением до, кВ: 3	80	200	200
6	65	200	200
10	60	200	200
20 и 35	50	125	125
Провода с резиновой или поливинилхлоридной изоляцией, шнуры с резиновой изоляцией и кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках	65	150	150

Длительно допустимая токовая нагрузка проводов и кабелей по нагреву

Максимальное значение длительно протекающего тока, при котором температура провода или кабеля станет предельно допустимой, называется *предельно допустимым током по нагреву*.

Значение предельно допустимого тока зависит от материала и сечения проводника, температуры окружающей среды, материала изоляции и способа прокладки. При определении предельно допустимого тока для отдельных марок проводов и кабелей в зависимости от условий их прокладки необходимо знать температуру окружающей среды. ПУЭ устанавливают следующие средние расчетные температуры окружающей среды: а) для неизолированных и изолированных проводов и кабелей внутри и вне помещений температура воздуха принята 25 °С; б) для кабелей, прокладываемых в земле, температура почвы на глубине 0,7–1 м принимается 15 °С.

Предельно допустимые токовые нагрузки в амперах на провода и кабели при принятых предельно допустимых температурах нагрева, а также при соответствующих условиях внешней среды и прокладки могут быть определены на основании теплового расчета. Однако, учитывая сложность расчетов, на практике пользуются готовыми расчетными таблицами предельно допустимых токов.

Приведенные в таблицах данные определены путем расчета и уточнены экспериментально с учетом марок проводов и кабелей, сечения, условий их прокладки и при принятых предельно допустимых температурах нагрева и внешней среды. Эти таблицы регламентированы ПУЭ и ГОСТ Р50571.15–97.

В табл. 4.3.2 приведены длительно допустимые токи для проводов с алюминиевыми жилами при температуре воздуха 25 °С.

Таблица 4.3.2

Значения длительно допустимых токов для проводов с алюминиевыми жилами при температуре воздуха 25 °С

Допустимые длительные токовые нагрузки на провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами							Неизолированные провода
Сечение токопроводящей жилы, мм²	Ток, А, для проводов, проложенных						
	открыто	в одной трубе					открыто вне помещений
		двух одножильных	трех одножильных	четырех одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного	
2	21	19	18	15	17	14	–
2,5	24	20	19	19	19	16	–
3	27	24	22	21	22	18	–
4	32	28	28	23	25	21	–
5	36	32	30	27	28	24	–
6	39	36	32	30	31	28	–
8	46	43	40	37	38	32	–
10	60	50	47	39	42	38	–
16	75	60	60	55	60	55	105
25	105	85	80	70	75	65	136
35	130	100	95	85	95	75	170
50	165	140	130	120	125	105	215
70	210	175	165	140	150	135	265
95	255	215	200	175	190	165	320
120	295	245	220	200	230	190	–
150	340	275	255	–	–	–	–

При прокладке проводов скрыто (под штукатуркой, в каналах, бороздах, замоноличенных и т.д.) допустимые нагрузки принимаются, как для проводов, проложенных в трубах.

При определении длительно допустимого тока для четырехпроводной (пятипроводной) линии трехфазного тока (три фазы + нуль), проложенной в одной трубе, принимается допустимый ток при питании ламп накаливания, как для трех проводов, а люминесцентных ламп, ламп типа ДРЛ и ДРИ, как для четырех проводов.

В табл. 4.3.3 приведены длительно допустимые токи для кабелей с алюминиевыми жилами при температурах воздуха 25 °С и земли 15 °С, а в табл. 4.3.4–4.3.7 приведены значения длительных допустимых токов для проводов и кабелей с медными жилами.

Если фактическая температура окружающей среды отличается от принятой по ПУЭ, то для определения длительно допустимого тока в других условиях следует умножать значения длительно допустимого тока, указанного в таблице, на соответствующий понижающий или повышающий поправочный коэффициент.

В табл. 4.3.8 приведены поправочные коэффициенты на температуры земли и воздуха для токовых нагрузок на кабели, голые и изолированные провода.

Таблица 4.3.3

Значения длительно допустимых токов для кабелей с алюминиевыми жилами при температурах воздуха 25 °С и земли 15 °С

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Допустимые длительные токи на кабели с алюминиевыми жилами										
	с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных					с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией, в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемых в земле					
	ток, А, для кабелей										
	одножильных	двухжильных		трехжильных*		одножильных: до 1 кВ	двухжильных: до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ, до			четырехжильных: до 1 кВ
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле			3	6	10	
2,5	23	21	34	19	29	–	–	–	–	–	–
4	31	29	42	27	38	–	–	–	–	–	–
6	38	38	55	32	46	–	60	55	–	–	–
10	60	55	80	42	70	110	80	75	60	–	65
16	75	70	105	60	90	135	110	90	80	75	90
25	105	90	135	75	115	180	140	125	105	90	115
35	130	105	160	90	140	220	175	145	125	115	135
50	165	135	205	110	175	275	210	180	155	140	165
70	210	165	245	140	210	340	250	220	190	165	200
95	250	200	295	170	255	400	290	260	225	205	240
120	295	230	340	200	295	460	335	300	260	240	270
150	340	270	390	235	335	520	385	335	300	275	305
185	390	310	440	270	385	580	–	380	340	310	345
240	465	–	–	–	–	675	–	440	390	355	–

Примечание*. Длительно допустимые токи для четырехжильных кабелей до 1 кВ можно выбирать как для трехжильных кабелей с коэффициентом 0,92.

Таблица 4.3.4

Допустимый длительный ток для проводов с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной, найритовой или резиновой оболочке, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Ток *, А, для проводов и кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	–	–	–	–

Примечание: * токи относятся к проводам и кабелям, как с нулевыми жилами, так и без них.

Таблица 4.3.5

Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в земле

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырехжильных до 1 кв
			до 3	6	10	
6	–	80	70	–	–	–
10	140	105	95	80	–	85
16	175	140	120	105	95	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	355	395
185	755	–	490	440	400	450
240	880	–	570	510	460	–
300	1000	–	–	–	–	–
400	1220	–	–	–	–	–
500	1400	–	–	–	–	–
625	1520	–	–	–	–	–
800	1700	–	–	–	–	–

Таблица 4.3.6

Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в воде

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, для кабелей			
	трехжильных напряжением, кВ			четырехжильных до 1 кВ
	до 3	6	10	
16	–	135	120	–
25	210	170	150	195
35	250	205	180	230
50	305	255	220	285
70	375	310	275	350
95	440	375	340	410
120	505	430	395	470
150	565	500	450	–
185	615	545	510	–
240	715	625	585	–

Таблица 4.3.7

Допустимый длительный ток для кабелей с медными жилами с бумажной пропитанной маслоканифольной и нестекающей массами изоляцией в свинцовой оболочке, прокладываемых в воздухе

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Ток, А, для кабелей					
	одножильных до 1 кВ	двухжильных до 1 кВ	трехжильных напряжением, кВ			четырехжильных до 1 кв
			до 3	6	10	
6	–	5	45	–	–	–
10	95	75	60	55	–	60
16	120	95	80	65	60	80
25	160	130	105	90	85	100
35	200	150	125	110	105	120
50	245	185	155	145	135	145
70	305	225	200	175	165	185
95	360	275	245	215	200	215
120	415	320	285	250	240	260
150	470	375	330	290	270	300
185	525	–	375	325	305	340
240	610	–	430	375	350	–
300	720	–	–	–	–	–
400	880	–	–	–	–	–
500	1020	–	–	–	–	–
625	1180	–	–	–	–	–
800	1400	–	–	–	–	–

Длительно допустимые токовые нагрузки на кабели, приведенные в таблице, приняты из расчета прокладки одного кабеля в траншее на глубине 0,7–1 м. При прокладке нескольких кабелей в общей траншее условия охлаждения их ухудшаются, поэтому длительно допустимый ток на каждый кабель уменьшается.

Таблица 4.3.8

Значение поправочных коэффициентов на температуры земли и воздуха для токовых нагрузок на кабели, голые и изолированные провода

Условная температура среды. °С	Нормированная температура жилы, °С	Поправочные коэффициенты при фактической температуре среды, °С								
		–5	0	+5	10	15	20	25	30	35
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83
25	80	1,24	1,2	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90
25	70	1,19	1,24	1,2	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88
15	65	1,18	1,14	1,1	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,84	0,87
15	60	1,2	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75
15	50	1,25	1,2	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66

Это снижение учитывается понижающими коэффициентами. В табл. 4.3.9 и 4.3.10 даны понижающие коэффициенты на число работающих (но не резервных) кабелей, проложенных рядом в земле, включая и прокладку в трубах.

Таблица 4.3.9

Значения понижающих коэффициентов на количество работающих кабелей, положенных рядом в земле и на трубах

Расстояние в свету между кабелями, мм	Число кабелей					
	1	2	3	4	5	5
	Поправочные коэффициенты					
100	1,0	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75
200	1,0	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,0	0,93	0,9	0,87	0,86	0,85

Таблица 4.3.10

Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, питающих	
	одножильных	многожильных	отдельные электроприемники с коэффициентом использования до 0,7	группы электроприемников и отдельные приемники с коэффициентом использования более 0,7
Многослойно и пучками	–	до 4	1,0	–
	2	5–6	0,85	–
	3–9	7–9	0,75	–
	10–11	10–11	0,7	–
	12–14	12–14	0,65	–
	15–18	15–18	0,6	–
Однослойно	2–4	2–4	–	0,67
	5	5	–	0,6

Как уже указывалось, в городах кабели часто прокладываются в блоках. Следует помнить, что допустимые длительные токовые нагрузки на такие кабели ниже, чем при других условиях прокладки.

Поэтому эта прокладка с точки зрения расхода цветного металла невыгодна. Допустимые длительные токовые нагрузки на кабели, прокладываемые в блоках, зависят от сечения жил кабеля и его месторасположения в блоке, среднесуточной загрузки всего блока и номинального напряжения кабеля. Учитывая сложность учета всех факторов при определении допустимых токовых нагрузок, в ПУЭ приведена эмпирическая формула, по которой можно определить длительно допустимые токовые нагрузки на кабели, прокладываемые в блоках.

В табл. 4.3.11 приведены значения минимальных сечений проводников выпускаемых в настоящее время промышленностью.

Допустимые длительные токовые нагрузки для одиночных кабелей, прокладываемых в трубах в земле, должны приниматься такими же, как для кабелей, прокладываемых в воздухе, при температуре, равной земле.

Таблица 4.3.11

Минимальные сечения проводников

Типы электропроводки		Назначение цепи	Проводник	
			Материал	Сечение, мм^2
Стационарные электропроводки	Кабели и изолированные проводники	Силовые и осветительные цепи	Медь Алюминий	1,5 2,5 (см. прим. 1)
		Цепи сигнализации и управления	Медь	0,5 (см. прим. 2)
	Неизолированные проводники	Силовые цепи	Медь Алюминий	10 16
		Цепи сигнализации и управления	Медь	4
Гибкие соединения с изолированными проводниками и кабелями		Внутренний монтаж в приборах и устройствах	Медь	По нормам и требованиям соответствующих стандартов
		В остальных случаях	Медь	0,75 (см. прим. 3)
		В цепях сверхнизкого напряжения для специального применения	Медь	0,75

Примечания:
1. Оконцеватели, применяемые для оконцевания алюминиевых проводников, должны быть предназначены для этой цели и испытаны.
Для цепей сигнализации и управления, предназначаемых для электронного оборудования, минимально допустимый размер сечения проводников 0,1 мм^2.
2. Относится также и к многожильным гибким кабелям, имеющим семь и более жил.
3. Нагрузка на цепь при ее нормальной эксплуатации должна практически равномерно распределяться между фазами;

Выбор и проверка проводов и кабелей по нагреву

Электропроводками принято называть сети постоянного и переменного тока напряжением до 1 кВ, выполняемые изолированными проводами, а также небронированными кабелями мелких (до 16 мм^2) сечений с резиновой и пластмассовой изоляцией. Они могут прокладываться внутри зданий и сооружений, а также по наружным их стенам, по территории возле зданий.

При выборе проводов и кабелей необходимо руководствоваться указаниями ГОСТ Р50571.15–97, приведенными в табл. 4.3.12.

Электропроводка должна соответствовать условиям окружающей среды, назначению и ценности сооружений, их конструкции и архитектурным особенностям.

Электропроводка должна обеспечивать возможность легкого распознавания по всей длине проводников по цветам.

Должны применяться следующие расцветки проводов:

– *голубого цвета* – для обозначения нулевого рабочего или среднего проводника сети;

– *двухцветной комбинации зелено-желтого цвета* – для обозначения *защитного или нулевого защитного PE-проводника*;

– *двухцветной комбинации зелено-желтого цвета по всей длине с голубыми метками на концах линии*, которые наносятся при монтаже – для обозначения совмещенного *нулевого рабочего и нулевого защитного PEN-проводника*;

– *черного, коричневого, красного, фиолетового, серого, розового, белого, оранжевого, бирюзового цвета* – для обозначения *фазных проводников*.

При выборе вида электропроводки и способа прокладки должны учитываться также характер помещений по условиям электробезопасности и пожаровзрывобезопасности, ма-

териал стен и других частей здания, на которых монтируются электропроводки, напряжения сети и др. факторы. Оболочки и изоляция проводов должны соответствовать способу прокладки и условиям окружающей среды.

Кабельной линией называется линия для передачи электрической энергии или отдельных импульсов ее, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, опорными и концевыми муфтами и крепежными деталями.

Расцветки жил кабелей идентичны расцветкам проводов.

Таблица 4.3.12

Выбор типа электропроводки (кабельной линии)

Провода и кабели		Способ монтажа							
		Без крепления	С непосредственным креплением	В трубах	В коробах	В специальных коробах	На лотках и кронштейнах	На изоляторах	На тросе (струне)
Неизолированные провода		–	–	–	–	–	–	+	+
Изолированные провода		–	–	+	+	+	–	+	–
Изолированные провода в защитной оболочке и кабели в оболочках (в т.ч. бронированные и с минеральной изоляцией)	Многожильные	+	+	+	+	+	+	0	+
	Одножильные	0	+	+	+	+	+	0	+

Обозначения: «+» – разрешается; « – » – не разрешается; «0» – не применяется или обычно в практике не используется.

Примечание: Специальный короб – короб прямоугольного сечения, предназначенный для проводов и кабелей, и не имеющий съемных или открывающихся крышек

Сечение проводов, кабелей выбирается с учетом следующих требований:

– не должны нагреваться сверх допустимой температуры при протекании по ним расчетного тока нагрузки;

– потери напряжения в сети должны быть не более 4 % от номинального напряжения ЭУ;

– провода и кабели должны обладать достаточной для данного вида сети механической прочностью.

– аппараты защиты должны обеспечивать защиту всех участков сети от токов перегрузки и коротких замыканий.

Расчетная максимальная токовая нагрузка определяется по формулам:

– для трехфазной сети:

$$I_p = \frac{P_p 10^3}{\sqrt{3} U_Л \cos\varphi},\ \text{А}; \qquad (4.3.2)$$

– для однофазной сети:

$$I_p = \frac{P_p 10^3}{U_Ф \cos\varphi},\ \text{А}, \qquad (4.3.3)$$

где P_P – расчетная максимальная нагрузка, кВт;

$U_Л$, $U_Ф$ – номинальное линейное и фазное напряжение, В;

cos φ – коэффициент мощности нагрузки.

Длительно допустимая токовая нагрузка $I_{ДОП}$ и расчетная максимальная связаны соотношением:

$$I_{ДОП} \geq I_Р.$$

Значения допустимой токовой нагрузки $I_{ДОП}$ приведены в табл. 4.3.2–4.3.7.

Если протяженная кабельная линия имеет смешанную прокладку по всей трассе, то сечение кабелей следует выбирать по допустимому току нагрузки для участка трассы с наихудшими условиями охлаждения, если длина его превышает 10 м.

При повторно-кратковременном и кратковременном режимах работы электроприемников проводники линий находятся в лучших условиях охлаждения по сравнению с проводниками линий с длительным режимом работы электроприемников. Поэтому при равных токовых нагрузках сечение проводников линии может быть уменьшено по сравнению с линией, к которой подключены электроприемники с длительным режимом работы. Для выбора и проверки сечения проводов и кабелей по нагреву в качестве расчетной токовой нагрузки принимают нагрузку, приведенную к длительному режиму и определяемую по формуле:

$$I_{РАСЧ.ПРИВ} = I_{КР}\frac{\sqrt{ПВ}}{0{,}875}, \qquad (4.3.4)$$

где ПВ = $t_Р$ / $T_Ц$ – продолжительность рабочего периода (продолжительность включения), выраженная в относительных единицах ($t_Р$ – продолжительность рабочего периода, $T_Ц$ – продолжительность всего цикла работы установки); $I_{КР}$ – кратковременный ток.

В соответствии с ПУЭ по формуле (4.3.4) производят пересчет только при ПВ < 0,4, т.е. при $t_Р$ < 4 мин и $T_Ц$ < 10 мин при сечениях медных проводов больше 6 мм^2 и алюминиевых больше 10 мм^2. При медных проводах сечением до 6 мм^2 и алюминиевых до 10 мм^2 токовые нагрузки по нагреву принимают, как для установок с длительным режимом работы.

Для кратковременного режима работы с длительностью включения не более 4 мин и перерывами между включениями, достаточными для охлаждения проводников до температуры окружающей среды, наибольшие допустимые токи следует определять по нормам повторно-кратковременного режима.

Из табл. 4.3.2–4.3.7 видно, что с увеличением сечения проводов и кабелей отношение длительно допустимого тока к сечению, т.е. плотность тока $I_{ДОП}$ / S, уменьшается.

Объясняется это тем, что сечение проводов растет пропорционально квадрату диаметра $S = \pi d^2/4$, а поверхность проводника увеличивается пропорционально диаметру в первой степени: $F = \pi d l$. С увеличением сечения величина охлаждаемой поверхности, приходящаяся на единицу сечения, уменьшается, а значит, условия охлаждения проводника ухудшаются. Учитывая это, иногда целесообразно вместо одной линии прокладывать несколько параллельных линий с меньшими сечениями. Так, например, для кабеля марки ААБ (напряжением 1 кВ, сечением 3х185 мм^2), проложенного в земле, длительно допустимый ток составляет 380 А. При замене его на два кабеля той же марки сечением 3х70 мм^2 длительно допустимый ток с учетом поправочного коэффициента для двух кабелей, лежащих рядом в земле, составит 2·220·0,9 = 396 А. Следовательно, такое решение позволяет уменьшить расход проводникового материала, однако, при этом стоимость линии возрастет.

Проводники подлежат проверке по допустимому нагреву не только в нормальных условиях, но и в аварийных режимах.

На ликвидации аварии нормами допускается перегрузка кабелей с бумажной изоляцией, проложенных в земле, на 1,25 от допустимой нагрузки при загрузке кабелей на 0,6 и на 1,2 при загрузке на 0,8. Такая перегрузка допускается на время максимумов нагрузки продолжительностью не более шести часов в сутки в течение пяти суток.

На такую же продолжительность допускается перегрузка кабелей с полиэтиленовой изоляцией на 10 % и с поливинилхлоридной изоляцией на 15 % при условии, что в нормальном режиме загрузка кабелей не превышает номинальной.

Пример 1. По двум кабелям марки ААБ напряжением 1 кВ, лежащим рядом в земле, протекает рабочий ток нагрузки 320 А. Токовая нагрузка распределяется между кабелями поровну. Выбрать сечение кабелей по условиям нагрева.

Решение. Токовая нагрузка на один кабель $I_{Р.\,КАБ} = 320/2 = 160$ А.

По табл. 4.3.9 принимаем поправочный коэффициент на два кабеля, лежащих рядом в земле на расстоянии между ними 100 мм, равный 0,9. Допустимый ток на один кабель с учетом поправочного коэффициента $I_{ДОП.\,КАБ} = 160/0,9 = 177,7$ А. По табл. 4.3.3 выбираем сечение одного кабеля $S = 50$ мм^2, $I_{ДОП.\,КАБ} = 180$ А.

Пример 2. Выбрать сечение проводов марки АПВ, проложенных в металлической трубе, для питания электродвигателя станка с повторно-кратковременным режимом работы. Напряжение сети 380 В. Максимальный ток, потребляемый двигателем, составляет 76 А. Время работы двигателя 2 мин, время всего цикла 8 мин.

Решение. Продолжительность включения в относительных единицах ПВ = 2/8 = 0,25; ток нагрузки, приведенный к длительному режиму, $I_{Р.\,ПРИВ} = 76\sqrt{0,25}/0,875 = 43,4$ А.

По табл. 4.3.2 для трех проводов, проложенных в одной трубе, принимаем провод сечением 10 мм^2, допустимый ток длительной нагрузки $I_{ДОП} = 47$ А.

Учитывая, что при сечениях алюминиевых проводов до 10 мм^2 токовые нагрузки принимаются, как для установок с длительным режимом работы, сечения проводов выбираем по длительному току 76 А. Принимаем сечение $S = 25$ мм^2; $I_{ДОП} = 80$ А.

Выбор сечения проводов и кабелей по экономической плотности тока

При проектировании электрических сетей важно обеспечить наименьшую стоимость электроэнергии. Это зависит от выбранных сечений проводов. Если их занизить, то потери энергии возрастут, а увеличить – уменьшится стоимость потерянной электроэнергии. Однако это приводит к росту первоначальных капитальных затрат на сооружение сети.

Сечение, соответствующее минимуму стоимости передачи электроэнергии, называют экономическим. На величину экономического сечения влияет стоимость строительной части сети, стоимость потерь энергии в проводах электрических сетей и в трансформаторах, годовые эксплуатационные расходы, слагаемые из отчислений на амортизацию, расходы на текущий ремонт и обслуживание.

Математически определить экономическое сечение токопроводящих жил проводов и кабелей в силу сложности оценки всех факторов, влияющих на его значение, представляет некоторые трудности.

В практических расчетах ПУЭ рекомендуют определять экономическое сечение в зависимости от экономической плотности тока по формуле:

$$S_{ЭК} = I_{max} / j_{ЭК}, \qquad (4.3.5)$$

где I_{max} – максимальный расчетный ток линии при нормальной работе сети, А;

$j_{ЭК}$ – экономическая плотность тока, А/мм^2, определяемая в зависимости от материала и времени использования максимальной нагрузки.

Расчетный ток линии принимают при нормальной работе сети без учета повышенной нагрузки при авариях и ремонтах. Полученное по формуле (4.3.5) сечение проводника округляют до ближайшего стандартного сечения.

В табл. 4.3.13 приведены экономические плотности тока, рекомендуемые ПУЭ.

Таблица 4.3.13

Рекомендуемые значения экономической плотности тока

Наименование проводников	Экономическая плотность тока. А/мм^2, при продолжительности использования максимума нагрузки в год, ч		
	1000–3000	3000–5000	5000–8700
Голые провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и полихлорвиниловой изоляцией с жилами:			
медными	3,0	2,5	2,0
алюминиевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медными	3,5	3,1	2,7
алюминиевыми	1,9	1,7	1,6
Примечание. Для проводов и кабелей всех сечений экономическая плотность тока повышается на 40 % при максимуме нагрузки в ночное время, а для изолированных проводов сечением до 16 мм^2 – независимо от времени максимума.			

Согласно указаниям ПУЭ по экономической плотности тока, не выбирают: а) сети промышленных предприятий и сооружений напряжением до 1000 В при числе часов использования максимума нагрузки предприятия до 4000–5000 в году; б) ответвления к отдельным электроприемникам напряжением до 1000 В, а также осветительные сети промышленных предприятий, жилых и общественных зданий; в) сборные шины электроустановок всех напряжений; г) сети временных сооружений, а также установки с малым сроком службы (3–5 лет); д) провода, идущие к сопротивлениям, пусковым реостатам.

Пример 3. Подстанция коммунального предприятия питается двумя кабельными линиями напряжением 6,3 кВ. Кабель принят бронированный, с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами. Максимальная нагрузка предприятия S_{max} = 960 кВА. Токовая нагрузка между питающими кабелями распределяется поровну. Продолжительность использования максимальной нагрузки T_{max} = 4500 ч. Выбрать по экономической плотности тока сечение кабелей.

Решение. Определяем расчетный ток нагрузки:

$$I_{РАСЧ} = S_{max}/(\sqrt{3}\cdot U_{НОМ}) = 960/(\sqrt{3}\cdot 6{,}3) = 88 \text{ А}.$$

Расчетный ток на один кабель $I_{РАСЧ}$ = 88/2 = 44 А.

По табл. 4.3.13 находим, что для кабеля с бумажной изоляцией и алюминиевыми жилами при T_{max} = 4500 ч экономическая плотность тока $j_{ЭК}$ = 1,4 А/мм^2. Определяем экономическое сечение кабеля:

$$S_{ЭК} = I_{РАСЧ}/j_{ЭК} = 44/1{,}4 = 31{,}4 \text{ мм}^2.$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение 35 мм^2. Принятое сечение проверяем по условию нагревания. Длительно допустимый ток по нагреву для кабеля сечением 35 мм^2, лежащего в земле, по табл. 4.3.3 составит $I_{ДОП}$=125 А.

Введем поправочный коэффициент на число кабелей (оба кабеля рабочие), лежащих в одной траншее, равным 0,9: $I_{ДОП.КАБ}$ = 125*0,9 = 112,5 А; $I_{ДОП}$ = 112,5 А > $I_{РАСЧ}$ = 44 А.

Следовательно, сечение кабелей, выбранное по экономической плотности тока, проходит и по условию нагрева. Кроме того, выбранное сечение кабелей должно быть проверено на термическую устойчивость к току трехфазного короткого замыкания.

Расчет трехфазных сетей напряжением до 10 кВ по потере напряжения

Допустимые потери и отклонения напряжения. Напряжение в электрической сети изменяется вследствие потери напряжения в активных и индуктивных сопротивлениях проводов и кабелей. Оно уменьшается по направлению, от источника питания к потребителю.

График изменения напряжения вдоль линии при равномерном распределении нагрузки изображен на рис. 4.3. Из графика видно, что напряжение U_1, в начале линии выше, чем U_2 в ее конце. Из всех подключенных электроприемников напряжение $U_{НОМ}$ имеют электроприемники, присоединенные к линии в точке *б*. Остальные электроприемники получают электроэнергию при повышенном напряжении (1, 2, 3, 4) и при пониженном (6, 7, 8, 9, 10).

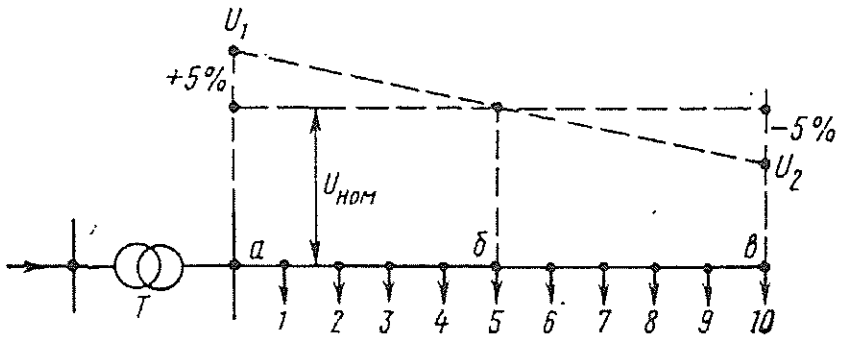


Рис. 4.3. Изменение напряжения вдоль линии при равномерном распределении нагрузки

Номинальное напряжение сети численно равно номинальному напряжению приемников электроэнергии, при котором обеспечивается их нормальная работа.

Потерей напряжения ΔU на каком-либо участке сети называют алгебраическую разность между значениями напряжения в начале и в конце этого участка сети. По графику рис. 4.3 потеря напряжения на участке *а–в* определится как

$$\Delta U = U_1 - U_2 . \qquad (4.3.6)$$

Потеря напряжения в процентах от номинального напряжения

$$\Delta U\,\% = \frac{U_1 - U_2}{U_{ном}} \cdot 100 . \qquad (4.3.7)$$

Для возмещения потерь напряжения в сети и для обеспечения электроприемников напряжением, близким к номинальному, источники питания (генераторы, трансформаторы) изготовляют с расчетом создания на их зажимах напряжения на 5 % выше номинального.

Приемники электрической энергии (двигатели, электрические лампы освещения и т.п.) для экономичной их эксплуатации должны обеспечиваться качественной электрической энергией. Одним из основных условий качества электроэнергии является отличие действительного подводимого напряжения к электроприемнику от номинального напряжения, на которое он рассчитан для нормальной работы.

Отклонением напряжения V называют алгебраическую разность между действительным напряжением на зажимах электроприемника U и его номинальным напряжением $U_{ном}$, на которое он рассчитан для нормальной работы:

$$V = U - U_{ном} . \qquad (4.3.8)$$

Таким образом, отклонение напряжение может быть как положительным, так и отрицательным.

Относительным отклонением напряжения называют отклонение напряжения, выраженное в процентах от номинального:

$$V\,\% = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 . \qquad (4.3.9)$$

Электроприемник работает тем лучше, чем меньше отклонения напряжения на его

зажимах от номинального. Недопустимые отклонения напряжения в сети от номинального напряжения электроприемников приводят к нежелательным последствиям. Так, например, при снижении напряжения на 10 % световой поток ламп накаливания снижается примерно на 30 %, а при повышении на 10 % срок службы ламп сокращается примерно в пять раз.

Электродвигатели меняют свои характеристики при изменении напряжения на их клеммах. Известно, что вращающий момент трехфазного асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения на его зажимах. При значительном отклонении напряжения пусковой момент двигателя может оказаться меньше момента сопротивления механизма и двигатель не будет работать при включении. При увеличении напряжения на зажимах статора выше номинального намагничивающий ток и реактивная мощность электродвигателя возрастают, что приводит к уменьшению коэффициента мощности $\cos\varphi$. Кроме того, увеличиваются потери на нагревание статора и общий перегрев двигателя, а это приводит к более быстрому износу изоляции.

Отклонения напряжения наносят большой ущерб жилищно-коммунальным потребителям. Повышение напряжения в ночное время вызывает массовое перегорание ламп на лестничных клетках жилых домов и других зданий, а также преждевременный выход из строя электродвигателей лифтов. Нестабильность напряжения в различное время суток вызывает преждевременное перегорание сопротивлений нагревательных приборов и ускоренный износ частей телевизоров и радиоприемников. Увеличивается применение индивидуальных стабилизаторов напряжения, ухудшающее режим работы городской сети, так как коэффициент мощности телевизоров при этом снижается с 0,95 до 0,88, что увеличивает потери энергии.

Учитывая эти обстоятельства, ПУЭ регламентируют допустимый предел отклонения напряжения от номинального у потребителей электроэнергии (табл. 4.3.14).

Таблица 4.3.14

Значения предельно допустимых отклонений напряжения (%)

Характеристика потребителя	
Рабочее освещение промышленных и коммунальных предприятий и общественных зданий	+ 5,0
	– 2,5
Прожекторное освещение (наружное)	+ 5,0
Рабочее освещение жилых зданий	– 2,5
аварийное, наружное, выполненное светильниками	± 5,0
Аварийный режим осветительной установки	– 12,0
Электродвигатели:	
в нормальных условиях	± 5,0
в особых условиях	+ 10,0
в сетях напряжением 12–36 В	– 10,0

Для обеспечения у электроприемников допустимого уровня напряжения на их зажимах необходимо при расчете разомкнутых электрических сетей на потерю напряжения величину потери определять так, чтобы отклонения напряжения на зажимах, присоединенных к сети электроприемников, не выходили за допустимые пределы.

Иногда в предпроектных проработках и при эксплуатации для оценивания затрат на работы или для принятия технических решений необходимо проведение упрощенных расчетов. Рассмотрим один из них.

Упрощенные расчеты проводов и кабелей напряжением до 1 кВ

$$\Delta U_{\%} = \frac{100 \cdot P_p \cdot l}{U^2 \cdot \gamma \cdot F}, \qquad (4.3.9)$$

где P_P – расчетная мощность, в Вт;

l – длина кабеля, м;

γ – удельная проводимость; для меди $\gamma = 53$ м/Ом·мм^2; для алюминия $\gamma = 32$ м/Ом·мм^2;

U – номинальное напряжение, В.

Последовательность выбора типа электропроводки:

1. Задаются типом провода (кабеля) в зависимости от условий прокладки линии.

2. Выбирают способ монтажа электропроводки в зависимости от типа используемого провода (кабеля) и места прокладки в соответствии с табл. 4.3.12 при условии, что внешние воздействия на провода (кабели) соответствуют требованиям действующих стандартов на эти провода и кабели.

3. Зная величину мощности, которую требуется передать по линии, находят расчетный ток линии по приведенным выше формулам.

4. По таблицам допустимых токовых нагрузок выбирают стандартные сечения проводов и кабелей.

Сечения фазных проводников в цепях переменного тока и токоведущих проводников в цепях постоянного тока не должны быть менее значений, указанных в табл. 4.3.11.

5. После определения сечения провода необходимо провести его проверку по потере напряжения, которая должна быть не более 4 %. Результаты проверки оформляются в виде таблицы, пример которой приведен в табл. 4.3.15.

Таблица 4.3.15

Проверка отходящих линий по потери напряжения

щит	линия	P_{max}, кВт	длина линии, м	сечение, мм^2	потеря напряжения, ΔU, %	требование к ΔU,%	соответствие
ГРЩ	гр.3	0,422	11	2,5	0,02	4	соответствует
	гр.4	0,433	27	2,5	0,06	4	соответствует
	гр.5	0,446	21	2,5	0,05	4	соответствует
	гр.6	0,182	22	2,5	0,02	4	соответствует
	гр.7	0,312	19	2,5	0,03	4	соответствует
	гр.8	0,20	15	2,5	0,02	4	соответствует
ЩС1	гр.1	0,376	15	1,5	0,05	4	соответствует
	гр.2	1,008	20	2,5	0,11	4	соответствует
	гр.3	0,864	20	2,5	0,09	4	соответствует
	гр.4	0,72	20	2,5	0,08	4	соответствует
	гр.5	0,224	15	1,5	0,03	4	соответствует
	гр.6	0,288	20	1,5	0,05	4	соответствует
	гр.7	0,2	30	2,5	0,03	4	соответствует
	гр.8	0,3	30	2,5	0,05	4	соответствует
	гр.9	0,24	30	1,5	0,19	4	соответствует

Выше рассмотрен упрощенный расчет сечений проводов и кабелей небольшой протяженности. Рассмотрим расчет линий по потере напряжения с учетом только активного и активно-индуктивного сопротивления.

Активное сопротивление проводов и кабелей. Для упрощения расчета сетей напряжения до 10 кВ на потерю напряжения принимают некоторые допущения. Например, пренебрегают емкостной проводимостью, так как при небольшой длине сети она незначительна и

не влияет на результаты расчета. Учитывая это, для расчета сетей принимают упрощенную схему замещения сети, состоящую из последовательно соединенных активных r и индуктивных x сопротивлений (рис. 4.4). Другие принятые допущения указаны при определении потери напряжения сетей, обладающих активным и индуктивным сопротивлениями.

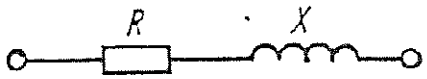


Рис. 4.4. Схема замещения электрической сети напряжением до 10 кВ

Различают сопротивления проводника постоянному току – омическое и переменному току – активное.

Из курса электротехники известно, что активное сопротивление проводников переменному току при прочих равных условиях больше, чем их сопротивление постоянному току. Это вызвано тем, что при протекании по проводнику переменного тока как внутри проводника, так и в пространстве, окружающем проводник, образуется переменное магнитное поле. Вследствие этого в проводнике наводится противодействующая электродвижущая сила самоиндукции, имеющая наибольшее значение в центре проводника, и наименьшее – у его поверхности. Эта сила вызывает неравномерное распределение тока по сечению проводника. При этом плотность тока возрастает от оси к поверхности проводника и ток как бы вытесняется от центра провода к его поверхности. Это явление называют поверхностным эффектом. В результате уменьшается использование фактического сечения провода и его сопротивление возрастает по сравнению с омическим.

Однако для проводов, выполненных из цветного металла (немагнитных металлов), при частоте переменного тока 50 Гц поверхностный эффект не оказывает заметного влияния на сопротивление провода и в расчетах сетей не учитывается. Поэтому в практических расчетах активные сопротивления проводов из цветного металла обычно принимают равными их омическим сопротивлениям.

При расчетах электрических сетей активное сопротивление для медных или алюминиевых проводов определяют по формуле

$$r = l/(\gamma s), \tag{4.3.10}$$

где l – длина провода, м;

s – площадь поперечного сечения провода, мм^2;

γ – удельная проводимость материала провода при данной температуре, м/(Ом*мм^2).

Активное сопротивление провода зависит от его температуры. Зависимость удельной проводимости от температуры можно определить по формуле

$$\gamma_t = \frac{\gamma_0}{1+\alpha(t-20)}, \tag{4.3.11}$$

где γ_t – удельная проводимость при t;

γ_0 – удельная проводимость при $t = 20$ °С;

t – температура провода, °С;

α – температурный коэффициент электрического сопротивления, который для меди и алюминия принимают равным 0,004.

Удельная проводимость медных и алюминиевых проводов при температуре 20 °С принимается:

для медных проводников $\gamma_M = 53$ м/(Ом*мм^2);

для алюминиевых проводников $\gamma_A = 32$ м/(Ом*мм^2).

При расчетах электрических сетей величину активного сопротивления определяют по формуле

$$r = r_0 l, \tag{4.3.12}$$

где r_0 – расчетное сопротивление 1 км провода, Ом/км;

l – длина провода, км.

Значения активных сопротивлений r_0 (Ом/км) для медных и алюминиевых проводов и кабелей приведены в табл. 4.3.16.

Таблица 4.3.16

Значения удельных активных сопротивлений для медных и алюминиевых проводов и кабелей

Сечение, мм	Провода и кабели, Ом/км		Сечение, мм^2	Провода и кабели, Ом/км	
	медные	алюминие-вые		медные	алюминие-вые
1	18,9	–	35	0,54	0,92
1,5	12,6	–	50	0,39	0,64
2,5	7,55	12,6	70	0,28	0,46
4	4,56	7,90	95	0,2	0,34
6	3,06	5,26	120	0,158	0,27
10	1,84	3,16	150	0,123	0,21
16	1,20	1,98	185	0.103	0,17
25	0,74	1,28	240	0,17	0,132

Индуктивное сопротивление проводов и кабелей. Как уже отмечалось, при переменном токе в линии вокруг ее проводов создается переменное магнитное поле, которое обусловливает индуктивное сопротивление линии. Величина сопротивления зависит от расстояния между проводами линии, диаметра провода, относительной магнитной проницаемости, частоты переменного тока.

Значение индуктивного сопротивления 1 км трехфазной воздушной линии для любого расположения проводов, материала проводов и частоты переменного тока можно определить по формуле (Ом/км)

$$x_0 = w\left(4{,}61 \lg \frac{2Д_{СР}}{d} + 0{,}5\mu\right)\cdot 10^{-4}, \qquad (4.3.13)$$

где w – угловая частота;

$Д_{СР}$ – среднее геометрическое расстояние между осями проводов, мм;

d – диаметр провода, мм;

μ – относительная магнитная проницаемость провода.

Среднее геометрическое расстояние между осями трех проводов трехфазной линии, проложенных в одной плоскости, определяется выражением

$$Д_{СР} = \sqrt[3]{Д_{1-2}Д_{2-3}Д_{1-3}}\ . \qquad (4.3.14)$$

При горизонтальном или вертикальном расположении проводов трехфазной линии в одной плоскости с расстоянием между проводами $Д$

$$Д_{СР} = \sqrt[3]{ДД\cdot 2Д} = Д\sqrt[3]{2} = 1{,}26Д\ . \qquad (4.3.15)$$

Из формулы (4.3.13) видно, что первый член представляет собой индуктивное сопротивление, обусловленное внешним магнитным полем, и называется внешним индуктивным сопротивлением x_0'.

Оно зависит не от материала провода и значения протекающего тока, а от расстояния между проводами и диаметра провода. Поскольку расстояние между проводами выбирают в зависимости от значения напряжения, внешнее индуктивное сопротивление тем больше, чем больше номинальное напряжение линии. Оно больше у воздушной линии, чем у кабельной, так как жилы кабеля расположены значительно ближе друг к другу. Увеличение сечения проводов линии ведет к незначительному уменьшению внешнего индуктивного сопротивления.

Второй член формулы представляет собой индуктивное сопротивление провода, созданное переменным магнитным полем внутри проводника, и называется внутренним индуктивным сопротивлением x_0''. Оно зависит только от магнитной проницаемости материала провода и, следовательно, от значения тока.

Таким образом, формулу (4.3.13) можно представить в виде суммы внешнего и внутреннего индуктивных сопротивлений:

$$x_0 = x_0' + x_0'' \qquad (4.3.16)$$

Внутреннее индуктивное сопротивление x_0'' стальных проводов в отличие от проводов из цветных металлов имеет преобладающее значение. Это вызвано тем, что внутреннее индуктивное сопротивление пропорционально магнитной проницаемости, зависящей от протекающего тока в проводе. Если для проводов из цветных металлов $\mu = 1$, то для стальных проводов μ может достигать значения 10^3 и даже больше.

Для линии с проводами из цветных металлов (немагнитных), у которых $\mu = 1$, и при промышленной частоте переменного тока 50 Гц внутреннее индуктивное сопротивление x_0'' по сравнению с внешним x_0' составляет ничтожно малую величину и им обычно пренебрегают: в этом случае формула (4.3.13) примет следующий вид (Ом/км):

$$x_0' = 0{,}144 \lg \frac{2Д_{ср}}{d}. \qquad (4.3.17)$$

Для определения индуктивного сопротивления (Ом/км) воздушной или кабельной линии протяженностью l (км) пользуются выражением

$$x = x_0' l, \qquad (4.3.18)$$

где x_0' – индуктивное сопротивление 1 км провода или кабеля на фазу; l – длина линии.

Для практических расчетов индуктивные сопротивления трехфазных линий x_0, Ом/км, можно определять по табл. 4.3.17.

Таблица 4.3.17

Значения индуктивных сопротивлений трехфазных линий

Сечения проводов, мм^2	Провода в трубе	Линии напряжением, кВ						
		воздушные			кабельные			
		до 1	6–10	35	до 1	6	10	35
4–6	0,10	–	–	–	0,09	–	–	–
10–25	0,09	0,36	0,41	–	0,07	0,1	0,11	–
35–70	0,08	0,33	0,38	0,42	0,06	0,08	0,09	–
95–120	0,08	0,3	0,35	0,4	0,06	0,08	0,08	0,12
150–240	0,08	–	–	–	0,06	0,08	0,08	0,11

Определение потери напряжения сетей, обладающих активным и индуктивным сопротивлениями. Рассмотрим два случая присоединения электрических нагрузок к трехфазной линии:

а) активно-индуктивная нагрузка подключена на конце линии; б) к линии по всей ее длине подключены несколько активно-индуктивных нагрузок.

Трехфазная линия с нагрузкой на конце. Если нагрузка, подключенная в конце линии, распределена равномерно по фазам линии, а также при одинаковом сопротивлении проводов, то потерю напряжения можно определить для одной фазы. В этом случае трехфазную линию изображают в виде одной линии (рис. 4.5, *а*).

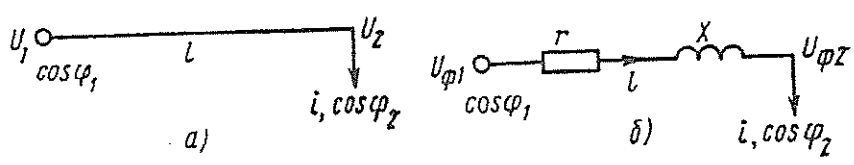


Рис.4.5. Линия трехфазного переменного тока с нагрузкой на конце

При расчете используют фазные напряжения в начале и конце линии, а за нагрузку принимают нагрузку одной фазы (рис. 4.5, *б*). Обозначим: r – активное сопротивление линии, Ом; x – индуктивное сопротивление линии, Ом; Z – полное сопротивление линии, Ом; $U_{\Phi 1}$ – фазное напряжение в начале линии, В; $U_{\Phi 2}$ – фазное напряжение в конце линии, В; i – ток нагрузки каждого провода, А; cos φ_1, cos φ_2 – коэффициенты мощности нагрузки в начале и конце линии.

Примем, что $U_{\Phi 2}$, i и cos φ_2 известны: требуется определить напряжение $U_{\Phi 1}$ и cos φ_1 в начале линии. Для этого строим векторную диаграмму напряжений и токов для одной фазы линии (рис. 4.6).

Отложим отрезок *Oa*, представляющий в некотором масштабе вектор фазного напряжения $U_{\Phi 2}$ в конце линии. Под углом φ_2 в сторону отставания от вектора напряжения $U_{\Phi 2}$ откладываем вектор тока $i = Oh$. От точки *a* параллельно вектору тока i отложим отрезок *ab*, представляющий собой падение напряжения $i \cdot r$ в активном сопротивлении одной фазы линии. От точки *b* перпендикулярно отрезку *ab* отложим отрезок *bc*, представляющий собой падение напряжения $i \cdot x$ в индуктивном сопротивлении линии.

Из треугольника *abc* видно, что отрезок *ac* представляет собой геометрическую сумму падений напряжения в активном и индуктивном сопротивлениях одной фазы линии.

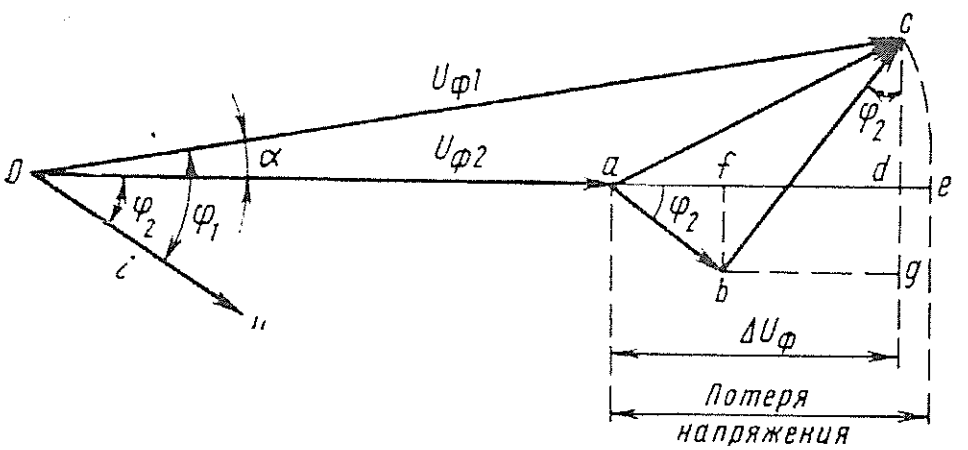


Рис. 4.6. Векторная диаграмма линии трехфазного переменного тока с нагрузкой на конце

Вектор *ac*, численно равный $i \cdot z = \sqrt{(i \cdot y)^2 + (i \cdot x)^2}$, представляет собой величину полного падения напряжения в одной фазе линии.

Соединив линией точки *O* и *c*, найдем вектор напряжения в начале линии $U_{\Phi 1}$.

Геометрическую разность векторов напряжений в начале и конце линии называют падением напряжения:

$$ac = U_{\Phi 1} - U_{\Phi 2} = i \cdot z.$$

Из диаграммы видно, что вектор $U_{\Phi 2}$ сдвинут относительно вектора $U_{\Phi 1}$ в начале линии на угол $\alpha = \varphi_1 - \varphi_2$.

При расчете электрических сетей определяют не падение, а только потерю напряжения в линии, так как работа электроприемников зависит от абсолютного значения напряжения на их зажимах, а не от его фазы (направление вектора).

Алгебраическую разность значений напряжений в начале и конце линии называют потерей напряжения, которую можно определить как разность показаний вольтметров, включенных в начале и конце линии.

Графически потеря напряжения изображается отрезком $ae = U_{\Phi 1} - U_{\Phi 2}$

Для сетей напряжением до 10 кВ углы α между $U_{\Phi 1}$ и $U_{\Phi 2}$ весьма малы, а следовательно, мал и отрезок *dc*. Пренебрегая величиной отрезка *dc*, принимают за величину потери напряжения отрезок *ad*, который является проекцией вектора *ac* на направление вектора $U_{\Phi 2}$.

Отрезок *ad* называют продольной составляющей падения напряжения и обозначают ΔU_{Φ}, а отрезок *dc* – поперечной составляющей падения напряжения.

Поскольку отрезок *dc* весьма мал (поперечная составляющая), можно считать, что потеря напряжения приблизительно равна продольной составляющей падения напряжения, т.е. $ad \approx ae = \Delta U_{\Phi}$.

При этом допущении погрешность в подсчете потери напряжения не превышает 5 % от действительного значения потери напряжения.

Определим числовое значение потери напряжения. Величину можно выразить так:

$$Ad = af + fd = af + bq = \Delta U_{\Phi}$$

но

$$af = i \cdot r \cos\varphi_2 \text{ и } bq = i \cdot x \sin\varphi_2;$$

следовательно, потеря напряжения в фазе

$$\Delta U_{\Phi} = i \cdot r \cos\varphi_2 + bq = i \cdot x \sin\varphi_2.$$

Так как линейная потеря напряжения $\Delta U = \sqrt{3}\Delta U_{\Phi}$, то потеря напряжения в трехфазной линии с нагрузкой на конце

$$\Delta U = \sqrt{3}\Delta U_{\Phi} = \sqrt{3} \cdot i(r\cos\varphi_2 + x\sin\varphi_2).$$

Выразим $r = r_0 l$, $x = x_0 l$, где r_0 и x_0 – активное и индуктивное сопротивления 1 км провода или кабеля на фазу, Ом/км, l – длина линии, км; тогда потеря напряжения в трехфазной линии

$$\Delta U\% = \frac{\sqrt{3}\,100\,i\,l}{U_{ном}}(r_0\cos\varphi_2 + x_0\sin\varphi_2). \qquad (4.3.19)$$

Если нагрузка на конце задана не током, а мощностью, то, подставляя значение $i = \dfrac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{ном}\cos\varphi_2}$ в формулу (4.3.19), получим

$$\Delta U\% = \frac{10^5 Pl}{U_{ном}^2\cos\varphi_2}(r_0\cos\varphi_2 + x_0\sin\varphi_2). \qquad (4.3.20)$$

Произведя преобразования, получим

$$\Delta U\% = \frac{10^5 Pl}{U_{ном}^2}(r_0 + x_0\operatorname{tg}\varphi_2). \qquad (4.3.21)$$

Трехфазная линия с несколькими нагрузками вдоль линии. Потерю напряжения с несколькими нагрузками определяют как сумму потерь напряжений на отдельных участках линий:

$$\sum\Delta U\% = \Delta U_{A-1}\% + \Delta U_{1-2}\% + \Delta U_{2-3}\% + \ldots$$

Для линии с двумя нагрузками (рис. 4.7), заданными мощностями в ответвлениях, суммарная потеря напряжения

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{U_{ном}^2}\left[(r_{01} + x_{01}\operatorname{tg}\varphi_1)P_1' L_1 + (r_{02} + x_{02}\operatorname{tg}\varphi_2)P_2' L_2\right],$$

где P_1', P_2' – мощности в ответвлениях, кВт; L_1, L_2 – длины от начала линии до соответствующего ответвления, км.

Потеря напряжения в общем виде для нескольких распределенных нагрузок по трехфазной линии

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{U_{ном}^2}\sum(r_0 + x_0\operatorname{tg}\varphi)P'L. \qquad (4.3.22)$$

Если расчет потерь напряжений ведется по суммарным мощностям P на каждом участке линии l, выражение (4.3.22) примет вид

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{U_{ном}^2}\sum(r_0 + x_0\operatorname{tg}\varphi)Pl. \qquad (4.3.23)$$

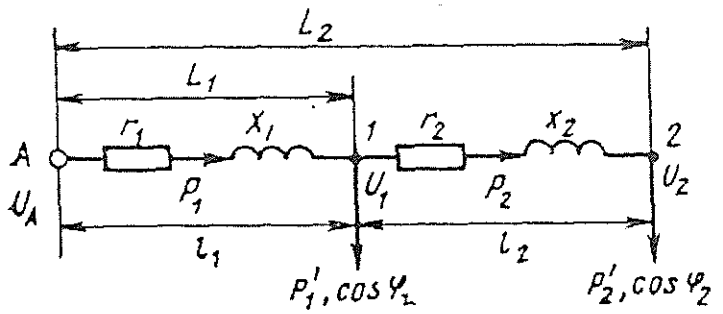


Рис. 4.7. Линия трехфазного переменного тока с двумя нагрузками

В выражениях (4.3.22), (4.3.23) допущена небольшая погрешность, так как напряжения в точках приложения нагрузок отличаются друг от друга из-за потерь напряжения на участках между этими точками. Однако для технических расчетов эта погрешность не имеет значения. Поэтому предполагается, что линейное напряжение каждого ответвления равно номинальному напряжению линии.

По выведенным формулам, если известны сечения проводов, можно определить потери напряжения в линии. Поэтому при проектировании новых линий необходимо выбрать эти сечения по экономической плотности тока, условиям допустимого нагрева, а затем проверить выбранные сечения по допустимой потере напряжения. Если потери напряжения при выбранных сечениях превосходят допустимые, то следует увеличить сечения проводов и повторить расчет.

Рассмотрим частные случаи расчета трехфазных линий. В ряде случаев при определении потери напряжения в трехфазной линии формулы (4.3.22), (4.3.23) упрощаются если:

1) линия выполнена проводом одного и того же сечения и материала; в этом случае r_0 и x_0 постоянны и формулы приобретают вид

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{U_{НОМ}^2}\left(r_0 \sum P' L + x_0 \sum \operatorname{tg}\varphi P' L\right); \qquad (4.3.24)$$

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{U_{НОМ}^2}\left(r_0 \sum Pl + x_0 \sum \operatorname{tg}\varphi Pl\right); \qquad (4.3.25)$$

2) линия выполнена, как и в предыдущем случае, но не учтено индуктивное сопротивление проводов; здесь $x_0 = 0$; тогда формулы примут вид

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{U_{НОМ}^2} r_0 \sum P' L; \qquad (4.3.26)$$

$$\Delta U\% = \frac{10^5}{U_{НОМ}^2} r_0 \sum Pl; \qquad (4.3.27)$$

3) линия выполнена, как и в первом случае, но все нагрузки чисто активные, т.е. $\cos\varphi = 1$, а следовательно, $\sin\varphi = 0$. Тогда формулы примут вид, как (4.3.26) и (4.3.27).

При расчете сетей, к которым подключены электроприемники, имеющие $\cos\varphi < 1$, следует учитывать индуктивное сопротивление линии во избежание ошибки в сторону уменьшения величины потери напряжения против имеющейся в линии. Ошибка растет с увеличением сечения проводов и уменьшением $\cos\varphi$.

Анализ показывает, что с достаточной для практики точностью индуктивными сопротивлениями линий можно пренебречь, если воздушные сети имеют $\cos\varphi$, близкий к единице; кабельные линии – $\cos\varphi$ не меньше 0,95 и сечение жил – не больше 35 мм^2 (по меди); внутренние сети напряжением до 1000 В, выполненные шнуром или проводами в трубах, а также проводами сечением до 6 мм^2 на роликах, предназначенные для питания мелких электродвигателей.

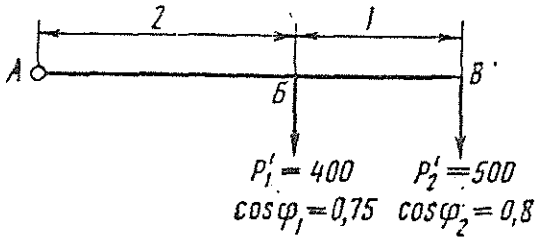


Рис. 4.8. Схема к примеру 5.

Пример 4. Определить потерю напряжения в трехфазной воздушной линии с номинальным напряжением $U_{НОМ} = 10$ кВ протяженностью $l = 2$ км, питающей электрооборудование коммунального предприятия мощностью $P = 100$ кВт. Коэффициент мощности нагрузки $\cos\varphi = 0{,}8$ ($\operatorname{tg}\varphi = 0{,}75$). Линия выполнена алюминиевыми проводами сечением 25 мм^2.

Решение. По табл. 4.3.16 определяем активное сопротивление 1 км линии: $x_0 = 1{,}28$ Ом/км. По табл. 4.3.17 находим индуктивное сопротивление 1 км линии: $x_0 = 0{,}41$ Ом/км. Потеря напряжения в линии

$$\Delta U\,\% = \frac{10^5 Pl}{U_{НОМ}^2}(r_0 + x_0\, tg\,\varphi) = \frac{10^5 \cdot 100 \cdot 2}{10000^2}(1{,}28 + 0{,}41 \cdot 0{,}75) = 0{,}32\,\%.$$

Пример 5. Определить потерю напряжения в трехфазной сети 10 кВ, изображенной на рис. 4.8. Сеть выполнена воздушной линией с алюминиевыми проводами сечением 35 мм^2 на участке *А–Б* и сечением 25 мм^2 на участке *Б–В*. Нагрузки в ответвлениях даны в киловаттах. Соответствующие коэффициенты мощности $\cos\varphi$ в ответвлениях, а также длины участков сети в километрах указаны на схеме.

Решение. По табл. 4.3.16 для трехфазной воздушной линии с алюминиевыми проводами сечением 35 мм^2 $r_{01} = 0{,}92$ Ом/км, а для проводов сечением 25 мм^2 $r_{02} = 1{,}280$ Ом/км.

По табл. 4.3.17 для трехфазной воздушной линии 10 кВ сечением 35 мм^2 индуктивное сопротивление $x_{01} = 0{,}38$ Ом/км, а для линии сечением 25 мм^2 $x_{02} = 0{,}41$ Ом/км. Определяем суммарную потерю напряжения по формуле 4.3.22:

$$\Delta U\,\% = \frac{10^5}{U_{НОМ}^2}\sum(r_0 + x_0 \operatorname{tg}\varphi)P'L = \frac{10^5}{U_{НОМ}^2}\left[(r_{01} + x_{01}\operatorname{tg}\varphi_1)P'_1 L_1 + (r_{02} + x_{02}\operatorname{tg}\varphi_2)P'_2 L_2\right];$$

при $\cos\varphi_1 = 0{,}75$; $\operatorname{tg}\varphi_1 = 0{,}87$; при $\cos\varphi_2 = 0{,}8$; $\operatorname{tg}\varphi_1 = 0{,}75$. Суммарная потеря напряжения составит

$$\Delta U\,\% = \frac{10^5}{10000^2}\left[(0{,}92 + 0{,}38 \cdot 0{,}87)\cdot 400 \cdot 2 + (1{,}28 + 0{,}41 \cdot 0{,}75)\cdot 500 \cdot 3\right] = 3{,}37\,\%.$$

Определение сечений проводов и кабелей трехфазных линий по допустимой потере напряжения при постоянном сечении вдоль линии. Для линии, выполненной проводом одного и того же сечения без учета индуктивного сопротивления проводов, потеря напряжения [см. (4.3.26), (4.3.27)]

$$\Delta U\,\% = \frac{10^5}{U_{НОМ}^2} r_0 \sum P'L \text{ или } \Delta U\,\% = \frac{10^5}{U_{НОМ}^2} r_0 \sum Pl.$$

Заменив r_0 на проводимость и сечение провода, т.е. $r_0 = 1/(\gamma S)$, и вместо ΔU % подставив $\Delta U_{ДОП}$ %. получим формулу для определения сечения проводов трехфазной линии по допустимой потере напряжения:

$$S = \frac{10^5}{\gamma \Delta U_{доп}\,\% U_{НОМ}^2}\sum P'L.$$

Для линий с наличием индуктивного сопротивления определение сечения проводов по допустимой потере напряжения представляет большие трудности. Дело в том, что если активное сопротивление проводов связано с сечением простым отношением $R = l/(\gamma S)$, то

индуктивное сопротивление имеет сложную зависимость от сечения провода. Поэтому для непосредственного нахождения сечения применяют следующий метод.

Известно, что потерю напряжения в трехфазной линии при постоянном сечении вдоль линии можно представить состоящей из двух частей: активной составляющей $\Delta U_A = r_0 \frac{\sum P' L}{U_{ном}}$ и реактивной (индуктивной) составляющей $\Delta U_P = x_0 \frac{\sum Q' L}{U_{ном}}$, т.е.

$$\Delta U = r_0 \frac{\sum P' L}{U_{ном}} + x_0 \frac{\sum Q' L}{U_{ном}} = \Delta U_A + \Delta U_P,$$

где ΔU – потеря напряжения, В.

Установлено, что индуктивное сопротивление линий незначительно меняется при изменении их сечения. Так, например, для 1 км воздушных линий индуктивное сопротивление x_0 колеблется в пределах от 0,36 до 0,46 Ом/км, а для кабелей напряжением 6–10 кВ – от 0,06 до 0,09 Ом/км. Это дает возможность без особых затруднений определить сечение проводов линии.

В начале расчета задаются средним значением индуктивного сопротивления, приняв его значение x_0 = 0,35–0,4 Ом/км, и определяют реактивную составляющую потери напряжения:

$$\Delta U_P = x_0 \frac{10^3 \sum Q' L}{U_{ном}}.$$

Если $\Delta U = \Delta U_{доп}$, то

$$\Delta U_{A\,доп} = \Delta U_{доп} - \Delta U_P,$$

т.е., вычитая от допускаемой потери напряжения в линии реактивную составляющую потери напряжения ΔU_P, находят значение потери напряжения, которое может быть допущено в активных сопротивлениях линии $\Delta U_{A\,доп}$. Тогда

$$\Delta U_A = r_0 \frac{10^3 \sum P' L}{U_{ном}}$$

и, подставив значение $r_0 = 1/(\gamma S)$, получаем формулу для определения сечения проводов

$$S = \frac{10^3 \sum P' L}{\gamma \Delta U_{A\,доп} U_{ном}}. \qquad (4.3.28)$$

Полученное сечение округляют до стандартного, после чего определяют потерю напряжения с учетом действительных значений r_0 и x_0. Если потеря напряжения будет значительно больше допустимой, увеличивают сечение провода.

Выбранные по потере напряжения сечения следует проверить по нагреву токами нагрузки.

Если индуктивное сопротивление проводов линии не учитывается, то сечение проводов

$$S = \frac{10^5}{\gamma \Delta U_{доп}\,\% U_{ном}^2} \sum Pl. \qquad (4.3.29)$$

Пример 6. Определить сечение алюминиевых проводов трехфазной воздушной линии напряжением $U_{ном}$ = 380 В с учетом индуктивного сопротивления линии. Линия выполнена одним сечением вдоль линии. Допустимую потерю напряжения $\Delta U_{доп}$ % принять равной 5 % от номинального напряжения. Данные для расчета приведены на рис. 4.9.

Решение. Определяем допустимую потерю напряжения: $\Delta U_{доп}$ = 5·380/100 = 19 В. Задаемся средним значением индуктивного сопротивления линии x_0 = 0,35 Ом/км. Находим реактивные (индуктивные) составляющие потери напряжения в линии:

$Q_1' = P_1' \operatorname{tg}\varphi_1 = 40 \cdot 0{,}28 = 19{,}2$ кВАр; $Q_2' = P_2' \operatorname{tg}\varphi_2 = 30 \cdot 0{,}75 = 22{,}5$ кВАр.

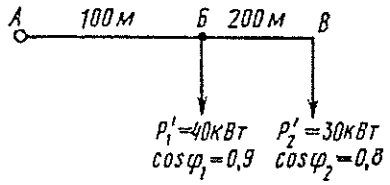


Рис. 4.9. Схема к примеру 6

Определяем индуктивную составляющую потери напряжения на участке *А–В* по формуле:

$$\Delta U_{P(A-B)} = x_0 \frac{10^3 \sum Q' L}{U_{НОМ}} = 0{,}35 \frac{10^3 (19{,}2 \cdot 0{,}1 + 22{,}5 \cdot 0{,}3)}{380} = 7{,}1 \text{ В}.$$

Активная составляющая потери напряжения составит $\Delta U_{A\text{-}B} = \Delta U_{ДОП} - \Delta U_{P(A\text{-}B)} = 19 - 7{,}1 = 11{,}9$

Сечение провода линии $S_{A-B} = \dfrac{10^3 \sum P' L}{\gamma \Delta U_{A(A-B)} U_{НОМ}} = \dfrac{10^3 (40 \cdot 100 + 300 \cdot 300)}{32 \cdot 11{,}9 \cdot 380} = 80{,}5$ мм^2.

Принимаем ближайшее стандартное сечение алюминиевого провода S = 95 мм^2 (А-95). По табл. 4.3.11 и 4.3.16 для этого сечения находим $r_0 = 0{,}34$ Ом/км и $x_0 = 0{,}3$ Ом/км. Найдем действительную потерю напряжения в линии по формуле

$$\Delta U = \frac{10^5}{U_{НОМ}^2}\left(r_0 \sum P' L + x_0 \sum Q' L\right) = \frac{10^5}{380^2}(0{,}34 \cdot 40 \cdot 0{,}1 + 0{,}3 \cdot 19{,}2 \cdot 0{,}1) +$$

$$+ (0{,}34 \cdot 30 \cdot 0{,}3 + 0{,}3 \cdot 22{,}5 \cdot 0{,}3) = 4{,}95\,\% < 5\,\%.$$

Проверим выбранное сечение проводов по нагреву; наибольший расчетный ток будет на участке *А–В*:

$$I_{РАСЧ\ (A-B)} = \frac{10^3 \sqrt{\sum P^{1.2} + \sum Q^{1.2}}}{\sqrt{3} U_{НОМ}} = \frac{10^3 \sqrt{70^2 + 41{,}7^2}}{\sqrt{3} \cdot 380} = 123{,}5 \text{ А}.$$

Допускаемый максимальный нагрузочный ток для голого алюминиевого провода сечением 95 мм^2 $I_{ДОП} = 325$ А, следовательно, $I_{РАСЧ} = 123{,}5$ А $< I_{ДОП} = 325$ А.

Произведем расчет этой линии без учета индуктивного сопротивления проводов.

Определяем сечение проводов линии

$$S_{(A-B)} = \frac{10^5}{\gamma \Delta U_{ДОП}\,\%\, U_{НОМ}^2} \sum P l = \frac{10^5}{32 \cdot 5 \cdot 380^2}(40 \cdot 100 + 30 \cdot 300) = 59{,}9 \text{ мм}^2.$$

Принимаем ближайшее стандартное сечение 70 мм^2. Допустимый ток по нагреву для S = 70 мм^2 составляет 265 А $< I_{РАСЧ} = 123{,}5$ А.

Из расчетов видно, что пренебрежение индуктивным сопротивлением линии привело к уменьшению сечения проводов, т.е. вместо 95 мм^2 можно взять 70 мм^2. Однако фактическая потеря напряжения в линии будет значительно больше, чем $U_{ДОП} = 5$ %.

Достаточно часто электроснабжающие организации при согласовании проектов требуют от проектных организаций определения потерь мощности и электрической энергии при эксплуатации спроектированной системы электроснабжения в течении года.

4.4. Защита от импульсных перенапряжений и выбор защитных устройств

Возникновение импульсных перенапряжений. Импульсные перенапряжения возникают в системах электроснабжения в результате воздействия внешних или внутренних источников помех. Внешние источники помех, в первую очередь, связаны с атмосферными процессами, то есть энергией разряда молнии. Внутренние источники помех это – коммутации на различных уровнях СЭС (как на стороне 6-10 кВ, так и 0,4 кВ), короткие замыкания в СЭС или электроустановках потребителей, замыкания между системами различного напряжения.

Воздействия молнии на различные объекты принято подразделять на две основные группы [3]: первичные, вызванные прямым ударом молнии (ПУМ), и вторичные, индуцированные близкими ее разрядами или занесенные в объект через протяженные металлические коммуникации. Опасность первичных и вторичных воздействий молнии для зданий и сооружений (следовательно, и для находящегося в этих объектах электрооборудования) определяется, с одной стороны, параметрами разряда молнии, а с другой – технологическими и конструктивными характеристиками объекта (например, огнестойкостью строительных конструкций, видом вводимых коммуникаций, их расположением внутри объекта и т.д.).

Импульсные перенапряжения (грозовые) могут возникать в ЭС питания электрооборудования в результате первичных или вторичных проявлений молнии вследствие:

1. Влияния молнии на элементы СЭС, такие как трансформаторные подстанции, линии электропередач (воздушные или кабельные), происходящие на стороне высокого или низкого напряжения;

– ПУМ в линии электропередач (ЛЭП) высокого напряжения, которые создают импульсные перенапряжения в СЭС высокого напряжения с последующим их переходом в СЭС 0,4 кВ через силовой трансформатор;

– ударов молнии вблизи ЛЭП высокого напряжения, вызывающих появление импульсных перенапряжений в электрической сети в результате воздействия электромагнитного поля близких разрядов молнии с последующим их переходом в СЭС 0,4 кВ через силовой трансформатор;

– ПУМ в здания электроустановок (например, здания трансформаторных подстанций);

– ПУМ непосредственно в ЛЭП низкого напряжения;

– ударов молнии вблизи ЛЭП 0,4 кВ, вызывающих появление импульсных перенапряжений в СЭС 0,4 кВ в результате воздействия электромагнитного поля близких разрядов молнии;

– растекания тока молнии с пораженных элементов в земле, вызывающего появление импульсных перенапряжений в кабельных ЛЭП в результате гальванического влияния токов молнии.

2. Влияния молнии на объекты (здания и сооружения), в которых размещено и эксплуатируется электрооборудование;

– ПУМ в элементы молниезащиты зданий и сооружений;

– ударов молнии вблизи зданий, вызывающих появление импульсных перенапряжений в электропроводке зданий в результате воздействия электромагнитного поля близких разрядов молнии;

3. Влияния молнии на элементы системы заземления или вводимые в объект металлические коммуникации (трубопроводы);

– ПУМ в систему заземления электроустановок или металлические коммуникации, вводимые в здание;

– воздействия электромагнитного поля близких разрядов молнии на элементы систем заземления электроустановок или металлические коммуникации;

– растекания тока молнии с пораженных элементов в земле, вызывающего появление

импульсных перенапряжений на элементах заземлителей в результате гальванического влияния токов молнии.

Многолетние исследования импульсных перенапряжений, возникающих в результате воздействия молнии, позволили определить статистически возможные зависимости количества перенапряжений от их амплитуды для электрических сетей (без специальной защиты от импульсных перенапряжений) трех условных категорий зданий (рис. 4.10) [50].

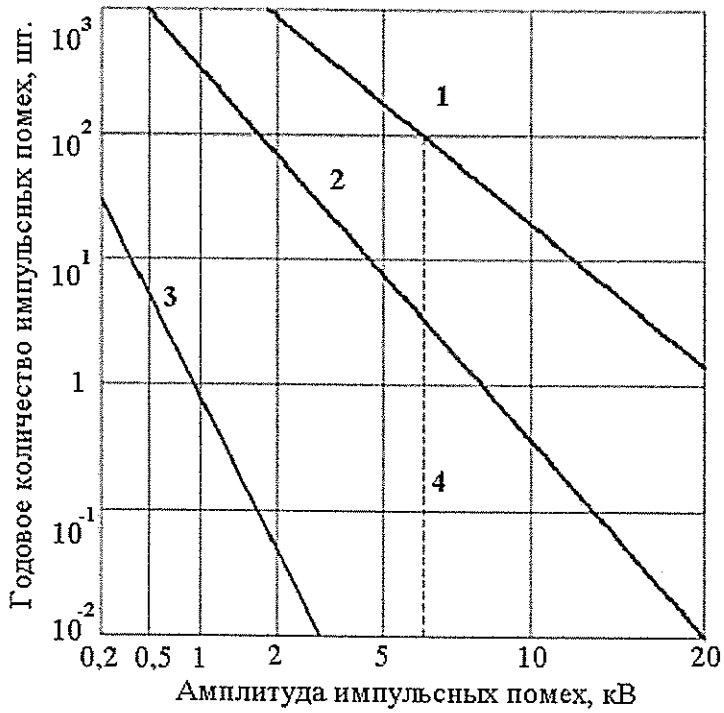


Рис. 4.10. Зависимости количества импульсных перенапряжений от их амплитуд для электрических сетей трех условных категорий зданий
1 – здание с высокой вероятностью поражения молнией (категория 1); 2 – здание с средней вероятностью поражения молнией (категория 2); 3 – здание с низкой вероятностью поражения молнией (категория 3); 4 – уровень импульсной прочности электропроводок

При этом к *категории 1* можно отнести отдельно стоящие здания, которые находятся в районах с высокой грозовой активностью, питание которых осуществляется по длинным ВЛ.

К категории 2 – здания, частично экранированные расположенными поблизости высотными сооружениями в районах со средней грозовой активностью, питание которых возможно как по ВЛ, так и по КЛ.

К категории 3 – здания, хорошо экранированные расположенными рядом высокими сооружениями в районах с низкой грозовой активностью, питание которых осуществляется по КЛ.

Несмотря на теоретическую возможность появления в СЭС 0,4 кВ импульсных перенапряжений с амплитудой в несколько десятков киловольт, реальное значение амплитуд импульсных перенапряжений ограничивается импульсной прочностью изоляционных конструкций кабельных линий и электропроводок. Указанная импульсная прочность для электроустановок с номинальным напряжением 230÷400 В устанавливается в соответствующем стандарте [52, 53] и принимается равным 6 кВ. Поэтому появление в цепях питания электрооборудования импульсных перенапряжений, возникающих в результате воздействий молнии с амплитудой, превышающей импульсную прочность изоляционных конструкций, т.е. 6 кВ, маловероятно. Превышение указанной амплитуды возможно в 10 % случаях по данным российских ученых [27] или в 2 % случаях по данным зарубежных ученых [54].

Наряду с импульсными перенапряжениями, возникающими в результате воздействий молнии, определенную опасность для электрооборудования представляют импульсные перенапряжения, которые возникают в цепях питания электрооборудования в результате различных процессов, как в высоковольтной, так и в низковольтной СЭС вследствие взаимных индуктивных, емкостных и гальванических связей. Параметры подобных импульсных перенапряжений (коммутационных) зависят от многих факторов: типа сети, вида коммутации (включение, отключение), характера и значения нагрузок, а наиболее частыми причинами их возникновения в цепях питания электрооборудования являются (рис. 4.11):

1. Различные процессы в высоковольтной сети с последующим переходом импульсных помех в сеть низкого напряжения:

– несимметричные режимы работы сетей с заземленной нейтралью (110 кВ), которые происходят от больших по величине токов нулевой последовательности, индуктивной связи между проводами ЛЭП и линиями НН, а также гальванической связью через землю;

– однофазные замыкания на землю в СЭС 6-10 кВ;

– коммутационные операции в СЭС 6-10 кВ;

2. Короткое замыкание непосредственно на силовом трансформаторе с возможным гальваническим влиянием на низковольтные электроустановки:

3. Различные процессы в СЭС 0,4 кВ;

– коммутационные операции силового оборудования низкого напряжения потребителей, питающихся от одной трансформаторной подстанции;

– отключение токов короткого замыкания вблизи точки подключения электрооборудования.

Значения коммутационных импульсных перенапряжений в низковольтной электрической сети существенно меньше значения грозовых импульсных перенапряжений и, как правило, не превышают 2÷3 кВ [55].

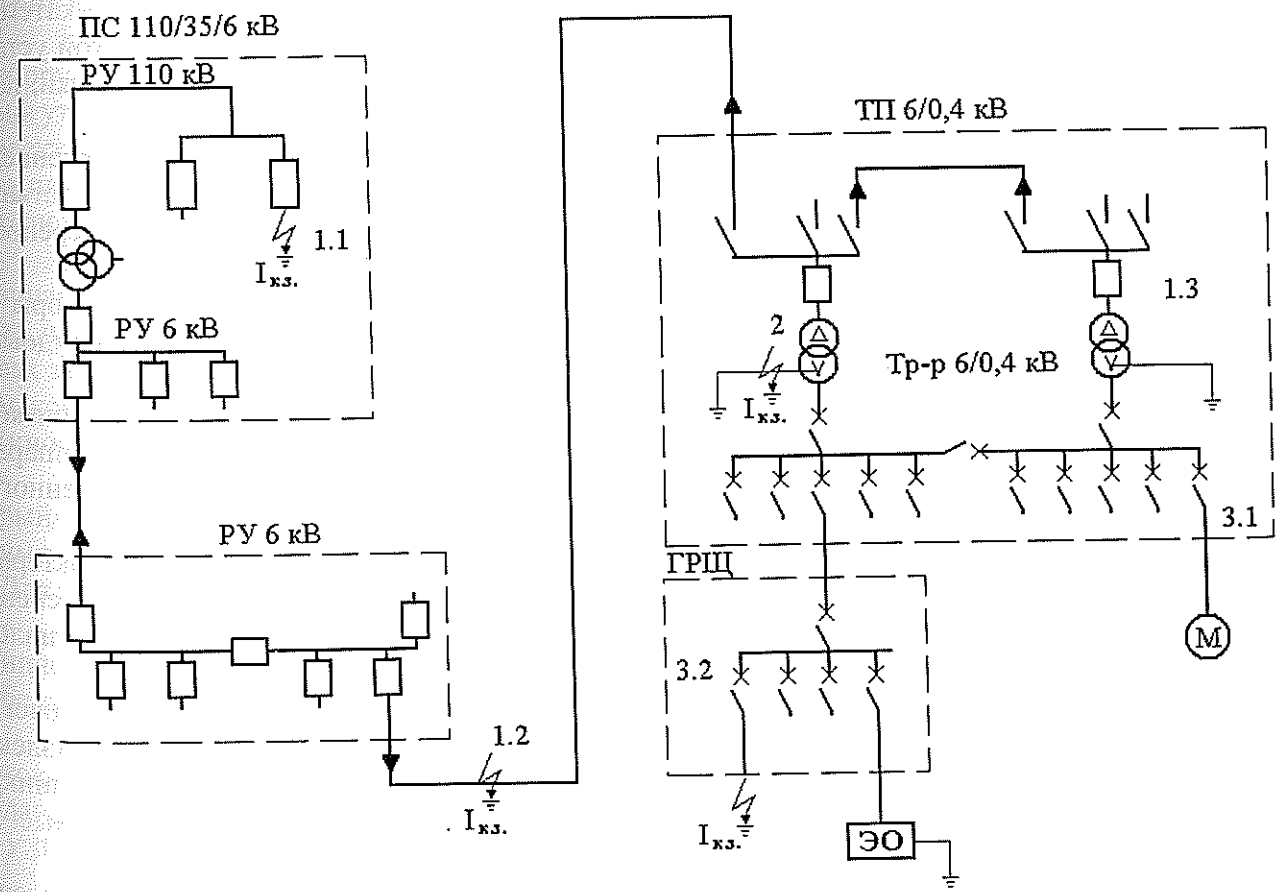


Рис. 4.11. Причины возникновения коммутационных импульсных перенапряжений в целях питания электрооборудования

Категории импульсного выдерживаемого напряжения электрооборудованием. В соответствии со стандартом [7] импульсная прочность внутренней изоляции характеризуется амплитудой кратковременного (импульсного) напряжения формы 1/50 мкс (рис. 4.15), которое должна выдерживать электрическая изоляция ЭО без повреждений, определяемого термином – импульсное выдерживаемое напряжение. При этом все ЭО низкого напряжения подразделяют на четыре категории импульсного сопротивления изоляции, а каждая категория характеризуется своим значением импульсного выдерживаемого напряжения (табл. 4.4.1).

Таблица 4.4.1

Значение импульсного выдерживаемого напряжения электрооборудования

Номинальное напряжение электроустановки, В		Импульсное выдерживаемое напряжение электрооборудования, кВ			
Трехфазные системы	Однофазные системы	Категория IV	Категория III	Категория II	Категория I
-	120-240	4,0	2,5	1,5	0,8
230/240 277/480	-	6,0	4,0	2,5	1,5

Так оборудованию *категории IV* импульсного сопротивления изоляции должно соответствовать оборудование с амплитудой импульсного выдерживаемого напряжения 6 кВ. Оборудование категории IV разрешается устанавливать вблизи электроустановок зданий или перед главным распределительным щитом здания. К оборудованию категории IV относятся электросчетчики, автоматические выключатели, разрядники и т.д.

Оборудованию с импульсным сопротивлением *категории III* должно соответствовать оборудование с импульсным выдерживаемым напряжением 4 кВ. К оборудованию категории III относится оборудование, которое составляет часть конкретной электрической установки здания: распределительные щиты, кабели, распределительные коробки, розетки, переключатели, электродвигатели и т.д.

К *категории II* относится оборудование с импульсным выдерживаемым напряжением 2,5 кВ, которое соединяется с существующими электроустановками зданий посредством штепсельных розеток. К подобному оборудованию относятся бытовые приборы, переносной инструмент и т.д.

К *категории I* относится оборудование, содержащее полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы, при этом импульсное выдерживаемое напряжение оборудования категории I не превышает 1,5 кВ.

Типы устройств защиты от импульсных перенапряжений. Для защиты ЭО низкого напряжения от импульсных перенапряжений используют различные защитные аппараты (рис. 4.12),такие как разрядники: в виде искрового промежутка или газонаполненного разрядника, варисторы и ограничительные диоды.

Физические принципы действия этих устройств различны, поэтому такие характеристики защитных аппаратов, как напряжение срабатывания, уровень ограничения, степень точности ограничения напряжения, допустимая токовая нагрузка, остаточное сопротивление, гасящие свойства и другие, сильно различаются.

Разрядники представляют собой приборы, работающие на основе искрового, дугового и реже тлеющего разряда в воздушной, газонаполненной или вакуумной среде межэлектродного пространства или по поверхности активного элемента. Защитные разрядники представлены широким классом приборов, включающих искровые, газонаполненные и вентильные разрядники.

Варисторы относятся к классу керамических нелинейных полупроводниковых резисторов с ярко выраженной зависимостью электропроводности от приложенного напряжения. При наличии импульса перенапряжения, превышающего по амплитуде определенное

для конкретного типа варистора значение, электропроводность прибора резко увеличивается и энергия импульса напряжения отводится в землю.

Ограничительные диоды - это кремниевые диоды с *p-n* переходом, использующие эффект лавинного пробоя и работающие на обратной ветви вольтамперной характеристики, имеющей высокий показатель нелинейности.

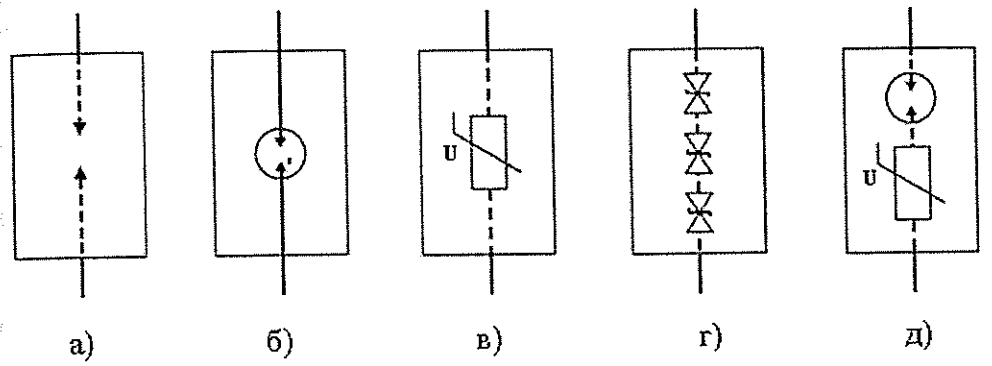


Рис. 4.12. Типы защитных аппаратов:
а – искровой разрядник; б – газонаполненный разрядник; в – варистор; г – диод Зенера;
д – устройство защиты от перенапряжений (газонаполненный разрядник + варистор)

Указанные защитные аппараты имеют ряд достоинств и недостатков. Разрядники имеют весьма высокие рабочие напряжения и большую величину допустимого тока, что позволяет использовать их для защиты от мощных грозовых импульсов напряжения, когда величина энергии, выделяемая в ограничителе, достаточно велика. Однако значительное время срабатывания разрядников и наличие выбросов остаточного напряжения препятствуют их применению для защиты электронной аппаратуры.

Варисторы и ограничительные диоды, обеспечивая лучшую защиту чувствительного оборудования от импульсных помех, обладают ограниченной пропускной способностью и могут сами выйти из строя при прохождении через них значительных токов. Поэтому в электрических сетях, где вероятно возникновение импульсных перенапряжений большой амплитуды, целесообразно применять комбинированные защитные аппараты – ограничители импульсных перенапряжений (рис. 4.12д).

Аппараты защиты от импульсных перенапряжений состоят из двух и более защитных аппаратов различных типов, например, разрядника и варистора или ограничивающего диода, часто имеют встроенную защиту от перегрузок и индикацию повреждения. В устройствах защиты от импульсных перенапряжений (УЗИП) Phoenix TRABTECH для обеспечения максимальной эффективности защиты также использованы два элемента: диод Зенера (иногда его называют – диод-суппрессор)и газовый разрядник.

При возникновении импульсного перенапряжения первым срабатывает самый быстрый конструктивный элемент – диод-суппрессор. Схема рассчитана таким образом, чтобы импульс тока через диод не смог разрушить его прежде, чем включится газовый разрядник. Для этого необходимо выполнение условия:

Комбинация различных аппаратов в УЗИП обеспечивает необходимое качество ограничения амплитуды импульса перенапряжения и требуемое сглаживание его фронта до безопасных для чувствительного ЭО значений.

В зависимости от места установки и способности пропускать через себя различные токи УЗИПы подразделяются на классы: I, II, III или B, C, D (буквенное обозначение в данный момент используется достаточно редко). В табл. 4.4.2 представлено назначение УЗИП для защиты объектов электроэнергетики.

Таблица 4.4.2

Назначение УЗИП различных классов

Класс устройства	Назначение устройства
I (B)	Предназначены для защиты от прямых ударов молнии в систему молниезащиты здания (объекта) или воздушную линию электропередач (ЛЭП). Устанавливаются на вводе в здание во вводно-распределительном устройстве (ВРУ) или главном распределительном щите (ГРЩ). Нормируются импульсным током I_{imp} с формой волны 10/350 мкС.
II (C)	Предназначены для защиты токораспределительной сети объекта от коммутационных помех или как вторая ступень защиты при ударе молнии. Устанавливаются в распределительные щиты. Нормируются импульсным током с формой волны 8/20 мкС.
III (D)	Предназначены для защиты потребителей от остаточных бросков напряжений, защиты от дифференциальных (несимметричных) перенапряжений (например, между фазой и нулевым рабочим проводником в системе TN-S), фильтрации высокочастотных помех. Устанавливаются непосредственно возле потребителя. Могут иметь самую разнообразную конструкцию (в виде розеток, сетевых вилок, отдельных модулей для установки на DIN-рейку или навесным монтажом). Нормируются импульсным током с формой волны 8/20 мкС.

Порядок выбора устройств защиты от импульсных перенапряжений. При выборе ограничителей для конкретного применения необходимо руководствоваться рядом параметров.

1. Номинальное напряжение (U_H) – рабочее напряжение промышленной частоты, которое неограниченно долго может быть приложено между выводами ограничителя без его повреждения. Зарубежное обозначение номинального напряжения – U_n. Разновидностью номинального напряжения является номинальное фазное напряжение ($U_{H\Phi}$), зарубежное обозначение которого – U_0.

2. Наибольшее длительно допустимое рабочее напряжение (U_{HP0}) – наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты, которое неограниченно долго может быть приложено между выводами ограничителя. Зарубежное обозначение длительно допустимого рабочего напряжения – U_C.

3. Временно допустимое повышение напряжения (U_{BH0}) – наибольшее действующее значение напряжения промышленной частоты, превышающее U_{HP0}, которое может быть приложено к ограничителю в течение заданного изготовителем времени, не вызывая повреждения или термической неустойчивости. Зарубежное обозначение временно допустимого повышения напряжения – U_T.

4. Остающееся напряжение (U_{OCT}) – наибольшее значение напряжения на ограничителе при протекании через него импульсного тока с заданной амплитудой и длительностью фронта. Зарубежное обозначение остающегося напряжения – U_P.

Вместо термина остающееся напряжение иногда применяют термин защитный уровень ограничителя.

Остающееся напряжение является важнейшим параметром ограничителя т.к. характеризует амплитуду импульсного напряжения, воздействующего на электрооборудование после защиты. Остающееся напряжение должно обязательно выбираться меньшим или равным уровню импульсного выдерживаемого напряжения электрооборудования.

5. Номинальный разрядный ток (I_H) – максимальное значение импульса тока формы 8/20 мс, используемого для классификации ограничителя, которое аппарат должен выдерживать не менее 20 раз. Зарубежное обозначение номинального разрядного тока – I_n.

6. Максимальный разрядный ток (I_{MAKC}) – значение амплитуды импульса тока задан-

ной формы (8/20 мс или 10/350 мс), которое ограничитель может выдержать не менее одного раза. Зарубежное обозначение максимального разрядного тока – I_{MAX}.

7. Допустимый ток короткого замыкания (I_{K3}) – максимальное значение тока короткого замыкания (определяемое конструктивными особенностями материала), который может проходить через ограничитель без его разрушения. Зарубежное обозначение допустимого тока короткого замыкания – I_{CC}.

Значение допустимого тока короткого замыкания ограничителя должно быть больше значения ожидаемого тока к.з. в месте установки ограничителя.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что вероятность повреждения ЭО в результате воздействия коммутационных импульсных перенапряжений существенно ниже, чем от грозовых. Так же следует учесть, что правильно организованная система защиты от грозовых перенапряжений позволяет эффективно защищать и от коммутационных импульсных перенапряжений.

1. Прежде всего необходимо предусмотреть защиту от ПУМ. Исходя из оценки риска прямого удара молнии или наводок от удаленного разряда, необходимо выбрать тип применяемых защитных устройств и схему их установки. Необходимость защиты от грозовых перенапряжений зависит от:

– интенсивности ударов молнии в данном месте N_g (среднее годовое количество ударов молнии на 1 км^2 за год). В странах Европы данную статистику проектировщик может легко получить с помощью автоматизированной системы определения места удара молнии. Данные системы состоят из большого количества датчиков, размещенных по всей территории Европы и образующих единую контролирующую сеть. Информация от датчиков в реальном масштабе времени поступает на контролирующие серверы и с помощью специального пароля доступна через Интернет. В условиях России данное значение можно получить, используя карты грозовой активности по регионам. Но при этом полученный параметр будет весьма приблизительным.

Для практических расчетов можно использовать выражение:

$$N_k = 10 \cdot N.$$

В табл. 4.4.3 приведены усредненные данные для оценки интенсивности грозовой деятельности в некоторых населенных пунктах СНГ [56].

Таблица 4.4.3

Характеристики грозовой деятельности в некоторых населенных пунктах СНГ

Район	Число грозовых дней в году (N_k)	Кол-во ударов молнии в год в1 км^2 (N_g)
Архангельск, Печора, Якутск	10-15	1,0-1,5
Вильнюс, Петербург, Вятка, Тобольск, Братск, Актюбинск, Ташкент, Фрунзе	15-20	1,5-2,0
Минск, Харьков, Москва, Самара, Екатеринбург, Новосибирск, Иркутск, Астана	20-30	2,0-3,0
Киев, Калач, Тбилиси, Усть-Каменогорск, Пржевальск	30-40	3,0-4,0
Луганск, Батуми, Ужгород	40-50	4,0-5,0
Ленинакан, Алаверди, Ахалцихе, Красная поляна	≥ 50	$\geq 5,0$

– также необходимо оценить уязвимость самой электроустановки. Например, подземные системы электропитания по вполне понятным причинам считаются менее уязвимыми, чем воздушные.

– высокая стоимость оборудования, подключенного к защищаемой электроустановке, может стать важным критерием для усложнения схемы защиты и наоборот.

2. *Предусмотреть систему внутренней молниезащиты.* Система внутренней молниезащиты для электропитающей сети до 1000 В, состоящая из разного типа устройств защиты от импульсных перенапряжений, должна быть способна осуществить отвод грозовых токов или их большей части без повреждения самих защитных устройств. Для определения величины тока, проходящего через УЗИП первой ступени защиты в случае прямого удара молнии в здание, защищённое системой внешней молниезащиты, рекомендуется исходить из конфигурации системы заземления и выравнивания потенциалов здания, а также подведенных к нему коммуникаций (трубопроводов, электропитающих кабелей, кабелей связи и передачи информации и др.). На рис. 4.13 приводится классический пример распределения грозового тока в объекте, подвергнутом прямому удару молнии (МЭК 61024-1-1; МЭК 61643-12).

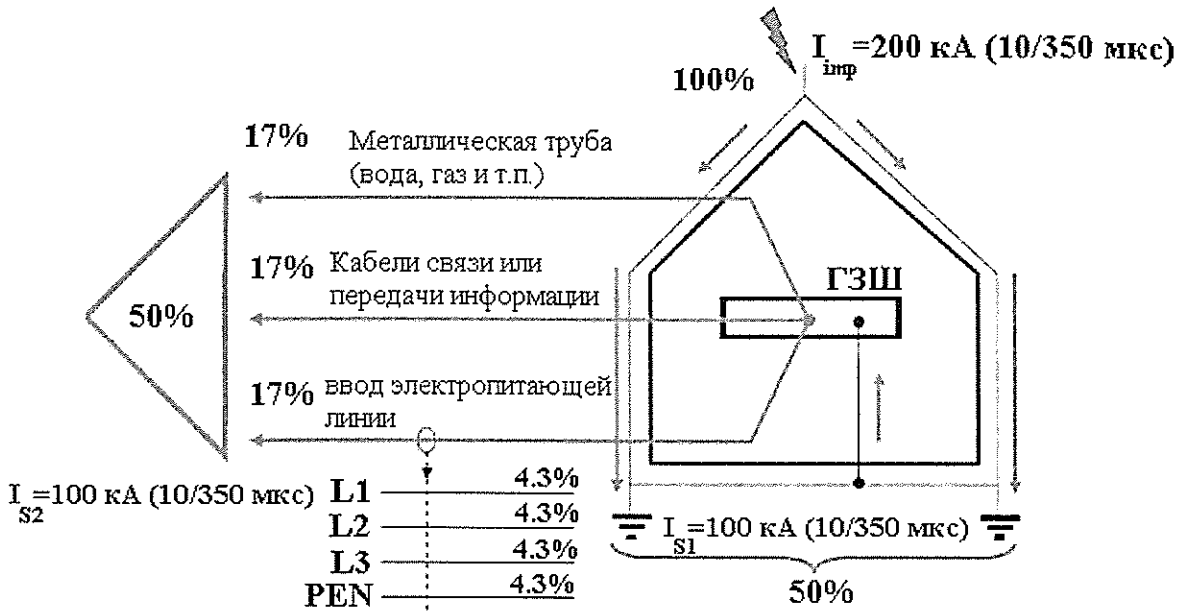


Рис. 4.13. Распределение токов молнии при прямом ударе в объект

Расчет токов растекания по ГОСТ Р51992-2002 (МЭК 61643-1-98) приводится ниже.

Для определения распределения токов между металлическими элементами конструкции здания при попадании молнии в систему внешней молниезащиты, необходимо рассчитать сопротивления заземляющих устройств, трубопроводов, электропитающего ввода, ввода кабелей связи и т.п.

В случаях, когда трудно осуществить точный расчет, проводится так называемая квалифицированная (экспертная) оценка, исходящая из следующих рассуждений:

– 50 % от общего тока I_{imp} = 200 кА (10/350 мкс) отводится в землю через заземляющее устройство I_{S1} = 100 кА (10/350 мкс);

– 50 % от общего тока I_{imp} = 200 кА (10/350 мкс) разделяется равномерно (приблизительно по 17 %) между наружными коммуникациями, вводимых в здание трех основных видов: кабелями связи и передачи информации, металлическими трубопроводами и жилами вводного кабеля электропитания напряжением 380/220 В.

Величина тока, проходящего через отдельные металлические вводы различных коммуникаций, обозначается как I_i, при этом:

$$I_i = I_{S1} / n,$$

где n – число вводов наружных коммуникаций в здании. Для расчета ток I_V наводимого в отдельных жилах питающего не экранированного кабеля:

$$I_V = I_i / m,$$

где m – количество жил кабеля.

3. При выборе типа защитных устройств и их основных параметров целесообразно руководствоваться следующими правилом:

– все расчеты необходимо проводить, исходя из максимального значения тока молнии I_{imp} = 200 кА (10/350 мкс).

– определить (в соответствии с приведенным выше алгоритмом) значение импульсного тока формы 10/350 мкс (для каждой жилы питающего кабеля системы электропитания), который может протекать в кабеле и который защитное устройство класса I способно гарантированно отвести (ограничить).

– выбрать УЗИП, согласно расчетному току, выбор осуществить с запасом 20-30 %, таким образом, учитывается возможность неравномерного распределения токов по различным проводникам.

В случае изменения исходных данных: числа вводов в объект, типа системы электропитания, количества проводов в кабеле и т.д., итоговые значения также могут существенно измениться. При этом изменения могут произойти как в сторону уменьшения импульсных токов, так и в сторону их возрастания. В случае применения экранированных кабелей большая часть токов растекается через экранирующие оболочки, что лишний раз подтверждает необходимость применения таких кабелей на объектах с повышенными требованиями к защищенности от удара молнии.

Приведенные выше заключения справедливы для объектов, оборудованных системой внешней молниезащиты и имеющих кабельный подземный ввод электропитания. Ситуация серьезно усложняется при наличии воздушного ввода электропитания. Элементарный расчет показывает, что при прямом попадании молнии с током I_{imp} = 200 кА (10/350 мкс) и при условии его равномерного распределения по четырем проводам системы TN-C, импульсные токи в каждом проводе будут иметь значения около 50 кА. Стекание этих токов на землю будет осуществляться в две стороны: через оборудование низкого напряжения подстанции и элементы электроустановки объекта в примерном соотношении 1 : 1.

Таким образом, в каждом проводе на вводе электропитающей установки объекта мы будем иметь ток величиной 25 кА (10/350 мкс). Если предположить, что равномерного растекания токов по какой-то причине не произошло, то это значение может возрасти до 45-50 кА, однако, такие значения токов возникают достаточно редко. УЗИП, установленный на вводе (в первой зоне), обеспечивает качественную защиту при амплитудных значениях тока I_{imp} = 20-25 кА (10/350 мкс), практически в большинстве случаев такой защиты достаточно даже для ввода электропитания, выполненного воздушной линией.

Если требуется стойкость защитного устройства к более высоким амплитудам грозовых токов, рекомендуется применить разрядники искрового типа, которые могут иметь значение I_{imp} = 50-100 кА (10/350 мкс). При выборе искрового разрядника необходимо учитывать сопровождающий ток I_f – это параметр характеризует УЗИП на базе разрядников.

В табл. 4.4.1 указаны значения импульсного выдерживаемого напряжения электрооборудования, иначе говоря, стойкости изоляции к импульсным перенапряжением. Приняв в расчет данные табл. 4.4.2, в которой представлены классы УЗИП и их назначение, просматривается взаимосвязь между зонами молниезащиты, классами защитных устройств и категориями стойкости изоляции оборудования к импульсным перенапряжениям. Указанная взаимосвязь показана на рис. 4.14.

Защитные устройства класса I устанавливаются на вводе в здание (во вводном щите, ГРЩ или же специальном боксе) после вводного автомата (на границе Зоны 0 Зоны 1). Защитные устройства класса II – во вторичных распределительных щитах (например, в щитах в выпрямительной этажных или других щитах). Желательно размещать их до групповых автоматов. Точка размещения этого класса устройств может находиться на границе Зоны 1 и Зоны 2. Возможно размещение этих устройств в Зоне 1 вместе с устройствами класса I (этот вариант будет рассмотрен ниже). Защита класса III может устанавливается также в распределительных щитах или непосредственно возле потребителя (защитная Зона 3). При расстояниях более 10-15 метров от места установки УЗИП до потребителя жела-

тельно установить дополнительное устройство III класса в непосредственной близости от защищаемого оборудования, чтобы гарантированно устранить возможные наводки на указанных длинах кабеля.

Одним из основных параметров защитных устройств является уровень защиты (U_P, это максимальное значение падения напряжения на защитном устройстве при протекании через него импульсного тока разряда. Параметр характеризует способность устройства ограничивать появляющиеся на его клеммах перенапряжения. Обычно определяется при протекании номинального импульсного разрядного тока (I_n). Из рис. 4.14 четко видно, что каждая ступень защиты обеспечивает выполнение требований по импульсной стойкости изоляции.

Как правило, УЗИП класса I на базе разрядника имеют U_P = 4 кВ, на базе варистора еще ниже, УЗИП класса II имеют U_P = 1,3-2,5 кВ, УЗИП класса III имеют U_P = 0,8-1,5 кВ.

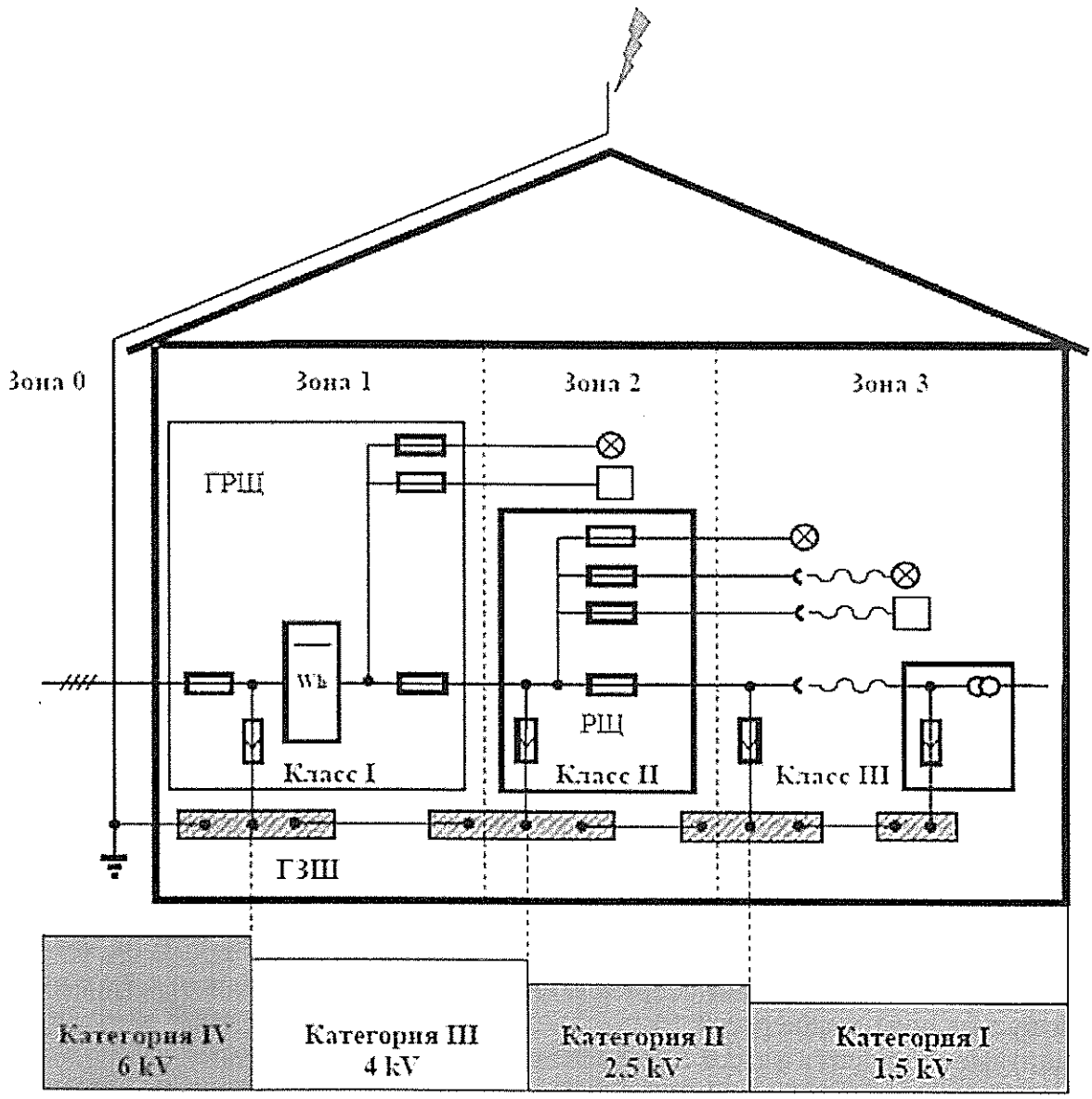


Рис. 4.14. Зоны молниезащиты, их связь с классами защитных устройств и категориями стойкости изоляции оборудования к импульсным перенапряжениям

Покажем на примере УЗИП фирмы PHOENIX Contact практическую реализацию защиты от импульсных перенапряжений, представлено на рис. 4.14.

1. В качестве первой ступени защиты (зона 1) необходимо устанавливать [57]:

– при воздушном вводе электропитания (независимо от наличия внешней системы

молниезащиты (СМЗ), когда возможно прямое попадание молнии в провода линии электропередачи в непосредственной близости от объекта) устанавливаются грозовые разрядники, способные пропускать через себя импульсные токи формы 10/350 мкс с амплитудным значением 50-100 кА и обеспечивающие уровень защиты (U_P) менее 4 кВ. (например, FLT 100 N/PE или FLT-CP-PLUS).

– при подземном вводе электропитания при наличии внешней системы молниезащиты (когда существует вероятность попадания молнии в молниеприемник СМЗ) устанавливают ограничители перенапряжения на базе варисторов, способные пропускать через себя импульсные токи формы 8/20 мкс с амплитудным значением 120 кА и также обеспечивающие уровень защиты (U_P) менее 1,4 кВ (устройства типа VAL-CP).

– при отсутствии внешней системы молниезащиты – рекомендуется ее установить, так как прямой удар молнии в этом случае, как правило, приводит к динамическим воздействиям на строительные конструкции объекта, а также может вызвать пожар за счет искрения и перекрытия воздушных промежутков между токопроводящими элементами объекта.

2. В качестве второй ступени защиты (зона 2) используются модули на базе варисторов с максимальным импульсным током 120-60 кА формы 8/20 мкс и уровнем защиты (U_P) менее 1,5 кВ (устройства типа VAL-CP).

3. В третьей ступени защиты (зона 3) используются УЗИП с максимальным импульсным током 6-10 кА формы 8/20 мкс и уровнем защиты (U_P) менее 1,5 кВ (PT 2-PE) возможно применение комбинированные устройства, включающие в себя дополнительно помехозаградительные фильтры или УЗО и автоматические выключатели.

Phoenix Contact разработал устройства, объединяющие в себе устройство защитного отключения (УЗО) (автоматический выключатель) и устройство защиты от импульсных перенапряжений класс II в одном корпусе. В ассортименте устройства с УЗО класса А серии VAL-CP-RCD и одно- и трехфазные устройства с автоматическими выключателями VAL-CP-MCB на номинальный ток 40 А. преимуществами таких устройств являются компактность конструкции и экономия времени и трудозатрат на монтаж. Устройства предназначены для установки в распределительные шкафы на DIN-рейку и оптимальны для применения в жилых и общественных зданиях.

Основные характеристики некоторых из перечисленных выше устройств приведены в табл. 4.4.4. Более подробная информация приведена в [48] и на сайте **www.phoenixcontact.ru.**

Таблица 4.4.4

Основные характеристик УЗИП Phoenix Contact

№ п/п	Тип устройства	Класс	U_C, В	I_{imp} (10/350 мкс), кА	I_n (8/20 мкс), кА	I_{max} (8/20 мкс), кА	$U_Ф$, кВ	Базовый элемент
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	FLT-CP-PLUS-35-350	I	400/230	100	25		≤1,5	Разрядник
2.	FLT-CP-35-350	I	400/230	100	25		≤1,5	Разрядник
3.	VAL-CP-35-350	II	400/230	-	60	120	≤1,4	Варистор
4.	VAL-M3-320/3+1-FM	II	230	-	20	40	≤1,4	Варистор
5.	PT4-PE/S-230AC	III	335	-	1,5	10	≤1,5	Газоразрядник

Как указывалось выше, для объектов с подземным вводом электрического питания возможно применение комбинированных устройств, отвечающих по своим входным параметрам требованиям к варисторным защитным устройствам первого класса (импульс тока величиной 10-25 кА; форма 10/350 мкс). По своим выходным параметрам (уровень защиты (U_P) 1300-1700 В при номинальном импульсном токе, форма 8/20 мкс) они выполняют требования ко второму классу защиты. Все устройство смонтировано в одном общем корпусе

для установки на DIN-рейку. Размер корпуса при этом меняется в зависимости от количества защищаемых проводников и соответствует размеру по ширине от 2-х до 7-и стандартных типовых корпусов (для однофазной и трех фазной сети соответственно).

Компанией Phoenix Contact разработаны УЗИП серии FLASHTRAB compact на основе искрового разрядника с активным управлением энергией импульса, которые совмещают в себе аппараты I и II классов. Электрическая схема включения указанного УЗИП между фазным и нулевым рабочим проводом представлена на рис. 4.15.

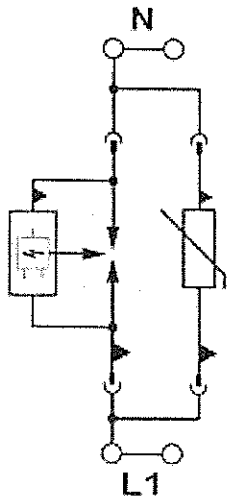


Рис. 4.15. Схема включения УЗИП класса I + II в электрическую сеть

Принцип работы рассмотренного УЗИП:

1. При небольшом импульсе перенапряжения срабатывает варисторный модуль и отводит весь импульс через себя.

2. При мощном импульсе перенапряжений:

– первым срабатывает варистор, имеющий меньшее время срабатывания по сравнению с искровым промежутком и отводит импульс;

– напряжение на варисторе с течением времени продолжает увеличиваться.

– напряжение на варисторе контролируется системой поджига разряда (рис. 4.15). При достижении критического значения напряжения, происходит пробой вспомогательного газонаполненного разрядника и открытие вспомогательного варистора, что приводит к развитию разряда между поджигающим и одним из основных электродов. В результате происходит активная ионизация среды искрового разрядника, что приводит к его срабатыванию.

– после пробоя искрового промежутка вся энергия импульса отводится через него. Вспомогательный варистор создает благоприятные условия для гашения сопровождающего тока и через систему поджигания разряда перестает протекать ток.

– импульс отводится через основной искровой промежуток со снятием остаточных напряжений варистором, и система возвращается в исходное состояние.

Рассмотренная схема с активным управлением энергией импульса имеет ту же скорость срабатывания, что и схема на основе нескольких параллельно включенных варисторов (не более 25 нс), но при этом за счет дифференциации отводимых импульсов (маломощные импульсы отводятся варистором, а мощные – искровым промежутком) надежность такого решения существенно выше. В варисторных схемах за счет присутствующего всегда некоторого несоответствия вольт – амперных характеристик параллельно включаемых приборов, один из них оказывается нагруженным более других и соответственно раньше выходит из строя, что делает все устройство неработоспособным. Кроме того, сложные тепловые процессы, возникающие вследствие размещения нескольких варисторов в одном корпусе, увеличивают ток утечки и также приводят к сокращению срока

службы УЗИП.

При проектировании защиты от импульсных перенапряжений необходимо учитывать то, что расстояния между главной заземляющей шиной, щитком защитным и вводным щитом объекта должны быть минимальными. РЕ проводники должны прокладываться кратчайшими путями. При прокладке силовых кабелей к щитку необходимо избегать совместной прокладки защищенного и незащищенного участков кабеля, а также защищенного кабеля и заземляющих проводников – это необходимо учесть при разработке планов размещения ЭО.

В некоторых ситуациях установки защиты только на вводе здания не достаточно для того, чтобы с большой степенью вероятности защитить такую категорию потребителей электроэнергии, как высокочувствительная электронная техника. Защитные устройства III класса в этом случае устанавливаются непосредственно возле защищаемого оборудования (на вводе в квартиру, офис).

При использовании устройств защиты от импульсных перенапряжений необходимо учитывать некоторые особенности их подключения в схему электроустановки объекта.

При использовании в схеме электроснабжения устройств защитного отключения (УЗО) устройства защиты от импульсных перенапряжений первого и второго класса должны быть включены до УЗО (по ходу энергии). Таким образом, их срабатывание не вызовет ложного отключения УЗО. Устройства защиты третьего класса могут быть установлены после УЗО (по ходу энергии), но при этом должны использоваться УЗО типа «S» (селективные) с временной задержкой срабатывания от импульсных помех (рис. 4.16).

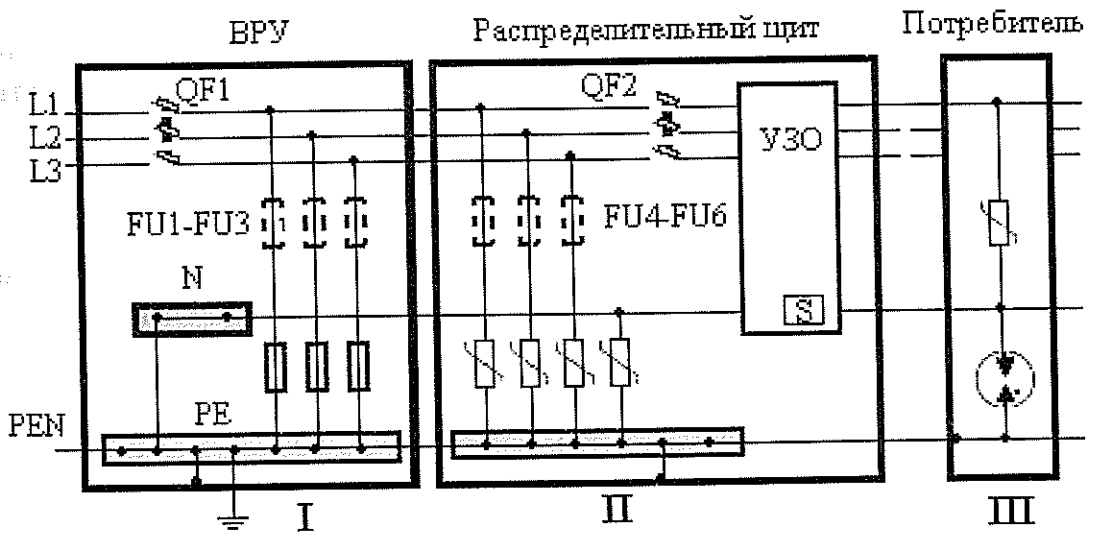


Рис. 4.16. Установка УЗИП в TN-C-S сеть 380/220 В с использованием УЗО

4. Схемы включения УЗИП в электрическую сеть. Для эффективной защиты электрической сети объекта любого назначения от перенапряжений необходимо создание систем заземления и уравнивания потенциалов. При этом весьма желателен переход на ЭС с системой заземления TN-S или TN-C-S.

Основные принципы применения устройств защиты от импульсных перенапряжений в отечественной нормативной базе рассмотрены в ГОСТ Р 50571.26-2002 (МЭК 60364-5-534-97) «Электроустановки зданий. Часть 5. Выбор и монтаж электрооборудования. Раздел 534. Устройства для защиты от импульсных перенапряжений». Это фактически первый стандарт МЭК по применению УЗИП, переведенный на русский язык и изданный в системе ГОСТ Р. МЭК в своих других стандартах более глубоко рассматривает проблему защиты от импульсных перенапряжений. Как уже говорилось выше, некоторые из них так же готовятся к изданию в системе ГОСТ Р. Предлагаемые ниже решения разработаны с учетом требований указанных стандартов [48].

Существуют две основных схемы включения защитных устройств в электропитающую линию (рис. 4.17).

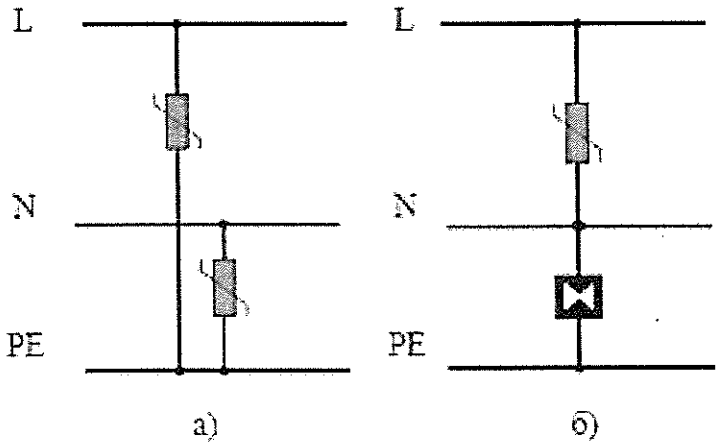


Рис. 4.17. Схемы защиты от: а) симметричных и б) несимметричных перенапряжений

Схема (а) предназначена в первую очередь для защиты от симметричных (продольных) перенапряжений (провод - земля), схема (б), соответственно, от несимметричных (поперечных) перенапряжений (провод - провод). Полученные в целой серии экспериментов данные, а также результаты статистических исследований, проводимых фирмами – производителями защитных устройств, показали более высокую опасность несимметричного перенапряжения (на клеммах электроприёмников L/N) по сравнению с симметричным перенапряжением (на клеммах электроприёмников L/PE и N/PE). При проектировании различных ступеней защиты возможно комбинирование этих схем.

Схема подключения защитных устройств для наиболее часто применяемых сетей типа TN-C-S приведена на рис. 4.18. Ограничители классов I и II включаются между токоведущими проводниками (L1, L2, L3, N) и нулевым защитным проводником (PE) для ограничения симметричных перенапряжений (провод-земля). УЗИП класса III могут включаться или по той же схеме, что и УЗИП классов I и II, или по схеме, обведенной пунктирной линией, для ограничения несимметричных перенапряжений (провод-провод). Возможно также применение устройств защиты в соответствии со схемой на рис. 4.19.

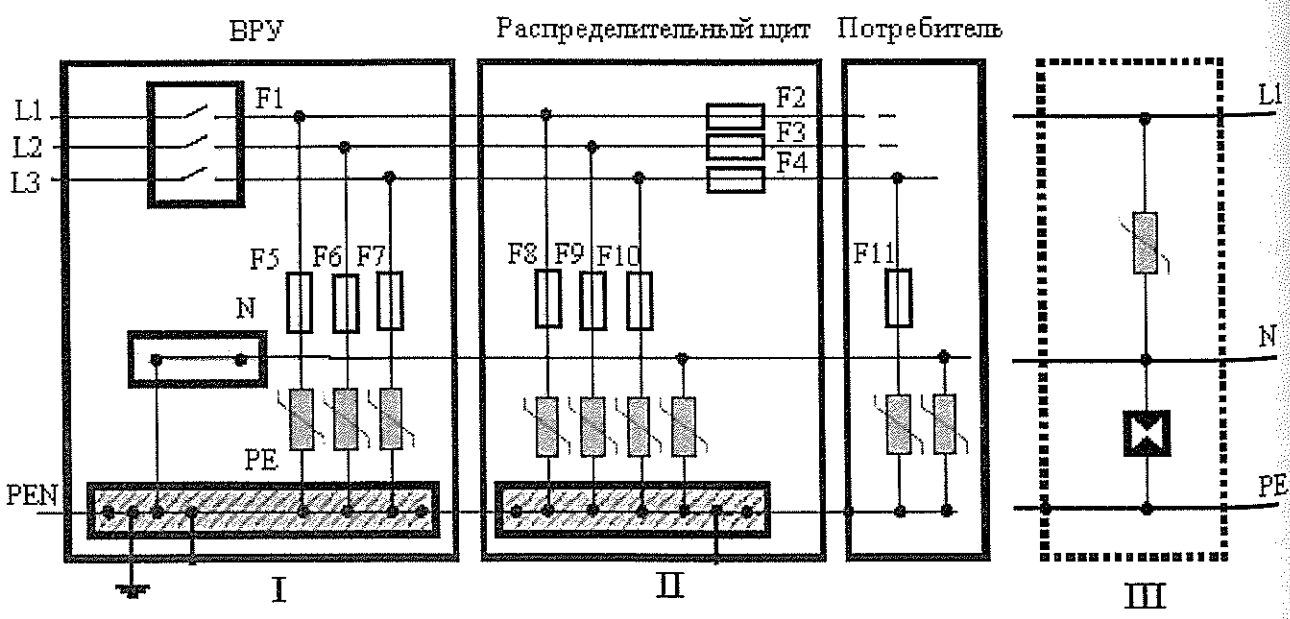


Рис. 4.18. Установка защитных устройств в TN-C-S сети 220/380 кВ

В случае применения УЗИП построенных без использования технологии активного управления энергией, необходимо иметь в виду, что расстояние между соседними ступенями защиты должно быть не менее 10 м (рис. 4.20) по электрическим связям (кабелям или проводам электропитания). Это необходимо для обеспечения селективности срабатывания защитных устройств. При наведении в силовом кабеле импульсного перенапряжения с крутым фронтом увеличивается индуктивное сопротивление жил кабеля протекающему импульсному току. Напряжение, возникающее в результате протекания импульсного тока, оказывается приложенным к первой ступени защиты. На следующей ступени защиты- напряжение нарастает с задержкой времени, что обеспечивает селективность работы УЗИП. Требования по установке УЗИП третьей ступени аналогичны.

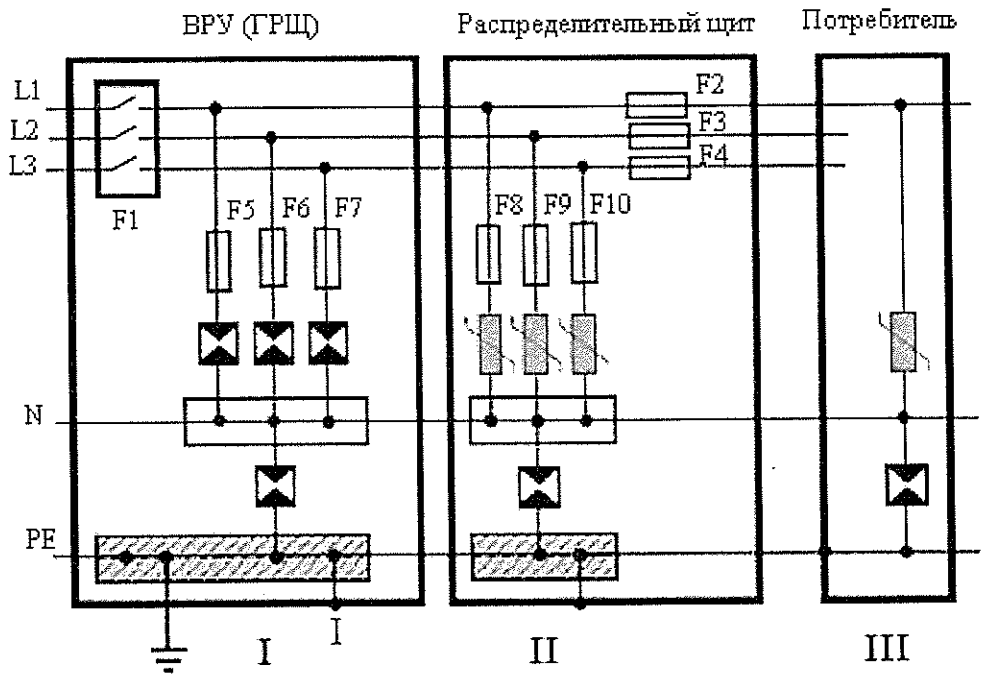


Рис. 4.19. Вариант установки защитных устройств в TN-S сеть

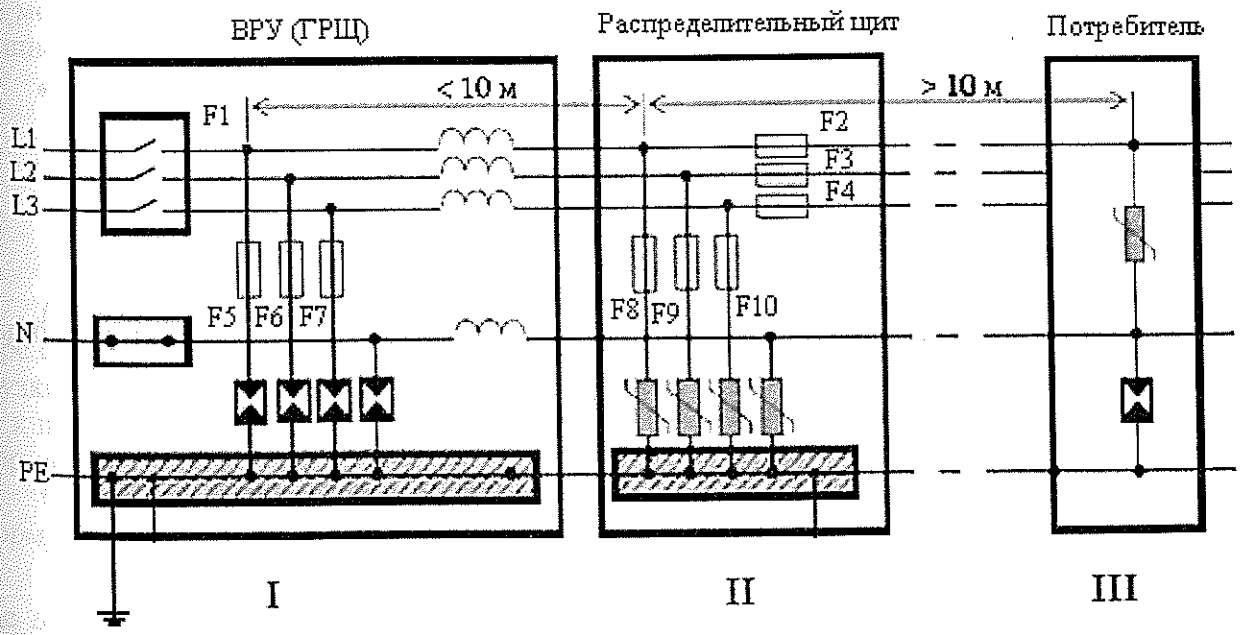


Рис. 4.20. Вариант установки защитных устройств с использованием дросселей в TN-S сеть 220/380 Кв

В случае необходимости размещения УЗИП на более близком расстоянии или рядом необходимо использовать «искусственную линию задержки» в виде импульсного разделительного дросселя с индуктивностью не менее 6-15 мкГн. Выбор величины индуктивности зависит от того, каким образом осуществляется ввод электропитания в объект. При подземном вводе (когда в первом каскаде защиты установлены варисторы) величина индуктивности может быть взята меньшей (порядка 6 мкГн), при воздушном вводе (в первой ступени установлены разрядники) это значение должно быть не менее 12-15 мкГн. Это объясняется разным временем срабатывания разрядников и варисторов.

При установке дросселей необходимо учитывать, что рабочие токи нагрузки в фазных проводниках не должны превышать предельно допустимые значения, указанные в техническом паспорте на данные устройства.

При необходимости и для удобства монтажа и обслуживания устройства защиты могут размещаться в отдельном щитке. Причем в одном щитке могут быть установлены ограничители перенапряжения всех трех классов. Это становится возможным в случае установки между ними разделительных дросселей. Пример схемы подключения к электроустановке защитного щитка с двумя ступенями защиты приведен на рис. 4.21.

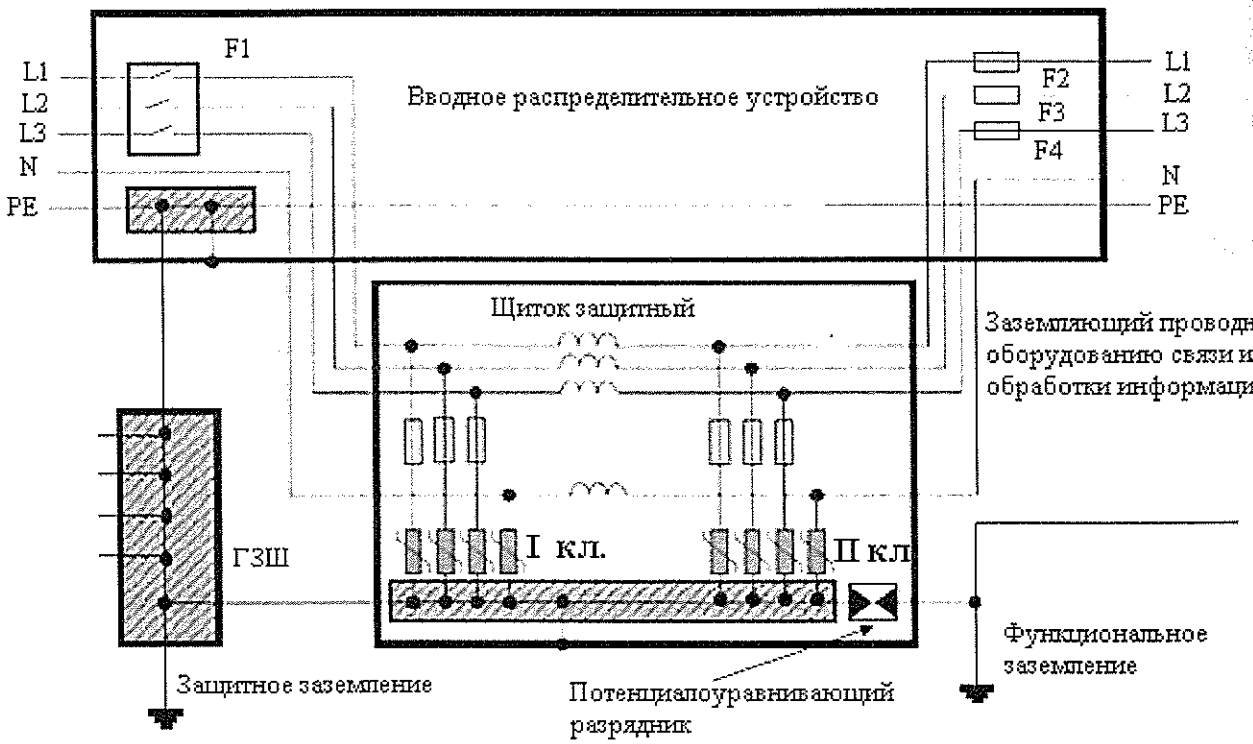


Рис. 4.21. Установка щитка защитного в трехфазную TN-S сеть

Заземление щитка должно осуществляться на главную заземляющую шину объекта или PE шину ВРУ (ГРЩ).

4.5. Определение потерь мощности и электроэнергии в линиях и трансформаторах

При передаче электрической энергии от генераторов электрических станций к потребителям неизбежным являются потери мощности и энергии в проводниках воздушных и кабельных линий, а также в обмотках и стальных сердечниках трансформаторов, установленных на подстанциях (примерно 12–18 % от всей энергии, вырабатываемой электростанциями).

Для покрытия потерь мощности и энергии в электрических сетях на станциях увеличивают нагрузку генераторов (устанавливают дополнительные турбогенераторы, котлы и т.п.). Это ведет к увеличению капиталовложений и дополнительному расходу топлива, а следовательно, к возрастанию себестоимости электроэнергии. Поэтому при проектировании необходимо стремиться к снижению потерь во всех элементах системы электроснабжения.

В городских сетях напряжением до 10 кВ эти потери обусловлены в основном нагреванием от тока.

Рассмотрим потери мощности и энергии в основных элементах электрической сети.

Потери мощности в линии. Потери активной мощности (кВт) в линиях трехфазной электрической сети по закону Джоуля-Ленца определяют по формуле:

$$\Delta P_Л = 3\, I^2_{РАСЧ} R_Л \cdot 10^{-3}, \qquad (4.5.1)$$

где $I_{РАСЧ}$ – расчетный ток данного участка линии, А;

$R_Л$ – активное сопротивление линии, Ом.

Соответственно потери реактивной мощности (кВАр)

$$\Delta Q_Л = 3\, I_{РАСЧ} X_Л \cdot 10^{-3}.$$

Зная, что $I_{РАСЧ} = S / \sqrt{3}U$, и подставляя это выражение в (4.5.1), получим потери активной мощности (кВт)

$$\Delta P_Л = S^2 / U^2 \cdot R_Л \cdot 10^{-3} = (P + Q)^2 / U^2 \cdot R_Л \cdot 10^{-3} \qquad (4.5.2)$$

Аналогично находим потери реактивной мощности (кВАр):

$$\Delta Q_Л = (P + Q)^2 / U^2 \cdot X_Л \cdot 10^{-3} \qquad (4.5.3)$$

Иногда потери мощности в линии выражают в процентах от расчетной мощности:

$$\Delta P_Л\,\% = \Delta P_Л / P \cdot 100, \qquad (4.5.4)$$

$$\Delta Q_Л\,\% = \Delta Q_Л / Q \cdot 100. \qquad (4.5.5)$$

Если в линии переменного тока реактивная составляющая потери напряжения мала и ею можно пренебречь, то можно установить связь между потерей напряжения и потерей мощности в процентах. Действительно, в данном случае для трехфазной сети

$$\Delta U\,\% = \frac{\sqrt{3}\, I\, R_Л \cos\gamma}{U_{НОМ}} 100,$$

$$\Delta P_Л\,\% = \frac{3 I^2 R_Л}{P} 100 = \frac{\sqrt{3}\, I\, R_Л}{U_{НОМ} \cos\gamma} 100,$$

$$\Delta P\,\% = \Delta U\,\% / \cos\gamma. \qquad (4.5.6)$$

Потери мощности в трансформаторах. Потери активной мощности в трансформаторе состоят из потерь, не зависящих и зависящих от нагрузки. Потери в стали $\Delta P_{СТ}$ от нагрузки не зависят, а зависят только от мощности трансформатора и значения приложенного к первичной обмотке напряжения. Потери в обмотках $\Delta P_{ОБ}$ зависят от нагрузки трансформатора.

Общую величину потери активной мощности (кВт) в трансформаторе определяют по формуле

$$\Delta P_{ТР} = \Delta P_{СТ} + \Delta P_{ОБ}\, \beta^2, \qquad (4.5.7)$$

где $\Delta P_{СТ}$ – потери активной мощности в стали трансформатора при номинальном напряжении, кВт ($\Delta P_{СТ}$ приравнивают к потерям холостого хода трансформатора ΔP_X);

$\Delta P_{ОБ}$ – потери в обмотках при номинальной нагрузке трансформатора, кВт ($\Delta P_{ОБ}$ при-

равнивают к потерям короткого замыкания ΔP_K);

$\beta = S / S_{НОМ}$ – коэффициент нагрузки трансформатора, представляющий собой отношение фактической нагрузки трансформатора к его номинальной мощности.

Потери реактивной мощности также разделяют на не зависящие и зависящие от нагрузки. К первым относятся потери, связанные с намагничиванием. Ко вторым относятся потери, обусловленные потоками рассеяния в трансформаторе, находят в зависимости от нагрузки.

Потери реактивной мощности (квар) в трансформаторе определяют из выражения

$$\Delta Q_{TP} = \Delta Q_{CT} + \Delta Q_{PAC}\beta^2, \qquad (4.5.8)$$

где ΔQ_{CT} – потери реактивной реактивной мощности на намагничивание, кВАр (ΔQ_{CT} принимают равными намагничивающей мощности холостого хода трансформатора ΔQ_X);

ΔQ_{PAC} – потери реактивной мощности рассеяния в трансформаторе при номинальной загрузке.

Значения ΔP_{CT} (ΔP_X) и $\Delta P_{OБ}$ (ΔP_K) приведены в каталогах на трансформаторы, а ΔQ_{CT} (ΔQ_X) и ΔQ_{PAC} определяют по данным каталогов из выражений

$$\Delta Q_{CT} = \sqrt{(\frac{I_X S_{НОМ}}{100})^2 - \Delta P^2{}_{CT}} \approx \frac{I_X S_{НОМ}}{100}, \qquad (4.5.9)$$

$$\Delta Q_{PAC} = 3 I^2_{НОМ} X_{TP} \cdot 10^{-3} \approx \frac{U_K S_{НОМ}}{100}, \qquad (4.5.10)$$

где I_X – ток холостого хода трансформатора, %;

U_K – напряжения короткого замыкания, %;

$I_{НОМ}$ – номинальный ток трансформатор, А;

X_{TP} – реактивное сопротивление трансформатора;

$S_{НОМ}$ – номинальная мощность трансформатора, кВА.

Потери электроэнергии. На основании потерь мощности можно определить потери электроэнергии. Известно, что токовая нагрузка в электрической сети непрерывно меняется в течение суток года в зависимости от изменения режима работы потребителей. Вместе с изменением нагрузки меняются и потери электроэнергии. Поэтому потери энергии нельзя подсчитать умножением потерь мощности при какой-нибудь определенной нагрузке на число часов работы линии. В самом деле, если потери принять по максимальной нагрузке, то умножение потерь энергии при этой нагрузке на число часов работы линии приведет к увеличенным во много раз результатам.

Для определения потерь электроэнергии применяют метод, основанный на понятиях времени использования потерь и времени использования максимума нагрузки.

Время максимальных потерь τ есть условное число часов, в течение которых максимальный ток, протекающий в линии непрерывно, создает потери энергии, равные действительным потерям энергии за год.

Временем использования максимальной нагрузки или временем использования максимума T_{max} называют условное число часов, в течение которых линия, работая с максимальной нагрузкой, могла бы передать потребителю за год столько энергии, сколько при работе по действительному переменному графику. Так, например, если за какой-то период времени (сутки, год) по линии было передано W (кВт ч) электроэнергии, а максимальная нагрузка составляла P_{max} (кВт), то время использования максимальной нагрузки

$$T_{max} = W / P_{max}. \qquad (4.5.11)$$

На основании статистических данных определено среднее число часов использования максимальной нагрузки T_{max} для характерных групп потребителей.

Так, например, ориентировочно можно указать значения T_{max}:

для внутреннего освещения – 1500–2000 ч;

наружного освещения – 2000–3000;

промпредприятия односменного – 2000–2500;

двухсменного – 3000–4500;

трехсменного – 3000–7000 ч.

На практике величину максимальных потерь определяют по кривым зависимости этого времени от продолжительности использования максимума нагрузки T_{max} и коэффициента мощности, полученных на основании различных годовых графиков нагрузки.

Зная T_{max} и коэффициент мощности cos γ, по кривым $\tau = f(T_{max})$ можно найти время потерь τ (рис. 4.22)

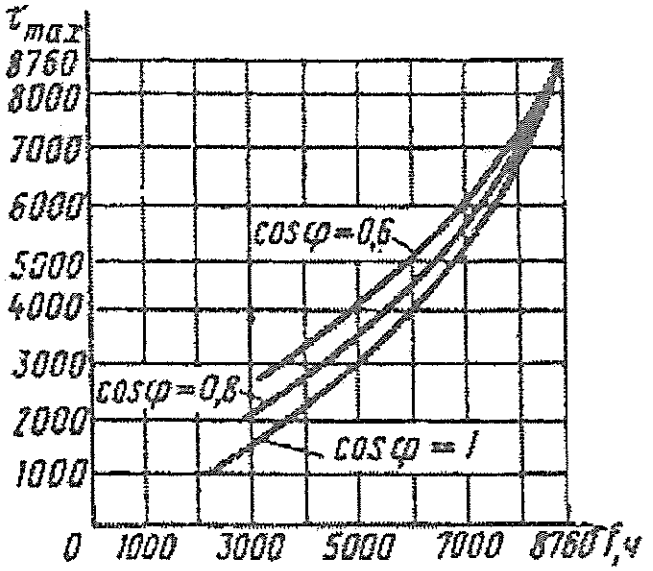


Рис. 4.22. Зависимость времени максимальных потерь от продолжительности использования максимума нагрузки

Потери энергии в линиях. Эти потери (в кВт·ч и кВАр·ч) можно определить по следующим выражениям

$$\Delta W_{A\,Л} = 3I^2 R_Л \tau 10^{-3}, \qquad (4.5.12)$$

$$\Delta W_{P\,Л} = 3I^2 X_Л \tau 10^{-3}. \qquad (4.5.13)$$

Потери энергии в трансформаторах. Эти потери складываются из потерь энергии в стали и обмотках. Величина потери энергии в стали определяется как произведение потерь мощности, зависящих от нагрузки, на время максимальных потерь:

$$\Delta W_{СТ} = \Delta P_{СТ} t. \qquad (4.5.14)$$

Величина потери энергии в обмотках (или, как говорят, потери в меди) определяется как произведение потерь мощности, зависящих от нагрузки, на время максимальных потерь:

$$\Delta W_{ОБ} = \Delta P_{ОБ} \beta^2 \tau. \qquad (4.5.15)$$

Общая потеря активной энергии (кВт·ч) в трансформаторе

$$\Delta W_{A\,ТР} = \Delta W_{СТ} + \Delta W_{ОБ} = \Delta P_{СТ} t + \Delta P_{ОБ} \beta^2 \tau. \qquad (4.5.16)$$

Общая потеря активной энергии (кВАр·ч) в трансформаторе

$$\Delta W_{P\,ТР} \approx \frac{I_X S_{НОМ}}{100} t + \frac{U_К S_{НОМ} \beta^2}{100} \tau.$$

Или

$$\Delta W_{P\,ТР} \approx \frac{S_{НОМ}}{100} (I_X t + U_К \beta^2 \tau). \qquad (4.5.17)$$

4.6. Устройство и расчеты электрических сетей жилых зданий

Устройство сетей. Схемы распределения электрической энергии внутри жилых зданий зависят от надежности электроснабжения потребителей, числа этажей, секций, планировочного решения зданий, наличия подвального этажа и встроенных предприятий и учреждений (магазины, ателье, мастерские, парикмахерские и т.п.). Эти схемы имеют общий принцип построения.

В каждом многоэтажном здании устанавливается вводно-распределительное устройство для присоединения внутренних электрических сетей здания к внешним питающим линиям, а также для распределения электрической энергии внутри здания и защиты отходящих линий от перегрузок и коротких замыканий. Для электроснабжения квартир от ВРУ отходят питающие линии, состоящие из горизонтальных и вертикальных участков (стояков). К горизонтальному участку каждой линии могут присоединяться один или несколько стояков. Однако следует учитывать, что при коротком замыкании на одном из стояков сработает защита на ВРУ и питающая линия отключится, при этом большое количество квартир останется без питания. Поэтому для повышения надежности электроснабжения квартир, а также для удобства выполнения ремонтных работ следует на каждом ответвлении к стояку устанавливать отключающий и защитный аппарат (рис. 4.23).

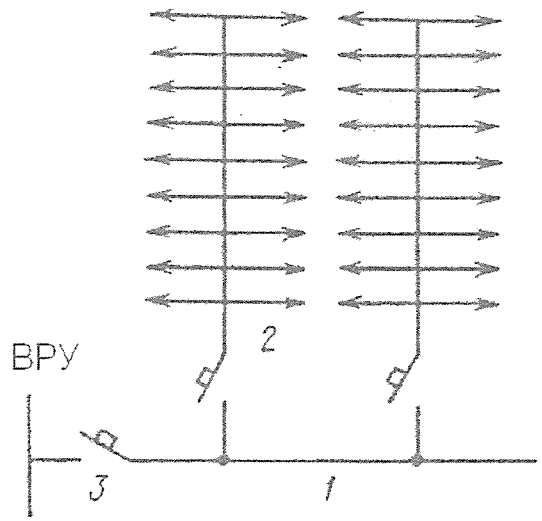


Рис. 4.23. Схема питающей линии в многосекционном здании:
1 – питающая линия; 2 – стояки; 3 – отключающий и защитные аппараты

Кроме линий, питающих квартиры, от ВРУ отходят внутридомовые линии, питающие освещение холлов, лестниц, коридоров, а также электродвигатели лифтов, насосов, вентиляторов и электроприемников системы дымозащиты. Принципиальная схема 16-этажного односекционального жилого дома приведена на рис. 4.24.

Как видно из схемы, питание электроприемников здания осуществляется двумя взаиморезервируемыми кабельными вводами 1, рассчитанными на электроснабжение (в аварийном режиме) всех его нагрузок. При выходе из строя одного из питающих кабелей все электроприемники с помощью переключателей 2, установленных на панели ВРУ, подключаются к кабелю, оставшемуся в работе. Для защиты панелей ВРУ от короткого замыкания, на вводах установлены плавкие предохранители. Если устанавливаются автоматические выключатели, то перед ними необходимо установить рубильники для обеспечения видимого разрыва при проведении ремонтов и обслуживания.

Для учета расхода электроэнергии от электроприемников общественного назначения (рабочее освещение лестничных клеток, подвала, чердака, домовых помещений и силовые потребители, в том числе лифты, и аварийное освещение лестничных клеток) устанавливается трехфазный счетчик 5, включаемый через трансформаторы тока 4.

Для подавления помех на каждой фазе вводов как правило устанавливают по одному помехозащитному конденсатору емкостью 0,5 мкФ.

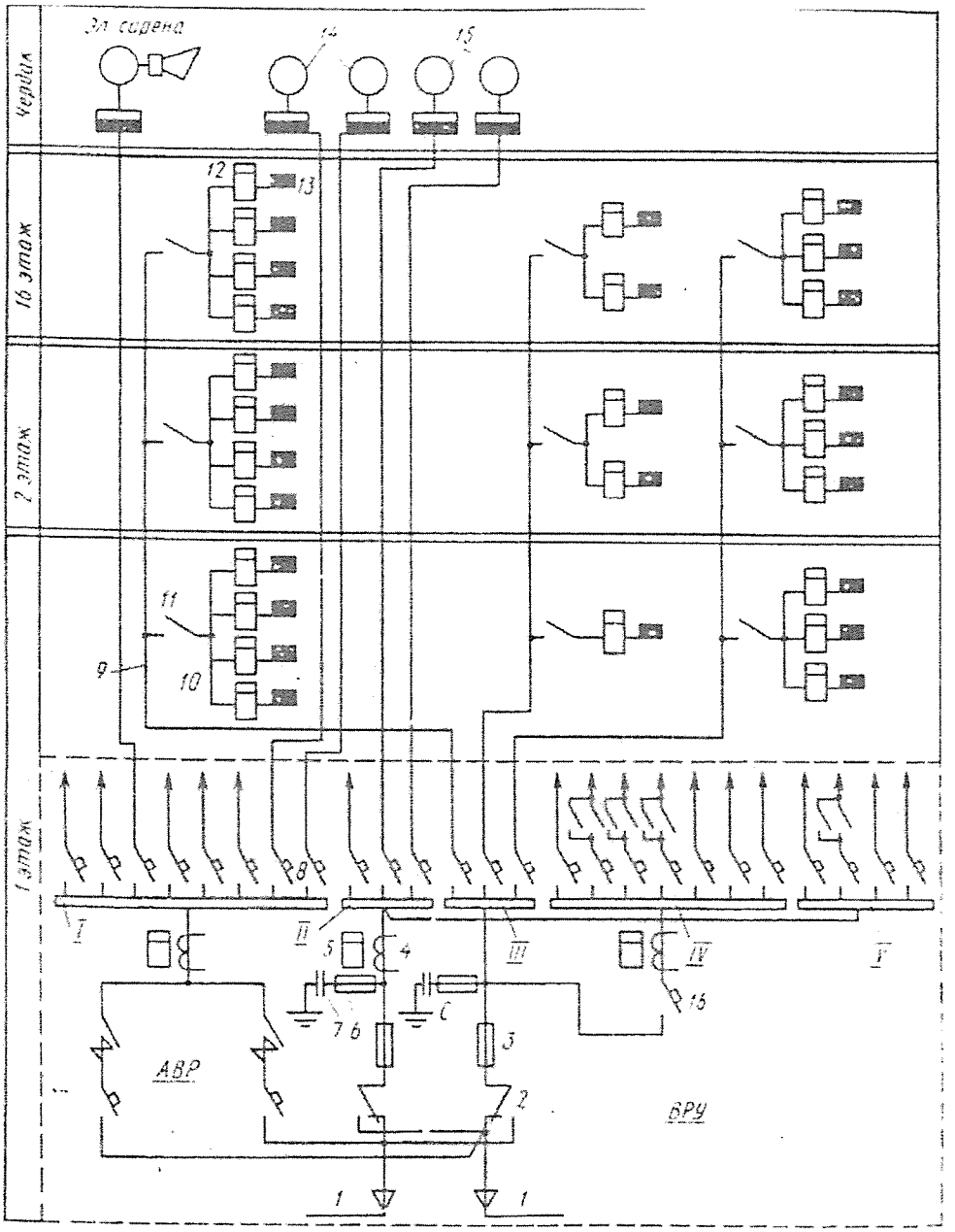


Рис. 4.24. Принципиальная схема 16-этажного 1-секционного дома

Конденсаторы 7 снабжаются предохранителями 6 и заземляются. Отходящие линии от ВРУ защищаются автоматическими выключателями 5. К стоякам 9 (секция III), питающим квартиры, подключены этажные квартирные щитки, которые установлены в щитах 10, размещенных на лестничных клетках (ЛК). На каждую квартиру устанавливается один пакетный выключатель 11. В щитах устанавливаются также однофазные квартирные счетчики 13 с автоматическими выключателями или предохранителями для защиты групповых линий квартир. К специальной панели (секция I), на которой предусмотрено устройство АВР (автоматическое включение резерва), подключаются вентиляторы системы дымозащиты 14, щитки управления и эвакуационное освещение. Присоединение этой панели к двум вводам до переключателей 2 с помощью устройства АВР всегда обеспечивает бесперебойное ее электроснабжение. От секции II по питающим линиям питаются лифтовые установки 15 и эвакуационное освещение. К секции III через автоматический выключатель

16 и приборы учета расхода электроэнергии подключена секция IV, от которой питаются общедомовые помещения, от панели V питаются штепсельные розетки для уборочных машин и аварийное освещение машинного помещения лифтов и электрощитовой.

Количество вводно-распределительных устройств или главных распределительных щитов (ВРУ, ГРЩ), предназначенных для приема электроэнергии от городской сети и распределения ее по потребителям зданий, выбирается по соображениям обеспечения надежности электроснабжения с учетом конструкции здания и по построению схемы внешнего электроснабжения.

В жилых домах ВРУ рекомендуется размещать в средних секциях.

В общественных зданиях ГРЩ или ВРУ должны располагаться у основного абонента независимо от числа предприятий, учреждений и организаций, расположенных в здании.

В типовых проектах блок-секций жилых домов следует предусматривать планировочные решения, позволяющие изменять местоположение ВРУ при привязке проектов к конкретным условиям застройки.

У каждого из абонентов, расположенных в здании, должно устанавливаться самостоятельное ВРУ, питающееся от общего ВРУ или ГРЩ здания.

От общего ВРУ допускается питание потребителей, расположенных в других зданиях, при условии, что эти потребители связаны функционально.

Нагрузка каждой питающей линии, отходящей от ВРУ, не должна превышать 250 А.

При превышении нагрузки стояка 250 А стояк следует выполнять состоящим из двух линий.

Линии питания лифтов, предназначенные для преимущественного использования пожарными подразделениями, должны иметь автономное управление с 1-го этажа (предусматривается в схемах управления лифтами).

При наличии в здании электроприемников, требующих первой категории по степени надежности электроснабжения, рекомендуется выполнять питание всего здания от двух независимых источников с устройством АВР независимо от требуемой степени обеспечения надежности электроснабжения других электроприемников.

При отсутствии АВР на вводе в здание питание электроприемников первой категории по надежности электроснабжения следует выполнять от самостоятельного щита (панели) с устройством АВР.

При наличии на вводе аппаратов защиты и управления этот щит (панель) с устройством АВР следует подключать после аппарата управления и до аппарата защиты. При наличии на вводе автоматического выключателя, выполняющего функции управления и защиты, это подключение должно производиться до автоматического выключателя.

Панели щита противопожарных устройств должны иметь отличительную окраску (красную).

Аппараты защиты и управления линий, питающих противопожарные устройства, расположенные на ВРУ (ГРЩ), должны иметь отличительную окраску (красную).

Включение и отключение электродвигателей пожарных насосов должно быть местное, непосредственно у электродвигателей. Кроме того, необходимо предусматривать их дистанционное включение со шкафов пожарных кранов.

Управление системами дымоудаления и подпора воздуха должно быть автоматическим и дублироваться дистанционным управлением.

В жилых зданиях должны применяться кабели и провода с медными жилами. Питающие и распределительные сети, как правило, должны выполняться кабелями и проводами с алюминиевыми жилами, если их расчетное сечение равно 16 мм^2 и более.

Питание аварийного освещения должно быть независимым от питания рабочего освещения и выполняться: при двух вводах в здание – от разных вводов, а при одном вводе – самостоятельными линиями, начиная от ВРУ или ГРЩ.

Распределительные линии сетей рабочего, эвакуационного и освещения безопасности, освещения витрин, рекламы и иллюминации в зданиях должны быть самостоятельны-

ми, начиная от ВРУ или ГРЩ. Сети эвакуационного освещения и освещения безопасности могут быть общими.

Схемы электрических сетей жилых домов следует выполнять исходя из следующего:

– питание квартир и силовых электроприемников, в том числе лифтов, должно, как правило, осуществляться от общих секций ВРУ. Раздельное их питание следует выполнять только в случае, когда расчетом будет подтверждено, что величины размахов изменения напряжения на зажимах ламп в квартирах при включении лифтов выше регламентируемых ГОСТ 13109–97;

– распределительные линии питания вентиляторов дымоудаления и подпора воздуха при пожаре, установленные в одной секции, должны быть самостоятельными для каждого вентилятора, начиная от щита противопожарных устройств ВРУ. При этом соответствующие вентиляторы или шкафы, расположенные в разных секциях, допускается питать по одной линии независимо от числа секций, подключенных к ВРУ.

К одной питающей линии разрешается присоединять несколько стояков, при этом в жилых зданиях высотой более пяти этажей на ответвлении к каждому стояку должен устанавливаться отключающий аппарат.

Освещение лестниц, поэтажных коридоров, вестибюлей, входов в здание, номерных знаков и указателей пожарных гидрантов, огней светового ограждения и домофонов должно питаться линиями от ВРУ. При этом линии питания домофонов и огней светового ограждения должны быть самостоятельными. Питание усилителей телевизионных сигналов, как правило, следует осуществлять самостоятельными линиями от ВРУ.

Силовые электроприемники общедомовых потребителей жилых зданий (лифты, насосы, вентиляторы и т.п.), как правило, должны получать питание от самостоятельной силовой сети, начиная от ВРУ.

В общественных зданиях от одной линии рекомендуется питать несколько вертикальных участков (стояков) питающей сети освещения. При этом в начале каждого стояка, питающего три и более групповых щитков, следует устанавливать защитный аппарат. Если стояк питается отдельной линией, установка защитного аппарата в начале стояка не требуется.

Электроустановки торговых предприятий, учреждений бытового обслуживания населения, административно-конторских и других помещений общественного назначения, встроенные в жилые дома, следует питать отдельными линиями от ВРУ (ГРЩ) дома. При этом у каждого потребителя должно устанавливаться самостоятельное ВРУ. Допускается питание указанных потребителей от отдельного ВРУ.

Питающие линии холодильных установок предприятий торговли и общественного питания должны быть самостоятельными, начиная от ВРУ или ГРЩ.

Электроприемники центральных тепловых пунктов (ЦТП) должны питаться не менее чем двумя отдельными линиями от ТП. Не допускается присоединение к этим линиям других электроприемников.

По одной линии следует питать не более четырех лифтов, расположенных в разных, не связанных между собой лестничных клетках и холлах. При наличии в лестничных клетках или в лифтовых холлах двух или более лифтов одного назначения они должны питаться от двух линий, присоединяемых каждая непосредственно к ВРУ или ГРЩ; при этом количество лифтов, присоединяемых к одной линии, не ограничивается. На вводе каждого лифта должен быть предусмотрен аппарат управления и защиты (предусматривается схемой и комплектацией лифта). Рекомендуется установка одного аппарата, совмещающего эти функции.

На вводах распределительных пунктов и групповых щитков должны устанавливаться аппараты управления. Распределение электроэнергии к силовым распределительным щитам, пунктам и групповым щиткам сети электрического освещения следует, как правило, осуществлять по магистральной схеме.

Радиальные схемы следует, как правило, выполнять для присоединения мощных элек-

тродвигателей, групп электроприемников общего технологического назначения (например, встроенных пищеблоков, помещений вычислительных центров и т.п.), потребителей I категории по надежности электроснабжения.

Групповые линии освещения могут быть одно-, двух- и трехфазными в зависимости от их протяженности и числа присоединенных светильников. При этом в двух- и трехфазных групповых линиях запрещается использование предохранителей и однополюсных автоматических выключателей. Однофазные групповые линии следует выполнять трехпроводными, двухфазные – четырехпроводными и трехфазные – пятипроводными с отдельными N- и PE-проводниками. При использовании шинопроводов в системе TN-C допускается объединять N- и PE-проводники – PEN-шина, при этом сечение PEN-проводника должно быть не менее 10 мм^2 по меди. Запрещается объединять N- и PE-проводники разных групповых линий.

В муниципальных квартирах жилых домов рекомендуется предусматривать отдельные линии для питания штепсельных розеток жилых комнат, освещения, штепсельных розеток электроприемников кухни и коридора. При наличии розетки в зоне 3 ванной комнаты должна предусматриваться установка УЗО на ток до 30 мА. В обоснованных случаях число линий может быть уменьшено до двух. Эти групповые линии разрешается выполнять с учетом смешанного или раздельного питания нагрузок. При смешанном питании штепсельные розетки, устанавливаемые в кухне и коридоре, следует, как правило, присоединять к одной групповой линии, а в жилых комнатах – к другой.

В квартирах жилых домов, оборудованных электрическими плитами, должна быть предусмотрена отдельная групповая линия для питания этих плит. Линии для питания однофазных электроплит должны выполняться медными проводниками сечением не менее 6 мм^2.

К групповым линиям освещения лестничных клеток, поэтажных коридоров, холлов, вестибюлей, технических этажей, подполий и чердаков разрешается присоединять на фазу:

– до 60 ламп накаливания мощностью до 60 Вт;

– до 75 люминесцентных ламп мощностью 40 Вт;

– до 100 люминесцентных ламп мощностью 20 Вт и менее.

Для коммутации однофазных групповых линий могут использоваться как однополюсные, так и двухполюсные выключатели.

Распределение нагрузок между фазами сети освещения общественных зданий должно быть, как правило, равномерным; разница в токах наиболее и наименее нагруженных фаз не должна превышать 30 % в пределах одного щитка и 15 % – в начале питающих линий.

В жилых комнатах квартир и общежитий должно быть установлено не менее одной розетки на ток 10(16) А на каждые полные и неполные 4 м периметра комнаты, в коридорах квартир – не менее одной розетки на каждые полные и неполные 10 м^2 площади коридоров.

В кухнях квартир следует предусматривать не менее четырех розеток на ток 10(16) А. В кухнях квартир с электроплитами последние следует подключать непосредственно к питающей линии. Допускается подключение через поляризованный штепсельный соединитель.

В жилых комнатах допускается установка сдвоенных розеток на ток 10(16) А. В кухнях допускается установка сдвоенных розеток на ток 16 А. Сдвоенная розетка, установленная в жилой комнате, считается одной розеткой. Сдвоенная розетка, установленная в кухне, считается двумя розетками.

Не нормируется расстояние от розеток, предназначенных для присоединения стационарных кухонных электроплит и кондиционеров, до корпусов этих приборов. При этом не допускается размещать розетки под и над мойками.

Расстояние от корпуса стационарной кухонной электроплиты до заземленных частей сантехнического оборудования, стальных труб отопления, горячего и холодного водоснабжения, моек и радиаторов не нормируется.

В прихожей квартиры должен быть установлен электрический звонок, а у входа в квартиру – звонковая кнопка.

Звонковая кнопка и подводка к кнопке должны удовлетворять всем требованиям безопасности. Подводку к звонку и кнопке следует выполнять медным проводом.

Выключатели в квартирах и общежитиях рекомендуется устанавливать со стороны дверной ручки на высоте до 1 м. Разрешается установка выключателей под потолком, управляемых с помощью шнура.

Выключатели общего освещения в помещениях общественных зданий рекомендуется устанавливать на высоте до 1,5 м от пола.

В жилых комнатах квартир и общежитий, а также в помещениях для пребывания детей рекомендуется устанавливать розетки, снабженные защитным устройством, закрывающим гнезда при вынутой вилке.

В школах и детских дошкольных учреждениях в помещениях для пребывания детей выключатели и розетки должны устанавливаться на высоте 1,8 м от пола.

Прокладка проводов и кабелей групповых линий рабочего освещения с групповыми линиями аварийного освещения на одном лотке, монтажном профиле, в одном канале многоканального короба, в корпусах и штангах многоламповых светильников не рекомендуется; при необходимости их совместной прокладки должны быть приняты специальные меры, исключающие возможность повреждения огнем проводов аварийного освещения (устройство перегородок, покрытие огнезащитными составами и т.п.).

Не разрешается прокладка в одном канале, рукаве, коробе и других конструкциях групповых линий, питающих разные квартиры, и взаиморезервируемых цепей.

Незащищенные изолированные провода наружной электропроводки должны быть расположены или ограждены таким образом, чтобы они были недоступны с мест, где возможно частое пребывание людей, например с балкона или крыльца.

Соединительные и ответвительные коробки, протяжные ящики и другие ответвительные устройства должны быть изготовлены из негорючих материалов. Металлические элементы электропроводок (конструкции, короба, лотки, трубы, рукава, коробки, скобы) должны быть защищены от коррозии.

Способ выполнения групповых электрических сетей в жилых комнатах и прихожих квартир жилых домов следует, как правило, выбирать по табл. 4.6.1. В кухнях квартир жилых домов рекомендуется применять те же виды электропроводок, что в жилых комнатах и прихожих.

В ванных комнатах и уборных должна применяться, как правило, скрытая электропроводка. Не допускаются применение защищенных проводов в металлической оболочке, а также прокладка проводов в стальных трубах.

Открытая прокладка незащищенных изолированных проводов на изоляторах должна выполняться на высоте не менее 2 м.

Высота открытой прокладки защищенных проводов и кабелей и проводов, прокладываемых в трубах и коробах, плинтусах и наличниках с каналами для электропроводок, а также спусков к выключателям, розеткам, пусковым аппаратам, щиткам и светильникам, устанавливаемым на стенах, не нормируется.

Питающие линии лифтовых установок прокладываются либо в каналах электропанелей, либо в трубах шахт лифтов. Если к одной питающей линии подключено несколько лифтов, то для присоединения последующих лифтовых установок прокладывается магистраль в кровле или по чердаку в трубах. Групповая сеть квартир выполняется плоскими проводами марок ППВ, АГШВ и АПН. Эти провода прокладываются без труб в слое подготовки пола, под штукатуркой стен и потолков, в щелях и пустотах строительных конструкций, а также в каналах строительных конструкций, образуемых при изготовлении железобетонных, гипсобетонных и других панелей на заводе.

Таблица 4.6.1

Способы выполнения групповых сетей в зависимости от типа здания

Здания	Способ выполнения групповых сетей	
	Открыто	Скрыто
Крупнопанельные полносборные из железобетонных конструкций и из монолитного железобетона	В коробах, специальных коробах, удовлетворяющих требованиям НПБ 246	В пустотах строительных конструкций – не распространяющими горение кабелями и изолированными проводами в защитной оболочке; в каналах строительных конструкций – кабелями и изолированными проводами в защитной оболочке; в замоноличенных трубах – изолированными проводами
С блочными или кирпичными несущими стенами, гипсо- и шлакобетонными перегородками и перекрытиями из пустотелых железобетонных плит	В коробах, специальных коробах, удовлетворяющих требованиям НПБ 246	В пустотах строительных конструкций – не распространяющими горение кабелями и изолированными проводами в защитной оболочке; в каналах строительных конструкций, под слоем штукатурки, штробах, в слое подготовки пола – кабелями и изолированными проводами в защитной оболочке с ПВХ изоляцией
Из деревянных и других конструкций из горючих материалов не ниже группы горючести Г3 по СНиП 21–01	В коробах, специальных коробах, удовлетворяющих требованиям НПБ 246. Допускается прокладка одиночным кабелем с медными жилами сечением не более 6 мм^2, не распространяющими горение, без подкладки	В металлических трубах – кабелями и изолированными проводами; под слоем штукатурки – кабелем, не распространяющим горение, по намету штукатурки

Если создание каналов в строительных конструкциях затруднено, групповая сеть квартир закладывается в толщу железобетонных, керамзитовых и газобетонных конструкций в процессе их изготовления на заводе. Такая проводка является несменяемой, и на практике ее называют «замоноличенной». Применение этих проводок допускается с некоторыми ограничениями, в частности, их запрещается закладывать в конструкции, в которых бетонные смеси имеют добавки, вредно действующие на изоляцию и жилы проводов (алюминат натрия, поташ и т.п.). Тепловая обработка строительных конструкций должна длиться не более 24 ч при температуре не выше 100 °С.

Начинают применять прокладку всех видов квартирной сети в электрических плинтусах: проводов освещения и подключения бытовых приборов, сети телефона, радиотрансляции и телевидения. Проводку в плинтусах легко можно сменить, она удобна для монтажа и эксплуатации.

Расчет электрических нагрузок жилых зданий проводится по СП 31-110–2003 и представлен в п. 4.1.

Особенности расчета электрических сетей жилых зданий. В трехфазных четырехпроводных и пятипроводных магистралях, питающих жилые здания, всегда имеется асимметрия токовых нагрузок в фазных проводах. Учитывая это, ПУЭ требует в магистралях принимать сечения нулевых проводов равными сечениям фазных при их сечениях по 16 мм^2 включительно. Свыше 16 мм^2 и до 35 мм^2 сечение нулевых проводов принимать не менее 16 мм^2, а более 35 мм^2 – не менее 50 % значений фазных.

Значения наибольших допустимых (располагаемых) потерь напряжения для жилых зданий в зависимости от режима работы питающего трансформатора и видов электроприемников можно определить по табл. 4.6.2, прибавляя к табличным значениям 2,5 %. В тех

случаях, когда точных данных о загрузке трансформатора и коэффициенте мощности потребителей не имеется, принимают значение потери напряжения для жилых зданий от шин подстанции до наиболее удаленной лампы общего освещения не более 7,5 %.

При проектировании сетей жилых зданий допустимую потерю напряжения (в процентах) от ВРУ до наиболее удаленного ввода в квартиру, в зависимости от этажности здания и количества секций в нем, можно принять по табл. 4.6.2.

Потеря напряжения для внутриквартирных групповых сетей общего освещения можно принять 0,8–1 %.

Таблица 4.6.2

Допустимая потеря напряжения

Здания			
с газовым питанием		с электроплитами	
Этажи	Допустимая потеря напряжения	Этажи	Допустимая потеря напряжения
5–8	0,8–1,9	5–8	0,4–2,1
9–12	0,7–2,4	9–12	0,5–2,3
13–15	1,0–2,6	13–15	0,6–2,6

Определение возможности пуска короткозамкнутого двигателя механизма при данных параметрах электрической сети

В практике проектирования и эксплуатации электрических сетей жилых, общественных зданий и предприятий часто приходится проводить расчеты на возможность прямого пуска короткозамкнутого электродвигателя механизма (лифта, вентилятора, насоса, станка и др.) при данных параметрах электрической сети. Эта методика сводится к оценке снижения напряжения на всех участках питающей сети от питающего трансформатора до клемм включаемого электродвигателя.

При пуске электродвигателя по питающей сети протекает кроме номинального еще и пусковой ток, которых в 4–8 раз больше номинального.

Пусковой ток вызывает дополнительную потерю напряжения в сети и в сумме с номинальным может создавать увеличенную потерю напряжения, при которой она резко понизится на клеммах электродвигателя. Это может привести к тому, что электродвигатель при его пуске не сможет сдвинуть с места присоединенный к нему механизм из-за уменьшения пускового момента (развиваемый электродвигателем вращающий момент изменяется пропорционально квадрату напряжения, приложенного на его клеммах). Кроме того, в результате резкого снижения напряжения могут остановиться другие работающие электродвигатели, присоединенные к данной линии.

Суммарная потеря напряжения до электродвигателя механизма в момент его пуска

$$\Delta U_{П} = \Sigma\Delta U_{С} + \Sigma\Delta U_{ДОП}, \qquad (4.6.1)$$

где $\Delta U_{С}$ – суммарная потеря напряжения в линии от шин питающего трансформатора до двигателя механизма и в трансформаторе без учета пуска двигателя;

$\Delta U_{ДОП}$ – дополнительная потеря напряжения в линии от трансформатора до двигателя механизма и в трансформаторе без учета пуска двигателя. Величина

$$\Delta U_{С} = \Delta U_{ТР} + \Delta U_{КАБ} + \Delta U_{Л}, \qquad (4.6.2)$$

где $\Delta U_{ТР}, \Delta U_{КАБ}$ – потери напряжения в питающем трансформаторе и в кабельной линии от ТП до ВРУ здания;

$\Delta U_{Л}$ – потеря напряжения внутри домовой силовой линии от ВРУ здания до наиболее удаленного электродвигателя при работе всех электродвигателей.

Потеря напряжения на питающем трансформаторе

$$\Delta U_{TP} = \sqrt{3} I_{НОМ} (r_{TP} \cos\varphi_{TP} + \chi_{TP} \sin\varphi_{TP}), \quad (4.6.3)$$

где $I_{НОМ}$ – номинальный ток трансформатора;

r_{TP}, χ_{TP} – активное и индуктивное сопротивления трансформатора, отнесенные к обмотке низшего напряжения.

Потери напряжения $\Delta U_{КАБ}$, $\Delta U_{Л}$ определяют по формулам п. 4.4. Следует учесть, что значение $\Delta U_{КАБ}$ необходимо определять из условий нормального и аварийного режимов.

В нормальном режиме электроснабжение здания осуществляется от ТП двумя кабельными линиями. Одна питает электродвигатели лифтов и сантехнического оборудования, другая – электрическую нагрузку от квартир. В аварийном режиме при выходе одной линии из строя питание всей нагрузки здания осуществляется по оставшейся в работе линии.

Потеря напряжения (%)

$$\Delta U_C\% = \frac{U_{НОМ} - \Delta U_C}{U_{НОМ}} \cdot 100. \quad (4.6.4)$$

При отсутствии данных мощности трансформаторов и их загрузке можно принять $\Delta U_C = 0{,}08\ U_{НОМ}$.

Дополнительная потеря напряжения (В) в сети от питающего трансформатора и в трансформаторе до клемм электродвигателя механизма

$$\Delta U_{ДОП} = \sqrt{3} I_{ПУСК} \left[(\sum_1^n r + r_{TP}) \cos\varphi_{П} + (\sum_1^n \chi + \chi_{TP}) \sin\varphi_{П} \right], \quad (4.6.5)$$

где $I_{ПУСК}$ – пусковой ток электродвигателя при номинальном напряжении; $\sum_1^n r, \sum_1^n \chi$ – сумма активных и реактивных сопротивлений всех участков сети;

$\cos\varphi_{П}$ – коэффициент мощности при пуске;

r_{TP}, χ_{TP} – активные и реактивные сопротивления питающего трансформатора, отнесенные к обмотке низшего напряжения.

Если принять, что пусковой ток электродвигателя уменьшается практически пропорционально уменьшению напряжения на его клеммах, то

$$I'_{ПУСК} = I_{ПУСК} \frac{U_Д}{U_{НОМ}} = K_i I_{НОМ\,Д} \frac{U_Д}{U_{НОМ}}, \quad (4.6.6)$$

где $I'_{ПУСК}$ – пусковой ток электродвигателя с учетом снижения напряжения на его клеммах, А;

K_i – кратность пускового тока при номинальном напряжении на клеммах электродвигателя (по каталогу);

$I_{НОМ\,Д}$ – номинальный ток электродвигателя (по каталогу), А;

$U_Д$ – значение напряжения на клеммах двигателя при его пуске, В.

Значение напряжения на клеммах электродвигателя при его пуске можно определить из следующего выражения:

$$U_Д = U_X - (\Delta U_C + \Delta U_{ДОП}) = 1{,}05\ U_{НОМ} - (\Delta U_C + \Delta U_{ДОП}). \quad (4.6.7)$$

Известно, что $U_X = 1{,}05\ U_{НОМ}$, т.е. напряжение холостого хода трансформатора на 5 % превышает номинальное напряжение электроприемников.

Подставляя в уравнение (4.6.6) значение $U_Д$, получим

$$I'_{ПУСК} = K_i I_{НОМ\,Д} \frac{1{,}05\ U_{НОМ} - (\Delta U_C + \Delta U_{ДОП})}{U_{НОМ}}. \quad (4.6.8)$$

Вставляя в формулу (4.6.5) действительное значение пускового тока $I'_{ПУСК}$ с учетом снижения напряжения на клеммах двигателя, получим выражение для дополнительной по-

тери напряжения в линии от шин трансформатора и в трансформаторе до электродвигателя:

$$\Delta U_{доп} = \sqrt{3} K_i I_{ном\,д} \frac{1{,}05\,U_{ном} - (\Delta U_C + \Delta U_{доп})}{U_{ном}} \cdot \left[(\sum_1^n r + r_{тр}) \cos\varphi_п + (\sum_1^n \chi + \chi_{тр}) \sin\varphi_п \right]$$

Обозначим через A, Ом выражение

$$(\sum_1^n r + r_{тр}) \cos\varphi_п + (\sum_1^n \chi + \chi_{тр}) \sin\varphi_п = A\,. \qquad (4.6.9)$$

Тогда

$$\Delta U_{доп} = \sqrt{3} K_i I_{ном\,д} \frac{1{,}05\,U_{ном} - (\Delta U_C + \Delta U_{доп})}{U_{ном}} \cdot A\,. \qquad (4.6.10)$$

Решив это уравнение относительно $\Delta U_{доп}$, получим полное значение дополнительной потери напряжения (В):

$$\Delta U_{доп} = \frac{\sqrt{3}\, K_i\, I_{ном\,д}\, A (1{,}05\,U_{ном} - \Delta U_C)}{U_{ном} + \sqrt{3} K_i\, I_{ном\,д}\, A}\,. \qquad (4.6.11)$$

или в процентах

$$\Delta U_{доп}\,\% = \frac{173\, K_i\, I_{ном\,д}\, A\, (1{,}05\,U_{ном} - \Delta U_C)}{(U_{ном} + \sqrt{3}\, K_i\, I_{ном\,д}\, A) U_{ном}}\,. \qquad (4.6.12)$$

Если принять $\Delta U_C = 0{,}08 \cdot U_{ном}$, то формула (4.6.12) примет вид

$$\Delta U_{доп}\,\% = \frac{167\, K_i\, I_{ном\,д}\, A}{U_{ном} + \sqrt{3}\, K_i\, I_{ном\,д}\, A}\,. \qquad (4.6.13)$$

Для определения A в формулах (4.6.11) и (4.6.12) необходимо знать величину коэффициента мощности при пуске электродвигателя $\cos\varphi_п$. Этот коэффициент в первый момент после включения двигателя вычисляют как среднее арифметическое из двух полученных значений по (4.6.14) и (4.6.15):

$$\cos\varphi_п = \cos\varphi_{ном} \left[\frac{m_п}{(1 - s_{ном})\, K_i} + \frac{1}{3} K_i (1 - \eta_{ном}) \right], \qquad (4.6.14)$$

$$\cos\varphi_п = \frac{\eta_{ном} \cos\varphi_{ном} (m_п + 0{,}025\, K_i^2)}{(1 - s_{ном})\, K_i}\,, \qquad (4.6.15)$$

где $\cos\varphi_{ном}$ – номинальное значение коэффициента мощности;

$m_п = M_{пуск} / M_{ном}$ – кратность пускового (начального) момента электродвигателя (по каталогу);

$s_{ном}$ – номинальное скольжение;

$\eta_{ном}$ – КПД при номинальной нагрузке электродвигателя.

Величины, входящие в формулы (4.6.14) и (4.6.15), указываются в каталогах на электродвигатели.

Как уже известно, напряжение (В) на клеммах электродвигателя при его пуске находят по формуле (4.6.7), т.е.

$$U_д = 1{,}05\,U_{ном} - (\Delta U_C + \Delta U_{доп})\,.$$

Если в этом выражении номинальное напряжение $U_{ном}$ принять за единицу, а ΔU_C и $\Delta U_{доп}$ выразить в процентах, то напряжение на клеммах электродвигателя при его пуске в долях от номинального

$$U_{д.} = 1{,}05 - 0{,}01\,(\Delta U_C\,\% + \Delta U_{доп}\,\%)\,. \qquad (4.6.16)$$

Теперь решим два вопроса: 1) какие необходимо выполнить условия для нормального пуска электродвигателя? 2) будет ли обеспечена устойчивая работа остальных включенных электродвигателей при пуске одного двигателя?

1. Известно, что развиваемый электродвигателем вращающий момент изменяется

пропорционально квадрату напряжения, приложенного на его клеммах. Нормальный пуск электродвигателя может быть обеспечен, если пусковой (начальный) момент электродвигателя будет превышать на 10 % пусковой момент сопротивления приводимого механизма. Поэтому для проверки допустимости пуска механизма достаточно сравнить пусковые (начальные) моменты электродвигателя и приводимого механизма, т.е.

$$U_{Д}^{2} \, m_{П} \geq 1{,}1 \, m_{МЕХ} \, K_{З}, \qquad (4.6.17)$$

где $U_{Д}$. – напряжение на клеммах электродвигателя в начальный момент пуска в долях от номинального напряжения;

$m_{П} = M_{ПУСК} / M_{НОМ}$ – кратность пускового момента электродвигателя при номинальном напряжении на его клеммах (по каталогу);

$m_{МЕХ} = M_{МЕХ} / M_{НОМ}$ – требуемая кратность пускового момента приводимого механизма;

$K_{З}$ – коэффициент загрузки электродвигателя;

1,1 – коэффициент запаса.

При определении значений кратности начальных моментов $m_{МЕХ}$ некоторых механизмов можно руководствоваться следующими данными:

Лифты пассажирские и грузовые.....1,7–1,8
Вентиляторы.....0,4–0,5
Компрессоры центробежные и поршневые.....0,4
Насосы центробежные и грузовые.....0,4
Станки металлообрабатывающие (токарные, строгальные, фрезерные и др.) 0,3

2. Устойчивая работа остальных включенных электродвигателей будет обеспечена, если при снижении напряжения на их клеммах, вызванном пуском одного электродвигателя, максимальные моменты останутся больше моментов приводимых механизмов. Это условие выражается так:

$$U_{Д}^{2} \cdot m_{\max} \geq 1{,}1 \, K_{З}, \qquad (4.6.18)$$

$m_{max} = M_{max} / M_{НОМ}$ – кратность максимального момента электродвигателя (по каталогу). Магнитные пускатели и контакторы не отключаются при снижении напряжения на их клеммах до 60–65 % номинального.

Пример 7. Исходя из выбранных сечений питающих кабелей и проводов линии, питающей электродвигатели лифтов в многоэтажном жилом доме, определить возможность пуска одного короткозамкнутого электродвигателя лифта и выяснить влияние его пуска на работу другого электродвигателя лифта. В доме установлены электродвигатели мощностью 4,5 кВт серии АСМ52-6. Принимаем аварийный режим, когда один из питающих кабелей вышел из строя и осветительная и силовая нагрузки питаются от другого кабеля. Исходные данные для решения задачи приведены на рис. 4.25.

Решение. Определяем сопротивление трансформатора и отдельных участков сети, руководствуясь предыдущими таблицами:

$r_{ТР} = 5{,}7$ мОм;
$r_{5\text{-}4} = 0{,}34 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{3} = 49{,}5$ мОм;
$r_{3\text{-}2} = 1{,}98 \cdot 0{,}06 \cdot 10^{3} = 119$ мОм;
$r_{2\text{-}1} = 1{,}98 \cdot 0{,}03 \cdot 10^{3} = 59{,}5$ мОм;
$x_{ТР} = 17{,}2$ мОм;
$x_{1\text{-}2} = 0{,}06 \cdot 0{,}15 \cdot 10^{3} = 9$ мОм;
$x_{3\text{-}4} = 0{,}09 \cdot 0{,}06 \cdot 10^{3} = 5{,}4$ мОм;
$x_{4\text{-}5} = 0{,}09 \cdot 0{,}03 \cdot 10^{3} = 2{,}7$ мОм.

Из каталога на электродвигатели лифтов определяем характеристики электродвигателя АСМ52-6: $I_{НОМ} = 12$ А; $K_{i} = 4{,}5$; $m_{П} = 2{,}2$; $m_{max} = 2{,}3$.

Коэффициент мощности при пуске $\cos\varphi_{П}$, подсчитанный как среднее из двух формул (4.6.14) и (4.6.15), составляет 0,52. По формуле (4.6.9) определяем величины A для расчет-

ных точек сети 2 и 1, в которых присоединены электродвигатели лифтов:

$A_2 = [(49{,}5+5{,}7+119)\cdot 0{,}52+(9+17{,}2+5{,}4)\cdot 0{,}85]\cdot 10^{-3} = 0{,}12$ Ом;

$A_1 = [(49{,}5+5{,}74+119+59{,}5)\cdot 0{,}52+(9+17{,}2+5{,}4+2{,}7)\cdot 0{,}85]\cdot 10^{-3} = 0{,}15$ Ом.

По формуле (4.6.13) находим дополнительную потерю напряжения при пуске электродвигателя второго лифта:

$$\Delta U_{доп\,4} = \frac{167\cdot 4{,}5\cdot 0{,}12}{380+1{,}73\cdot 4{,}5\cdot 0{,}12\cdot 0{,}12} = 2{,}76\ \%;$$

$$\Delta U_{доп\,5} = \frac{167\cdot 4{,}5\cdot 12\cdot 0{,}5}{380+1{,}73\cdot 4{,}5\cdot 0{,}12\cdot 0{,}15} = 3{,}42\ \%.$$

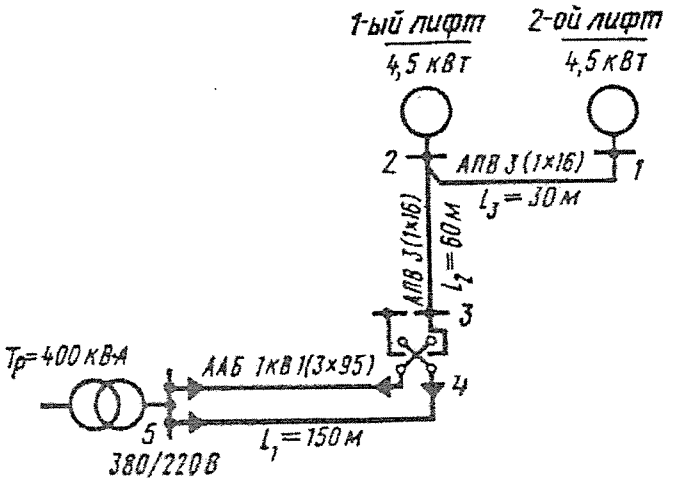


Рис. 4.25. Схема к примеру 7

По выбранный сечениям кабеля и проводов сети можно было определить потерю напряжения в сети $\Delta U_C\,\%$ как в нормальных, так и в аварийном режимах без учета пуска электродвигателя лифта.

Однако для уменьшения расчетов ориентировочно примем $\Delta U_C\,\% = 8\ \%$. Определим напряжение в долях от номинального на зажимах электродвигателя второго лифта (рис. 4.25) при его пуске (точка 1) по формуле (4.6.16): $U_{д^*} = 1{,}05 - 0{,}01\ (3{,}42 + 8) = 0{,}94$.

Проверяем возможность пуска электродвигателя второго лифта по формуле (4.6.17), принимая коэффициент загрузки равным единице, а $m_{МЕХ} = 1{,}7$; $U_{д^*} = m_П \geq 1{,}1\, m_{МЕХ}\, K_З$; $0{,}94^2*2{,}2 > 1{,}1*1{,}7*1$, т.е. $1{,}94 > 1{,}87$.

Результат расчета показывает, что пуск электродвигателя второго лифта возможен. Напряжение в долях от номинального на зажимах электродвигателя первого лифта $U_{д^*} = 1{,}05 - 0{,}1\ (2{,}76 + 8) = 0{,}95$.

Проверяем условия нормальной работы электродвигателя первого лифта при пуске электродвигателя второго лифта по формуле (4.6.18): $0{,}95^2*2{,}3 > 1{,}1*1$, т.е. $2{,}07 > 1{,}1$. Таким образом, электродвигатель первого лифта будет нормально продолжать работу.

4.7. Выбор аппаратов защиты в электрических сетях напряжением до 1000 В

Аппараты защиты и требования, предъявленные к ним

Электрические сети должны иметь в своем составе устройства, обеспечивающие защиту от токов короткого замыкания (к.з.). Время отключения указанных устройств должно быть минимальным, отключаться должны при коротких замыканиях в защищаемом участке сети (избирательность или селективность срабатывания).

Защита должна обеспечивать отключение к.з. в конце защищаемой линии одно-, двух- и трехфазных сетях с глухозаземленной нейтралью (система заземления сети – TN). В сетях с изолированной нейтралью (система заземления сети – IT) защита осуществляется только при двойном замыкании на открытой проводящей части (корпуса) ЭУ.

В качестве защитных устройств применяют аппараты защиты. *Аппаратом защиты* (АЗ) называют аппарат, автоматически отключающий электрическую цепь (участок сети при нормальных режимах, к ним относятся автоматические выключатели (АВ) и предохранители.

Токи уставок автоматических выключателей и магнитных пускателей, номинальные токи плавких вставок предохранителей, обеспечивающих защиту отдельных участков сети, следует выбирать по наименьшим расчетным токам для данных участков или по номинальным токам электроприёмников, но таким образом, чтобы аппараты защиты не отключали ЭУ при кратковременных перегрузках (пусковые токи, пики технологических нагрузок, токи самозапуска и т.п.).

Характеристики аппаратов защиты и параметры защиты проводников должны быть согласованы (номинальные токи аппаратов защиты не должны превышать предельных токов защищаемых проводников), при этом должно обеспечиваться нормированное время отключения поврежденного участка сети аппаратом защиты при номинальном фазном напряжении питающей сети.

В электрических сетях с системой заземления TN время автоматического отключения питания аппаратом защиты не должно превышать значений указанных в табл. 4.7.1.

Таблица 4.7.1

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы TN

Номинальное фазное напряжение U_0, В	Время отключения, с
127	0,8
220	0,4
380	0,2
Более 380	0,1

Приведенные значения времени отключения считаются достаточными для обеспечения электробезопасности, в том числе в групповых целях, питающих передвижные и переносные электроприёмники и ручной электроинструмент класса 1.

В сетях питающих распределительные, групповые, этажные и другие щиты и щитки, время не должно превышать 5 с.

Допускаются значения времени отключения выше указанных в табл. 4.7.1, но не более 5 с в сетях, питающих только стационарные электроприёмники от распределительных щитов или щитков при выполнении одного из следующих условий:

1) полное сопротивление защитного проводника между главной заземляющей шиной и распределительным щитом или щитком не превышает значения, Ом:

$$50\, Z_Ц / U_0,$$

где $Z_Ц$ – полное сопротивление цепи «фаза-нуль», Ом;.

U_0 – номинальное фазное напряжение цепи, В;

50 – падение напряжения на участке защитного проводника между главной заземляю-

щей шиной и распределительным щитом или щитком, В;

2) к шине РЕ распределительного щита или щитка присоединена дополнительная система уравнения потенциалов, охватывающая те же сторонние проводящие части, что и основная система уравнения потенциалов.

В электрических сетях системы заземления IT время автоматического отключения питания при двойном замыкании на открытые проводящие части должно соответствовать значениям, указанным в табл. 4.7.2.

Таблица 4.7.2

Наибольшее допустимое время защитного автоматического отключения для системы IT

Номинальное фазное напряжение U_0, В	Время отключения, с
220	0,8
380	0,4
660	0,2
Более 660	0,1

В сетях, защищаемых только от токов к.з. (не требующих защиты от перегрузки), за исключением протяженных сетей, например сельских, коммунальных, допускается не выполнять расчетной проверки кратности тока к.з. на соответствие требованиям табл. 4.7.1, если обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам проводников, приведенным в гл. 1.3 ПУЭ или табл. 4.3.3–4.3.8, аппараты защиты имели кратность не более:

– 300 % для номинального тока плавкой вставки предохранителя;

– 450 % для тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку);

– 100 % для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки);

– 125 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратной зависящей от тока характеристикой; если на этом автоматическом выключателе имеется еще отсечка, то ее кратность тока срабатывания не ограничивается.

В сетях, защищаемых от перегрузок, проводники следует выбирать по расчетному току, при этом должно быть обеспечено условие, чтобы по отношению к длительно допустимым токовым нагрузкам, приведенным в гл.1.3 ПУЭ или табл. 4.3.3–4.3.8, аппараты защиты имели кратность не более:

– 80 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), – для проводников с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией; для проводников, прокладываемых в невзрывоопасных производственных помещениях промышленных предприятий, допускается 100 %;

– 100 % для номинального тока плавкой вставки или тока уставки автоматического выключателя, имеющего только максимальный мгновенно действующий расцепитель (отсечку), – для кабелей с бумажной изоляцией;

– 100 % для номинального тока расцепителя автоматического выключателя с нерегулируемой обратно зависящей от тока характеристикой (независимо от наличия или отсутствия отсечки) – для проводников всех марок;

– 100 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой – для проводников с поливинилхлоридной, резиновой и аналогичной по тепловым характеристикам изоляцией;

– 125 % для тока трогания расцепителя автоматического выключателя с регулируемой обратно зависящей от тока характеристикой – для кабелей с бумажной изоляцией и изоляцией из вулканизированного полиэтилена.

В электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, размещаемых во взрывоопасных зонах, в целях обеспечения автоматического отключения аварийного участка проводимость нулевых защитных проводников должна быть выбрана такой, чтобы при замыкании на корпус или нулевой защитный проводник возникал ток к.з., превышающий не менее чем в 4 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя и не менее чем в 6 раз ток расцепителя автоматического выключателя, имеющего обратнозависимую от тока характеристику.

Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока к.з. в конце защищаемого участка электрической сети.

Расчет токов короткого замыкания в электроустановках

В системах электроснабжения любого назначения возникают короткие замыкания, которые приводят к резкому увеличению токов в сети. Поэтому электрооборудование выбирается с учетом действия указанных токов.

Коротким замыканием (к.з.) называется нарушение нормальной работы электрической установки, вызванное замыканием фаз между собой, а в системах с заземленной нейтралью также замыканием фаз на землю.

Различают следующие виды коротких замыканий:

трехфазное симметричное к.з.;

двухфазное – две фазы соединяются между собой без соединения с землей;

однофазное – одна фаза соединяется с нейтралью источника через землю;

двойное замыкание на землю – две фазы соединяются между собой и землей.

Как правило, в месте к.з. возникает электрическая дуга, которая вместе с сопротивлениями элементов пути тока к.з. образует переходное сопротивление. Непосредственное к.з. без переходного сопротивления в месте повреждения называется *металлическим к.з.*

Пренебрежение переходным сопротивлением упрощает расчет и дает максимально возможное при одних и тех же исходных условиях значение тока к.з. При выборе аппаратов защиты такое пренебрежение допустимо, однако, при расчетах релейной защиты возможное снижение значения тока за счет переходного сопротивления в месте к.з. учитывается введением специального коэффициента.

Основными причинами к.з. являются нарушения изоляции отдельных частей электроустановок, неправильные действия персонала, перекрытия изоляции из-за перенапряжений в электрических сетях. Замыкания нарушают электроснабжение потребителей, в том числе и неповрежденных, подключенных к поврежденным участкам сети, вследствие понижения на них напряжения и нарушения работы системы электроснабжения в целом. Поэтому к.з. должны ликвидироваться устройствами защиты в возможно короткие сроки.

Двухфазное, двухфазное на землю и однофазное к.з. относятся к *несимметричным к.з.*

Для несимметричных к.з. характерны неодинаковые значения фазных токов и напряжений и различные углы сдвига между токами, а также между токами и соответствующими напряжениями.

Эта особенность несимметричных к.з. существенно усложняет их расчет.

Для упрощения расчетов несимметричных к.з. используют метод симметричных составляющих, сущность которого состоит в замене несимметричного режима трехфазной сети симметричным режимом или замене несимметричного повреждения условным трехфазным коротким замыканием.

По этому методу любая несимметричная трехфазная система может быть однозначно разложена на три симметричные системы, или последовательности – прямую, обратную и нулевую.

Для определения токов и напряжений в месте к.з. определяют суммарные сопротив-

ления каждой последовательности относительно точки к.з.

Расчет токов к.з. в электроустановках переменного тока напряжением до 1000 В производится проверки правильности выбора электрооборудования по условиям к.з., а также для выбора аппаратов защиты, уставок релейной защиты. Ожидаемые токи к.з. используются и при расчетах заземляющих устройств.

В зависимости от цели расчета используют различные расчетные режимы работы электрической сети (проектируемой или действующей). При выборе аппаратов защиты за расчетный принимают максимальный режим, это режим при котором токи к.з. имеют максимальное значение.

При проверке чувствительности защит расчетным является минимальный режим, при котором токи к.з. имеют минимальные значения. Этот же режим используют для проверки возможности пуска и самозапуска электродвигателей.

При расчетах металлических к.з. (сопротивление контакта в месте повреждения не учитывается) определяют следующие значения токов:

$I^3_{K.макс}$ – максимальный ток трехфазного металлического к.з. при максимальном режиме работы питающей энергосистемы, используется для выбора аппаратуры и защит, проверки селективности их действия;

$I^2_{K.мин}$ – минимальный ток двухфазного металлического к.з. при минимальном режиме работы энергосистемы, используется для проверки чувствительности защит;

$I^1_{K.мин}$ – минимальный ток однофазного металлического к.з., определяется для проверки чувствительности и селективности действия защит.

Подавляющее большинство к.з. в сетях 0,4 кВ происходит через электрическую дугу в месте повреждения, сопротивление которой существенно снижает значение к.з. Чтобы учесть токоограничивающее действие электрической дуги в месте повреждения, определяют следующие значения токов:

$I^3_{K.CP}$ – средний, наиболее вероятный ток трехфазного к.з., вычисленный с учетом токоограничивающего действия дуги в месте повреждения [40], используется для выбора аппаратуры в сети;

$I^2_{K.R}$ – минимальный ток двухфазного к.з., вычисленный с учетом токоограничивающего действия дуги в месте повреждения, используется для проверки чувствительности защит;

$I^1_{K.R}$ – минимальный ток однофазного к.з., вычисленный с учетом токоограничивающего действия дуги в месте повреждения, используется для проверки чувствительности защит.

В современных электрических системах точный расчет токов к.з. с учетом всех условий очень сложен и практически невозможен. С другой стороны, требуемая точность расчетов зависит от его назначения. Например, для выбора электрических аппаратов производят приближенное определение токов к.з., так как интервалы между значениями параметров, характеризующих различные типы аппаратов, велики. Для выбора и настройки устройств релейной защиты и автоматики точность расчетов должна быть значительно выше.

По этим причинам при расчетах токов к.з.:

1) используют упрощенные методы расчетов, если их погрешность не превышает 10 %;

2) максимально упрощают и эквивалентируют всю внешнюю сеть по отношению к месту к.з. и индивидуально учитывают только автономные источники электроэнергии и электродвигатели, непосредственно примыкающие к месту к.з.;

3) не учитывают ток намагничивания трансформаторов;

4) не учитывают насыщение магнитных систем электрических машин;

5) принимают коэффициенты трансформации трансформаторов равными отношению средних номинальных напряжений тех ступеней напряжения сетей, которые связывают трансформаторы. При этом следует использовать следующую шкалу средних номиналь-

ных напряжений: 37; 24; 20; 15,75; 13,8; 10,5; 6,3; 3,15; 0,69; 0,525; 0,4; 0,23 кВ;

6) не учитывают влияние синхронных и асинхронных электродвигателей или комплексной нагрузки, если их суммарный номинальный ток не превышает 1,0 % начального значения периодической составляющей тока в месте к.з., рассчитанного без учета электродвигателей или комплексной нагрузки.

Электроустановки потребителей напряжением до 1000 В обычно получают питание от понижающих трансформаторов. Мощность трансформаторов квартальных и заводских подстанций находится в пределах 160–2500 кВА. Наиболее часто на этих подстанциях устанавливаются трансформаторы мощностью 630, 1000, 1600 кВА.

При расчете токов к.з. в электроустановках, получающих питание непосредственно от сети электросистемы, допускается считать, что понижающие трансформаторы подключены к источнику неизменного по амплитуде напряжения через эквивалентное индуктивное сопротивление системы. Значение этого сопротивления (x_C) в миллиомах, приведенное к ступени низшего напряжения сети, рассчитывают по формуле:

$$x_C = \frac{U^2_{СР.НН}}{\sqrt{3} I_{К.ВН}\, U_{СР.ВН}} = \frac{U^2_{СР.НН}}{S_{КЗ.СИСТ}} \cdot 10^{-3}, \qquad (4.7.1)$$

где $U_{СР.НН}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В;

$U_{СР.ВН}$ – среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В;

$I_{К\,ВН} = I_{ПО\,ВН}$ – действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном к.з. у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА;

$S_{КЗ.СИСТ}$ – условная мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВ·А.

При отсутствии указанных данных эквивалентное индуктивное сопротивление системы в миллиомах допускается рассчитывать по формуле

$$x_C = \frac{U^2_{СР.НН}}{\sqrt{3} I_{ОТКЛ.НОМ}\, U_{СР.ВН}} = \frac{U^2_{СР.НН}}{S_{НОМ.ОТКЛ}}, \qquad (4.7.2)$$

где $I_{ОТКЛ.НОМ}$ – номинальный ток отключения выключателя, установленного на стороне высшего напряжения понижающего трансформатора цепи;

$S_{НОМ.ОТКЛ}$ – номинальная мощность отключения выключателя, установленного в питающей сети напряжением выше 1 кВ, которую принимают за мощность к.з. от системы.

Если мощность к.з. на стороне высшего напряжения трансформатора

$$S_{КЗ.СИСТ} \geq 25\, S_{НОМ.Т}, \qquad (4.7.3)$$

то периодическая составляющая тока к.з. будет неизменной [40]. В большинстве случаев для систем электроснабжения напряжением до 1 кВ это соотношение выполняется.

Можно считать, что к.з. в сетях до 1 кВ питается от системы с неограниченной мощностью $S_C = \infty$, $x_C = 0$, т.е. периодическая составляющая тока к.з. неизменна в течение всего времени существования режима к.з.:

$$I^{(3)}_{\Pi} = I^{(3)}_{КЗ}.$$

При расчетах токов к.з. в установках напряжением до 1 кВ необходимо учитывать:

– активные и индуктивные сопротивления проводов, кабелей и шин (длиной 10–15 м и более); токовых катушек расцепителей автоматических выключателей; первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока; переходных контактов аппаратов;

– активные и индуктивные сопротивления всех элементов короткозамкнутой цепи;

– переходные сопротивления в месте к.з.

Расчетная точка трехфазного к.з. в установках напряжением до 1 кВ – непосредственно за автоматическим выключателем трансформатора.

Расчетная точка однофазного к.з. в установках напряжением до 1 кВ – наиболее удаленная точка линии, защищаемой выключателем.

Расчет параметров цепи и токов к.з. в установках напряжением до 1 кВ ведется в именованных единицах.

При электроснабжении электроустановки от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное действующее значение периодической составляющей тока трехфазного к.з. ($I_{ПО}$) в килоамперах в сети до 1000 В без подпитки от электродвигателей следует рассчитывать по формуле:

$$I_{КЗ}^{(3)} = I_{ПО} = \frac{U_{СР.НОМ}}{\sqrt{3}\sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \qquad (4.7.4)$$

где $U_{СР.НОМ}$ – среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В;

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ – соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи к.з., мОм. Эти сопротивления равны:

$$r_{1\Sigma} = r_T + r_P + r_{TA} + r_{КВ} + r_{Ш} + r_K + r_{1КБ} + r_{ВЛ} + r_Д \qquad (4.7.5)$$

и

$$x_{1\Sigma} = x_C + x_T + x_P + x_{TA} + x_{КВ} + x_{Ш} + x_{1КБ} + x_{ВЛ}, \qquad (4.7.6)$$

где r_T и x_T – активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающего трансформатора, мОм;

r_{TA} и x_{TA} – активное и индуктивное сопротивления первичных обмоток трансформаторов тока, мОм;

x_C – эквивалентное индуктивное сопротивление системы до понижающего трансформатора, мОм, приведенное к ступени низшего напряжения;

r_P – активное и индуктивное сопротивления реакторов, мОм;

$r_{КВ}$ и $x_{КВ}$ – активное и индуктивное сопротивления токовых катушек автоматических выключателей, мОм;

$r_{Ш}$ и $x_{Ш}$ – активное и индуктивное сопротивления шинопроводов, мОм;

r_K – суммарное активное сопротивление различных контактов, мОм;

$r_{1КБ}$, $r_{ВЛ}$ и $x_{1КБ}$, $x_{ВЛ}$ – активные и индуктивные сопротивления прямой последовательности кабельных и воздушных линий, мОм;

$r_Д$ – активное сопротивление дуги в месте к.з., мОм, принимаемое по данным табл. 4.7.1 или рассчитываемое как указано в прил. 9 ГОСТ 28249–93, в зависимости от условий к.з. (прил. П.1)

Начальное значение периодической составляющей тока однофазного к.з. от системы ($I_{ПО}^{(1)}$) в килоамперах рассчитывают по формуле:

$$I_{КЗ}^{(1)} = I_{ПО}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{СР.НОМ}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \qquad (4.7.7)$$

где $r_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ определяют в соответствии с выражениями (4.7.5), (4.7.6);

$r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ – суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления нулевой последовательности расчетной схемы относительно точки к.з., мОм. Эти сопротивления равны:

$$r_{0\Sigma} = r_{0T} + r_P + r_{TA} + r_{КВ} + r_K + r_{0Ш} + r_{0КБ} + r_{0ВЛ} + r_Д \qquad (4.7.8)$$

и

$$x_{0\Sigma} = x_{0T} + x_P + x_{TA} + x_{КВ} + x_{0Ш} + x_{0КБ} + x_{0ВЛ}, \qquad (4.7.9)$$

где r_{0T} и x_{0T} – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности понижающего трансформатора;

$r_{0Ш}$ и $x_{0Ш}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности шинопровода;

$r_{0КБ}$ и $x_{0КБ}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности кабеля;

$r_{0ВЛ}$ и $x_{0ВЛ}$ – активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности воздушной линии ($r_{0ВЛ} = r_{1ВЛ}$, $x_{0ВЛ} \approx 3\,x_{1ВЛ}$).

Таблица 4.7.1

Значения активного сопротивления дуги

Расчетные условия к.з.	Активное сопротивление дуги ($r_Д$), мОм, при к.з. за трансформаторами мощностью, кВА					
	250	400	630	1000	1600	2500
к.з. вблизи выводов низшего напряжения трансформатора:						
– в разделке кабелей напряжением:						
0,4 кВ	15	10	7	5	4	3
0,525 кВ	14	8	6	4,5	3,5	2,5
0,69 кВ	12	7	5	4	3	2
– в шинопроводе типа ШМА напряжением:						
0,4 кВ	–	–	–	6	4	3
0,525 кВ	–	–	–	5	3,5	2,5
0,69 кВ	–	–	–	4	3	2
к.з. в конце шинопровода типа ШМА длиной 100–150 м напряжением:						
0,4 кВ	–	–	–	6–8	5–7	4–6
0,525 кВ	–	–	–	5–7	4–6	3–5
0,69 кВ	–	–	–	4–6	3–5	2–4

При расчете токов к.з. в электроустановках с автономными источниками электроэнергии необходимо учитывать значения параметров всех элементов автономной электрической системы, включая автономные источники (синхронные генераторы), распределительную сеть и потребители. Токи к.з. от асинхронных двигателей, присоединенных непосредственно к месту к.з., учитываются только при определении ударного тока к.з.

В соответствии с СП 31-110–2003 расчет токов короткого замыкания в электрических сетях жилых и общественных зданий должен производиться из условия, что подведенное к трансформатору напряжение неизменно и равно номинальному значению (т.е. $x_C = 0$).

Расчет токов короткого замыкания следует вести с учетом активных и индуктивных сопротивлений всех элементов короткозамкнутой цепи, а также всех переходных сопротивлений, включая сопротивление дуги в месте короткого замыкания, т.е. токи трехфазного и однофазного к.з. необходимо рассчитывать по выражениям (4.7.3), (4.7.7).

Значение ударного коэффициента $K_У$ для определения ударного тока короткого замыкания следует принимать:

на шинах РУ–0,4кВА трансформаторных подстанций – 1,1;

в остальных точках сети – 1.

При расчетах токов к.з. в сетях до 1000 В параметры отдельных элементов контура к.з. (данные о контактах и их переходных сопротивлениях) часто неизвестны. В связи с этим в практике проектирования находит применение метод, при котором в расчетный контур к.з. вводится добавочное сопротивление 0,015–0,03 Ом [43].

Рекомендуется при расчете токов к.з. в сетях, питающихся от трансформаторов мощностью до 1000 кВА, учитывать их сопротивление следующим образом: 0,015 Ом – для распределительных устройств на станциях и подстанциях; 0,02 Ом – для первичных вводных устройств ВРУ, ГРЩ зданий; 0,025 Ом – для вторичных распределительных и групповых щитов, а также на зажимах аппаратов, питаемых от вводных устройств; 0,03 Ом – для аппаратуры, установленной непосредственно у приемников электроэнергии, получающих питание от распределительных и групповых щитов.

При расчете токов к.з. в сетях, получающих питание от мощных трансформаторов 1000, 1600, 2500 кВА, рекомендуется вводить снижающий коэффициент $к_{СН}$ [44]. Умножая расчетный ток к.з. на $к_{СН}$, получают расчетный ток к.з. в сети 0,4 кВ с учетом сопротивле-

ния дуги. При этом рекомендуется:

1) для выбора уставок автоматических выключателей принимать $\kappa_{СН} = 0{,}3$;

2) для проверки оборудования на динамическую устойчивость:

а) при замыканиях на КТП с трансформаторами мощностью 1000–2500 кВА $\kappa_{СН} = 0{,}7$;

б) при расчетной величине тока к.з. 40 кА $\kappa_{СН} = 0{,}8$;

в) при расчетной величине тока к.з. 20 кА $\kappa_{СН} = 0{,}9$.

Расчет тока однофазного металлического к.з. при питании от мощной энергосистемы может быть проведен по выражению

$$I_{КЗ}^{(1)} = I_{ПО}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_T^{(1)}}{3} + z_{ПТ}}, \qquad (4.7.10)$$

где U_{Φ} – фазное напряжение сети, В;

$z_{ПТ}$ – полное сопротивление петли фаза-нуль от трансформатора до точки к.з., измеренное при испытаниях или найденное из расчета, мОм;

$z_T^{(1)}$ – полное сопротивление понижающего трансформатора токам однофазного к.з., принимается по справочным данным или находится по выражению

$$z_T^{(1)} = \sqrt{(x_{1T} + x_{2T} + x_{0T})^2 + (r_{1T} + r_{2T} + r_{0T})^2}, \qquad (4.7.11)$$

где x_{1T}, r_{1T} – индуктивное и активное сопротивление трансформатора токам прямой последовательности;

x_{2T}, r_{2T} – то же обратной последовательности;

x_{0T}, r_{0T} – то же нулевой последовательности, мОм.

Если питающая энергосистема имеет ограниченную мощность, то значения $z_T^{(1)}$ увеличиваются с учетом сопротивления энергосистемы:

$$z_T^{(1)} = \sqrt{(x_{1T} + x_{2T} + x_{0T} + 2x_C)^2 + (r_{1T} + r_{2T} + r_{0T} + 2r_C)^2}. \qquad (4.7.12).$$

Ток однофазного к.з, при любой мощности питающей энергосистемы и с учетом токоограничивающего действия дуги в месте повреждения определяется по выражению

$$I_{КЗ\,R}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + z_{ПТ}}, \qquad (4.7.13)$$

где $z_{ПТ}$ – то же, что в выражении (4.7.10);

$z_{\Sigma}^{(1)}$ – условная величина, численно равная геометрической сумме полных сопротивлений току однофазного к.з. питающей энергосистемы, трансформатора, а также переходных сопротивлений $R_{П}$, определяется в миллиомах по выражению

$$z_{\Sigma}^{(1)} = \sqrt{(x_{1T} + x_{2T} + x_{0T} + 2x_C)^2 + (r_{1T} + r_{2T} + r_{0T} + 2r_C + R_{П})^2}. \qquad (4.7.14)$$

Расчет параметров электрических сетей

Сопротивления в сети напряжением до 1 кВ удобно рассчитывать в мОм.

Активное и индуктивное сопротивления силовых трансформаторов.

Параметры силовых трансформаторов определяются на основании их паспортных данных:

– номинальной мощности $S_{T.НОМ}$, кВА;

– номинального напряжения $U_{НН.НОМ}$ (кВ) обмотки низшего напряжения трансформатора, подключенной к расчетной линии;

– потерь активной мощности в меди трансформатора (мощности в режиме к.з.) ΔP_K, кВт;

– потерь активной мощности в стали (мощности в режиме холостого хода) ΔP_0, кВт;

– напряжения к.з. u_K %;

– тока холостого хода I_0, %.

В соответствии с ГОСТом активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающих трансформаторов (r_T, x_T) в миллиомах, приведенные к ступени низшего напряжения сети, рассчитывают по формулам:

$$r_T = \frac{\Delta P_K U^2_{НН.НОМ}}{S^2_{Т.НОМ}} \cdot 10^6; \qquad (4.7.15)$$

$$x_T = \sqrt{u_K^2 - \left(\frac{100\Delta P_K}{S_{Т.НОМ}}\right)^2} \cdot \frac{U^2_{НН.НОМ}}{S_{Т.НОМ}} \cdot 10^4, \qquad (4.7.16)$$

где $S_{Т.НОМ}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

ΔP_K – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

$U_{НН.НОМ}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;

u_K – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Полное сопротивление (мОм) обмотки двухобмоточного трансформатора пропорционально полному падению напряжения в обмотке и может быть определено по формуле

$$z_T = \frac{u_K U^2_{НН.НОМ}}{100 S_{Т.НОМ}} \qquad (4.7.17)$$

или

$$z_T = \sqrt{r_T^2 + x_T^2}\ . \qquad (4.7.18)$$

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности понижающих трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Δ/Y_0, при расчете к.з. в сети низшего напряжения следует принимать равными соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При других схемах соединения обмоток трансформаторов активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности необходимо принимать в соответствии с указаниями изготовителей.

Параметры стандартных трансформаторов 6(10)/0,4 кВ приведены в табл. 4.7.2.

Таблица 4.7.2

Активные и индуктивные сопротивления, мОм, трансформаторов 6(10)10,4 кВ

Мощность трансформатора, кВА	u_K,%	$x_{1T} = x_{2T}$	x_{0T}	$r_{1T} = r_{2T}$	r_{0T}	$z_T^{(1)} / 3$
Соединение обмоток Y/Y_0						
100	4,5	64,7	581,8	31,5	253,9	260
160	4,5	41,7	367	16,6	150,8	162
250	4,5	27,2	234,9	9,4	96,5	104
400	4,5	17,1	148,7	5,5	55,6	65
630	5,5	13,6	96,2	3,1	30,3	4
1000	5,5	8,5	60,6	2,0	19,1	2?
1000	8	12,6	72,8	2,0	19,1	33,6
1600	5,5	4,9	37,8	1,3	11,9	16,6
Соединение обмоток Δ/Y_0						
100	4,5	66	66	36,3	36,3	75,3
160	4,5	43	43	19,3	19,3	47
250	4,5	27	27	10,7	10,7	30
400	4,5	17	17	5,9	5,9	18,7
630	5,5	13,5	13,5	3,4	3,4	14
1000	5,5	8,6	8,6	2,0	2,0	9
1000	8	12,65	12,65	1,9	1,9	12,8
1600	5,5	5,4	5,4	1,1	1,1	5,7

Активное и индуктивное сопротивление кабелей. Значения параметров прямой (обратной) и нулевой последовательности кабелей, применяемых в электроустановках до 1 кВ, принимают, как указано изготовителем или согласно табл. 4.7.3–4.7.8.

Таблица 4.7.3

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке

Сечение кабеля, мм^2	Сопротивление трехжильного кабеля в алюминиевой оболочке, мОм/м			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×4	9,61	0,092	10,95	0,579
3×6	6,41	0,087	7,69	0,523
3×10	3,84	0,082	5,04	0,461
3×16	2,4	0,078	3,52	0,406
3×25	1,54	0,062	2,63	0,359
3×35	1,1	0,061	2,07	0,298
3×50	0,769	0,06	1,64	0,257
3×70	0,549	0,059	1,31	0,211
3×95	0,405	0,057	1,06	0,174
3×120	0,32	0,057	0,92	0,157
3×150	0,256	0,056	0,78	0,135
3×185	0,208	0,056	0,66	0,122
3×240	0,16	0,055	0,553	0,107

Таблица 4.7.4

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в свинцовой оболочке

Сечение кабеля, мм^2	Сопротивление трехжильного кабеля в свинцовой оболочке, мОм/м			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×4	9,61	0,092	11,6	1,24
3×6	6,41	0,087	8,38	1,2
3×10	3,84	0,082	5,78	1,16
3×16	2,4	0,078	4,32	1,12
3×25	1,54	0,062	3,44	1,07
3×35	1,1	0,061	2,96	1,01
3×50	0,769	0,06	2,6	0,963
3×70	0,549	0,059	2,31	0,884
3×95	0,405	0,057	2,1	0,793
3×120	0,32	0,057	1,96	0,742
3×150	0,256	0,056	1,82	0,671
3×185	0,208	0,056	1,69	0,606
3×240	0,16	0,055	1,55	0,535

Таблица 4.7.5

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в непроводящей оболочке

Сечение кабеля, мм^2	Сопротивление трехжильного кабеля в непроводящей оболочке, мОм/м			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×4	9,61	0,092	11,7	2,31
3×6	6,41	0,087	8,51	2,274
3×10	3,84	0,082	5,94	2,24
3×16	2,4	0,078	4,5	2,2
3×25	1,54	0,062	3,64	2,17
3×35	1,1	0,061	3,3	2,14
3×50	0,769	0,06	2,869	2,08
3×70	0,549	0,059	2,649	2,07
3×95	0,405	0,057	2,505	2,05
3×120	0,32	0,057	2,42	2,03
3×150	0,256	0,056	2,36	2,0

Таблица 4.7.6

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в алюминиевой оболочке

Сечение кабеля, мм^2	Сопротивление четырехжильного кабеля в алюминиевой оболочке, мОм/м			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×4 + 1×2,5	9,61	0,098	10,87	0,57
3×6 + 1×4	6,41	0,094	7,6	0,463
3×10 + 1×6	3,84	0,088	4,94	0,401
3×16 + 1×10	2,4	0,084	3,39	0,336
3×25 + 1×16	1,54	0,072	2,41	0,256
3×35 + 1×16	1,1	0,068	1,94	0,232
3×50 + 1×25	0,769	0,066	1,44	0,179
3×70 + 1×35	0,549	0,065	1,11	0,145
3×95 + 1×50	0,405	0,064	0,887	0,124

Таблица 4.7.7

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в свинцовой оболочке

Сечение кабеля, мм^2	Сопротивление четырехжильного кабеля в свинцовой оболочке, мОм/м			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×4 + 1×2,5	9,61	0,098	11,52	1,13
3×6 + 1×4	6,41	0,094	8,28	1,05
3×10 + 1×6	3,84	0,088	5,63	0,966
3×16 + 1×10	2,4	0,084	4,09	0,831
3×25 + 1×16	1,54	0,072	3,08	0,668
3×35 + 1×16	1,1	0,068	2,63	0,647
3×50 + 1×25	0,769	0,066	2,1	0,5
3×70 + 1×35	0,549	0,065	1,71	0,393
3×95 + 1×50	0,405	0,064	1,39	0,317
3×120 + 1×50	0,32	0,064	1,27	0,301
3×150 + 1×70	0,256	0,063	1,05	0,248
3×185 + 1×70	0,208	0,063	0,989	0,244

Таблица 4.7.8

Параметры кабеля с алюминиевыми жилами в непроводящей оболочке

Сечение кабеля, мм^2	Сопротивление четырехжильного кабеля в непроводящей оболочке, мОм/м			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×4 + 1×2,5	9,61	0,098	11,71	2,11
3×6 + 1×4	6,41	0,094	8,71	1,968
3×10 + 1×6	3,84	0,088	5,9	1,811
3×16 + 1×10	2,4	0,084	4,39	1,558
3×25 + 1×16	1,54	0,072	3,42	1,258
3×35 + 1×16	1,1	0,068	2,97	1,241
3×50 + 1×25	0,769	0,066	2,449	0,949
3×70 + 1×35	0,549	0,065	2,039	0,741
3×95 + 1×50	0,405	0,064	1,665	0,559
3×120 + 1×50	0,32	0,064	1,54	0,545
3×150 + 1×70	0,256	0,063	1,276	0,43

Таблица 4.7.9

Параметры кабеля с медными жилами в стальной оболочке *

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Сопротивление трехжильного кабеля, мОм/м, при температуре жилы 65 °С			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×6	3,54	0,094	4,07	1,69
3×10	2,13	0,088	2,66	1,65
3×16	1,33	0,082	1,86	1,61
3×25	0,85	0,082	1,38	1,57
3×35	0,61	0,079	1,14	1,54
3×50	0,43	0,078	0,96	1,51
3×70	0,3	0,065	0,83	1,48
3×95	0,22	0,064	0,75	1,45
3×120	0,18	0,062	0,71	1,43
3×150	0,14	0,061	0,67	1,41
3×185	0,115	0,061	0,65	1,39
3×240	0,089	0,06	0,62	1,36
* Заземление выполнено медным проводом сечением 120 мм^2.				

Активное сопротивление переменному току несколько больше омического сопротивления постоянному току вследствие поверхностного эффекта, эффекта близости и потерь мощности на гистерезис и вихревые токи.

В применяемых сечениях алюминиевых или медных проводов и жил кабелей погонное (на единицу длины) активное сопротивление R при частоте 50 Гц можно принять равным погонному омическому сопротивлению. Явление поверхностного эффекта начинает заметно сказываться только при сечениях порядка 500 мм^2.

В практических расчетах активное сопротивление проводов и кабельных линий определяется по формуле

$$R = r_0 l, \tag{4.7.19}$$

где l – длина линии, км;

r_0 – удельное активное сопротивление (Ом/км), определяемое по таблицам справочников или из выражения

$$r_0 = 1000/\gamma F, \tag{4.7.20}$$

где γ – удельная проводимость, принимаемая для медных проводников 53–54,4 м/Ом·мм^2, для алюминиевых 32–32,3 м/Ом·мм^2;

F – сечение проводника, мм^2. Удельные активные сопротивления проводов и кабелей приведены в табл. 4.7.12.

Таблица 4.7.10

Параметры кабеля с медными жилами в стальной оболочке

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Сопротивление четырехжильного кабеля, мОм/м, при температуре жилы 65 °С			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
3×6 + 1×4	3,54	0,1	4,19	1,55
3×10 + 1×6	2,13	0,095	2,82	1,46
3×16 + 1×10	1,33	0,09	2,07	1,31
3×25 + 1×16	0,85	0,089	1,63	1,11
3×35 + 1×16	0,61	0,086	1,37	1,09
3×50 + 1×25	0,43	0,086	1,18	0,88
3×70 + 1×25	0,3	0,073	1,05	0,851
3×70 + 1×35		0,074	1,01	0,654
3×95 + 1×35	0,22	0,072	0,92	0,69
3×95 + 1×50			0,84	0,54
3×120 + 1×35	0,18		0,88	0,68
3×120 + 1×70		0,07	0,7	0,47
3×150 + 1×50	0,14		0,74	0,54
3×150 + 1×70		0,07	0,66	0,42
3×185 + 1×50	0,115		0,7	0,54
3×185 + 1×95		0,069	0,54	0,34

Таблица 4.7.11

Параметры кабеля с медными жилами в стальной оболочке

Сечение токопроводящей жилы, мм^2	Сопротивление четырехжильного кабеля, мОм/м, при температуре жилы 65 °С			
	$r_1 = r_2$	$x_1 = x_2$	r_0	x_0
4×6	3,54	0,1	4,24	1,49
4×10	2,13	0,095	2,88	1,34
4×16	1,33	0,09	2,12	1,14
4×25	0,86	0,089	1,63	0,91
4×35	0,61	0,086	1,33	0,74
4×50	0,43	0,086	1,05	0,58
4×70	0,3	0,073	0,85	0,42
4×95	0,22	0,072	0,66	0,35
4×120	0,18	0,07	0,54	0,31
4×150	0,14	0,07	0,45	0,28
4×185	0,115	0,069	0,37	0,27

Реактивные сопротивления линий мало зависят от величин сечений проводов и кабелей. В табл. 4.7.13 приведены некоторые средние значения погонных реактивных сопротивлений для кабельных и воздушных линий разных номинальных напряжений.

При расчетах токов несимметричных к.з. в сетях до 1 кВ допускается считать [43], что активные сопротивления прямой и обратной последовательностей для кабелей равны ($r_{1КБ} = r_{0КБ}$), индуктивные сопротивления для трехжильных кабелей $x_{0КБ} \approx 4\ x_{1КБ}$, для четырехжильных кабелей $x_{0КБ} \approx 2{,}5\ x_{1КБ}$.

Активное и индуктивное сопротивления шинопроводов. При определении активного и индуктивного сопротивлений прямой и нулевой последовательностей шинопроводов следует использовать данные завода-изготовителя, эксперимента или применять расчетный метод. Рекомендуемый метод расчета сопротивлений шинопроводов приведен ниже [41].

Таблица 4.7.12

Удельные активные сопротивления проводов и кабелей

Сечение, мм^2	Провода и кабели, Ом/км		Сечение, мм^2	Провода и кабели, Ом/км	
	медные	алюминиевые		медные	алюминиевые
1	18,9	–	35	0,54	0,92
1,5	12,6	–	50	0,39	0,64
2,5	7,55	12,6	70	0,28	0,46
4,5	4,56	7,9	95	0,2	0,34
6	3,06	5,26	120	0,158	0,27
10	1,84	3,16	150	0,123	0,21
16	1,2	1,98	185	0,103	0,17
25	0,74	1,28	240	0,17	0,132

Таблица 4.7.13

Удельные индуктивные сопротивления проводов, кабелей и воздушных линий

Сечение проводов, мм^2	Провода в трубе	Линии напряжением, кВ, Ом/км						
		воздушные			кабельные			
		до 1	6–10	35	до 1	6	10	35
4–6	0,1	–	–	–	0,09	–	–	–
10–25	0,09	0,36	0,41	–	0,07	0,1	0,11	–
35–70	0,08	0,33	0,38	0,24	0,06	0,08	0,09	–
95–120	0,08	0,3	0,35	0,4	0,06	0,08	0,08	0,12
150–240	0,08	–	–	–	0,06	0,08	0,08	0,11

Расчет сопротивлений шинопроводов. Необходимые для расчетов токов к.з. параметры шинопроводов могут быть взяты из нормативно-технической документации или получены расчетным методом. Параметры шинопроводов серии ШМА и ШРА даны в табл. 4.7.14.

Таблица 4.7.14

Параметры комплектных шинопроводов

Тип шинопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Сопротивление фазы, мОм/м		Сопротивление нулевого проводника, мОм/м	
			r_1	x_1	$R_{НП}$	$X_{НП}$
ШМА4-1250	0,38/0,66	1250	0,034	0,016	0,054	0,053
ШМА4-1650	0,38/0,66	1600	0,030	0,014	0,037	0,042
ШМА4-3200	0,38/0,66	3200	0,010	0,005	0,064	0,035
ШМА68П	0,38/0,66	2500	0,020	0,020	0,070	0,046
ШМА68П	0,38/0,66	4000	0,013	0,015	0,070	0,045
ШРА73	0,38	250	0,210	0,210	0,120	0,210
ШРА73	0,38	400	0,150	0,170	0,162	0,164
ШРА73	0,38	630	0,1	0,13	0,162	0,164

Активное сопротивление одной фазы шинопровода ($r_{Ш}$) в миллиомах при температуре ϑ рассчитывают по формуле

$$r_{ш} = \rho\,\vartheta_{НОРМ}\frac{l}{s}\cdot\frac{T+\vartheta}{T+\vartheta_{НОРМ}}K_{Д}\cdot 10^{3}, \qquad (4.7.21)$$

где $\rho\cdot\vartheta_{НОРМ}$ – удельное сопротивление материала шины при нормированной температуре $\vartheta_{НОРМ}$, Ом·мм^2/м;

$\vartheta_{НОРМ}$ – нормированная температура, при которой задано удельное сопротивление, °С;

l – длина шины одной фазы, м;

s – сечение шины, мм^2;

T – постоянная, зависящая от материала проводника, °С: для твердотянутой меди T = 242 °С, для отожженной меди T = 234 °С; для алюминия T = 236 °С;

$K_{Д}$ – коэффициент добавочных потерь, учитывающий влияние поверхностного эффекта, эффекта близости, а также добавочных потерь от расположенных вблизи металлических элементов.

Значение коэффициента добавочных потерь можно оценить, исходя из результатов экспериментальных исследований токопроводов аналогичных конструкций или рассчитать (приблизительно) по формуле

$$K_{Д} \approx K_{\vartheta}\,K_{Б}\,K_{ПЭ},$$

где K_{ϑ} – коэффициент, учитывающий изменение температуры шины;

$K_{Б}$ – коэффициент близости;

$K_{ПЭ}$ – коэффициент поверхностного эффекта.

Значения коэффициентов $K_{Б}$ и $K_{ПЭ}$ для медных и алюминиевых шин зависят от размеров поперечного сечения, расположения и числа шин. Для одиночных шин прямоугольного сечения, имеющих размеры 25×3 – 100×10 мм, при расположении шин «на ребро» значения коэффициента $K_{ПЭ}$ составляют 1,02–1,1. Значения коэффициента $K_{ПЭ}$ для пакетов шин допускается принимать как для одиночных шин.

Коэффициент добавочных потерь $K_{Д}$ для алюминиевых шин сечением 100×10 мм^2 в зависимости от числа шин n должен иметь следующие значения: при n = 1 $K_{Д} \approx$ 1,18; при n = 2 $K_{Д} \approx$ 1,25; при n =3 $K_{Д} \approx$ 1,6; при n = 4 $K_{Д} \approx$ 1,72.

При прокладке шинопровода в галерее или туннеле коэффициент добавочных потерь следует брать на 0,25 больше, чем при его прокладке на открытом воздухе.

Индуктивное сопротивление прямой последовательности фазы шинопровода ($x_{1Ш}$) в миллиомах на метр рассчитывают по формуле

$$x_{1Ш} = 0{,}145\,\lg\frac{d}{g_0}, \qquad (4.7.22)$$

где d – расстояние между шинами, м;

g_0 – среднее геометрическое расстояние, м, рассчитываемое по одной из приведенных ниже формул:

1) для шины прямоугольного сечения

$$g_0 = 0{,}22\,(b + h),$$

где b и h – размеры сторон прямоугольника;

2) для шины квадратного сечения

$$g_0 = 0{,}45\,b,$$

где b – размер стороны квадрата;

3) для трубчатой шины квадратичного сечения

$$g_0 = 0{,}58\,C_{ВШ},$$

где $b_{ВШ}$ – размер наружной (внешней) стороны квадратного сечения;

C – коэффициент, значения которого должны соответствовать приведенным в табл. 4.7.15.

Таблица 4.7.15

Значения коэффициента *C*

Отношение внутреннего радиуса трубы круглого сечения к внешнему радиусу или внутренней стороны трубы квадратного сечения к внешней стороне	Значение коэффициента *C*
0,1	0,78
0,2	0,79
0,3	0,81
0,4	0,83
0,5	0,85
0,6	0,88
0,7	0,91
0,8	0,94
0,9	0,97
1,0	1,00

Среднее геометрическое расстояние g_0 для пакета шин можно рассчитать по следующим формулам:

1) для двухполосного пакета:

$$g_0 = \sqrt{0,22(b+h)dk},$$

где b и h – соответственно толщина и ширина одной полосы шины (рис. 4.26), мм;

d – расстояние между продольными осями (центрами масс) сечений шин пакета (рис. 4.26), мм;

k – коэффициент, зависящий от отношения d_{12}/h, его определяют по кривой, приведенной на рис. 4.26;

2) для трехполосного пакета

$$\ln g_0 = \frac{1}{9}[3\ln 0,22(b+h+2\ln d_{12}k_{12} + 2\ln d_{23}k_{23} + 2\ln d_{13}k_{13})],$$

где d_{12}, d_{23} и d_{13} – расстояния между центрами масс сечений соответствующих шин пакета, k_{12}, k_{23} и k_{13} – коэффициенты, зависящие от отношения d_{12}/h, d_{23}/h, d_{13}/h и определяемые по кривой, приведенной на рис. 4.26.

Значения средних геометрических расстояний (g_0) наиболее употребляемых пакетов шин с зазорами между шинами, равными толщине шины, должны соответствовать приведенным в табл. 4.7.16.

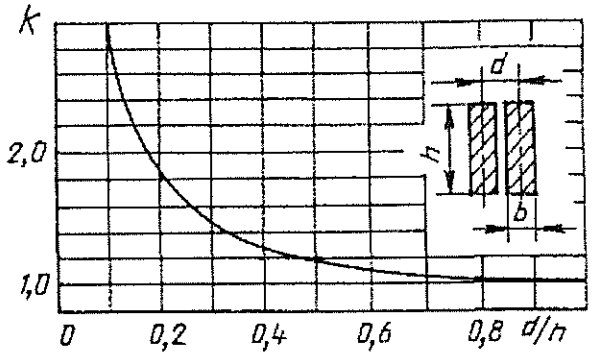


Рис. 4.26. Коэффициент k для определения среднего геометрического расстояния между шинами прямоугольного сечения

В качестве допустимой (расчетной) температуры нагрева шинопровода в продолжительном режиме следует принимать $\vartheta = 70$ °С.

Активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности фазы шинопровода ($r_{0Ш}$ и $x_{0Ш}$) в миллиомах на метр принимают (ориентировочно)

$$r_{0Ш} = r_{1Ш} + 3\,r_{ИП};$$
$$x_{0Ш} = (0,75 \div 9,4)\,x_{1Ш}.$$

Таблица 4.7.16

Значения g_0 некоторых пакетов шин

Сечение пакета, мм^2	g_0, см
2(80×10)	1,53
2(100×10)	3,0
2(120×10)	3,45
3(80×10)	2,99
3(100×10)	3,50
3(120×10)	3,95

При расчете токопроводов увеличение их омического сопротивления учитывается введением коэффициента добавочных потерь, учитывающего влияние поверхностного эффекта, эффекта близости, а также добавочных потерь от расположенных вблизи металлических элементов

$$r_{ТП} = \kappa_Д r. \qquad (4.7.23)$$

Для гибких подвесных симметричных токопроводов $\kappa_Д$ = 1,1–1,2; для жестких симметричных токопроводов с шинами трубчатого или корытного профиля $\kappa_Д$ = 1,2–1,5; для жестких несимметричных токопроводов $\kappa_Д$ = 2,5–3. При прокладке токопроводов в галерее или тоннеле коэффициент $\kappa_Д$ увеличивается на 0,2–0,3 за счет потерь в металлических конструкциях.

Сопротивление шин и шинопроводов длиной 5 м и менее можно не учитывать, так как их влияние на ток к.з. невелико.

При известных расстояниях между прямоугольными шинами индуктивное сопротивление (в миллиомах на метр) можно определить приближенно по выражению

$$x_{уд} = 0{,}1445 \lg \frac{4a_{СР}}{h},$$

где $a_{СР} = \sqrt[3]{a_{12}a_{13}a_{23}}$ – среднее геометрическое расстояние между фазами 1, 2 и 3, мм;

h – высота шины, мм.

Активные сопротивления контактов и контактных соединений. Переходное сопротивление электрических контактов любого вида следует определять на основании данных экспериментов или с использованием расчетных методик. Данные о контактных соединениях приведены в табл. 4.7.17–4.7.19. При приближенном учете сопротивлений контактов принимают: $r_К$ = 0,1 мОм – для контактных соединений кабелей; $r_К$ = 0,01 мОм – для шинопроводов; $r_К$ = 1,0 мОм – для коммутационных аппаратов.

Эти сопротивления часто не учитывают [35], поскольку их влияние на значение тока к.з. не превышает 5 % вблизи трансформатора и снижается при удалении точки к.з.

Таблица 4.7.17

Сопротивления контактных соединений кабелей

Сечение алюминиевого кабеля, мм^2	16	25	35	50	70	95	120	150	240
Сопротивление, мОм	0,085	0,064	0,056	0,043	0,029	0,027	0,024	0,021	0,012

Таблица 4.7.18

Сопротивления контактных соединений шинопроводов

Номинальный ток, А	250	400	630	1600	2500	4000
Серия шинопроводов	ШРА-73	ШРА-73	ШРА-73	ШМА-73	ШМА-68Н	ШМА-68Н
Сопротивление контактного соединения, мОм	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001

Таблица 4.7.19

Приближенные значения сопротивлений разъемных контактов коммутационных аппаратов напряжением до 1 кВ

Номинальный ток аппарата, А	Активное сопротивление, мОм, разъемных соединений		
	автоматического выключателя	рубильника	разъединителя
50	1,30	–	–
70	1,00	–	–
100	0,75	0,50	–
150	0,65	–	–
200	0,60	0,40	–
400	0,40	0,20	0,20
600	0,25	0,15	0,15
1000	0,12	0,08	0,08
3000	–	–	–

При определении минимального тока к.з. с учетом токоограничивающего действия дуги в месте повреждения в схему замещения вводится активное сопротивление $r_д$ = 15 МОм [35], учитывающее совокупно все переходные сопротивления (рубильников, автоматических выключателей, вставных контактов, болтовых соединений) и сопротивление электрической дуги в месте повреждения.

Активные и индуктивные сопротивления трансформаторов тока. При расчете токов к.з. в электроустановках напряжением до 1 кВ следует учитывать как индуктивные, так и активные сопротивления первичных обмоток всех многовитковых измерительных трансформаторов тока, которые имеются в цепи к.з. Значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности принимают равными значениям сопротивлений прямой последовательности. Параметры некоторых многовитковых трансформаторов тока приведены в табл. 4.7.20. Активным и индуктивным сопротивлением одновитковых трансформаторов (на токи более 500 А) при расчетах токов к.з. можно пренебречь.

Таблица 4.7.20

Сопротивления первичных обмоток многовитковых трансформаторов тока

Коэффициент трансформации трансформатора тока	Сопротивление первичной обмотки многовиткового трансформатора, мОм, класса точности			
	1		3	
	x_{TA}	r_{TA}	x_{TA}	r_{TA}
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	2,7	1,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,088
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Примечание. Данные таблицы используются только при отсутствии данных завода-изготовителя.

Активные и индуктивные сопротивления катушек автоматических выключателей. Расчеты токов к.з. в электроустановках напряжением до 1 кВ следует вести с учетом ин-

дуктивных и активных сопротивлений катушек (расцепителей) максимального тока автоматических выключателей, принимая значения активных и индуктивных сопротивлений нулевой последовательности равными значениям соответствующих сопротивлений прямой последовательности.

Значения сопротивлений катушек расцепителей и контактов некоторых автоматических выключателей приведены в табл. 4.7.21.

Таблица 4.7.21

Сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей

Номинальный ток выключателя, А	Сопротивление катушки и контакта, мОм	
	r_{KB}	x_{KB}
50	7	4,5
70	3,5	2
100	2,15	1,2
140	1,3	0,7
200	1,1	0,5
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,1
1600	0,14	0,08
2500	0,13	0,07
4000	0,1	0,05

Примечание. 1. В таблице указаны суммарные сопротивления катушек и контактов автоматических выключателей (серий А 3700 «Электрон» и ВА), для которых эти сопротивления зависят от их номинального тока и не зависят от типа выключателя.

2. Данные таблицы используются только при отсутствии данных завода-изготовителя.

Выбор автоматических выключателей

Автоматические выключатели (АВ) обеспечивают быструю и надежную защиту потребителей электрической энергии как от токов перегрузки, так и от токов короткого замыкания. Кроме того, они используются и для управления при нечастых включениях и отключениях. Таким образом, АВ совмещают в себе одновременно функции защиты и управления.

Для выполнения защитных функций АВ снабжаются либо только тепловыми, либо только электромагнитными расцепителями, либо комбинированными расцепителями (тепловыми и электромагнитными). Тепловые расцепители осуществляют защиту от токов перегрузки, а электромагнитные – от токов короткого замыкания.

Действие *тепловых расцепителей* АВ основано на использовании нагрева биметаллической пластинки, изготовленной из спая двух металлов с различными коэффициентами теплового расширения. В расцепителе при токе, превышающем тот, на который они выбраны, одна из пластин при нагреве удлиняется больше и вследствие большего ее удлинения воздействует на отключающий пружинный механизм. В результате чего коммутирующее устройство АВ размыкается.

Тепловой расцепитель АВ не защищает питающую линию или асинхронный двигатель от токов короткого замыкания. Это объясняется тем, что тепловой расцепитель, обладая большой тепловой инерцией, не успевает нагреться за малое время существования тока к.з.

Электромагнитный расцепитель представляет собой электромагнит, сердечник которого воздействует на отключающий пружинный механизм. Если ток в катушке превышает определенное, заранее установленное значение (ток трогания или ток срабатывания), то электромагнитный расцепитель отключает линию мгновенно. Настройку расцепителя на заданный ток срабатывания называют *уставкой тока.* Уставку тока электромагнитного расцепителя на мгновенное срабатывание называют *отсечкой.* Электромагнитные расцепители не реагируют на токи перегрузки, если они меньше уставки срабатывания.

Автоматические выключатели характеризуются следующими параметрами:

– *номинальным напряжением* – максимальным напряжением постоянного или переменного тока, предназначенным для нормальной работы АВ;

– *номинальным током АВ* $I_{НОМ.А}$ – максимальным длительным током главных контактов автоматического выключателя;

– *током срабатывания автоматического выключателя* $I_{СР.А}$ – наименьшим током, при котором автоматический выключатель разрывает электрическую цепь;

– *предельным током отключения* $I_{ОТКЛ}$ – наибольшим током, который может быть отключен АВ;

– *номинальным током расцепителя* $I_{НОМ}$ – максимальным длительным током, при котором расцепитель не срабатывает;

– *током уставки расцепителя* $I_{УСТ}$ – наименьшим током срабатывания расцепителя, на который он настраивается;

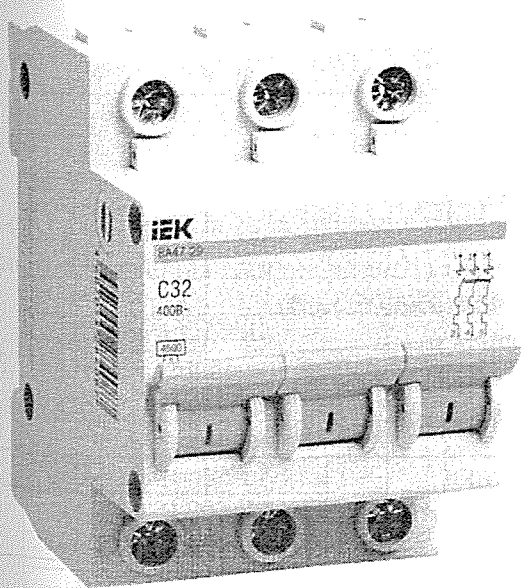
– *уставкой тока мгновенного срабатывания электромагнитного расцепителя* – $I_{У.ЭМР}$.

Во внутренних сетях жилых и общественных зданий, как правило, следует применять автоматические выключатели с комбинированными расцепителями.

В зависимости от наличия механизмов, регулирующих время срабатывания расцепителей, автоматические выключати разделяются на неселективные с временем срабатывания 0,02–0,1 сек, селективные с регулируемой выдержкой времени и токоограничивающие с временем срабатывания не более 0,005 сек.

В качестве примера ниже приводятся наиболее используемые при проектировании характеристики автоматических выключателей:

Автоматические выключатели ВА 47-29. Автоматические выключатели ВА 47-29 – электрические коммутационные аппараты, снабженные двумя системами защиты от сверхтока: электротепловой и электромагнитной, с взаимосогласованными характеристиками.

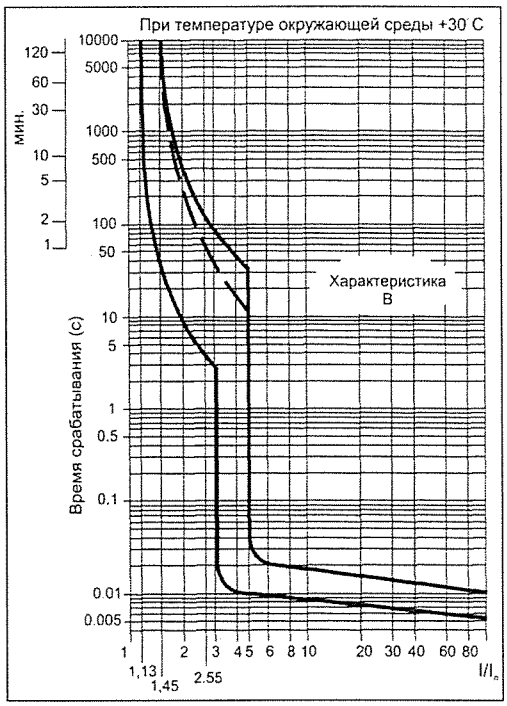


Предусмотрено одно-, двух-, трех- и четырехполюсное исполнение; монтаж автоматических выключателей производят на 35 мм монтажную DIN-рейку.

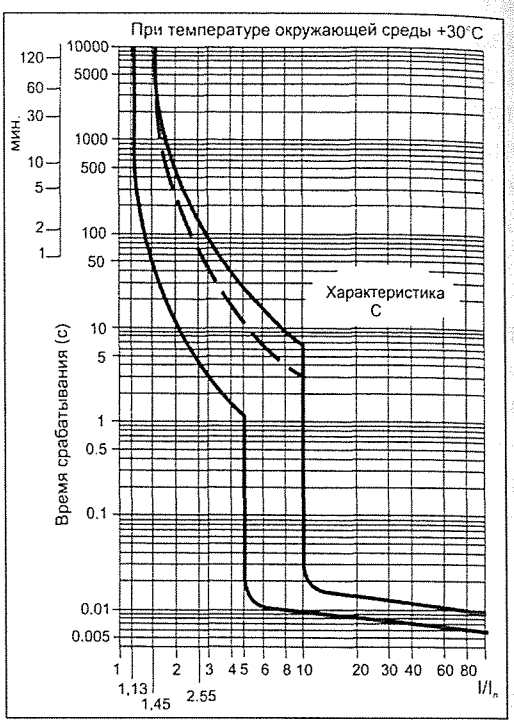
Общие характеристики:

- Автоматический выключатель для защиты цепей от перегрузки и короткого замыкания.
- Наибольшая отключающая способность 4,5 кА.
- Около 200 типоисполнений на 18 номинальных токов от 0,5 до 63 А.
- Возможность монтажа дополнительных устройств.

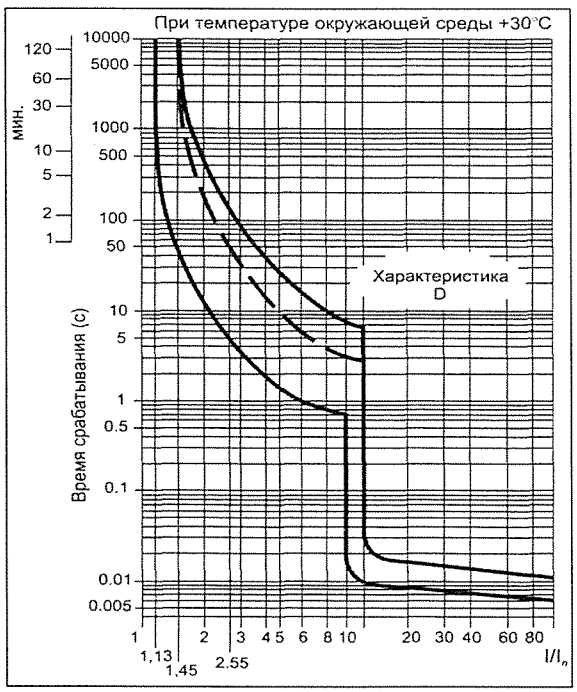
Рис. 4.27. Внешний вид автоматического выключателя ВА 47-29



а) характеристика B



б) характеристика C



в) характеристика D

Рис. 4.28. Времятоковые характеристики отключения автоматических выключателей ВА 47-29

Примечание. На рисунках пунктирная линия – это верхняя граница времятоковой характеристики для автоматических выключателей с номинальным током $I_{НОМ} \leq 32$ А.

Таблица 4.7.21

Характеристики АВ и их численные значения

Технические характеристики	
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 50345–99, ТУ 2000 АГИЕ.641235.003
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400

Продолжение табл. 4.7.21

Технические характеристики	
Номинальный ток $I_{НОМ}$, А	0,5; 1,6; 2,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 10; 13; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
Номинальная отключающая способность, А	4500
Напряжение постоянного тока, В/полюс	48
Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя	B, C, D
Число полюсов	1, 2, 3, 4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP20
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее	6000
Механическая износостойкость, циклов В-О, не менее	20000
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм^2	25

Автоматические выключатели ВА 47-100. Автоматические выключатели ВА 47-100 – электрические коммутационные аппараты, снабженные двумя системами защиты от сверхтока: электротепловой и электромагнитной, с взаимосогласованными характеристиками. Предусмотрено одно-, двух-, трех- и четырехполюсное исполнение; монтаж автоматических выключателей производят на 35 мм монтажную DIN-рейку.

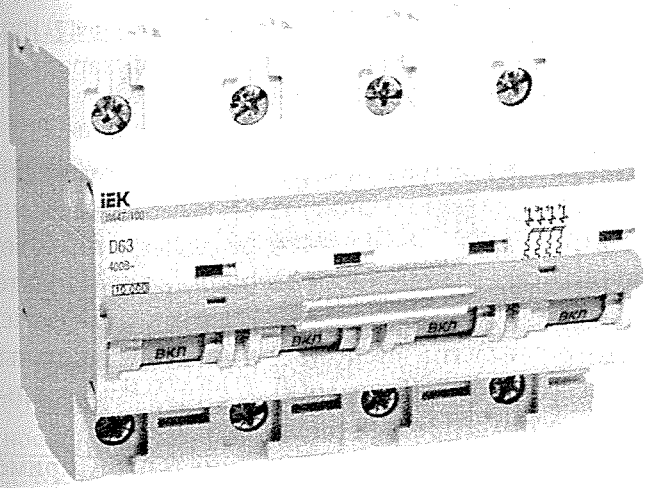


Рис. 4.29. Внешний вид выключателя ВА 47-100

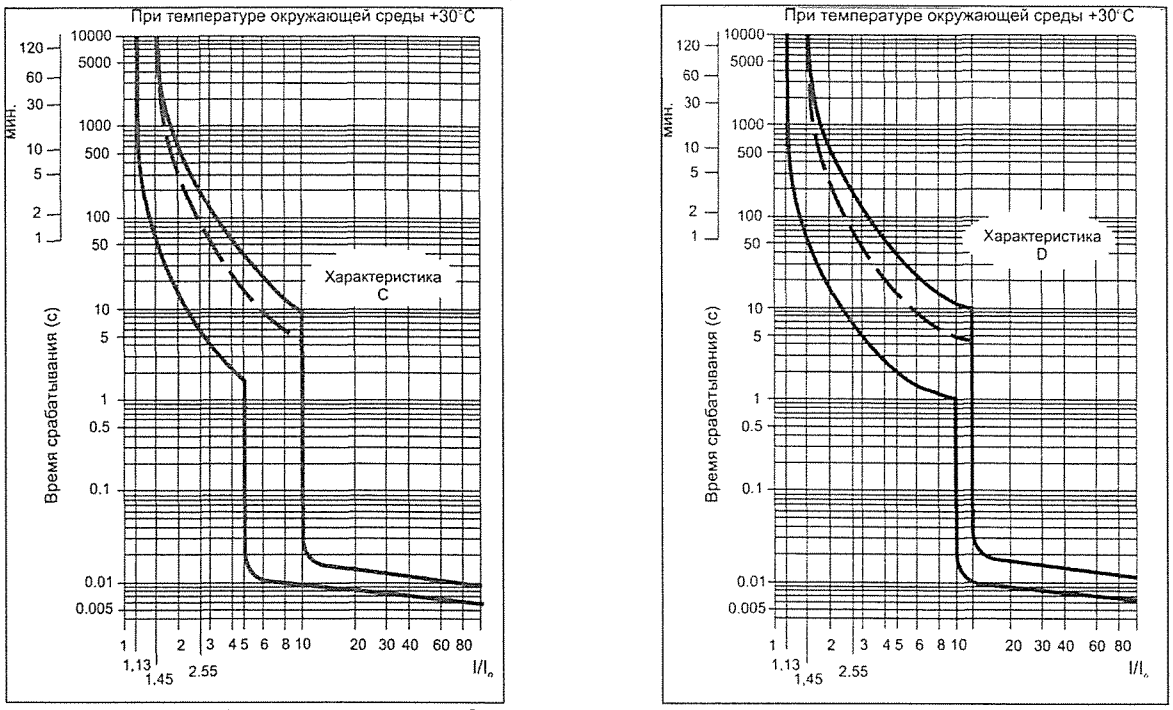
Общие характеристики:

- Автоматический выключатель для защиты цепей от перегрузки и короткого замыкания.
- Наибольшая отключающая способность 10 кА.
- Около 100 типоисполнений на 10 номинальных токов от 10 до 100 А.
- Возможность монтажа дополнительных устройств.

Таблица 4.7.22

Характеристики АВ и их численные значения

Технические характеристики	
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 50345–99, ТУ 2000 АГИЕ.641235.003
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток $I_{НОМ}$, А	10; 16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100
Номинальная отключающая способность, А	10000
Напряжение постоянного тока, В/полюс	60
Характеристики срабатывания электромагнитного расцепителя	C, D
Число полюсов	1, 2, 3, 4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP20
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее	6000
Механическая износостойкость, циклов В-О, не менее	20000
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм^2	35

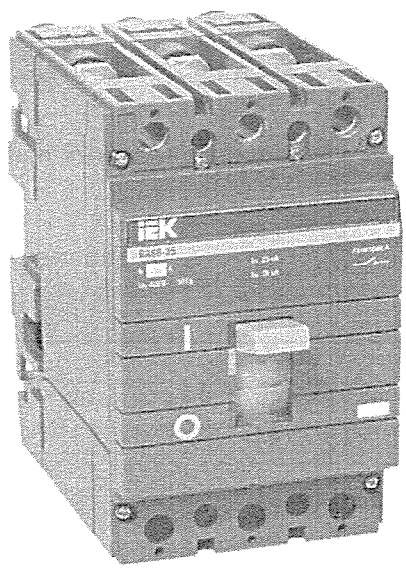


а) характеристика С б) характеристика D

Рис. 4.30. Времятоковые характеристики отключения автоматических выключателей ВА 47-100

Примечание. На рисунках пунктирная линия – это верхняя граница времятоковой характеристики для автоматических выключателей с номинальным током $I_{НОМ} \leq 32$ А.

Автоматические выключатели серии ВА 88 являются электрическими коммутационными аппаратами трехфазного исполнения (трех- и четырехполюсные). ВА 88 снабжены двумя системами защиты от сверхтока: электротепловой и электромагнитной, с взаимосогласованными характеристиками.



Предусмотрены 6 типоисполнений на номинальные коммутируемые токи от 125 до 1600 А с промежуточными уставками электротепловых расцепителей.

Автоматические выключатели серии ВА 88 применяются для групповой защиты в жилом и гражданском строительстве, производственных объектов, электроподстанций, распределительных пунктов. Выключатели устанавливают в электрощитах со степенью защиты по ГОСТ 14254–96 не ниже IP30.

Рис. 4.31. Внешний вид выключателя ВА 88

Выключатель ВА 88 выполнен в виде моноблока и состоит из основания и крышки с фальшпанелью, в которой имеется окно для рукоятки управления и толкатель кнопки «Тест» проверки механизма отключения выключателя. Основание является несущей конструкцией для присоединительных зажимов, неподвижных силовых контактов с системой дугогашения, механизма управления с системой подвижных контактов, блока защиты от сверхтоков. Крышка закрывает все подвижные элементы механизма управления и внутренние токоведущие части. Механизм управления выключателя построен на принципе переламывающегося рычага и снабжен мощной возвратной пружиной. При взведении руко-

ятки механизма управления приводится в движение изолирующая рейка, на которой закреплены подпружиненные подвижные силовые контакты с гибкими соединениями. Рейка поворачивается в боковых направляющих, обеспечивая не только замыкание подвижных и неподвижных силовых контактов, но и необходимые провалы для увеличения и выравнивания давления на подвижные контакты. Действие возвратной пружины блокируется элементами переламывающегося рычага, находящимися в этот момент на одной прямой линии и опирающимися одним коленом на выступ поворотного элемента «сброса» механизма управления. «Сброс» механизма управления осуществляется посредством плоской рейки, на которую воздействуют через регулировочные винты толкатели биметаллических пластин тепловых расцепителей и электромагнитов защиты от коротких замыканий.

Таблица 4.7.23

Характеристики АВ и их численные значения

Технические характеристики							
Наименование параметра	ВА 88-32		ВА 88-33	ВА 88-35	ВА 88-37	ВА 88-40	ВА 88-43
Номинальное рабочее напряжение, В	400						
Номинальная частота тока сети, Гц	50						
Максимальный номинальный ток (установочный габарит) $I_{НМ}$, А	125		160	250	400	800	1600
Номинальный ток теплового расцепителя $I_{НОМ}$, А	12,5; 16; 20; 25; 32; 40	50; 63; 80; 100; 125	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160	125; 160; 200; 250	250; 315; 400	400; 500; 600; 800	800; 1000; 1250; 1600
Уставка по току срабатывания электромагнитного расцепителя	500 А	10 $I_{НОМ}$	10 $I_{НОМ}$	10 $I_{НОМ}$	10 $I_{НОМ}$	10 $I_{НОМ}$	Регулируется
Номинальная рабочая наибольшая отключающая способность, кА	12,5		17,5	25	35	35	50
Механическая износостойкость, циклов В-О, не менее	8500		7000	7000	4000	4000	2500
Электрическая износостойкость, циклов В-О, не менее	1500		1000	1000	1000	1000	500
Климатическое исполнение и категория размещения по ГОСТ 15150–69	УХЛ3						
Степень защиты по ГОСТ 14254–96	1Р00 (по контактным зажимам)						
Режим работы	Продолжительный						
Примечание: Тепловые расцепители ВА 88-33/35/37 имеют регулируемую уставку от 0,7 до 1,0 $I_{НОМ}$							

Система дугогашения выключателей в исполнениях ВА 88-32 и 33 (до 160 А) состоит из дугогасящих решеток со стальными никелированными вкладышами; в исполнении ВА 88-35 (250 А) и выше применены дополнительные распылители дуги в виде толстых перфорированных стальных пластин, вставленных в крышку. *При установке выключателей в замкнутый объём распределительных устройств, необходимо учитывать возможность выброса вперед на расстояние до 30 мм продуктов горения дуги, в случае срабатывания защиты от сверхтока.*

Подключение проводов или шин со стороны источника питания производят на верхние зажимы выключателей с помощью болтов или зажимов, входящих в комплект поставки. Провода или шины к потребителю подключают на нижние зажимы.

Автоматические выключатели выбираются по следующим условиям:

1. Номинальное напряжение

$$U_{НОМ} \geq U_{НОМ.УСТ}, \tag{4.7.24}$$

где $U_{НОМ.УСТ}$ – номинальное напряжение установки.

2. Номинальный ток расцепителя

$$I_{НОМ} \geq I_{РАБ.max}, \tag{4.7.25}$$

где $I_{РАБ.max}$ – рабочий максимальный ток.

3. Номинальный ток автоматического выключателя

$$I_{НОМ.А} \geq I_{НОМ}\,. \tag{4.7.26}$$

Для автоматических выключателей с регулируемой уставкой теплового расцепителя номинальный ток АВ равен максимальному значению уставки теплового расцепителя, для автоматических выключателей с нерегулируемой уставкой теплового расцепителя номинальный ток АВ равен току уставки теплового расцепителя.

4. Ток уставки теплового расцепителя должен быть меньше пропускной способности линии (длительно допустимой токовой нагрузки линии)

$$I_{НОМ} \leq I_{ДОП}. \tag{4.7.27}$$

5. Ток уставки электромагнитного расцепителя $I_{У.ЭМР}$ выбирается кратным току уставки теплового расцепителя. Коэффициент кратности ($к$) определяется типом обратно зависимой от тока характеристики отключения АВ, которые могут быть нескольких типов: кривая **B** ($к$ = 3–5), кривая **C** ($к$ = 5–10), кривая **D** ($к$ = 10–20).

Ток уставки электромагнитного расцепителя определяется из следующих соображений: АВ не должен срабатывать от пусковых токов двигателей электроустановки.

Для одиночного электродвигателя

$$I_{У.ЭМР.min} \geq 1{,}2\ I_{ПУСК}, \tag{4.7.28}$$

где $I_{У.ЭМР.min}$ – минимально возможное значение тока срабатывания электромагнитного расцепителя (для кривой **C**, $I_{У.ЭМР.min} = 5 \cdot I_{НОМ}$);

$$I_{ПУСК} = к_{ДВ}\, I_{Н.ДВ},$$

$к_{ДВ}$ – кратность пускового тока электродвигателя ($к_{ДВ}$ = 5–7).

Для группы электродвигателей ($n > 5$)

$$I_{У.ЭМР.min} \geq 1{,}2\ I_{ПИК}, \tag{4.7.29}$$

где $I_{ПИК} = I_{ПУСК.НБ} + (I_Р - к_И\, I_{НОМ.НБ})$;

$I_{ПУСК.НБ}$ – пусковой ток наибольшего по мощности двигателя;

$I_Р$ – расчетный ток всей группы электродвигателей;

$к_И$ – коэффициент использования наибольшего по мощности электродвигателя, определяемый режимом его работы. При работе электродвигателя на номинальной нагрузке $к_И = 1$;

$I_{НОМ.НБ}$ – номинальный ток наибольшего по мощности электродвигателя.

Для группы электродвигателей (n = 2–5)

$$I_{ПИК} = I_{ПУСК.НБ} + (I_Р - I_{НОМ.НБ}). \tag{4.7.30}$$

6. Выбранный автоматический выключатель проверяется по чувствительности (на отключение однофазного короткого замыкания в наиболее удаленной точке) и по отключающей способности.

Автоматический выключатель должен срабатывать при однофазном коротком замыкании в наиболее удаленной точке с выдержкой времени, приведенной в табл. 4.7.1, 4.7.2. Требуемая выдержка времени, в большинстве случаев, обеспечивается временем срабатывания электромагнитного расцепителя, что фактически сводится к выполнению условия:

$$I_{КЗ}^{(1)} > I_{У.ЭМР}, \tag{4.7.31}$$

где $I_{КЗ}^{(1)}$ – ток однофазного короткого замыкания.

Ток однофазного короткого замыкания определяется по формуле (4.7.7) или (4.7.10), (4.7.13) в зависимости от рассматриваемой электрической системы.

Аппараты защиты по своей отключающей способности должны соответствовать максимальному значению тока к.з. в начале защищаемого участка электрической сети.

Отключающая способность автоматического выключателя определяется величиной тока трехфазного короткого замыкания $I_{КЗ}^{(3)}$

$$I_{КЗ}^{(3)} < I_{ОТКЛ}, \qquad (4.7.32)$$

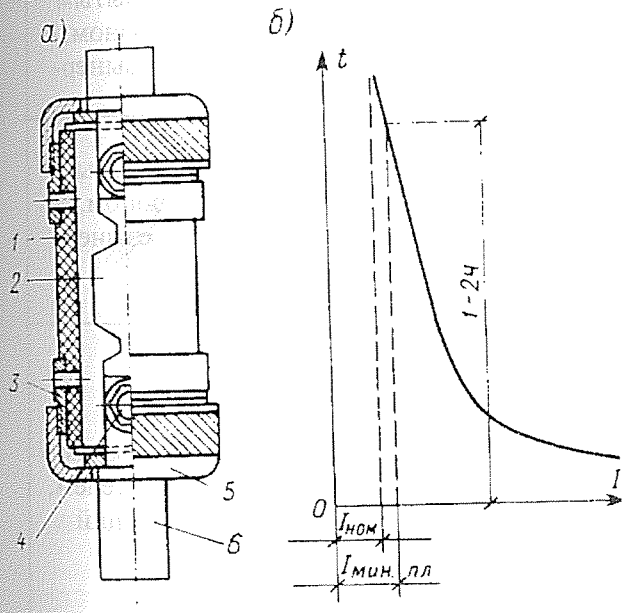
где $I_{ОТКЛ}$ – предельный ток, отключаемый автоматическим выключателем, указываемый в паспорте.

Ток трехфазного короткого замыкания может быть рассчитан по формуле (4.7.4).

Выбор предохранителей напряжением до 1000 В

Предохранители применяются для защиты электроустановок от токов к.з. и перегрузок.

Основным конструктивным элементом предохранителя является патрон, в котором крепится сменяемая плавкая вставка из легкоплавкого цветного металла (рис. 4.32, *а*).



Работа предохранителя основана на тепловом действии тока: вставка перегорает и обрывает электрическую цепь при превышении током определенного значения.

Рис. 4.32. Предохранитель серии ПР:
а – разрез; б – ампер-секундная характеристика; 1 – фибровая трубка; 2 – плавкая вставка; 3 – латунная втулка; 4 – болтовой контакт; 5 – латунный колпачок; 6 – медный контактный нож.

Предохранитель и плавкую вставку характеризуют следующими параметрами:

а) *номинальным напряжением,* при котором предохранитель работает длительное время;

б) *номинальным током патрона,* на который рассчитаны его токоведущие части и контактные соединения по условию длительного нагрева;

в) *номинальным током плавкой вставки* $I_{НОМ.ВСТ}$, который она выдерживает, не расплавляясь, длительное время;

г) *разрывной способностью,* определяемой максимальным отключаемым током, при котором происходит перегорание плавкой вставки без опасного выброса пламени или продуктов горения дуги и без разрушения патрона;

д) *времятоковой*, или *защитной, характеристикой* – зависимостью времени полного отключения цепи от величины отключаемого тока или от кратности этого тока к номинальному току плавкой вставки $I/I_{НОМ.ВСТ}$ (рис. 4.32, *б*).

Плавкие предохранители делят на инерционные – с большой тепловой инерцией, т.е. способностью выдерживать значительные кратковременные перегрузки током; безынерционные – с малой тепловой инерцией, т.е. с ограниченной способностью к перегрузкам. К первым относятся предохранители с винтовой резьбой и свинцовым токопроводящим мостиком, ко вторым – трубчатые предохранители с медным токопроводящим мостиком.

В безынерционных и быстродействующих предохранителях гашение дуги, а значит, и размыкание цепи происходят настолько быстро, что при больших кратностях ток в предохранителе не достигает предельного значения. Такие предохранители обладают свойством токоограничения.

Наиболее распространенными предохранителями, применяемыми для защиты электроустановок напряжением до 1 кВ, являются предохранители типов ПР, НПН, ПН.

Технические данные некоторых типов предохранителей приведены в табл. 4.7.30.

Таблица 4.7.30

Технические характеристики предохранителей

Тип предохранителя	Номинальный ток патрона, А	Номинальный ток плавкой вставки, А	Характеристика предохранителя
ПР-2	15	6, 10, 15	Трубчатый, с закрытым разборным патроном, без наполнителя, токоограничивающий
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	
	100	60, 80, 100	
	200	100, 125, 160, 200	
	350	200, 225, 260, 300, 350	
	600	350, 430, 500, 600	
	1000	600, 700, 850, 1000	
НПН-2	15	6, 10, 15	Трубчатый, с закрытым неразборным патроном, с наполнителем, безынерционный
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60	
ПН-2	100	30, 40, 50, 60, 80, 100	Трубчатый, с закрытым разборным патроном, с наполнителем, безынерционный
	250	80, 100, 120, 150, 200, 250	
	400	200, 250, 300, 350, 400	
	600	300, 400, 500, 600	
	1000	500, 600, 750, 800, 1000	
ПНБ-3	100	63, 100	Трубчатый, с закрытым патроном, наполнителем, быстродействующий
	150	150	
	200	200	
	300	250, 300	
	500	400, 500	
ПНБ-5	100	40, 63, 100	
	250	160, 250	
	400	315, 400	
	630	500, 630	

Шкала номинальных токов предохранителей 15–1000 А.

Времятоковые (защитные) характеристики предохранителей ПН-2 приведены на рис. 4.33.

Плавкие вставки предохранителей выдерживают токи, превышающие на 30–50 % их номинальные токи в течение одного часа и более. При токах, превышающих номинальный ток плавких вставок на 60–100 %, они плавятся за время менее одного часа.

Защита от перегрузок с помощью предохранителей возможна только при условии, что защищаемые элементы установки будут выбраны с запасом по пропускной способности, превышающим примерно на 20 % номинальный ток плавкой вставки.

Предохранители напряжением до 1 кВ выбираются по следующим условиям.

1. Номинальное напряжение

$$U_{НОМ} \geq U_{НОМ.УСТ}, \qquad (4.7.33)$$

где $U_{НОМ.УСТ}$ – номинальное напряжение установки.

2. Номинальный ток плавкой вставки $I_{НОМ.ВСТ}$ выбирается по двум условиям:

– по длительному максимальному току линии $I_{P\,max}$

$$I_{НОМ.ВСТ} \geq I_{P\,max};$$

– по пусковому $I_{ПУСК}$ (или пиковому $I_{ПИК}$) току:

а) при защите ответвления, идущего к одиночному двигателю с частыми пусками и длительностью пускового периода не более 2,5 с

$$I_{НОМ.ВСТ} \geq (I_{ПУСК} / 2{,}5); \qquad (4.7.34)$$

б) при защите ответвления, идущего к одиночному двигателю с частыми пусками или большой длительностью пускового периода

$$I_{НОМ.ВСТ} \geq (I_{ПУСК} / 1{,}6); \qquad (4.7.35)$$

в) при защите линии, питающей силовую или смешанную нагрузку

$$I_{НОМ.ВСТ} \geq (I_{ПИК} / 2{,}5). \qquad (4.7.36)$$

3. Номинальный ток предохранителя:

$$I_{НОМ.ПР} \geq I_{НОМ.ВСТ} \qquad (4.7.37)$$

Если в сети установлено несколько последовательно включенных предохранителей, то при коротком замыкании в какой-либо точке сети перегорать должен ближайший к точке короткого замыкания предохранитель.

Для получения селективного действия большинства типов предохранителей напряжением до 1 кВ необходимо выбирать плавкие вставки с номинальными токами, отличающимися не менее чем на две ступени.

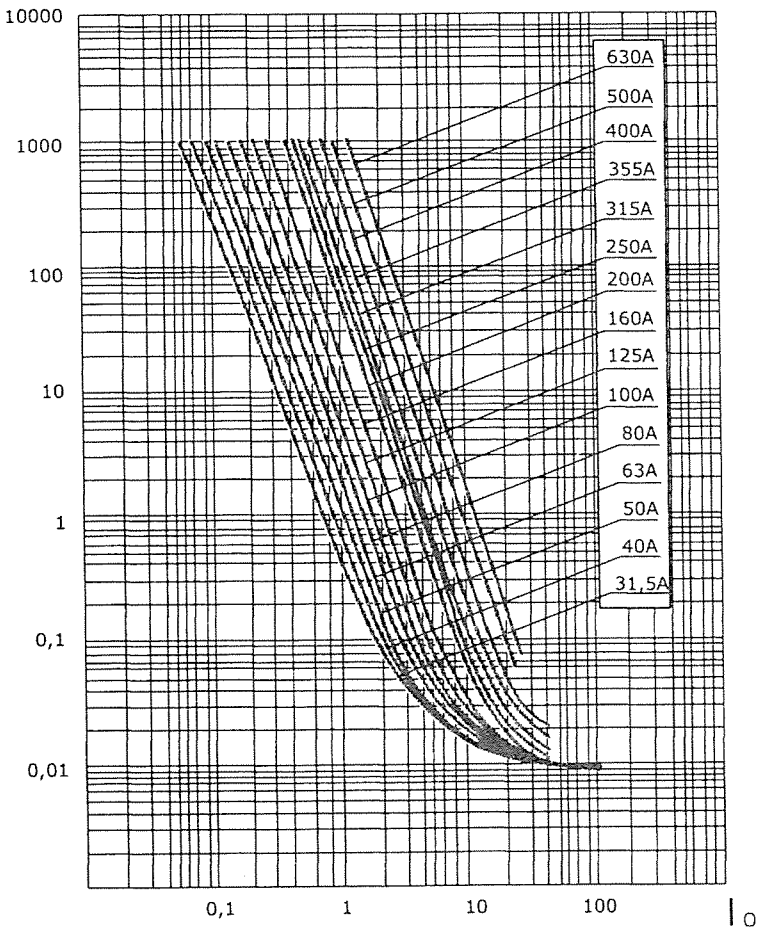


Рис. 4.33. Времятоковые (защитные) характеристики отключения предохранителей ПН-2

Выбор устройств защитного отключения

Устройство защитного отключения управляемое дифференциальным током или выключатель дифференциальный (УЗО-Д или просто УЗО) – коммутационный аппарат или совокупность элементов, которые при достижении (превышении) дифференциальным током заданного значения при определенных условиях эксплуатации должны вызвать размыкание контактов.

Функционально УЗО можно определить как быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток в проводниках, подводящих электроэнергию к защищаемой электроустановке.

Для правильного выбора УЗО-Д необходимо знать его принцип действия.

Рассмотрим *состав* УЗО-Д на примере двухполюсного устройства функционально независимого от напряжения питающей сети (рис. 4.34, 4.35).

В состав УЗО-Д входят (рис. 4.34): дифференциальный (суммирующий) трансформатор тока 1, содержащий две первичные обмотки, образованные проходящими через сердечник трансформатора фазным и нулевым проводниками, и вторичную обмотку 2; расцепитель 3 на основе магнитоэлектрического реле, воздействующий на исполнительный механизм, приводящий в действие пружинный привод 4 контактной группы 5 коммутационного аппарата QF_3, размыкающей цепь питания электроустановки А; контрольная кнопка 6 (QF_2) для проверки работоспособности УЗО, при ее включении искусственно создаются токи утечки. ЭУ с нагрузкой R_{II} подключена к трехфазной четырехпроводной сети с глухозаземленной нейтралью.

Рассмотрим *принцип действия* УЗО-Д. На рис. 4.35 приведена схема сети и двухполюсного УЗО. В качестве датчика в приведенном устройстве используется дифференциальный (суммирующий) трансформатор тока 1, у которого две первичные обмотки ω_1 и ω_2 и одна вторичная ω_0. Электроустановка потребителя электрической энергии 2 представлена сопротивлением нагрузки R_{II}; электромагнитный расцепитель 3, исполнительное устройство 4, отключающее коммутационный аппарат 5 (QF) дополняют состав УЗО.

Человек, прикоснувшийся к токоведущему проводнику, находится на изолированном полу ($R_{II} \geq 0$) и протекающий через него ток $I_ч$ будет достаточно небольшим (до 30–50 мА).

В нормальном режиме работы исправной установки при протекании рабочего тока нагрузки векторы токов в прямом I_1 и нулевом I_2 (обратном) проводниках, а значит и в обмотках трансформатора тока ω_1 и ω_2, направлены встречно и равны между собой

$$|I_1| = |I_2| \text{ или } I_1 + I_2 = 0,$$

а ток утечки, т.е. дифференциальный (разностный) ток отсутствует.

Намагничивающее действие магнитодвижущих сил $I_1\omega_1$ и $I_2\omega_2$ при протекании по обмоткам ω_1 и ω_2 равных, но противоположно направленных токов I_1 и I_2 взаимокомпенсируется, т.е.

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2.$$

При этом компенсируются и магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 в сердечнике дифференциального трансформатора тока, пропорциональные магнитодвижущим силам

$$\Phi_1 = I_1\omega_1,\ \Phi_2 = I_2\omega_2.$$

При этом справедливо равенство

$$\Phi_1 = \Phi_2.$$

Следовательно, дифференциальный ток (ток небаланса) I_0 в обмотке ω_0 отсутствует и УЗО не срабатывает.

При прикосновении человека к открытым токоведущим частям или пробое изоляции фазного провода на корпус электроприемника или на землю (аварийный режим) появляется ток утечки.

Когда ток через тело человека $I_ч$ достигает значений больших предельно допустимых значений токов или тока уставки УЗО или напряжений прикосновения $U_{ПР}$ в нормальном и аварийном режимах ЭУ, нарушается баланс токов, протекающих по фазному и нулевому проводам, а значит и по обмоткам ω_1 и ω_2 УЗО, т.е. $I_1 \neq I_2$.

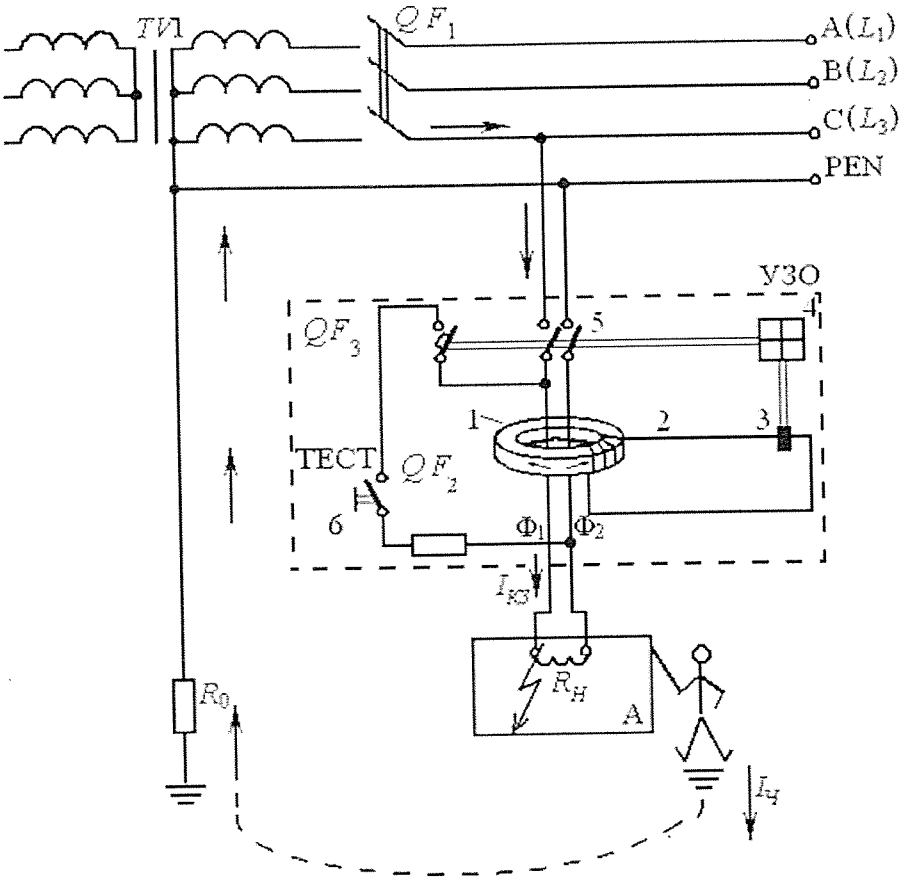


Рис. 4.34. Состав элементов и принцип действия УЗО-Д

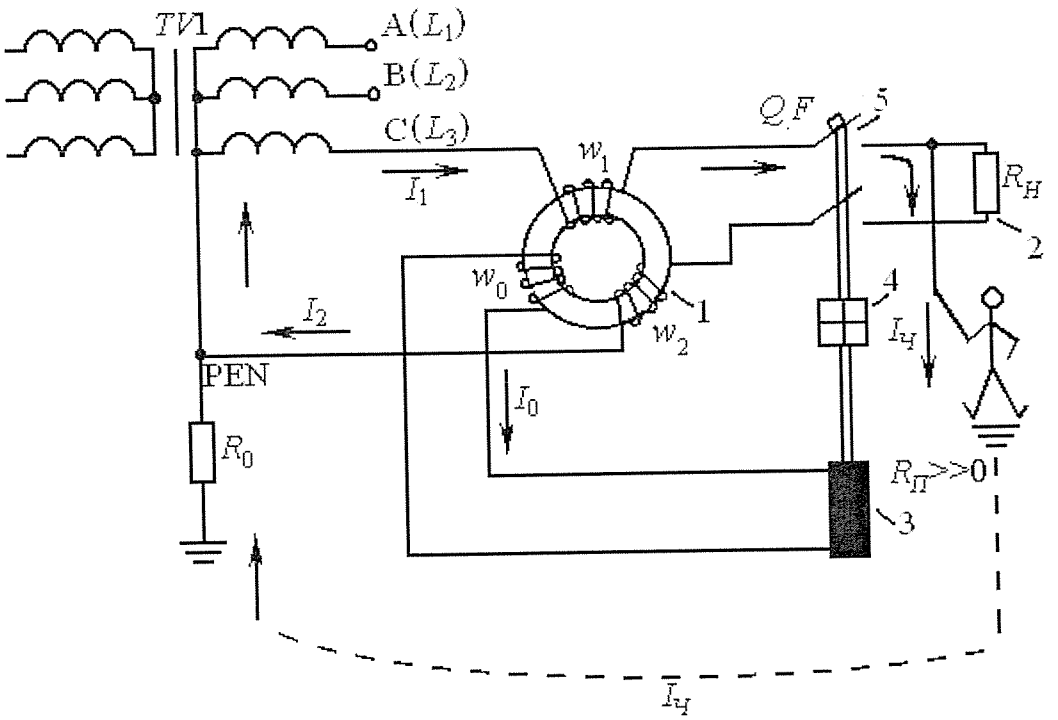


Рис. 4.35. Принципиальная схема функционально независимого от напряжения сети двухполюсного УЗО-Д, поясняющая его работу

Это приводит к нарушению равновесия в сердечнике трансформатора тока и появлению в нем магнитного поля и магнитного потока $\Delta\Phi$

$$\Delta\Phi = |\Phi_1 - \Phi_2|,$$

которое наводит во вторичной обмотке трансформатора тока э.д.с., равную напряжению

$$U_0 = e_0 = -\omega_0 \frac{d\Phi}{dt}.$$

В результате в обмотке расцепителя 3 появляется ток I_0, вызывающий его срабатывание

$$I_0 = U_0 / \sqrt{r_0^2 + x_0^2},$$

где r_0 и x_0 – активное и индуктивное сопротивление проводников соединительных проводов и вторичной обмотки ω_0 трансформатора тока.

Поврежденный участок электрической цепи или человек, прикоснувшийся к токоведущим частям, быстро отключаются от сети коммутационным аппаратом QF (5).

Предельно допустимые значения напряжений прикосновения $U_{ПР}$ и токов через тело человека в нормальном режиме работы ЭУ составляют: $U_{ПР}$ = 2,0 В, $I_Ч$ = 0,3 мА для сетей напряжением до 1000 В частотой f = 50 Гц и продолжительностью воздействия тока на человека не более 10 минут в сутки. Сопротивление тела человека принимается равным 1000 Ом при напряжении $U_{ПР}$ = 50 В и выше, а при $U_{ПР}$ = 36 В сопротивление тела человека $R_Ч$ = 6000 Ом. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов через тело человека при аварийном режиме электроустановок переменного тока частотой f = 50 Гц напряжением до 1000 В в зависимости от продолжительности воздействия в секундах приведены в табл. 4.7.31.

УЗО выполняет также роль защиты сети от пожара при появлении тока утечки вследствие замыкания фазного провода на землю. Механизм работы УЗО в этом случае аналогичен рассмотренному ранее.

При возникновении пожара в сети из-за коротких замыканий, для отключения поврежденной части сети или ЭУ последовательно с УЗО устанавливается защита от сверхтоков (предохранители, автоматические выключатели).

Таблица 4.7.31

Предельно допустимые значения $U_{ПР}$ и $I_Ч$ в ЭУ до 1000 В в зависимости от продолжительности воздействия

Нормируемая величина	Наибольшие допустимые значения при продолжительности воздействия, с											
	0,01–0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	Свыше 1,0
$U_{ПР}$, В	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	12
$I_Ч$, мА	220	200	100	70	55	50	40	35	30	27	25	2

Применяются УЗО-Д в сетях с любым режимом нейтрали, как правило, напряжением до 1000 В. Однако, применение УЗО должно быть экономически обосновано и целесообразно, так как существуют другие средства и способы защиты от поражения электрическим током.

На рис. 4.36 представлена классификация УЗО-Д в виде круговой диаграммы, на которой обобщенные признаки представлены внутри окружности, а частные признаки – в прямоугольниках.

Взаимосвязь обобщенных и частных признаков можно рассмотреть на следующем примере: на рис. 4.36 приведен обобщенный признак – «Способ управления», который указывает на создание именно управляемого УЗО, а частные признаки указывают на необходимость выбора характерных способов исполнения УЗО.

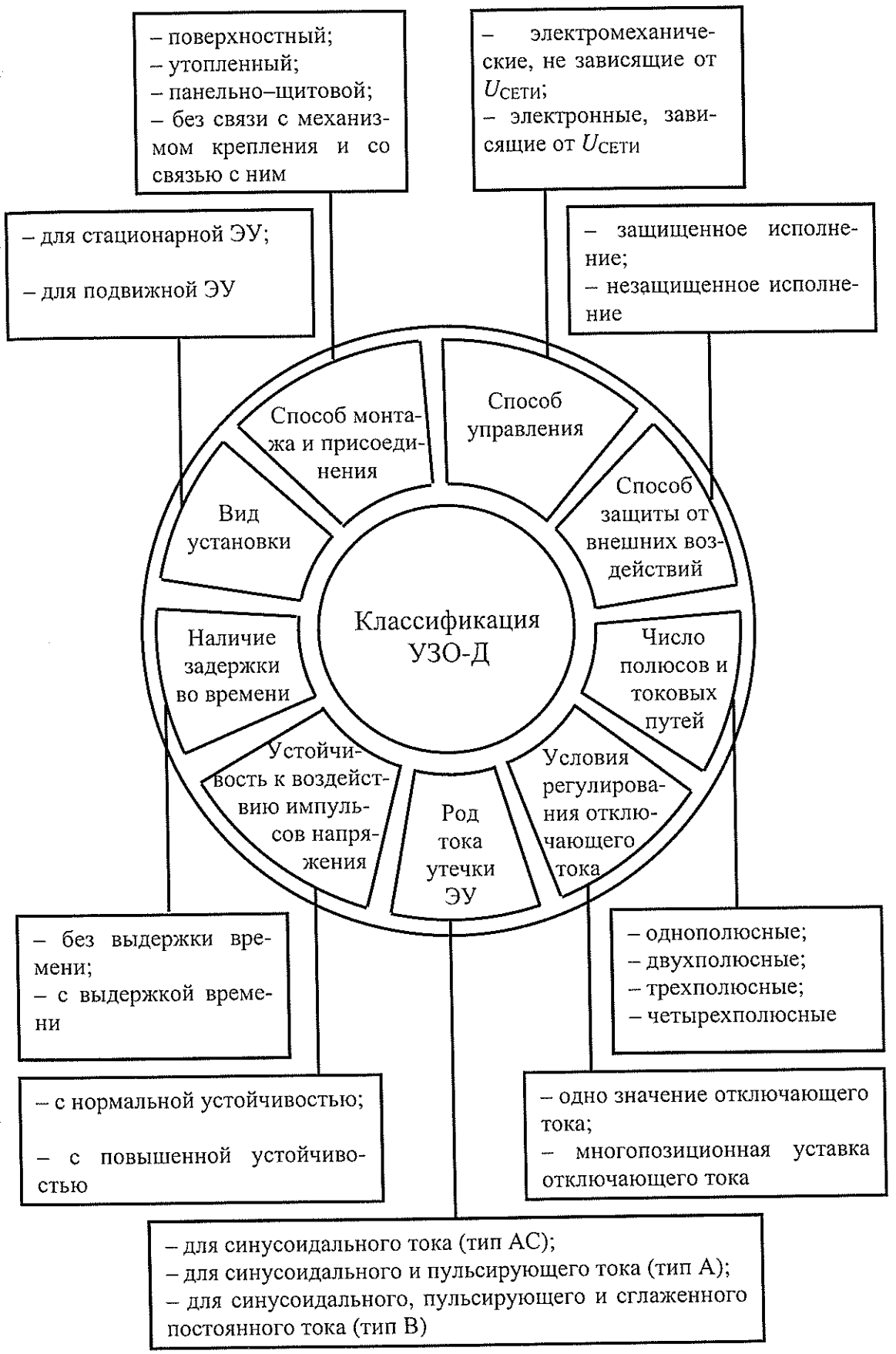


Рис. 4.36. Классификация УЗО-Д (для эксплуатирующего ЭУ персонала и проектировщиков)

Знание указанных признаков обеспечивает возможность выбора УЗО различной технической реализации:

1. *Электромеханические УЗО* – функционально не зависящие от напряжения питания. Источником энергии, необходимой для выполнения операции отключения, является ток утечки, на который оно реагирует.

2. *Электронные УЗО* – функционально зависящие от напряжения питания, что необходимо для выполнения операции отключения путем использования энергии от контролируемой сети либо от внешнего источника питания. Наличие в электронных УЗО источника питания снижает их надежность.

Остальные признаки классификации очевидны и не должны вызывать трудности понимания. Каждому из них соответствует какая-либо техническая характеристика.

Совокупность указанных характеристик определяет свойства УЗО и принцип его работы в нормальном и аварийном режимах функционирования ЭС.

Перед проектировщиками обычно стоит проблема – какое из имеющихся на рынке УЗО следует применить в данной электроустановке. Задача весьма непростая. В настоящее время появилось большое количество разнообразных устройств разных производителей. Как правильно оценить достоинства и недостатки того или иного устройства?

Как техническое устройство УЗО можно охарактеризовать как коммутационный аппарат, работающий в режиме ожидания.

В принципе все устройства работают одинаково – УЗО устанавливается в цепи рабочего тока и при возникновении недопустимого тока утечки размыкает силовую цепь. Достоверно оценить быстродействие устройства, его коммутационную способность, срок службы и тому подобное возможно только в специализированных сертификационных центрах. Потребитель вынужден довольствоваться информацией, предоставляемой производителем устройств, и, конечно, доверять сертификату соответствия и сертификату пожарной безопасности на устройства, без которых применение УЗО, согласно требованиям норм, недопустимо.

При выборе УЗО следует руководствоваться следующими наиболее важными характеристиками этих устройств, определяющими их качество и работоспособность. Рабочие параметры – номинальное напряжение, номинальный ток нагрузки, номинальный отключающий дифференциальный ток (уставка по току утечки) выбираются на основе технических параметров проектируемой электроустановки. Их выбор обычно не представляет большой сложности.

Качество, а следовательно, надежность работы УЗО определяется параметрами, смысл которых далеко не так очевиден. Это, прежде всего, относится к коммутационной способности I_M и условному расчетному току короткого замыкания I_{HC}. Далее эти показатели будут рассмотрены подробно. К сожалению, далеко не все производители УЗО приводят в документации на устройства сведения об этих параметрах. И точно так же, далеко не все устройства, представленные на нашем рынке, отвечают требованиям нормативов.

Коммутационная способность УЗО I_M, согласно требованиям норм, должна быть не менее десятикратного значения номинального тока или 500 А (берется большее значение).

Качественные устройства имеют, как правило, гораздо более высокую коммутационную способность – 1000, 1500 А. Это значит, что такие устройства надежнее, и в аварийных режимах, например, при коротком замыкании на землю, УЗО, опережая автоматический выключатель, гарантированно произведет отключение.

Условный расчетный ток короткого замыкания I_{HC} – характеристика, условно определяющая надежность и прочность устройства, качество исполнения его механизма и электрических соединений. Нормами (ГОСТ Р 51326.1–99) установлено минимально допустимое значение I_{HC}, равное 4,5 кА. Следует заметить, что в европейских странах не допускаются к эксплуатации УЗО с I_{HC}, меньшим, чем 6 кА. У качественных УЗО этот показатель равен 10 кА и даже 15 кА.

На лицевой панели устройств данный показатель указывается либо символом: например, $I_{HC} = 6000$, $I_{HC} = 10\,000$, либо соответствующими цифрами в прямоугольнике.

Номинальное напряжение $U_H = 380$ В для четырехполюсных и $U_H = 220$ В для двухполюсных УЗО. Допустимо применение четырехполюсных УЗО в режиме двухполюсных, т.е. в однофазной сети, при условии, что изготовитель обеспечивает нормальное функционирование тестовой цепи при этом напряжении.

Нормами установлен также диапазон напряжений, в котором УЗО должно сохранять работоспособность. Это имеет принципиальное значение для УЗО, функционально зависимых от напряжения питания. Функционально независимые от напряжения питания (электромеханические) устройства сохраняют работоспособность при любых значениях напряжения и даже при отсутствии напряжения, например, при обрыве нулевого проводника.

Номинальный ток нагрузки I_H выбирается из ряда: 6, (10), 16, 25, 40, 63, 80, 100, 125 А. Для УЗО значение этого тока определяется, как правило, сечением проводников в самом устройстве и конструкцией силовых контактов. Поскольку УЗО должно быть защищено последовательным защитным устройством (ПЗУ), номинальный ток нагрузки УЗО должен быть скоординирован с номинальным током ПЗУ.

Номинальный ток нагрузки УЗО должен быть равен или на ступень выше номинального тока последовательного защитного устройства. В зарубежных нормативных документах имеется требование повышения на ступень номинального тока нагрузки УЗО относительно номинального тока последовательного защитного устройства. Это означает, что, например, в цепь, защищаемую автоматическим выключателем с номинальным током 25 А, должно быть установлено УЗО с номинальным током 40 А (табл. 4.7.32).

Таблица 4.7.32

Значения номинального тока нагрузки УЗО относительно номинального тока последовательного защитного устройства

Устройство	Номинальный ток нагрузки						
ПЗУ	10	16	25	40	63	80	100
УЗО	16	25	40	63	80	100	125

Целесообразность такого требования можно объяснить простым примером. Если УЗО и автоматический выключатель имеют равные номинальные токи, то при протекании тока, превышающего номинальный, например, на 45 %, т.е. тока перегрузки, этот ток будет отключен автоматическим выключателем за время до одного часа. Это означает, что этот период времени УЗО будет перегружено.

Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta H}$ – ток уставки выбирается из следующего ряда: 6, 10, 30, 100, 300, 500 мА.

Уставку УЗО для каждого конкретного случая применения выбирают с учетом следующих факторов:

– значения существующего в данной электроустановке суммарного (с учетом присоединяемых стационарных и переносных электроприемников) тока утечки на землю – так называемого «фонового тока утечки»;

– значения допустимого тока через человека на основе критериев электробезопасности;

– реального значения отключающего дифференциального тока УЗО, которое в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50807–94 находится в диапазоне 0,5 $I_{\Delta H} - I_{\Delta H}$.

Согласно требованиям ПУЭ (7-е изд., п. 7.1.83) номинальный дифференциальный отключающий ток УЗО должен быть не менее чем в три раза больше суммарного тока утечки защищаемой цепи электроустановки – I_{Δ}.

$$I_{\Delta H} \geq 3\, I_{\Delta}.$$

Суммарный ток утечки электроустановки замеряется специальными приборами либо определяется расчетным путем.

При отсутствии фактических (замеренных) значений тока утечки в электроустановке ПУЭ (п. 7.1.83) предписывают принимать ток утечки электроприемников из расчета 0,4 мА на 1 А тока нагрузки, а ток утечки цепи из расчета 10 мкА на 1 м длины фазного проводника.

Рекомендуемые значения номинального отключающего дифференциального тока – $I_{\Delta H}$ (уставки) УЗО для диапазона номинальных токов 16–80 А приведены в табл. 4.7.32.

Таблица 4.7.32

Рекомендуемые значения номинального отключающего дифференциального тока

Номинальный ток нагрузки в зоне защиты	16	25	40	63	80
$I_{\Delta H}$ при работе в зоне защиты одиночного потребителя, мА	10	30	30	30	100
$I_{\Delta H}$ при работе в зоне защиты группы потребителей, мА	30	30	30(100)	100	300
$I_{\Delta H}$ УЗО противопожарного назначения на ВРУ, мА	300	300	300	300	300

Результаты расчета токов утечки оформляют в виде таблицы (например, для щита наружного освещения – ЩНО, табл. 4.7.33).

Таблица 4.7.33

Таблица расчета токов утечки ЩНО

№ гр.	Наименование электроприемника	$S_{РАСЧ}$, кВА	$I_{РАСЧ}$, А	Длина фазного провода L, м	$I_{УТ.А}$, мА	$I_{УТ.L}$, мА	$I_{УТ.СУМ}$, мА
Гр.1	Фасадное освещение св.1–3	1,02	4,64	186,0	1,85	1,86	3,71
Гр.2	Фасадное освещение св.10, 14, 15	1,14	5,18	280,0	2,07	2,80	4,87
Гр.3	Фасадное освещение св.11–13	0,60	2,73	176,0	1,09	1,76	2,85
Гр.4	Фасадное освещение св.7–9	1,20	5,45	266,0	2,18	2,66	4,84

Выбор защиты от сверхтоков для дифференциальных АВ производится аналогично выбору автоматических выключателей, рассмотренному в ранее.

В некоторых случаях, для определенных потребителей значение уставки задается нормативными документами. В ГОСТ Р 50669–94 применительно к зданиям из металла или с металлическим каркасом задается значение уставки УЗО не выше 30 мА.

Нормативные документы предписывают: для сантехнических кабин, ванных и душевых устанавливать УЗО с током срабатывания:

– 10 мА, если на них выделена отдельная линия; в остальных случаях, (например, при использовании одной линии для сантехнической кабины, кухни и коридора) допускается использовать УЗО с уставкой 30 мА;

– в индивидуальных жилых домах для групповых цепей, питающих штепсельные розетки внутри дома, включая подвалы, встроенные и пристроенные гаражи, а также в групповых сетях, питающих ванные комнаты, душевые и сауны УЗО с уставкой 30 мА;

– для устанавливаемых снаружи штепсельных розеток УЗО с уставкой 30 мА.

Рассмотрим еще ряд рекомендаций по применению УЗО в различных объектах.

Строительные площадки характеризуются значительным числом несчастных случаев, вызванным поражением электрическим током. Такое положение объясняется тем, что электроустановки, применяемые на строительных площадках, являются временными, а эксплуатация электрооборудования ведется в тяжелых условиях. При этом большая часть электрооборудования и ручного электроинструмента используется в наружной среде, не защищенной от влаги, а обслуживающий персонал, как правило, не проходит соответствующей специальной подготовки. Применение переносных кабелей, проложенных непо-

средственно на земле, обуславливает высокую степень вероятности механического нарушения целостности защитного проводника, что может привести к реальной угрозе жизни людей, прикоснувшихся к открытой проводящей части оборудования, питаемого поврежденным кабелем. В соответствии с требованием стандарта ГОСТ Р 50571.23–2000 на строительных площадках должны быть установлены в каждом распределительном щите для защиты цепей штепсельных розеток УЗО с током срабатывания до 30 мА.

Промышленные объекты. Качество электроустановок промышленных предприятий выше, поскольку предполагается наличие постоянного контроля, осуществляемого квалифицированным персоналом, и плановые периодические испытания защитных мер электробезопасности. Однако область применения УЗО широка. В помещениях промышленных предприятий УЗО с уставкой не более 30 мА используются для защиты цепей штепсельных розеток, к которым подключается ручной электроинструмент. УЗО необходимо применять для защиты стационарного оборудования, установленного в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных (ПУЭ 7-е изд.).

Мобильные здания. Электрооборудование в мобильных помещениях (мастерские, ремонтные и жилые помещения, медицинские и измерительные лаборатории) должно быть оснащено собственной защитой открытых проводящих частей, не зависящей от исполнения и состояния защиты сети питания. Выполнение этой задачи возлагается на УЗО. В ГОСТ Р 50669–94 применительно к зданиям из металла или с металлическим каркасом задается значение уставки УЗО не выше 30 мА.

Сельскохозяйственные объекты. Опасность несчастных случаев, вызванных электрическим током, в объектах сельского хозяйства чрезвычайно высока. Причиной этого являются тяжелые условия эксплуатации электрооборудования (влажность, агрессивная среда и т.д.) и неквалифицированное обслуживание, нарушения правил электробезопасности. Для всех групповых цепей, питающих штепсельные розетки, должна быть дополнительная защита от прямого прикосновения при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не более 30 мА. В животноводческих помещениях, в которых отсутствуют условия, требующие выполнения выравнивания потенциалов, должна быть выполнена защита при помощи УЗО с номинальным отключающим дифференциальным током не менее 100 мА, устанавливаемых на вводном щитке (ПУЭ 7-е изд.).

В ПУЭ (7-е изд., п. 7.1.84) рекомендуется для повышения уровня защиты от возгорания при замыканиях на заземленные части на вводе в квартиру, индивидуальный дом и тому подобное установка УЗО с током срабатывания до 300 мА.

Номинальный неотключающий дифференциальный ток УЗО $I_{\Delta HO}$ равен половине значения тока уставки:

$$I_{\Delta HO} = 0{,}5\ I_{\Delta H}.$$

Это означает, что реальное значение дифференциального тока, при котором УЗО срабатывает, находится в диапазоне от половины до целого значения номинального отключающего тока. При этом каждое конкретное устройство имеет, как правило, определенное стабильное значение отключающего тока, находящееся в указанном диапазоне.

Номинальное время отключения T_H – промежуток времени между моментом внезапного возникновения отключающего дифференциального тока и моментом гашения дуги на всех полюсах. Стандартные значения максимально допустимого времени отключения УЗО типа А и АС при любом номинальном токе нагрузки и заданных нормами значениях дифференциального тока не должны превышать приведенных в табл. 4.7.34.

Таблица 4.7.34

Предельные времена отключения УЗО

Время отключения T_H, с			
$I_{\Delta H}$	2 $I_{\Delta H}$	5 $I_{\Delta H}$	500 А
0,3	0,15	0,04	0,04

Стандартные значения допустимого времени отключения для УЗО типа S при любом номинальном токе нагрузки свыше 25 А и значениях номинального дифференциального тока свыше 0,03 А не должны превышать приведенных в табл. 4.7.35.

Таблица 4.7.35

Стандартные значения допустимого времени отключения УЗО

Дифференциальный ток	$I_{\Delta H}$	$2\,I_{\Delta H}$	$5\,I_{\Delta H}$	500 А
Максимальное время отключения, с	0,5	0,2	0,15	0,15
Максимальное время неотключения, с	0,13	0,06	0,05	0,04

Проектировщики и пользователи УЗО должны во избежание ложных отключений учитывать данное обстоятельство и сопоставлять реальное значение отключающего тока с «фоновым» током утечки в электроустановке.

Предельное значение неотключающего сверхтока I_{HC} характеризует способность УЗО не реагировать на симметричные токи короткого замыкания и перегрузки и также является важным показателем качества устройства. Неправильно считать, что это ток, при котором УЗО должно производить отключение.

Нормативы определяют минимальное значение неотключающего тока, равное шестикратному значению номинального тока нагрузки:

$$I_{HC} = 6\,I_H.$$

Максимальное значение неотключающего сверхтока не нормируется и может иметь значения, намного превышающие $6\,I_H$.

Номинальная включающая и отключающая способность (коммутационная способность) I_M зависит от уровня технического исполнения устройства – качества силовых контактов, мощности пружинного привода, материала (пластмассовых или металлических деталей) и качества механизма, наличия дугогасящей камеры и др. Этот параметр в значительной степени определяет надежность УЗО.

В некоторых аварийных режимах УЗО должно осуществить отключение сверхтоков, опережая автоматический выключатель, при этом оно должно сохранить свою работоспособность.

Номинальная включающая и отключающая способность по дифференциальному току $I_{\Delta M}$ аналогична ранее рассмотренной с той разницей, что предполагается протекание дифференциального сверхтока, например, при коротком замыкании на корпус электроприемника в системе TN-C-S.

Номинальный условный ток короткого замыкания I_{HY} – один из основных параметров УЗО характеризующий, прежде всего, качество изделия. Указанное заводом-изготовителем значение этого параметра проверяется при сертификационных испытаниях устройства. Смысл испытания заключается в определении термической и электродинамической стойкости изделия при протекании сверхтоков. При испытании на специальном стенде создается цепь из мощного источника и нагрузки, обеспечивающая протекание заданного сверхтока из ряда: 3; 4,5; 6; 10 кА. Испытательный ток не достигает заданного значения, поскольку отключается ранее последовательно включенным защитным аппаратом с нормированной уставкой. Как правило, для этой цели применяются плавкие вставки в виде серебряных проводников калиброванного сечения.

Значение I_{HY}, как важнейшего параметра УЗО, должно обязательно быть приведено на лицевой панели устройства, или в сопроводительной технической документации на УЗО.

Для УЗО типов S и G (с задержкой срабатывания) предъявляются повышенные требования по данному параметру, поскольку предполагается, что, во-первых, УЗО этого типа устанавливаются на головном участке сети, где токи короткого замыкания, естественно, выше, во-вторых, такие устройства, имея задержку по срабатыванию, могут находиться под воздействием аварийных токов более продолжительное время.

Номинальный условный дифференциальный ток короткого замыкания $I_{\Delta y}$. Параметр аналогичен рассмотренному ранее. Главным отличием является то, что сверхток протекает по одному проводнику УЗО и испытания проводятся при включении испытательного тока поочередно по отдельным полюсам УЗО.

Номинальное время отключения T_H. Стандартами установлено предельно допустимое время отключения УЗО – 0,3 с. В действительности современные качественные УЗО имеют быстродействие порядка 20–30 мс. Это означает, что УЗО «быстрый» выключатель, поэтому на практике возможны ситуации, когда УЗО срабатывает раньше аппарата защиты и отключает как токи нагрузки, так и сверхтоки.

Температурный режим. УЗО обычного исполнения имеют диапазон рабочих температур от – 5 до + 40 °С. В специальном исполнении – для диапазона температур от – 25 до + 40 °С на УЗО наносится специальный знак.

Степень защиты. Обычное исполнение УЗО – IP20. Выпускаются также УЗО специального исполнения – IP40, при более высоких требованиях по степени защиты УЗО должны устанавливаться в защитный кожух.

Схемы включения УЗО. Конструкции УЗО различных производителей могут отличаться друг от друга не только параметрами, но и схемами подключения. На рис. 4.37 приведены наиболее распространенные схемы включения УЗО. Кроме того, показано включение УЗО в одно-, двух- и трехфазном вариантах. При включении УЗО по неполнофазному варианту необходимо обратить внимание на правильность подключения проводников к клеммам устройства – должна быть подключена цепь тестирующего резистора. Схема подключения приведена на лицевой или боковой поверхности корпуса УЗО.

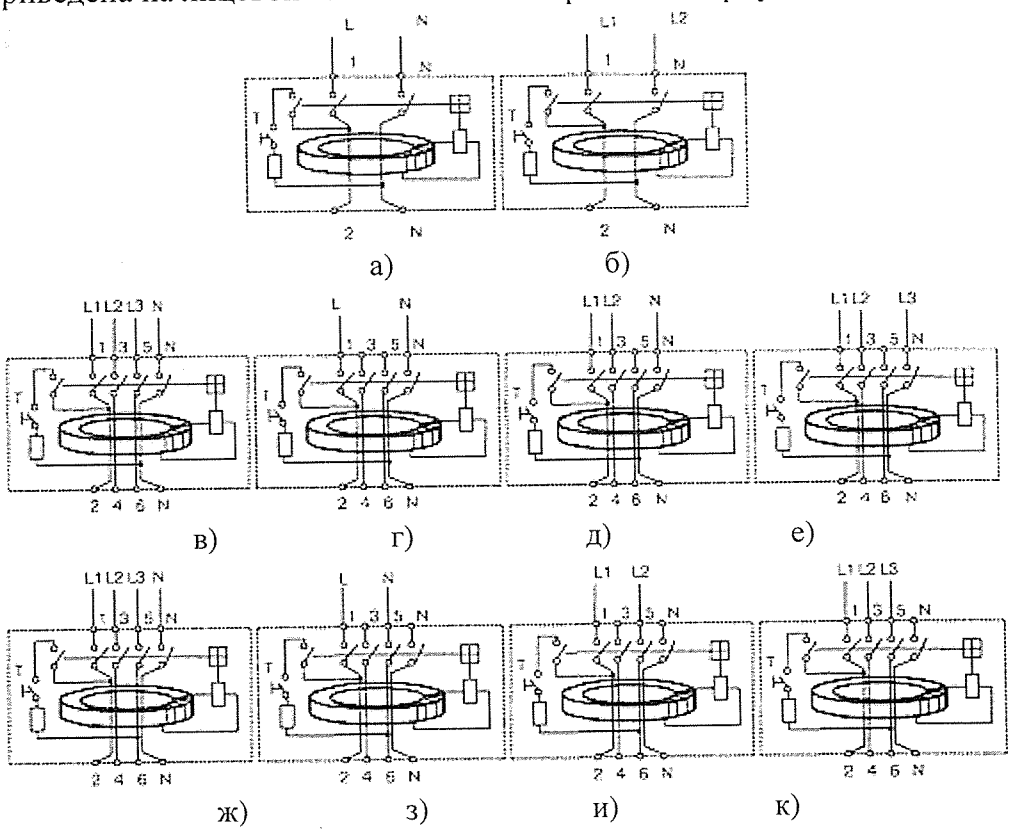


Рис. 4.37. Схемы подключения УЗО: а, б – двухполюсные УЗО; в, г, д, е – четырехполюсные УЗО, в которых резистор, имитирующий дифференциальный ток, подключен в фазное напряжение; ж, з, и, к – на линейное напряжение

УЗО типов АС, А и В. УЗО разделяют на типы:

– АС, реагирующие на синусоидальный переменный дифференциальный ток утечки;

– А, реагирующие на синусоидальный и пульсирующий переменные дифференциальные токи утечки;

– В, реагирующие на синусоидальный и пульсирующий переменные, а также сглаженный и постоянный дифференциальные токи утечки.

Применение УЗО типа А целесообразно в обоснованных случаях, например, в цепях, содержащих потребители с тиристорным управлением без разделительного трансформатора. УЗО типа В применяют в промышленных электроустановках со смешанным питанием – переменным, выпрямленным и постоянным токами.

В последние годы широкое применение получили коммутационные аппараты, объединяющие в себе автоматический выключатель и устройство защитного отключения, т.е. это комбинированный аппарат, который имеет тепловую защиту, защиту от сверхтока и защиту, реагирующую на дифференциальный ток. Достаточно часто в технической литературе УЗО-Д называют выключателем дифференциальным (ВД), а комбинированные аппараты дифференциальными автоматами (ДА). Для примера рассмотрим технические характеристики и принципы действия ВД 1-63 и АД 12, АД 14.

Выключатели дифференциальные (УЗО) ВД 1-63.

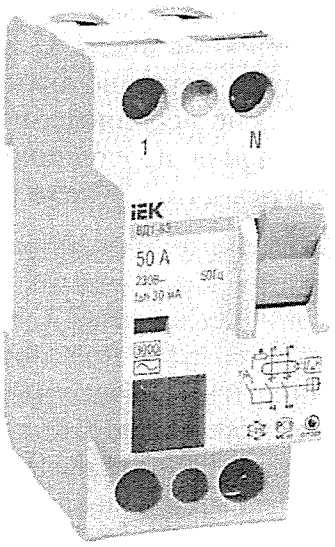


Рис. 4.38. Внешний вид выключателя дифференциального

Общие характеристики:

– Быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток, без встроенной защиты от сверхтоков

– Защита человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждениях изоляции

– Предотвращение пожаров вследствие протекания токов утечки на землю.

– Сохраняет работоспособность при любом напряжении сети (тестирующая цепь функционирует при снижении напряжения до 100 В)

– Не имеют собственного потребления электроэнергии

– Свыше 50 типоисполнений на 8 номинальных токов от 16 до 100 А и 4 номинальных отключающих дифференциальных тока от 10 до 300 мА

– Широкий диапазон рабочих температур от –40 до +50 °С

– Высокая механическая износостойкость

– Монтаж УЗО производят на 35 мм монтажную DIN-рейку

Таблица 4.7.36

Технические характеристики ВД 1-63

Технические характеристики	
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 51326.1–99, ТУ 3421-033-18461115–02
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230/400
Номинальный ток I_H, А	16; 25; 32; 40; 50; 63; 80; 100
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta H}$, мА	10, 30, 100, 300
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	АС
Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	40
Число полюсов	2, 4
Условия эксплуатации	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP20
Износостойкость, циклов В-О, не менее	10^4
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм^2	35

Дифференциальные автоматы АД 12, АД 14.

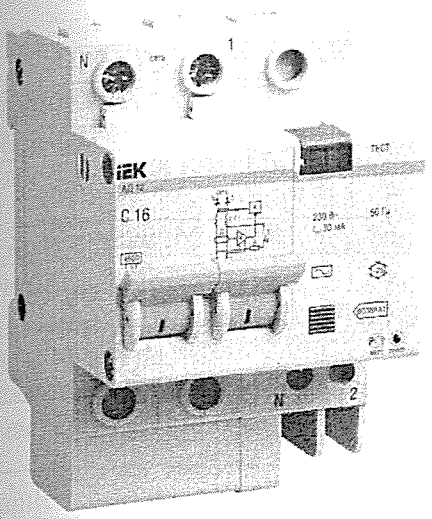


Рис. 4.39. Внешний вид дифференциального автомата

Общие характеристики:

- Быстродействующий защитный выключатель, реагирующий на дифференциальный ток, со встроенной защитой от сверхтоков.
- Три вида защиты:

1. Защита человека от поражения электрическим током при случайном непреднамеренном прикосновении к токоведущим частям электроустановок при повреждениях изоляции.
2. Предотвращение пожаров вследствие протекания токов утечки на землю.
3. Защита от перегрузки и короткого замыкания.

- Сохраняет работоспособность при пониженном напряжении сети (до 50 В).
- Улучшенная конструкция модуля дифференциальной защиты.
- Около 50 типоисполнений на 9 номинальных токов от 6 до 63 А и 4 номинальных отключающих дифференциальных тока от 10 до 300 мА.
- Индикация срабатывания от дифференциального тока.
- Широкий диапазон рабочих температур от –25 до +40 °С.
- Высокая механическая износостойкость.
- Монтаж УЗО производят на 35 мм монтажную DIN-рейку.

Конструкция дифференциального автомата представляет собой соединение двух функциональных узлов: электронного модуля дифференциальной защиты и автоматического выключателя серии ВА 47-29. Электронный модуль состоит из дифференциального трансформатора тока, электронного усилителя с пороговым устройством, исполнительного электромагнита сброса и источника питания.

При установке рукоятки управления автоматического выключателя в положение «ВКЛ» на электронный модуль поступает напряжение питания. В нормальном режиме работы, при отсутствии дифференциального тока (тока утечки), в силовой цепи по проводникам, проходящим сквозь окно магнитопровода трансформатора тока, и являющимися его первичной обмоткой, протекает рабочий ток нагрузки. Равные токи во встречно включенных обмотках наводят в магнитном сердечнике трансформатора тока равные, но векторно противоположно направленные магнитные потоки. Результирующий магнитный поток равен нулю, и ток во вторичной обмотке дифференциального трансформатора также равен нулю.

При случайном прикосновении человека к открытым проводящим частям или пробое изоляции на корпус электроустановки по фазному проводнику кроме тока нагрузки протекает дополнительный ток, являющийся для трансформатора тока дифференциальным. Если этот ток превышает значение уставки порогового устройства, последнее подает ток от источника питания на катушку электромагнита сброса, который сдергивает защелку механизма независимого расцепления выключателя и электрическая цепь размыкается.

При этом кнопка «Возврат» выступает из лицевой панели. Для повторного включения дифференциального автомата необходимо нажать на эту кнопку до фиксации и взвести рукоятку автоматического выключателя.

Для осуществления периодического контроля исправности дифференциального автомата в электронный модуль встроена цепь тестирования. При нажатии на кнопку «Тест» искусственно создается отключающий дифференциальный ток. Немедленное срабатывание дифавтомата означает исправность всех его элементов.

Таблица 4.7.37

Технические характеристики АД 12, АД 14

Технические характеристики	АД 12	АД 14
Соответствуют стандартам	ГОСТ Р 51327.1–99, ТУ 99 АГИЕ. 641243.039	ГОСТ Р 51327.1–99, ТУ 99 АГИЕ. 641243.039
Номинальное напряжение частотой 50 Гц, В	230	230/400
Номинальный ток I_H, А	6; 10; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 63	16; 20; 25; 32; 40; 50; 63
Номинальный отключающий дифференциальный ток $I_{\Delta H}$, мА	10, 30, 100, 300	30, 100, 300
Номинальная отключающая способность, А	4500	4500
Рабочая характеристика при наличии дифференциального тока	AC	AC
Время отключения при номинальном дифференциальном токе, мс	50	50
Число полюсов	2	4
Условия эксплуатации	УХЛ4	УХЛ4
Степень защиты выключателя	IP20	IP20
Износостойкость, циклов В-О, не менее	10^4	10^4
Максимальное сечение присоединяемых проводов, мм^2	35	35

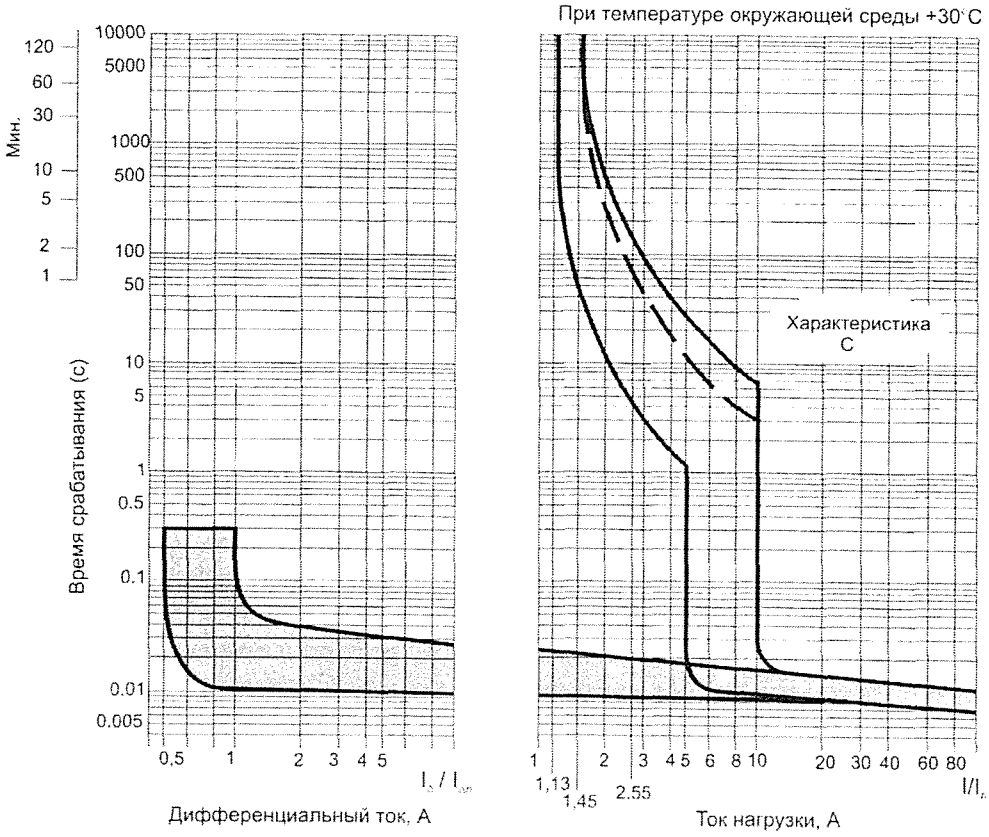


Рис. 4.40. Времятоковые характеристики отключения дифференциальных автоматов АД 12, АД 14

4.8. Выбор трансформаторов тока для установки расчетных счетчиков электрической энергии

Счетчики для расчетов за потребляемую электроэнергию между энергоснабжающей организацией и потребителями следует устанавливать на границе раздела сети по балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности между энергоснабжающей организацией и потребителем.

Число счетчиков на объекте должно быть минимальным и обоснованным принятой схемой электроснабжения объекта и действующими тарифами на электроэнергию для данного потребителя.

Расчетные счетчики у арендаторов, находящихся в жилых, общественных и других зданиях и обособленных в административно-хозяйственном отношении, надо устанавливать раздельно для каждого потребителя (организации, домоуправления, ателье, магазина, мастерской, склада и т.д.).

Коэффициент трансформации трансформаторов тока следует выбирать по расчетной присоединяемой нагрузке с учетом работы установки в аварийном режиме. Завышенным по коэффициенту трансформации считается такой трансформатор тока, у которого при 25 %-ной расчетной присоединяемой нагрузке (в нормальном режиме) ток во вторичной обмотке будет менее 10 % номинального тока счетчика (номинальный ток счетчика – 5 А).

Трансформаторы тока имеют следующие классы точности: 0,2; 0,5; 1; 3; 10, что соответствует величинам токовых погрешностей, в %.

Класс точности трансформаторов тока должен быть для счетчиков коммерческого учета – 0,5; для электроизмерительных приборов – 1; для реле токовых защит – 3; для лабораторных приборов – 0,2.

Пример. Расчетный ток присоединения в нормальном режиме – 90 А, в аварийном – 126 А. Выбирают трансформаторы тока с коэффициентом трансформации $n_T = 150/5$ исходя из нагрузки в аварийном режиме.

Проверка. При 25 %-ной нагрузке ток в первичной цепи составляет

$$I_1 = \frac{90 \cdot 25}{100} = 22{,}5 \text{ А}.$$

Ток во вторичной цепи (при коэффициенте трансформации $n_T = 150:5 = 30$)

$$I_2 = \frac{I_1}{n_T} = \frac{22{,}5}{30} = 0{,}75 \text{ А}.$$

Трансформаторы тока выбраны правильно, так как $I_2 > 10\ \%\ I_H$ счетчика, т.е. $0{,}75 > 0{,}5$.

Сечение жил проводов или кабелей от трансформаторов тока до счетчика должна быть не менее: медных – 2,5, алюминиевых – 4 мм. Максимальное сечение жил проводов и кабелей, которые возможно подключить к клеммам счетчика, не должно превышать 10 мм^2.

При выборе трансформаторов тока к расчетным счетчикам рекомендуется использовать данные табл. 4.8.1.

До приборов учета, смонтированных на вводе, в целях безопасной установки, проверки и замены счетчиков и трансформаторов тока в электроустановках при наличии двух питающих линий (вводов) и двух распределительных сборок, имеющих коммутационные аппараты для их соединения (секционные рубильники, АВР и др.), должны быть установлены отключающие аппараты, а после приборов учета – аппараты, обеспечивающие разрыв цепи со стороны распределительных сборок.

Таблица 4.8.1

Выбор трансформаторов тока по нагрузке

Номин. мощность тр-ра в кВА	Номин. ток в амперах	Т-тока		Номин. мощность тр-ра в кВА	Номин. ток в ампе-рах	Т-тока	
		нижний предел	верхний предел			нижний предел	верхний предел
1	2	3	4	5	6	7	8
Для учета ЭЭ напряжением 0,4 кВ				Для учета ЭЭ напряжением 6,0 кВ			
5	7,5	10/5	220/5		0,5	–	–
10	14,4	20/5	30/5		0,9		
20	28,9	30/5	50/5		1,8		
25	36	50/5	75		2,25	–	.
30	43,3	50/5	75/5		2,7		
35	50,5	75/5	1000/5		3,15		–
40	5,8	75/5	100/5		3,62		
50	72,2	75/5	150/5		4,52	–	–
60	86,5	100/5	200/5		5,42	10/5	20/5
63	91	100/5	200/5		5,7	10/5	20/5
75	118,6	150/5	300/5		6,9	10/5	20/5
100	144,3	150/5	400/5		9,2	10/5	20/5
135	194,9	200/5	400/5		12	20/5	30/5
160	231	300/5	400/5		14,8	20/5	30/5
180	258,9	300/5	400/5		16,5	30/5	30/5
240	346,4	400/5	600/5		22,0	30/5	50/5
250	360	400/5	600/5		25,0	30/5	50/5
320	461,9	600/5	700/5		29,3	50/5	75/5
400	580	600/5	700/5		36,6	50/5	75/5
420	610	750/5	1000/5		38,5	50/5	75/5
560	809	1000/5	1500/5		51,3	75/5	100/5
630	910	1000/5	1500/5		68,7	75/5	100/5
750	1089	1500/5	2000/5		81,9	100/5	150/5
1000	1443,5	1500/5	2000/5		91,7	100/5	150/5
Для учета электрической энергии 10 кВ							
1	2	3	4	5	6	7	8
5	0,3	–		180	9,9	20/5	30/5
10	0,5			240	13,2	20/5	30/5
20	1,1	–	–	320	17,6	20/5	30/5
30	1,6			420	32,1	30/5	50/5
50	2,7	–		560	30,8	50/5	75/5
75	4,1			630	36,4	50/5	75/5
100	5,5	10/5	20/5	750	41,2	50/5	75/5
133	7,4	10/5	20/5	1000	55,0	75/5	100/5

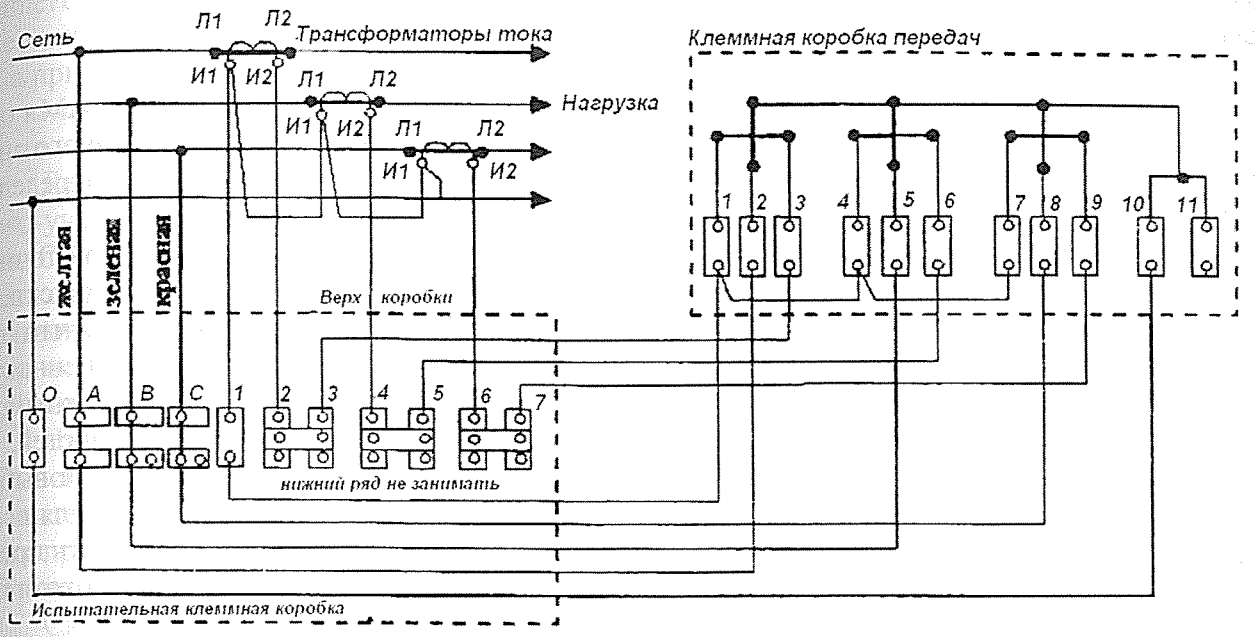


Рис. 4.41. Схема, поясняющая установку трансформаторов тока

1. По схеме, приведенной на рис. 4.41, необходимо подключать счетчики СА4У–И672М, СА4-И672М, СА4У-Н682 и СА4-И682.

2. Испытательную клеммную коробку устанавливать на втулках высотой 15–20 мм, обеспечивающих свободный проход пакета проводов за коробкой и на расстоянии до клеммной коробки счетчики не менее 10 см.

3. При подключении схем учитывать направление энергии. Установка перемычки и подключение общего провода $I_{ОБЖ}$ выполняется на $И_1$ если напряжение от сети поступает на $Л_1$, и на $И_2$, если напряжение от сети поступает на $Л_2$. При установке трансформаторов тока необходимо внимательно считывать их маркировку.

4.9. Расчеты освещенности и выбор осветительных приборов

Расчеты освещенности

Основные принципы расчета. Чаще всего задачей расчета освещенности является определение числа и мощности светильников, необходимых для обеспечения заданного значения освещенности. Значительно реже выполняются поверочные расчеты, т.е. определение ожидаемой освещенности при заданных параметрах установки.

Расчет может выполняться с большой степенью точности, но чаще всего такой точности не требуется. Характеристики ламп и светильников имеют значительные допуски, и как бы тщательно ни был выполнен расчет, никоим образом нельзя гарантировать, что получится точно заданная освещенность. Существенно также, что сами нормы освещенности не являются строго обоснованными, и тот компромисс между желаемым и возможным, о котором говорилось выше, сохраняется на определенном участке шкалы освещенностей.

Повышенная точность расчетов нужна преимущественно при сопоставлении и выборе различных вариантов выполнения освещения. В этих случаях с учетом равной для всех вариантов вероятности отклонения результатов от расчетных данных можно считать предпочтительным тот вариант, в котором данные осветительные условия достигаются хотя бы при незначительно лучших показателях.

При освещении «точечными» источниками света, т.е. лампами накаливания, а также лампами типов ДРЛ, ДРИ и ДНаТ, обычно число и размещение светильников намечаются до расчета, в процессе же расчета определяется необходимая мощность лампы. При выборе лампы по стандартам допускается отклонение номинального потока лампы от требуемого расчетом в пределах от –10 до +20 %. При невозможности выбрать лампу, поток которой лежит в указанных пределах, изменяется число светильников.

При освещении трубчатыми люминесцентными лампами до расчета обычно намечается число и расположение рядов светильников, по результатам же расчета производится «компоновка рядов», т.е. определение числа и мощности светильников, устанавливаемых в каждом ряду. При этом отклонения ожидаемой освещенности от заданной должны также не превышать вышеуказанных пределов.

Все применяемые приемы расчета основаны на двух формулах, связывающих освещенность с характеристиками светильников и ламп:

$$E = \frac{\Phi}{S},\ E = \frac{I\cos\alpha}{r^2},$$

где E – освещенность, лк; Φ – световой поток, лм; S – площадь поверхности, м^2; I – сила света, направленная к точке, кд; α – угол между лучом и нормалью к поверхности в точке падения луча; r – расстояние от источника света до точки, м.

Принципиальная разница между этими формулами состоит в том, что первая из них определяет среднюю освещенность поверхности, а вторая – освещенность конкретной точки на поверхности.

Метод, основанный на первой формуле, носит название *метода коэффициента использования*. Он позволяет обеспечить среднюю освещенность горизонтальной поверхности с учетом всех падающих на нее потоков, как прямых, так и отраженных. Переход от средней освещенности к минимальной в этом случае может осуществляться лишь приближенно. Метод, основанный на второй формуле, – *точечный метод*, позволяет обеспечить заданное распределение освещенности на как угодно расположенных поверхностях, но лишь приближенно учесть свет, отражаемый поверхностями помещения.

Соответственно этим особенностям метод коэффициента использования применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей, а также для расчета наружного освещения в случаях, когда нормирована средняя освещенность. Точечный метод применяется для расчета общего равномерного и локализованного освещения помещений и открытых пространств, а также для расчета местного освещения при лю-

бом расположении освещаемых поверхностей. Его область применения для расчета внутреннего освещения ограничена, однако, случаями, когда достаточен приближенный учет света, отражаемого поверхностями помещения, т.е. когда применяются светильники класса П, а при плохо отражающих поверхностях – также класса Н.

Мы видим, что области применения обоих методов частично перекрывают друг друга, но имеются случаи, в которых, казалось бы, не может применяться ни один из методов.

Действительно, общее равномерное освещение горизонтальной поверхности без точного учета отраженного света может быть с равным успехом рассчитано любым из методов. Обычно в этих случаях предпочитают пользоваться более простым методом – методом коэффициента использования, но для больших, ответственных помещений желательно пользоваться точечным методом, позволяющим не только обеспечить заданную наименьшую освещенность, но и проанализировать распределение освещенности по всей освещаемой поверхности.

Наоборот, из ранее сказанного следует, что для расчета локализованного освещения или освещения негоризонтальных поверхностей в случаях, когда отраженный свет играет значительную роль, непосредственно не может быть применен ни один метод. В этих случаях приходится, как показано далее, использовать их оба, т.е. действовать, можно сказать, комбинированным методом.

Светотехнические расчеты являются одними из наиболее массовых инженерных расчетов; их приходится постоянно выполнять многим тысячам людей, а в своих первоначальных формах они являются довольно трудоемкими. Естественно, что усилия специалистов издавна были направлены на упрощение методики расчета, в результате чего появилось много практических способов расчета, которые, однако, являются разновидностью тех же двух основных методов. Из этих упрощенных способов ниже описываются лишь получившие широкое применение или рекомендуемые к такому применению.

Расчет освещенности методом коэффициента использования

Пусть в помещении установлено N светильников, поток ламп в каждом из которых Φ. Суммарный поток, создаваемый в помещении, будет равен $N\Phi$. Далеко не весь этот поток падает на освещаемую поверхность (т.е. на пол или равновеликую ему горизонтальную плоскость на уровне h_P от пола), так как он частично теряется в светильниках, частью падает на стены и потолок помещения. Отношение потока, падающего на освещаемую поверхность, ко всему потоку ламп называется *коэффициентом использования* и обозначается η. Таким образом, полезным потоком можно считать $N\Phi\eta$. Распределяясь по площади S, этот поток создает на ней среднюю освещенность $N\Phi\eta/S$.

Если, как это чаще всего имеет место, расчет ведется на минимальную освещенность, которая всегда меньше средней, то, введя *коэффициент минимальной освещенности* $z = E_{СР} / E_{МИН}$, получим

$$E_{МИН} = \frac{N\Phi\eta}{S\,z}. \qquad (4.9.1)$$

Нормированная освещенность должна быть обеспечена в течение всего времени эксплуатации осветительной установки, в процессе которой освещенности на рабочих поверхностях уменьшаются вследствие того, что с течением времени световой поток ламп снижается. Это вызвано загрязнением ламп, осветительной арматуры и отражающих поверхностей – стен и потолков. Для поддержания значения освещенности на рабочих поверхностях на уровне нормируемой в течение времени эксплуатации, ее расчетное значение принимают больше нормируемой. Это учитывается *коэффициентом запаса* $K_З$, который всегда больше единицы.

Коэффициент запаса $K_З$ при проектировании естественного, искусственного и совмещенного освещения следует принимать по [47]. При проектировании освещения возможно

использование усредненных значений коэффициента запаса K_3, приведенных в табл. 4.9.1.

Для учета снижения освещенности в процессе эксплуатации надо освещенность, определяемую по выражению (4.9.1) разделить на коэффициент запаса K_3, получив окончательно

$$E = \frac{N\Phi\eta}{S z K_3}. \qquad (4.9.2)$$

Используя формулу (4.9.2) для определения светового потока или числа светильников, получаем

$$\Phi = \frac{E S z K_3}{N\eta} \qquad (4.9.3)$$

и

$$N = \frac{E S z K_3}{\Phi\eta}. \qquad (4.9.4)$$

Таблица 4.9.1

Значения коэффициента запаса

Виды помещений	Коэффициент запаса	
	при газоразрядных лампах	при лампах накаливания
Помещения общественных и жилых зданий: кабинеты и рабочие помещения общественных зданий, жилые комнаты, учебные помещения, лаборатории, залы совещаний и т.д.	1,5	1,3

Число светильников N намечается, как правило, до расчета. По значению Φ выбирается стандартная лампа так, чтобы ее поток отличался от расчетного значения Φ не более чем на –10 % ÷ +20 %. При невозможности выбора источника света с таким приближением корректируется число светильников.

При расчете освещения, выполненного люминесцентными лампами, чаще всего первоначально намечается число рядов n, которое в (4.9.3) соответствует величине N. Тогда под Φ следует понимать поток ламп одного ряда.

Если световой поток ламп в каждом светильнике составляет $\Phi_{НОМ}$, то число светильников в ряду определяется по формуле

$$N = \Phi / \Phi_{НОМ}. \qquad (4.9.5)$$

Суммарная длина N светильников сопоставляется с длиной помещения, при этом возможны следующие случаи:

– суммарная длина светильника превышает длину помещения. В этом случае необходимо применить более мощные лампы (у которых поток на единицу длины больше) или увеличить число рядов, можно компоновать ряды из сдвоенных, строенных светильников и т.д.;

– суммарная длина светильников равна длине помещения: задача решается установкой непрерывного ряда светильников;

– суммарная длина ряда меньше длины помещения: принимается ряд с равномерно распределенными вдоль него разрывами между светильниками. Рекомендуется, чтобы расстояние между светильниками в ряду не превышало 0,5 h.

Входящий в формулы коэффициент z зависит от размеров и формы помещения, коэффициента отражения его поверхностей, характеристик светильника и в наибольшей сте-

пени от значения $\lambda = \frac{L}{h}$ (рис. 4.42). Последнее обстоятельство имеет особо принципиальное значение. С увеличением λ сверх оптимальных значений коэффициент z начинает быстро возрастать, что собственно и обусловливает энергетическую невыгодность больших значений λ.

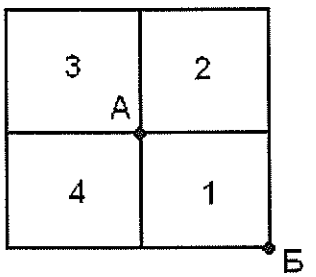


Рис. 4.42. Неравномерность освещения в больших помещениях

В больших помещениях принципиальное значение имеет и увеличение коэффициента z при уменьшении λ по сравнению с оптимальными значениями. Рассмотрим предельный случай, когда размеры помещения неограниченно велики, стены и потолки не отражают свет и $\lambda \to 0$. Тогда все множество светильников может рассматриваться как сплошная светящая поверхность, и, если точка А в центре помещения (рис. 4.42) одинаково освещается всеми четырьмя квадрантами, то угловая точка Б настолько удалена от квадрантов 2–4, что освещается только квадрантом 1, т.е. ее освещенность в 4 раза меньше, чем точки А. Таким образом предельное значение $z = 4$.

В большинстве случаев этот факт не имеет большого практического значения и не учитывается, но иногда может служить основанием для уменьшения размеров полей вблизи стен больших помещений.

В области оптимальных значений коэффициент λ относительно невелик; точное его определение связано с такими трудностями, которые не оправдываются результатом, и обычно довольствуются учетом приближенных значений z, равным 1,15 при освещении светильниками с лампами накаливания и ДРЛ, расположенными по вершинам полей, и 1,1 – при освещении линиями люминесцентных светильников. При расчете средней освещенности коэффициент z, естественно, не учитывается; в установках отраженного света при хорошо отражающих стенах этот коэффициент приближается к единице.

Коэффициент использования η:

– прямо пропорционален коэффициенту полезного действия светильников;

– зависит от формы кривой силы света светильников, возрастая с увеличением степени концентрации светильниками светового потока и убывая с увеличением доли потока, направляемой светильником в верхнюю часть пространства;

– возрастает с увеличением площади помещения, так как при этом увеличивается телесный угол, в пределах которого поток падает непосредственно на расчетную поверхность;

– возрастает с уменьшением расчетной высоты (по той же причине);

– убывает по мере удаления формы помещения от квадрата, так как при этом уменьшается среднее расстояние светильников от стен и увеличивается доля светового потока, падающего на стены;

– возрастает, хотя и незначительно, с увеличением λ, так как при этом увеличивается среднее расстояние светильников от стен;

– возрастает с увеличением коэффициентов отражения потолков, стен и полов помещения.

Зависимость η от площади помещения, высоты и формы возможно учесть одной комплексной характеристикой – индексом помещения

$$i = \frac{S}{h(A+B)}, \tag{4.9.6}$$

где A и B – стороны помещения; S – его площадь; h – расчетная высота.

Зависимость индекса помещения от S и h очевидна; зависимость его от формы помещения становится особенно ясной, если, обозначив $A / B = \alpha$, привести выражение (4.9.6) к виду

$$i = \frac{\sqrt{S}}{h}\frac{\sqrt{\alpha}}{1+\alpha}. \tag{4.9.7}$$

При $\alpha = 1$ индекс равен

$$i = 0{,}5\frac{\sqrt{S}}{h},$$

при $\alpha = 2$

$$i = 0{,}47\frac{\sqrt{S}}{h}.$$

Это дает основание в некоторых упрощенных приемах расчета для не слишком удлиненных помещений определять индекс по формуле

$$i = 0{,}48\frac{\sqrt{S}}{h}. \tag{4.9.8}$$

Для помещений неограниченной длины из выражения (4.9.6) следует, $i = B : h$.

Зависимость η от к.п.д. и формы кривой силы света учитывается тем, что для каждого светильника (или для группы светильников с близкими характеристиками) составляется отдельная таблица коэффициентов использования; при расчете значений η для этой таблицы принимается характерное для данного светильника значение λ, чем учитывается также зависимость от коэффициента отражения потолков. Коэффициенты отражения существующих помещений оцениваются субъективно, проектируемых помещений – предположительно, но во всех случаях точные значения их неизвестны, и в таблицах принимается шкала усредненных значений 80–70–50–30–10 % – для потолков и стен и 30–100 % – для пола (табл. 4.9.2). Эти коэффициенты обозначаются $\rho_П$ – для потолка, $\rho_С$ – для стен и $\rho_Р$ – для пола или расчетной плоскости. В таблицах коэффициентов использования приводятся обычно только наиболее вероятные (вообще или для области применения данного светильника) их сочетания. Точность, с которой могут быть определены значения η, как правило, не оправдывает интерполирования ни между значениями коэффициентов отражения, ни между значениями индекса помещения. При $i > 5$ принимается значение 5. В дальнейшем предполагается расширение шкалы индексов в сторону значений, меньших 0,5.

Значения коэффициентов использования для различных типов светильников приводятся справочной литературе по светотехнике, некоторые из них приведены в табл. 4.9.2.

Таблица 4.9.2

Значения коэффициентов отражения

Характеристика поверхности	Коэффициенты отражения, %
Плоскость из материалов с высокой отражаемостью	80
Плоскость с белой поверхностью	70
Плоскость со светлой поверхностью	50
Плоскость с серой поверхностью	30
Плоскость с темно-серой поверхностью	20
Плоскость с темной поверхностью	10

Расчет по методу коэффициента отражения можно производить следующим образом.

Основные исходные данные:

Помещение:

– длина – a, ширина – b, высота – $h_П$;

– коэффициенты отражения потолка, стен и пола.

Светильники:

– коэффициент использования светильника;

– расчетная высота (расстояние между светильником и рабочей поверхностью).

Лампы:

– тип лампы;

– мощность.

Нормы – требуемая освещенность.

Вспомогательные материалы:

– таблица коэффициентов использования;

– таблица коэффициентов отражения;

– таблица рекомендуемых уровней освещенности;

– таблица начального светового потока люминесцентных ламп.

Порядок расчета:

– определение площади помещения: $S = A \cdot B$.

– определение индекса помещения:

$$i = \frac{S}{h(A+B)}.$$

– определение по справочным данным коэффициента использования η, исходя из значений коэффициентов отражения и индекса помещения.

– определение требуемого количества светильников:

$$N = \frac{E\,S\,K_3}{n\Phi_Л\,\eta},$$

где E – требуемая освещенность горизонтальной плоскости, лк;

S – площадь помещения, м^2;

K_3 – коэффициент запаса;

η – коэффициент использования осветительной установки;

$\Phi_Л$ – световой поток одной лампы, лм;

n – число ламп в одном светильнике.

Расчет освещенности по удельной мощности. Массовый характер расчетов по методу коэффициентов использования вызвал появление целого ряда приемов расчета, упрощающих вычисления по этому методу.

Из упрощенных приемов расчета в проектной практике широко используют *метод удельной мощности,* позволяющий определить мощность всех ламп общего равномерного освещения, требуемого в данном помещении.

Удельной мощность $P_{УД}$ называется отношение суммарной мощности всех $N_{СВ}$ светильников, установленных в данном помещении, к площади S освещаемой поверхности (пола) (Вт/м^2)

$$P_{УД} = N_{СВ} P_Л / S,$$

где $P_Л$ – мощность ламп выбранного типа светильника.

Она зависит от многих факторов, но в общем довольно устойчива для определенных групп помещений, что позволило составить таблицы систематизированных значений $P_{УД}$ (табл. 4.9.3, 4.9.4).

Таблицы удельной мощности составлены с учетом наиболее выгодного расположения светильников и при лампах накаливания для напряжения 220 В. В таблицах учтены значения коэффициента минимальной освещенности (1,15 – при лампах накаливания и 1,1 – при люминесцентных лампах) и коэффициента запаса (1,3 – для ламп накаливания и 1,5 – для газоразрядных ламп). При лампах накаливания напряжением 127 В значение $P_{УД}$ умножается на 0,86, а при коэффициентах запаса, отличающихся от указанных – пересчитывается пропорционально.

Таблица 4.9.3

Значения удельной мощности для светильников с люминесцентными лампами

Расчетная высота подвеса светильника h, м	Площадь S, м^2	Удельная мощность (Вт/м^2) для светильников рассеянного света с люминесцентными лампами типов ($\rho_П = 70$ %; $\rho_С = 50$ %; $\rho_Р = 10$ %; $К_З = 1{,}5$)			
		ЛБ40,65	ЛД40; ЛБ80; ЛХБ40, 65; ЛТ40, 65	ЛХБ80; ЛТБ80; ЛД65; ЛДЦ40	ЛД80; ЛДЦ65, 80;
2–3	10–15	10,1	11,6	13,2	15,5
	15–25	8,5	9,6	10,8	12,9
	25–50	7	8	9,1	10,4
	50–150	5,7	6,7	7,7	8,8
	150–300	5,1	6	6,7	7,8
	> 300	4,5	5,4	6,3	7,2
3–4	10–15	14,4	17,6	19	23
	15–25	11,4	13,4	15	17,6
	25–50	9,9	11,4	12,9	15
	50–150	8,3	9,6	10,8	12,7
	150–300	6,8	7,8	8,9	10,2
	> 300	5,6	6,6	7,6	8,7
	10–15	4,5	5,4	6,3	7,2

Таблица 4.9.4

Значения удельной мощности для светильников с лампами накаливания

Расчетная высота подвеса светильника h, м	Площадь S, м^2	Удельная мощность (Вт/м^2), общего равномерного освещения для светильников с лампами накаливания при напряжении сети 220 В ($\rho_П = 50$ %; $\rho_С = 30$ %; $\rho_Р = 10$ %; $К_З = 1{,}3$)
2–3	10–15	43,0
	15–25	36,0
	25–50	31,0
	50–150	26,5
	150–300	23,5
	> 300	22,0
3–4	10–15	48,0
	15–25	41,0
	25–50	36,0
	50–150	31,0
	150–300	25,5
	> 300	22,0
	10–15	19,5

Примечания.
1. $\rho_П$, $\rho_С$, $\rho_Р$ – коэффициенты отражения потолка, стен, рабочей поверхности.
2. При $К_З = 1{,}5$ коэффициент пересчета 1,15.
3. При $\rho_Р = 30$ % коэффициент пересчета 0,93.

Для определения удельной мощности по принятой освещенности следует значение, найденное по справочным данным, увеличить или уменьшить во столько раз, во сколько нормируемая освещенность для данного помещения больше или меньше 100 лк.

Обычно при расчете освещения по удельной мощности задаются всеми параметрами установки и числом светильников N. По исходным данным – тип светильников, заданная освещенность E, высота подвеса h и освещаемая площадь S – находят значение $Р_{уд}$, которое умножают на площадь помещения и получают общую мощность ламп.

Мощность лампы $P_Л$ определяется делением общей мощности ламп на их число N

$$P_Л = P_{УД}\, S / N$$

и принимается ближайшая стандартная лампа, при необходимости корректируется число светильников. При расчете люминесцентного освещения после определения общей мощности намечают число рядов светильников и определяют число светильников в ряду.

Для помещений очень удлиненной формы ($A > 2{,}5\ B$) находят условную площадь $2B^2$ и по ней определяют значение $P_{УД}$, которое и распространяется на всю площадь $A \cdot B$.

Расчет по методу удельной мощности можно производить и следующим образом. Для освещаемого помещения выбирают тип светильника и расчетную высоту его подвеса. По справочным таблицам (табл. 4.9.3, 4.9.4) определяют значения удельной мощности $P_{УД}$, зависящие от типа светильников, требуемой освещенности, характера отражающей поверхности (потолков, стен), площади помещения и высоты подвеса.

После определения мощности осветительной установки

$$P_{УСТ} = S \cdot P_{УД}$$

определяют число светильников:

$$N_{СВ} = \frac{P_{УСТ}}{N \cdot P_Л}. \qquad (4.9.9)$$

Однако второй порядок расчета (задаваться значением $P_Л$ и находить N) менее желателен.

Результаты расчетов оформляют, как правило, в виде таблицы (табл. 4.9.5).

Таблица 4.9.5

Результаты расчета освещения

№	Назначение помещений	Площадь S, м^2	Требуемая освещенность, лк	Тип ламп	$P_{УД}$, Вт/м^2 (100 лк)	Требуемая суммарная мощность, $P_{УСТ} = S \cdot P_{УД}$	Кол-во ламп в светильнике	Ном. мощность 1 лампы, Вт	Кол-во светильников
1	Аккумуляторная-зарядная	8,0	150	ЛН	48	576,0	1	200	3
2	Аккумуляторная-дистиляторная	9,7	200	ЛН	48	929,3	1	200	5
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
13	Участок электрика	24,9	300	ЛЛ	9,9	739,5	2	40	10

Расчет освещенности по условной мощности. Широко распространенным в практике способ расчета освещения по удельной мощности имеет, однако, определенные недостатки. Установление неизменных значений для определенных интервалов высоты h, и особенно, площади S понижает точность расчета. Тот факт, что для каждого сочетания условий задания учтена лампа определенной мощности, а значит, и световой отдачи, делает значения $P_{УД}$ относительно точными лишь для случаев, когда значение λ соответствует принятому при составлении таблиц. В связи с этим рассмотрим одно из возможных усовершенствований этого способа.

Будем называть условной удельной мощностью $P'_{УД}$ значения удельной мощности, рассчитанные для освещенности, 100 лк и световой отдачи 10 лм/Вт. Произведение этой величины на площадь назовем полной условной мощностью $P_{УСЛ}$. Ее можно найти элементарным преобразованием известного выражения:

$$P_{УСТ} = \frac{E \cdot k_з\, z\, S}{c\eta} = \frac{10\, k_з\, z\, S}{\eta}. \qquad (4.9.10)$$

Задаемся несколькими характерными значениями h и опорной шкалой индексов (0,5–0,7–1,1–1,5–2,0–3,0–4,0).

$$S = 4{,}35 \cdot i^2 \cdot h^2. \qquad (4.9.11)$$

Для каждого индекса находим площадь S по формуле (4.9.11), а значение η берем из табл. 4.9.6, после чего по выражению (4.9.10) вычислим значение $P_{УСЛ}$ и перенесем их на график $П = f(S)$ (рис. 4.43).

Таблица 4.9.6

Значения коэффициентов использования осветительной установки

Значение коэффициентов отражения $p_П$, $p_С$, $p_Р$ при использовании светильников типа	Значение коэффициента использования η, %, при значении индекса помещения i, равном																
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0
«Астра» 70; 50; 10	22	32	39	44	47	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
50; 30; 10	20	26	34	38	41	43	45	47	50	53	55	57	59	62	64	66	69
0; 0; 0	16	21	29	33	36	37	39	41	44	46	49	51	53	56	59	60	62
УПД ДРЛ 70; 50; 10	30	36	40	43	45	47	50	53	56	58	60	62	63	66	67	69	70
50; 30; 10	23	30	33	37	40	41	43	47	50	53	56	57	59	60	61	63	66
0; 0; 0	18	26	29	33	35	38	40	42	45	48	51	52	53	56	57	58	60
ЛДОР 70; 50; 10	25	29	33	36	40	43	45	47	51	54	56	58	60	62	63	64	67
50; 30; 10	19	22	26	30	33	36	38	40	44	47	49	51	53	55	56	58	60
0; 0; 0	12	16	20	22	25	28	30	32	35	38	40	42	43	45	46	48	50
Примечание: $p_П$, $p_С$, $p_Р$ – коэффициенты отражения соответственно: потолка, стен и пола или расчетной плоскости																	

Полная мощность, т.е. произведение мощности каждого светильника P на число светильников N, должна равняться значению $П$, повторно рассчитанному с учетом освещенности и световой отдачи:

$$PN = П \frac{10}{C} \cdot \frac{E}{100}$$

или, произведя сокращение и учитывая, что $PC = Ф$,

$$ФN = \frac{П E}{10}.$$

Обозначив коэффициент

$$K = \frac{10Ф}{E},$$

получим окончательно

$$KN = П. \qquad (4.9.12)$$

Значения K определяются лишь световым потоком лампы накаливания и нормой освещенности и фрагментарно представлены в табл. 4.9.7.

Теперь, найдя по графику рис. 4.43 значение $П$ и задавшись характеристиками определенной лампы, т.е. зная K, мы по формуле (4.9.12) находим K, если же задано N, то по этой же формуле находим K, а по табл. 4.9.7 подбираем лампу с необходимыми параметрами.

Так, если задано $S = 1200$ м^2, $h = 6$ м, $E = 75$ лк и $N = 20$, то с помощью рис. 4.43 находим $П = 23000$ Вт, вычисляем $K = 23000 : 20 = 1150$ и по табл. 4.9.7 выбираем ближайшую лампу 500 Вт.

При этом способе, пригодном для любых источников света, устранены основные недостатки расчета освещения по удельной мощности.

При использовании ламп накаливания, а также ламп ДРЛ и ДРИ мощность P и число светильников N имеют ограниченное число возможных значений.

В отношении значения P это определяется стандартом на лампы, что касается N, то ясно, например, что на каждой ферме может быть установлено 1, 2 или 3 светильника, но

не дробное число их. Равным образом в помещениях с гладкими потолками можно равномерно разместить не любое число светильников, и, например, при форме помещении, близкой к квадрату, не размещаются 3, 7 или 11 светильников. Вследствие этого результат расчета освещения по удельной мощности приходится округлять до возможных значений P или N при высокой вероятности того, что принятое решение будет ближайшим возможным к точному. При использовании люминесцентных ламп, хотя N и остается дискретным, но значение его может меняться в каждом ряду с шагом, равным 1, что делает желательным его более точное определение.

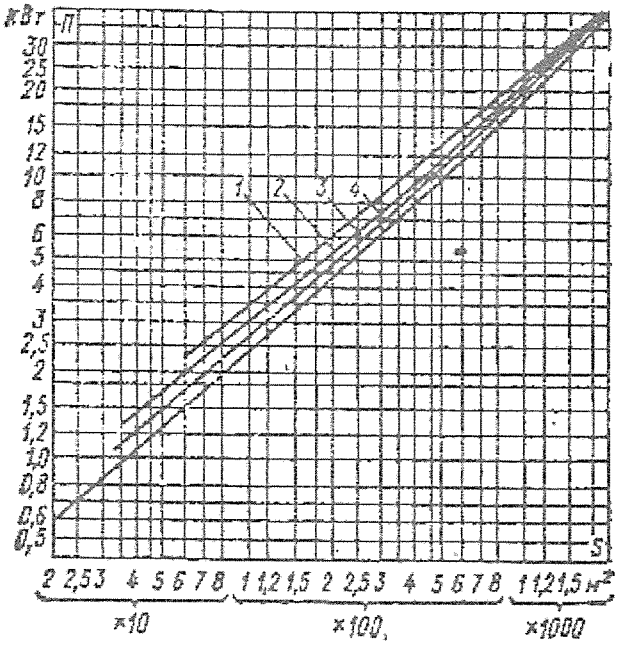


Рис. 4.43. Зависимость полной условной мощности светильника $P_{УСЛ}(П)$ от площади помещения (S) при $p_П = 30$ %, $p_С = 10$ %, $k = 1{,}3$, $z = 1{,}15$,
1 – расчетная высота $h = 12$ м; 2 – $h = 8$ м; 3 – $h = 6$ м; 4 – $h = 4$ м

Для упрощенного расчета люминесцентного освещения признаны наиболее целесообразными графики, впервые предложенные А.М. Гуровым и Ю.В. Прохоровым (рис. 4.44).

Таблица 4.9.7

Зависимость коэффициента K от мощности ламп P и освещенности E

Освещенность E, лк	Значение коэффициента K при условной мощности P, Вт, равной					
	150	200	300	500	750	1000
30	666	933	530	2770	4370	6200
50	400	560	920	1660	2620	3720
75	266	373	613	1106	1750	2480
100	200	280	460	830	1310	1860
150	133	186	306	553	875	1240

Начальная часть расчетов для построения графиков выполняется так же, как при составлении таблиц удельной мощности для ламп ДРЛ, после чего число светильников непосредственно определяется по формуле (4.9.4). Принимая $E = 100$ лк, $k = 1{,}5$, $z = 1{,}1$ и ведя расчет для наиболее употребительных ламп ЛБ-40, когда поток ламп в двухламповом светильнике равен 6000 лм, получаем

$$N = \frac{100 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}1 \cdot S}{6000 \cdot \eta} = 0{,}0275 \frac{S}{\eta}.$$

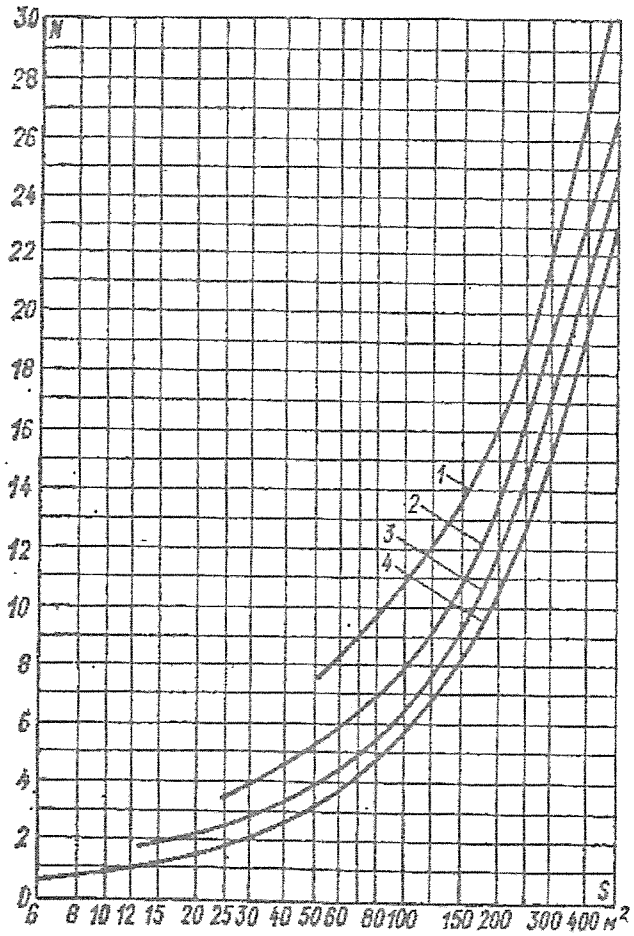


Рис. 4.44. График для определения числа светильников ЛПО с лампами ЛБ 2х40 при $p_П$ = 50 %, $p_С$ = 30 %: 1 – расчетная высота h = 6 : 8 м; 2 – h = 4 : 6 м; 3 – h = 3 : 4; 4 – h = 2 : 3 м

Рассчитанное значение N переносим на график для построения кривой в функции площади S.

Пересчет N на любое значение освещенности легко выполняется в уме, но, имея в виду возможность использования графиков для любых ламп, нетрудно составить таблицу, в которой будут содержаться коэффициенты для пересчета N на любой тип лампы и любую освещенность.

Точечный метод

Основным инструментарием точечного метода являются графики или таблицы, позволяющие непосредственно или после несложных вычислений определить освещенность любой точки поверхности, создаваемую светильником с известными параметрами: светораспределением, световым потоком ламп и геометрическими характеристиками, определяющими расположение светильника.

Из многих предлагавшихся приемов решения этой задачи для точечных излучателей (каковыми почти всегда можно считать светильники с лампами накаливания, также лампами ДРЛ, ДРИ и ДНаТ – их геометрические размеры намного меньше расстояния до освещаемой поверхности) широкое применение получили три вида графиков: кривые относительной освещенности, пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности, условные изолюксы.

Кривые относительной освещенности позволяют вести расчет с высокой степенью точности, но расчеты более трудоемки. Расчеты с использованием пространственных изолюкс менее точны, что окупается простотой пользования. Условные изолюксы, предназначенные для определения относительной освещенности от светильников с некруглосимметричным светораспределением, когда описанные выше графики неприменимы.

Все указанные графики составляются для светильников с условным потоком лампы (или нескольких ламп суммарно) 1000 лм и предназначаются для определения освещенности горизонтальной поверхности.

Создаваемая от каждого светильника освещенность называется условной и обозначается *e*. Освещенность *e* зависит от светораспределения светильников и геометрических размеров *d* и *h* (*h* – расчетная высота; *d* – расстояние от проекции светильника на расчетную поверхность до контрольной точки). В качестве расчетных точек (точки, для которых ведется расчет или в которых проверяется освещенность) следует принимать такие, где освещенность минимальная, и в то же время в области расположения этих точек выполняются зрительные работы согласно принятому классу точности.

Для определения величины *e* служат пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности (см. рис. 4.45), на которых находится точка с заданными величинами *d* и *h* (*d*, как правило, определяется обмером по масштабному плану), *e* определяется путем интерполяции ближайших изолюкс.

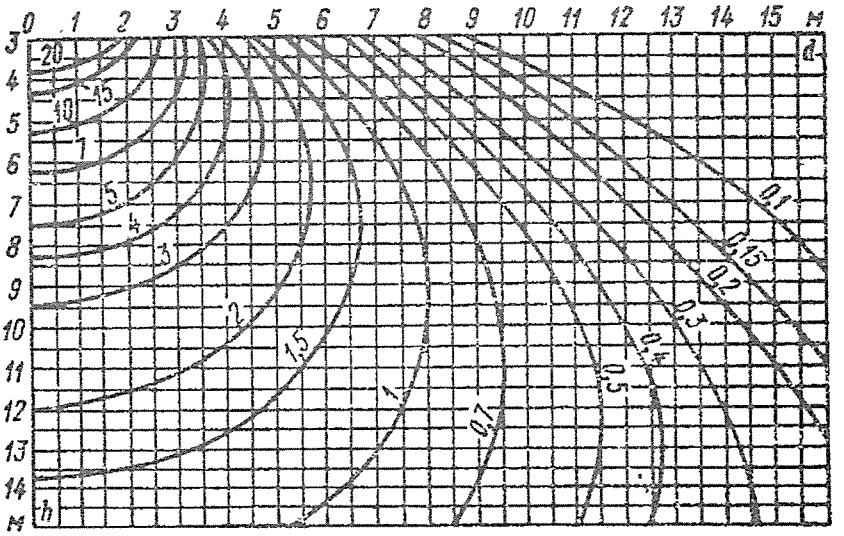


Рис. 4.45. Пространственные изолюксы условной горизонтальной освещенности для светильника УПД ДРЛ

Суммарное действие «ближайших» светильников создает в контрольной точке условную освещенность $\sum e$. Действие более удаленных светильников и отраженная составляющая освещенности учитываются коэффициентом дополнительной освещенности μ. Точное определение коэффициента дополнительной освещенности чрезвычайно сложно, да в этом и нет особой необходимости.

Чаще всего значение принимается в пределах 1,0–1,2 [48]. Тогда для получения в этой точке освещенности E_H с учетом коэффициента запаса $K_З$ лампы в каждом светильнике должны иметь световой поток, лм,

$$\Phi = \frac{1000\, E_H\, K_З}{\mu \sum e}. \qquad (4.9.13)$$

По этому потоку подбирается лампа, поток которой должен отличаться от расчетного на –10 % – +20 %.

При невозможности выбора лампы с таким допуском корректируется расположение светильников.

Формула (4.9.13) может использоваться также и для определения $\sum e$ при известном Φ (если производится проверка решения задачи точечным методом).

В качестве контрольных выбираются те точки освещаемой плоскости, в которых $\sum e$ имеет наименьшее значение.

Краткие характеристики источников света. Промышленность выпускает широкий ассортимент источников света, предназначенных для использования в различных осветительных установках.

Лампы *накаливания* общего назначения являются наиболее массовым источником света, применяемым для общего, местного и наружного освещения в быту и в промышленности в сетях переменного тока напряжением 127 и 220 В частотой 50 Гц.

Лампы выпускаются вакуумные, с аргоновым и криптоновым наполнением. Криптоновые лампы имеют меньшие габариты и световой поток примерно на 10 % выше, чем у ламп с аргоновым наполнением. Средняя продолжительность горения всех типов ламп при расчетном напряжении 1000 ч.

Лампы накаливания местного освещения, разработанные на безопасное напряжение до 36 В, предназначены для освещения рабочих мест.

Лампы накаливания кварцевые галогенные являются высокоинтенсивными источниками света. Различные формы конструктивного исполнения, стабильность светового потока на протяжении всего срока службы, малые габариты и масса, нечувствительность к резким перепадам температур – основное преимущество галогенных ламп по сравнению с другими источниками света.

Лампы применяются для освещения в светильниках наружного и внутреннего освещения объектов производственного назначения: железнодорожных и других транспортных площадок, открытых карьеров, спортивных и крупных промышленных комплексов.

Лампы накаливания кварцевые галогенные находят широкое применение в технологических целях, как термоизлучатели для сушки, полимеризации, стимулировании химических и биологических процессов и т.д.

Лампы КГБ, КГВМТ применяют для целей общего освещения. Они значительно превосходят по важнейшим световым характеристикам свои аналоги (лампы накаливания общего назначения).

Лампы накаливания используются в основном в светильниках местного освещения, в осветительных установках аварийного освещения и некоторых других случаях.

Лампы *люминесцентные* ртутные низкого давления представляют собой стеклянную цилиндрическую трубку-колбу, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором. По обоим ее концам впаиваются ножки с катодами.

Основным источником оптического излучения в этой группе ламп является слой люминесцирующего вещества (люминофора), возбуждаемого ультрафиолетовым излучением электрического разряда в парах ртути. Лампы имеют в 4–6 раз большую световую отдачу, чем лампы накаливания.

Люминесцентные лампы делятся на две группы: общего и специального назначения. Они работают в электрических сетях переменного тока напряжением 127–220 В, с частотой 50 Гц и включаются в сеть вместе с пускорегулирующей аппаратурой, обеспечивающей зажигание лампы, нормальный режим и устранение радиопомех.

Компактные люминесцентные лампы мощностью 7 Вт, 9 Вт, 11 Вт различной цветности предназначены для эксплуатации в осветительных приборах административных помещений и специальных осветительных установках.

Лампы КЛЭ 10/ТБЦ, КЛЭ 13/ТБЦ предназначены для прямой замены ламп накаливания мощностью 60 Вт, 75 Вт во внутреннем освещении общественных и административных помещений.

Люминесцентные лампы имеют более высокую (в 4–6 раз) световую отдачу и срок службы по сравнению с лампами накаливания. Это обстоятельство является одной из причин их предпочтительного использования для промышленного освещения. Однако все раз-

новидности люминесцентных ламп имеют в своем спектре преобладание излучений в сине-фиолетовой и желтой частях и недостаток излучений в красной и сине-зеленой частях спектра, что заметно искажает цветопередачу. Если необходимо особо точное восприятие цветов, то используют лампы с исправленной цветностью типа ЛДЦ, которые обеспечивают удовлетворительную цветопередачу по всему спектру, за исключением оранжево-красной части.

Общим недостатком всех газоразрядных ламп является наличие стробоскопического эффекта, обусловленного пульсацией светового потока вследствие малой инерционности ламп. Это приводит к искаженному восприятию движущихся объектов и утомлению работающих. Мерами снижения пульсации светового потока могут являться: включение ламп на разные фазы трехфазной электрической сети или применение для однофазной сети двухламповых схем включения люминесцентных ламп, что позволяет снизить пульсацию светового потока до 10 % и более.

На основании характеристик люминесцентных ламп можно сделать вывод о том, что их целесообразно применять:

– для общего освещения помещений, в которых производятся работы I – V и VII разрядов;

– для общего освещения помещений, когда естественное освещение недостаточно или вовсе отсутствует;

– для освещения помещений, в которых выполняются работы, требующие правильной цветопередачи.

Желательно применять люминесцентные лампы и для местного освещения.

При выборе люминесцентных ламп следует учитывать, что наиболее экономичными являются лампы типа ЛБ, поэтому их следует применять во всех помещениях, где нет повышенных требований к правильной цветопередаче. Если же такие требования есть, то рекомендуется применять лампы ЛДЦ-4 или ЛХБЦ (ЛЕ). Порядок расположения ламп в соответствии с изменением их цветовой передачи от лучшей к худшей следующий: ЛХБЦ (ЛЕ), ЛДЦ-4, ЛХБ, ЛБ, ЛД, ЛТБ.

Наряду с распространенными лампами накаливания и люминесцентными лампами в настоящее время применяют ртутно-кварцевые лампы с исправленной цветностью типа ДРЛ, металлогалогенные типа ДРИ, ксеноновые и натриевые лампы.

Лампы типа ДР применяют в следующих случаях:

– для общего освещения производственных помещений высотой более 8 м, в которых не требуется правильной цветопередачи;

– для освещения территорий промышленных предприятий (исключая дежурное освещение).

В приложении Е СНиП 23-05–95 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования» даны рекомендации по применению источников света для освещения помещений производственных, жилых и общественных зданий.

Ниже приведена структура условных обозначений типов осветительных приборов (ГОСТ 17677–82), а также содержание кратких обозначений характеристик светильников по классам светораспределения табл. 4.9.8 и по типу кривой силы света табл. 4.9.9.

Обозначения типов светильников приняты буквенно-цифровые:

Первая буква обозначает тип лампы:

Н – лампа накаливания;

С – лампа-светильник (зеркальные и диффузные);

И – кварцевая галогенная (накаливания);

Л – прямая (линейная) люминесцентная лампа;

Р – ртутная лампа типа ДРЛ;

Г – металлогалогенная лампа типа ДРИ;

Ж – натриевая лампа высокого давления типа ДНаТ.

Вторая буква обозначает способ установки осветительного прибора:
В – встраиваемый;
С – подвесной;
П – потолочный;
К – консольный;
Т – напольный, венчающий;
Г – головной.
Третья буква обозначает основное назначение осветительного прибора:
П – для промышленных и производственных зданий;
О – для офисных помещений;
У – для наружного освещения;
Р – для рудников и шахт.
Первая группа цифр – номер серии; вторая группа цифр – число и мощность (Вт) источника света; третья группа цифр – номер модификации.

Примеры условных обозначений типов осветительных приборов:
ЛВП06-6х36-004 – светильник люминесцентный встраиваемый, для производственных зданий, серии 06 с шестью лампами мощностью 36 Вт, модификация 004.
ЖСП01-400-005 – светильник с лампой типа ДНаТ подвесной, для производственных зданий, серии 01, с одной лампой мощностью 400 Вт, модификация 005.
ССП04-250-001.УХЛ3 – лампа-светильник, подвесная для производственных зданий, серии 04, мощностью 250 Вт, модификация 001, климатическое исполнение УХЛ, категория размещения 3.
РСП08-250/Г20-01 – светильник с лампой типа ДРЛ, подвесной, для производственных зданий, серии 08, с одной лампой мощностью 250 Вт, тип кривой силы света – глубокий; степень защиты – IP20, модификация 01.
В обозначении типов ламп накаливания буквы и цифры обозначают:
В – вакуумная,
Б – биспиральная с аргоновым наполнением,
Г – газополная с аргоновым наполнением,
БК – биспиральная с криптоновым наполнением.
Первая и вторая группа цифр – диапазон напряжений в вольтах; третья группа цифр – номинальная мощность в ваттах; четвертая цифра – отличительная особенность от базовой модели.

Например: Г 220-230-1000-2 электрическая лампа накаливания газополная моноспиральная аргоновая на напряжение 220–230 В (диапазон напряжения, в котором рекомендуется эксплуатировать лампу) и номинальную мощность 1000 Вт.

Таблица 4.9.8

Содержание кратких обозначений светильников по классу светораспределения

Класс по светораспределению		Доля светового потока, направляемого в нижнюю полусферу, от всего светового потока светильника, %
Обозначение	Наименование	
П	Прямого света	От 80
Н	Преимущественно прямого света	От 60 до 80 включительно
Р	Рассеянного света	От 40 до 60 включительно

Таблица 4.9.9

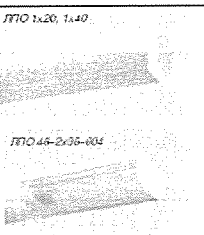
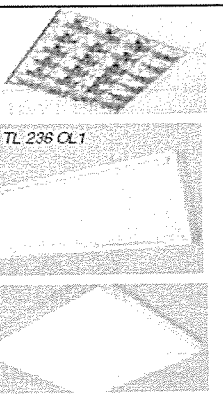
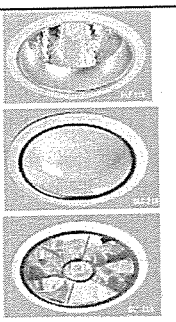
Содержание кратких обозначений светильников по типу кривой силы света

Тип кривой силы света		Зона направлений максимальной силы света, град	Коэффициент формы кривой силы света, $K_Ф$
Обозначение	Наименование		
К	Концентрированная	0–15	$K_Ф \geq 3$
Г	Глубокая	0–30; 180–150	$2 \leq K_Ф < 3$
Д	Косинусная	0–35; 180–145	$1{,}3 \leq K_Ф < 2$
Л	Полуширокая	35–55; 145–125	$1{,}3 \leq K_Ф$
Р	Равномерная	0–180	$K_Ф \geq 1{,}3$, при этом $J_{min} > 0{,}4\ J_{max}$
Примечание: J_0 – значение силы света в направлении оптической оси светильника (0); J_{min}, J_{max}. – минимальное и максимальное значения силы света.			

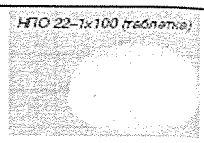
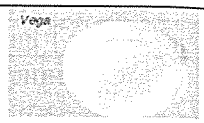
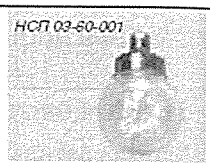
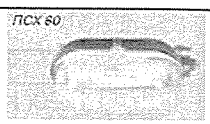
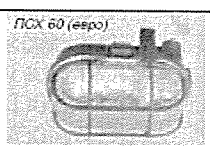
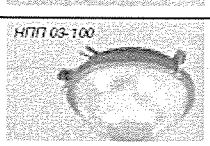
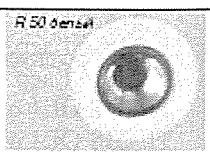
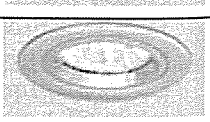
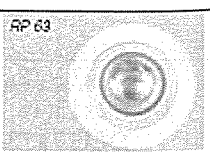
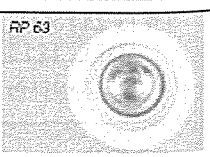
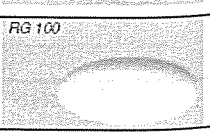
В табл. 4.9.10 приведены справочные данные по светильникам.

Таблица 4.9.10

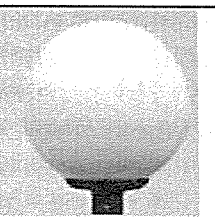
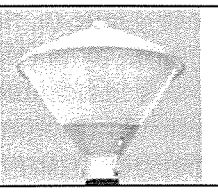
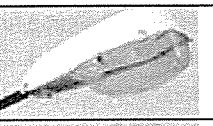
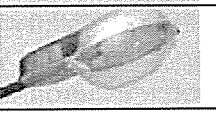
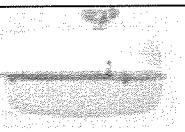
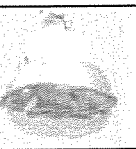
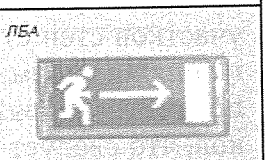
Справочные данные по светильникам

Марка светильника	Назначение	Размеры	Степень защиты	Внешний вид
Светильники с люминесцентными лампами				
ЛПО 1х20(18) ЛПО 2х20(18) ЛПО 1х40(36) ЛПО 2х40(36) ЛПО 4х20(18) ЛПО 4х40(36)	Потолочный светильник для офисных помещений	660х60х90 660х170х90 1270х60х90 1270х170х90 660х390х90 1270х390х90	IP20	
Techno-lux TL 418 A1 зер. реш TL 218 A1 зер. реш TL 236 A1 зер. реш TL 418 OL1 опал TL 218 OL1 опал TL 236 OL1 опал TL 418 GL1 призма TL 218 GL1 призма TL 236 GL1 призма	Потолочные и встраиваемые в подвесной потолок светильники	Для потолочных 620х620х85 620х310х85 1230х310х85 Для встраиваемых 300х595х75 595х595х75 595х1195х75	IP20	
DLS 1х13(18, 26) DLS 2х13(18, 26) DLG 1х13 DLG 2х13(18, 26) DLC 1х13 DLC 2х13(18, 26)	Встраиваемые светильники направленного света с компактными люминесцентными лампами. DLS – открытый, DLG – с матовым стеклом, DLC – с растром	190х135 (13 Вт) 218х160 (18 Вт) 236х170 (26 Вт)	IP20 IP20 IP44 IP44 IP20 IP20	
CD 2х18	Светильник с компактной люминесцентной лампой, накладной (потолочный, настенный)	390х144	IP 65	

Продолжение табл. 4.9.10

Марка светильника	Назначение	Размеры	Степень защиты	Внешний вид
Светильники с лампами накаливания				
НПО 22-1х100 (таблетка) НПО 22-2х60	Потолочные и настенные светильники	260х110	IP20	
Vega 1х100	Потолочные и настенные светильники	210х95	IP44	
НББ 60	Настенный светильник	–	IP20	
НСП 03-60-001 НСП 02-100-001 НСП 02-200 НСП 5-500	Подвесной светильник	–	IP54 IP52 IP52 IP20	
ПСХ 60	Потолочные и настенные светильники	–	IP54	
ПСХ 60 (евро)	Потолочные и настенные светильники	–	IP54	
НПП 03-100	Потолочные и настенные светильники	–	IP65	
R50 1х40	Светильник встраиваемый, неповоротный	60х90	IP20	
R63 1х60 R80 1х100	Светильник встраиваемый, неповоротный	95х110	IP20	
RP50 1х40 RP63 1х60 RP80 1х100	Светильник встраиваемый, поворотный – 15°	105х90 125х100 40х90	IP20	
RP63 45W 1х60 RP80 45W 1х100	Светильник встраиваемый, поворотный – 45°	125х75 140х90	IP20	
RG 1х100	Светильник встраиваемый с матовым плафоном	152х178	IP54	

Продолжение табл. 4.9.10

Марка светильника	Назначение	Размеры	Степень защиты	Внешний вид
Светильники наружные, торшерного исполнения				
РТУ/ЖТУ 06	Светильники с лампой ДНаТ или ДРЛ на 100–125 Вт	–	IP33	
РТУ-01-125-001 ЖТУ-01-70-001	С лампой ДРЛ 125 с лампой ДНаТ 70	–	IP53	
Светильники наружные, консольного исполнения				
РКУ	С лампой ДРЛ на 125–400 Вт	–	IP53 – IP65	
ЖКУ	С лампой ДНаТ на 100–400 Вт	–	IP53 – IP65	
Светильники наружные, подвесного исполнения				
РСУ	С лампой ДРЛ на 125–400 Вт	–	IP53 – IP54	
ЖСУ	С лампой ДНаТ на 100–400 Вт		IP53 – IP54	
Светильники аварийного освещения				
Светильники Legrand U21 G5	С лампой 1х6 непост-но 2х6 постоянно, комбинированно 1х8 непостоянно 2х8 постоянно, комбинированно	– –	IP42 IP42	
Светильники ЛБА 01-2х8-001	2х8 постоянно, комбинированно		IP42	

Примечание. В светильниках непостоянного действия лампы включаются только при отключении электропитания. В светильниках постоянного действия лампы включены постоянно. В светильниках комбинированного действия одна лампа горит постоянно, вторая подключается при нарушении электропитания.

Выбор и расположение светильников. Выбор светильников определяется характером окружающей среды, требованиями к светораспределению и ограничению слепящего действия, а также соображениями экономики.

Светораспределение светильника является его основной характеристикой, определяющей светотехническую эффективность применения светильника в заданных условиях.

В основу действующей классификации светораспределения симметричных светильников положены два признака: отношение потока, излучаемого светильником в нижнюю полусферу, к полному потоку светильника и коэффициент формы кривой силы света светильника к условному среднеарифметическому значению силы света для рассматриваемой меридиональной плоскости.

По первому признаку (отношение светового потока, излучаемого светильником в нижнюю полусферу $\Phi_{НП}$, к полному световому потоку светильника $\Phi_{СВ}$ – коэффициент $К_{\Phi}$) все светильники подразделяют на пять классов.

Кривые силы света светильников каждого класса по своей форме подразделяются, в свою очередь, на типы: концентрированная (К), глубокая (Г), косинусная (Д), полуширокая (Л), широкая (Ш) и синусная (С). Типовые кривые силы света приведены на рис. 4.46.

Для освещения помещений, стены и потолок которых имеют невысокие отражающие свойства (например, производственные помещения с большим процентом остекления стен и ферменными перекрытиями), целесообразно применять светильники прямого света.

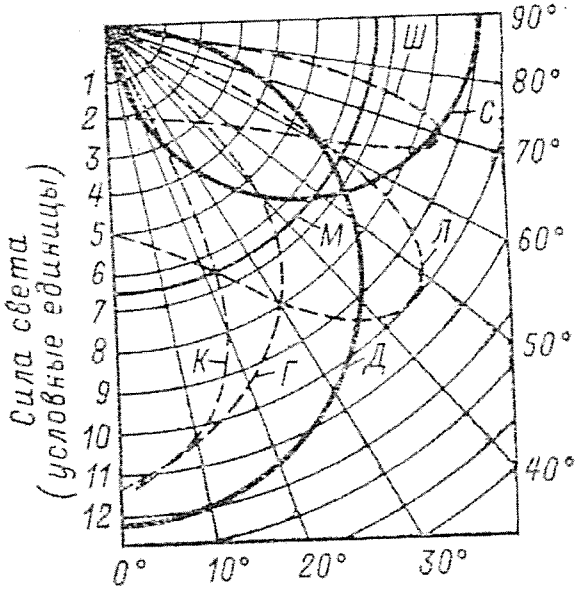


Рис. 4.46. Типовые кривые силы света

В этих условиях светильники прямого света, направляя световой поток источников света вниз на рабочие поверхности, гарантируют минимальные потери и наилучшее использование светового потока. Однако применение светильников прямого света, особенно с концентрированной или глубокой кривой силы света, вызывает заметную неравномерность распределения яркости в поле зрения, так как при этом яркость потолка и верхних участков стен становится малой по сравнению с яркостью рабочих поверхностей. В помещениях с такими светильниками возникают также резкие падающие тени от посторонних предметов в связи с незначительной ролью отраженных от стен и потолка световых потоков, что следует учитывать при размещении светильников.

При освещении производственных помещений, стены и потолки которых обладают высокими отражающими свойствами, целесообразно применение светильников преимущественно прямого света, направляющих 20–40 % светового потока на потолок помещения.

В помещениях, где отношение высоты к площади велико, целесообразно применять светильники концентрированного или глубокого светораспределения, направляющие основную часть светового потока непосредственно на рабочие поверхности, что повышает эффективность их использования. В помещениях с большой площадью и небольшой высотой, наоборот, целесообразно применять светильники более широкого светораспределения, что позволяет даже при значительных расстояниях между светильниками обеспечить рав-

номерное распределение освещенности по рабочей плоскости.

Блескость светильника, зависящая от силы света и яркости в направлении к глазу наблюдателя, является характеристикой, существенно влияющей на качество освещения. Ограничение слепящего действия по коэффициенту ослепленности положено в основу правил искусственного освещения промышленных предприятий, а выбор светильника по характеристикам блескости должен предусматривать предварительный расчет показателя ослепленности. Для определения суммарного показателя ослепленности можно пользоваться характеристиками основных видов светильников, применяемых для освещения промышленных предприятий, представленными в [48].

Основным вопросом устройства осветительных установок является правильное расположение выбранных светильников. От его решения зависят экономичность, качество освещения и удобство эксплуатации.

Размещение светильников в плане и в разрезе помещения (рис. 4.47) определяется следующими размерами: H – высотой помещения; h_C – расстоянием светильника от перекрытия; $h_П = H - h_C$ – высотой светильника над полом, h_P – высотой расчетной поверхности над полом; $h = h_П - h_P$ – расчетной высотой; L – расстоянием между соседними светильниками или рядами ламп (если по длине и ширине расстояния различны, то они обозначаются соответственно L_A и L_B), l – расстоянием от крайних светильников или рядов светильников до стены.

Основное требование при выборе расположения светильников заключается в доступности их при обслуживании. Кроме того, размещение светильников определяется условием экономичности. Важное значение имеет отношение расстояния между светильниками или рядами светильников к расчетной высоте $\lambda = L / h$, уменьшение его приводит к удорожанию осветительной установки и усложнению ее обслуживания, а чрезмерное увеличение приводит к резкой неравномерности освещения и к возрастанию расходов энергии.

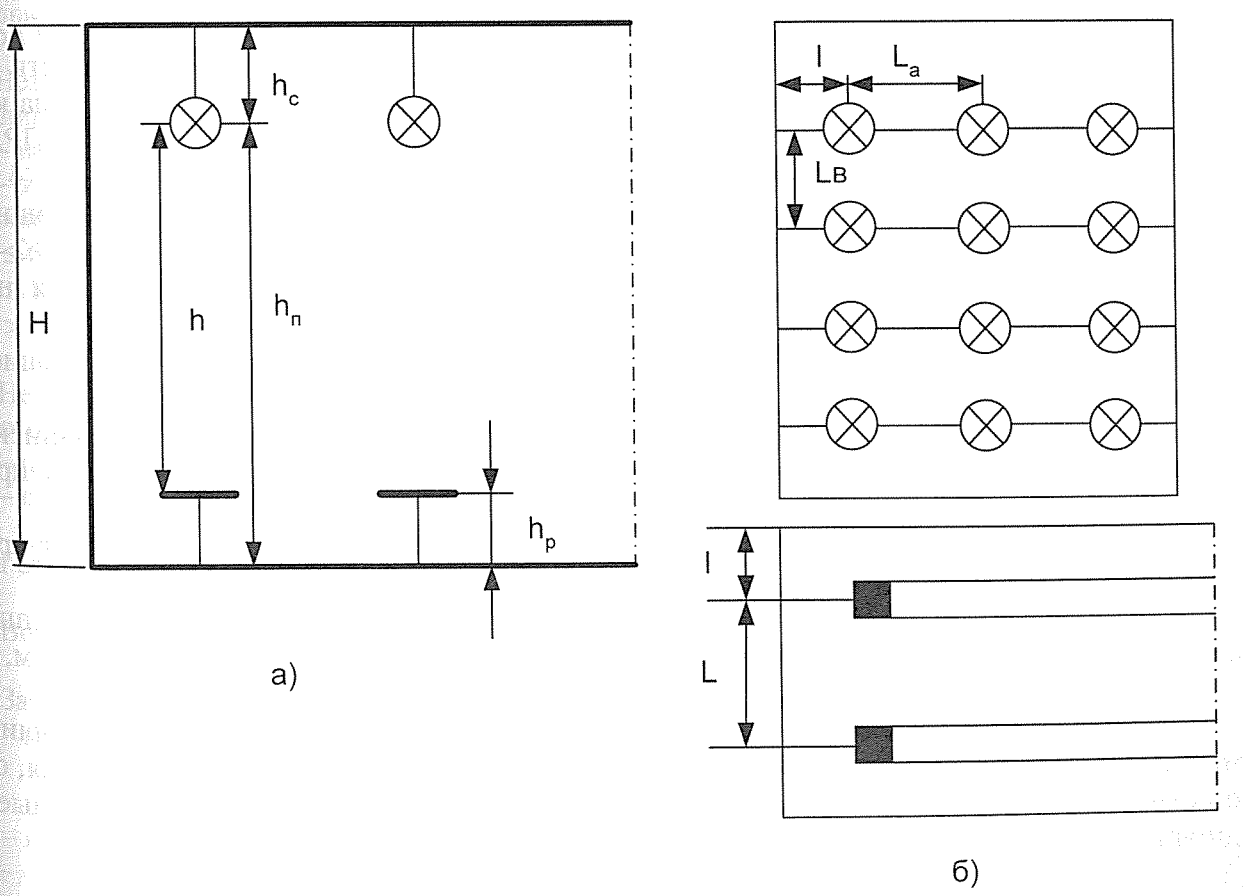


Рис. 4.47. Схема размещения светильников: а – в разрезе, б – в плане

Рекомендации по выбору отношения λ приведены в табл. 4.9.11. Значение λ, принимается по указанной таблице в зависимости от типа источника света и характера светораспределения светильника.

Таблица 4.9.11

Рекомендуемые значения λ для светильников с типовыми кривыми

Типовая кривая	λ_C	$\lambda_Э$
Концентрированная	0,6	0,6
Глубокая	0,9	1
Косинусная	1,4	1,6
Полуширокая	2	2,6
Равномерная	1,6	1,8
Примечание. Значениями λ_C следует пользоваться в случаях, когда увеличение λ не приводит к применению ламп с увеличенной световой отдачей (в частности, при люминесцентных лампах), значения $\lambda_Э$ – в остальных случаях.		

При расположении рабочих мест рядом со стенами здания светильники следует устанавливать на расстоянии l от стены, которое принимается равным (0,3–0,5) L.

Светильники с люминесцентными лампами рекомендуется устанавливать рядами, преимущественно параллельно длинной стороне помещения или стене с окнами (в этом случае L – расстояние между рядами).

4.10. Расчеты электрических осветительных сетей

Расчет электрических нагрузок осветительной сети. Расчетная нагрузка $P_{Р.О}$ питающей осветительной сети определяется умножением установленной мощности $P_{УСТ}$ ламп на коэффициент спроса K_C, а для газоразрядных ламп – еще и умножением на коэффициент $K_{ПРА}$, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА):

$$P_{Р.О} = K_C \cdot K_{ПРА} \cdot P_{УСТ}, \qquad (4.10.1)$$

где K_C – коэффициент спроса, принимаемый в зависимости от установленной мощности светильников в соответствии с [9]; $K_{ПРА} = 1{,}1$ – для ламп типов ДРЛ и ДРИ; $K_{ПРА} = 1{,}2$ – для люминесцентных ламп со стартерными схемами включения; $K_{ПРА} = 1{,}3$–$1{,}35$ – для люминесцентных ламп с бесстартерными схемами включения.

Выбор сечений проводников и тросов по механической прочности. Наименьшие допустимые сечения проводников по механической прочности указаны в табл. 4.10.1.

Для зарядки светильников («внутренней», а при подвеске на крюках – «внешней»), а также для присоединения переносных и передвижных электроприемников должны применяться только медные гибкие проводники.

При тросовых проводках в зависимости от нагрузки стальные тросы следует принимать диаметром 1,95–6,5 мм, катанку – диаметром 5,5–8 мм.

При струнных проводках, когда на катанке подвешивается только кабель групповой сети без светильников и крепление катанки осуществляется не более чем через 4 м, диаметр катанки принимается равным 2–4 мм.

Выбор сечений проводников по нагреву. Расчеты при выборе проводников были рассмотрены в п. 4.3 и могут использоваться при выборе проводников сетей освещения, однако сети освещения имеют свои особенности в зависимости от вида сети (трехфазные или однофазные), способа включения осветительных приборов и др.

Таблица 4.10.1

Наименьшие допустимые сечения проводников по механической прочности

Проводники	Минимальное сечение проводников, мм^2	
	медных	алюминиевых
Провода для зарядки светильников:		
– общего освещения:		
– внутри зданий	0,5	–
– вне зданий	1	–
– подвесных местного освещения	0,75	–
– прочих стационарных местного освещения:		
– подвижных	1	–
– неподвижных	0,5	–
– настольных	0,75	–
Кабели шланговые и шнуры в общей оболочке для присоединения переносных электроприемников:		
– бытовых	0,75	–
– в промышленных установках	1,5	–
Кабели шланговые для присоединения передвижных электроприемников	2,5	
Скрученные двужильные провода (шнуры) с многопроволочными жилами для прокладки на роликах	1	–
Кабели, защищенные и изолированные провода для неподвижных прокладок на роликах, скобах и в трубах	1	2,5
Незащищенные изолированные провода внутри помещений при прокладке:		
– на изоляторах по стенам и потолкам	1,5	4
– на изоляторах в виде перекидок между фермами или колоннами при расстоянии между опорами, м:		
≤ 6	2,5	4
≤ 12	4	10
> 12	6	16
Незащищенные изолированные провода на изолирующих опорах в наружных установках:		
– под навесами на роликах	1,5	2,5
– по стенам, конструкциям и опорам на изоляторах	2,5	
Голые провода в зданиях	2,5	4
Воздушные линии напряжением до 1000 В	6	16
Заземляющие проводники		
– голые	4	6 (стальные: ∅ 5 мм – в зданиях; ∅ 6 мм в наружных установках)
– изолированные	1,5	2,5
– заземляющие жилы кабелей и многожильных проводов в общей оболочке с фазовыми жилами	1	2,5

Как указывалось выше, нагрев проводников вызывается прохождением по ним тока I, величина которого определяется по формулам:

– для трехфазной сети с нулевым рабочим проводником и без него, при равномерной нагрузке фаз

$$I = \frac{P_3}{\sqrt{3}U_Л \cos\varphi}; \qquad (4.10.1)$$

– для двухфазной сети с нулевым рабочим проводником при равномерной нагрузке фаз

$$I = \frac{P_2}{2U_Ф \cos\varphi}; \qquad (4.10.2)$$

– для однофазной сети

$$I = \frac{P_1}{U_Н \cos\varphi}; \qquad (4.10.3)$$

– для каждой из фаз двух- и трехфазных сетей с нулевым рабочим проводником при любой, в том числе и неравномерной, нагрузке

$$I = \frac{P_1}{U_ф \cos\varphi}, \qquad (4.10.4)$$

где P – активная мощность нагрузки (включая потери в ПРА газоразрядных ламп) одной, двух или трех фаз; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности нагрузки; $U_Л$, $U_Ф$, $U_Н$ – напряжение сети, $В$, линейное $U_Л$, фазное $U_Ф$, номинальное $U_Н$.

При равномерной нагрузке фаз ток в нулевом проводе трехфазных сетей, питающих лампы накаливания, равен нулю, ток же сетей, питающих газоразрядные лампы, может достигать величины фазного тока (см. особенности расчета сетей с газоразрядными лампами).

В двухфазных трехпроводных сетях при равномерной нагрузке фаз ток в нулевом рабочем проводе равен фазному току – при питании ламп накаливания; может быть несколько больше фазного тока – при питании газоразрядных ламп.

При неравномерной нагрузке фаз линейные токи будут неодинаковы.

Если неравномерность невелика, выбор сечения проводов следует вести, как для линии с равномерной нагрузкой фаз, приняв в качестве расчетной утроенную нагрузку наиболее загруженной фазы.

При существенной неравномерности нагрузки (например, при мощных ксеноновых светильниках) необходимо определить токи и сечения проводников отдельно для каждой фазы.

Для трехфазных линий с включением нагрузок на линейное напряжение линейные токи I_A, I_B, I_C зависят от порядка следования фаз *(A-B-C* или *C-B-A)*.

При прямом следовании фаз:

$$I_A = \sqrt{I_{AB}^2 + I_{CA}^2 + 2I_{AB}I_{CA}\sin(\varphi_{AB} - \varphi_{CA} + 30°)};$$
$$I_B = \sqrt{I_{BC}^2 + I_{AB}^2 + 2I_{BC}I_{AB}\sin(\varphi_{BC} - \varphi_{AB} + 30°)}; \qquad (4.10.5)$$
$$I_C = \sqrt{I_{CA}^2 + I_{BC}^2 + 2I_{CA}I_{BC}\sin(\varphi_{CA} - \varphi_{BC} + 30°)}.$$

При обратном следовании фаз в каждой из формул (4.10.5) необходимо поменять местами индексы углов *(AB* и *CA*, *BC* и *AB*, *BC* и *CA)*. Так как порядок следования фаз при проектировании неизвестен и может меняться в процессе эксплуатации, необходимо определять линейные токи для обоих вариантов следования фаз.

Пример. Определить линейные токи в трехфазной сети, питающей согласно рис. 4.48 две ксеноновые лампы по 20 кВт каждая и три лампы ДРИ общей мощностью 6 кВт (с потерями в ПРА – 6,6 кВт).

При прямом следовании фаз:

$$I_A = \sqrt{60^2 + 35^2 + 2 \cdot 60 \cdot 35 \cdot \sin(26° - 60° + 30°)} = 67 \text{ А};$$

$$I_B = \sqrt{60^2 + 60^2 + 2 \cdot 60 \cdot 60 \cdot \sin(26° - 26° + 30°)} = 104 \text{ А};$$

$$I_C = \sqrt{35^2 + 60^2 + 2 \cdot 35 \cdot 60 \cdot \sin(60° - 26° + 30°)} = 93 \text{ А}.$$

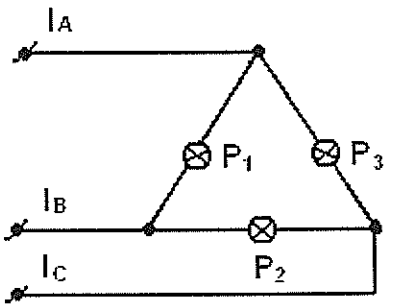


Рис. 4.48. К примеру расчета тока в сети с неравномерной нагрузкой фаз при питании ламп линейным напряжением $P_1 = P_2 = 20$ кВт (ток 60 А); $P_3 = 6{,}6$ кВт (ток 35 А)

При обратном следовании фаз:

$$I_A = \sqrt{60^2 + 35^2 + 2 \cdot 60 \cdot 35 \cdot \sin(60° - 26° + 30°)} = 93 \text{ А};$$

$$I_B = \sqrt{60^2 + 60^2 + 2 \cdot 60 \cdot 60 \cdot \sin(26° - 26° + 30°)} = 104 \text{ А};$$

$$I_C = \sqrt{35^2 + 60^2 + 2 \cdot 35 \cdot 60 \cdot \sin(26° - 60° + 30°)} = 67 \text{ А}.$$

Длительно допустимые токовые нагрузки для проводов и кабелей в зависимости от условий прокладки указаны в табл. 4.10.2–4.10.4.

Таблица 4.10.2

Длительно допустимый ток $I_Д$ для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с алюминиевыми жилами при окружающей температуре воздуха 25 °С и земли 15 °С

Группа проводников	Провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели и защищенные провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели с бумажной пропитанной изоляцией						Голые провода
Характерная марка	АПБН-АПВ-АПУН-ПВ						АПБОВ-ППВ-NUM-АПУНП			АВБВ-АВВ$_Б$Ш$_В$-АВВГ$_{нг}$			ААГ-АСГ-ААБГ-АСБГ			ААБ-АСБ			А
Способ прокладки	открыто	в стальных трубах					в воздухе			в земле			в воздухе			в земле			открыто вне помещений
Сечение мм^2	$I_Д$, А	$I_Д$, А, при числе проводов, равном					$I_Д$, А, при числе жил (одножильных проводов), равном												в помещениях
	–	2	3	4	5–6	7–9	2	3	4	2	3	4	2	3	4	2	3	4	
2,5	24	20	19	19	15	14	21	19	17	34	29	26	23	22		35	31		–
	32	28	28	23	22	21	29	27	24	42	38	35	31	29	27	46	42	38	–
6	39	36	32	30	26	24	38	32	29	55	46	42	42	35	35	60	55	46	–
10	60	50	47	39	38	35	55	42	38	80	70	63	55	46	45	80	75	65	–
16	75	60	60	55	48	45	70	60	54	105	90	81	75	60	60	110	90	90	105/75
25	105	85	80	70	65	60	90	75	68	135	115	104	100	80	75	140	125	115	135/105
35	130	100	95	85	75	70	105	90	81	160	140	126	115	95	95	175	145	135	170/130
50	165	140	130	120	105	95	135	110	100	205	175	158	140	120	110	210	180	165	215/165
70	210	175	165	140	130	125	165	140	126	245	210	190	175	155	140	250	220	200	265/210
95	255	215	200	175	–	–	200	170	153	295	255	230	210	190	165	290	260	240	320/255
120	295	245	220	200	–	–	230	200	190	340	295	266	245	220	200	335	300	270	375/300
150	340	275	255	–	–	–	270	235	212	390	335	302	290	255	230	385	335	305	440/355
185	390	–	–	–	–	–	310	270	243	440	385	347	–	290	260	–	380	345	500/410

При температуре окружающей среды, отличной от 25 °С – при прокладке по воздуху

и 15 °С – при прокладке в земле, к токовым нагрузкам, приведенным в вышеуказанных таблицах, вводятся поправочные коэффициенты (табл. 4.10.5).

При определении числа жил в кабеле или проводов в трубе нулевой рабочий проводник четырехпроводных трехфазных линий принимается в расчет, если по нему протекает значительный ток (например, при питании газоразрядных ламп).

В тех случаях, когда расстояние между кабелями менее 35 мм, а при прокладке в каналах – менее 50 мм, на токовые нагрузки вводятся поправочные коэффициенты (см. п. 4.3).

Токовые нагрузки принимаются:

– для открыто проложенных плоских проводов (АППВ, ППВ) и самонесущих изолирующих проводов (СИП) – как для кабелей с резиновой и пластмассовой изоляцией;

– для кабелей в блоках – по таблицам п. 4.3, в зависимости от сечения, напряжения и расположения кабелей в блоке;

– для одножильных проводов, проложенных по лоткам в один ряд, – как для открыто проложенных проводов, а проложенных пучками, как для проводов в трубах; для проводов, проложенных в пластмассовых трубах, – как для проводов в стальных трубах с понижением нагрузок на 5–10 %.

Таблица 4.10.3

Длительно допустимый ток $I_д$ для проводов и кабелей на напряжение до 1 кВ с медными жилами при окружающей температуре воздуха 25 °С и земли 15 °С

Группа проводников	Провода и шнуры с резиновой и пластмассовой изоляцией						Кабели и защищенные провода с резиновой и пластмассовой изоляцией						Шланговые кабели		Кабели с бумажной пропитанной изоляцией						Голые провода
Характерная марка	АПБН-АПУН-АПВ-ПВ						ВВГ-ВБВ-ПВГ-АПВГ-ВРБГ-НРБГ-$ВБ_БШ_В$			$ВБ_БШ_В$-ВБВ-ВБГ			КПГ-КПГН-КПГС		АГ-СГ-АБГ-СБГ			АБ-СБ			М
Способ кладки	открыто	в стальных трубах					в воздухе			в земле					в воздухе			в земле			открыто вне помещений
																					в помещениях
Сечение мм^2	$I_д$, А, при числе жил(одножильных проводов), равном																				
		2	3	4	5-6	7-9	2	3	4	2	3	4	2	3	2	3	4	2	3	4	–
1,5	23	19	17	16	15	14	19	19	17	33	27	24	23	20	–	–	–	–	–	–	–
2,5	30	27	25	25	20	19	27	25	22	44	38	34	33	28	30	28	–	45	40	–	–
4	41	38	35	30	28	26	38	35	31	55	49	44	43	36	40	37	35	60	55	50	50/25
6	50	46	42	40	34	31	50	42	38	70	60	54	55	45	55	45	45	80	70	60	70/35
10	80	70	60	50	48	45	70	55	50	105	90	81	75	60	75	60	60	105	95	85	95/60
16	100	85	80	75	64	60	90	75	68	135	115	103	95	80	95	80	80	140	120	115	130/100
25	140	115	100	90	80	75	115	95	85	175	150	135	125	105	130	105	100	185	160	150	180/135
35	170	135	125	115	100	95	140	120	108	210	180	162	150	130	150	125	120	225	190	175	220/170
50	215	185	170	150	135	125	175	145	130	265	225	202	185	160	185	155	145	270	235	215	270/215
70	270	225	210	185	165	155	215	180	162	320	275	247	235	200	225	200	185	325	285	265	340/270
95	330	275	255	225	–	–	260	220	200	385	330	300	–	–	275	245	215	380	340	310	415/335
120	385	315	290	260	–	–	300	260	234	445	385	347	–	–	320	285	260	435	390	350	485/395
150	440	360	330	300	–	–	350	305	275	505	435	392	–	–	375	330	300	500	435	395	570/465

Таблица 4.10.4

Длительно допустимый ток $I_Д$ для проводов на напряжение 0,66 кВ с нагревостойкостью до 150 °С

Сечение жилы, мм²	Прокладка открыто					Прокладка в стальных трубах											
						2 провода				3 провода				4 провода			
	$I_Д$, А, при температуре окружающего воздуха, °С, равной																
	25	60	80	100	125	60	80	100	125	60	80	100	125	60	80	100	125
1,5	43	37	33	29	22	31	28	25	19	30	26	23	18	26	23	20	15
2,5	59	51	46	40	30	43	39	34	26	41	37	32	24	36	32	28	21
4	80	68	61	53	40	58	52	45	34	54	49	42	32	48	43	37	28
6	103	89	79	69	53	76	67	59	45	71	63	55	42	62	55	48	37
10	141	122	109	95	72	105	93	81	61	98	87	76	58	85	76	66	50
16	190	163	146	127	97	140	125	110	80	130	115	100	80	115	100	90	68
25	245	211	189	164	125	180	160	140	105	170	150	130	100	150	130	115	90
35	302	260	232	202	154	220	195	170	130	210	185	160	125	180	165	140	110
50	374	323	288	250	191	275	245	210	160	260	230	200	155	225	200	175	135
70	462	398	356	309	236	340	305	265	200	320	285	245	190	280	250	215	165
95	550	476	426	369	282	405	360	315	240	380	340	295	225	335	300	260	200

Таблица 4.10.5

Поправочные коэффициенты на токовые нагрузки проводников в зависимости от температуры окружающей среды

Проводники	Нормированная температура жил, °С	Расчетная температура среды, °С	Поправочные коэффициенты при фактической температуре среды, °С, равной											
			–5	0	+5	+ 10	+ 15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
Кабели и провода с резиновой и пластмассовой изоляцией при прокладке:	70													
по воздуху		25	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
по земле		15	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
Кабели с пропитанной бумажной изоляцией при прокладке;	80													
по воздуху		25	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
в земле		15	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68

Расчет осветительной сети по потере напряжения. Величина располагаемых (допустимых) потерь напряжения в сети определяется из выражения

$$\Delta U_Д = U_{Х.Х} - U_{МИН} - \Delta U_Т, \qquad (4.10.6)$$

где $U_Д$ – располагаемая потеря напряжения в сети; $U_{Х.Х}$ – номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора; $U_{МИН}$ – допускаемое напряжение у наиболее удаленных ламп; $\Delta U_Т$ – потеря напряжения в трансформаторе, приведенная ко вторичному напряжению.

Все значения в формуле (4.10.6) указаны в процентах.

Потеря напряжения $\Delta U_Т$ зависит от мощности трансформатора, его загрузки, коэффициента мощности питаемых электроприемников и определяется с достаточным приближением по формуле

$$\Delta U_T = \beta(U_{A.T}\cos\varphi + U_{P.T}\sin\varphi), \qquad (4.10.7)$$

где β – коэффициент загрузки трансформатора; $U_{A.T}$ и $U_{P.T}$ – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания трансформатора; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности на зажимах вторичной обмотки трансформатора. Значения $U_{A.T}$ и $U_{P.T}$ определяются следующими выражениями:

$$U_{A.T} = \frac{P_K}{P_H}\cdot 100; \qquad (4.10.8)$$

$$U_{P.T} = \sqrt{U_K^2 - U_{A.T}^2}, \qquad (4.10.9)$$

где P_K – потери короткого замыкания, кВт;

P_H – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

U_K – напряжение короткого замыкания, %.

Значения P_K и U_K приводятся в каталогах на трансформаторы.

Пример. Мощность трансформатора $P_H = 400$ кВ·А; $\cos\varphi = 0{,}95$; $\beta = 0{,}9$. Определить $\Delta U_Д$ в сети рабочего освещения производственного здания.

Для трансформатора 400 кВ·А из каталога находим:

$$P_K = 5{,}5 \text{ кВт и } U_K = 4{,}5\ \%,$$

откуда

$$U_{A.T} = 5{,}5 : 400 \approx 1{,}38\ \%;\ \Delta U_{P.T} = \sqrt{4{,}5^2 - 1{,}38^2} = 4{,}25\ \%;$$

$$\Delta U_T = 0{,}9(1{,}38\cdot 0{,}95 + 4{,}25\cdot 0{,}31) \approx 2{,}3\ \%.$$

Принимая $U_{X.X} = 105$ %, находим $\Delta U_Д = 105–97{,}5–2{,}3 = 5{,}2$ %.

Допустимые потери напряжения в осветительной сети для наиболее распространенных мощностей трансформаторов приведены в табл. 4.10.6.

Эти потери рассчитаны для $U_{МИН}$, равного 97,5 % , и при иных значениях должны быть соответственно изменены.

В общем виде потеря напряжения в сети определяется по формулам:

– в сетях без индуктивности

$$\Delta U = I\,R; \qquad (4.10.10)$$

– в сетях с индуктивностью

$$\Delta U = I(R\cos\varphi + X\sin\varphi), \qquad (4.10.11)$$

где I – расчетный ток линии, А; R – активное сопротивление линии, Ом; X – индуктивное сопротивление линии, Ом; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности нагрузки.

Активное сопротивление R (в Омах) проводов и кабелей из цветных металлов (меди, алюминия) определяется по одной из следующих формул:

$$R = \frac{\rho L}{s\cdot 10^6}; \qquad (4.10.12)$$

$$R = \frac{L}{\gamma s\cdot 10^6}, \qquad (4.10.13)$$

где ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·м; γ – удельная проводимость проводника, См/м; s – сечение проводника, мм^2; L –длина линии, м.

Значения ρ и γ с учетом средней эксплуатационной температуры осветительных проводников 35 °С могут быть приняты:

– для алюминиевых проводников

$$\rho = 33\cdot 10^{-9}\ \text{Ом}\cdot\text{м};\ \gamma = 30{,}5\cdot 10^6\ \text{См/м};$$

– для медных проводников

$$\rho = 20\cdot 10^{-9}\ \text{Ом}\cdot\text{м};\ \gamma = 50\cdot 10^6\ \text{См/м}.$$

Активные сопротивления проводников, а также средние значения индуктивных сопротивлений при различных сечениях и способах прокладки указаны в табл. 4.10.7.

Таблица 4.10.6

Допустимая потеря напряжения в осветительных приборах

Мощность трансформатора, кВ·А	Коэффициент загрузки трансформатора	Потеря напряжения, %, при коэффициенте мощности нагрузки, равном						
		1,0	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
160	0,95	5,9	4,8	4,4	3,9	3,6	3,4	3,3
	0,9	6,0	5,0	4,5	4,0	3,9	3,6	3,5
	0,8	6,1	5,2	4,9	4,5	4,2	4,1	4,0
	0,7	6,3	5,5	5,3	4,8	4,6	4,5	4,4
	0,6	6,5	5,8	5,5	5,2	5,0	5,0	4,9
	0,5	6,7	6,1	5,8	5,6	5,4	5,4	5,3
250	0,95	6,1	5,0	4,2	4,0	3,7	3,5	3,3
	0,9	6,2	5,1	4,6	4,1	3,9	3,7	3,5
	0,8	6,3	5,3	5,0	4,5	4,3	4,1	4,0
	0,7	6,5	5,6	5,4	4,9	4,7	4,5	4,4
	0,6	6,6	5,9	5,6	5,3	5,1	5,0	4,9
	0,5	6,8	6,2	5,9	5,6	5,5	5,4	5,3
400	0,95	6,2	5,0	4,5	4,0	3,4	3,5	3,3
	0,9	6,3	5,2	4,7	4,2	3,9	3,7	3,6
	0,8	6,4	5,4	5,0	4,6	4,3	4,1	4,0
	0,7	6,5	5,7	5,4	4,9	4,7	4,6	4,4
	0,6	6,6	5,9	5,7	5,3	5,1	5,0	4,9
	0,5	6,8	6,2	5,9	5,7	5,5	5,4	5,3
630	0,95	6,4	4,9	4,3	3,5	3,0	2,8	2,6
	0,9	6,4	5,0	4,4	3,7	3,3	3,0	2,8
	0,8	6,5	5,2	4,8	4,1	3,8	3,5	3,3
	0,7	6,7	5,6	5,2	4,6	4,3	4,0	3,9
	0,6	6.7	5,8	5,5	5,0	4,7	4,5	4,4
	0,5	6,9	6,1	5,8	5,5	5,2	5,0	4,9
1000	0,95	6,2	4,8	4,2	3,5	3,0	2,8	2,5
	0,9	6,3	4,9	4,3	3,7	3,3	3,0	2,8
	0,8	6,5	5,2	4,7	4,2	3,8	3,5	3,3
	0,7	6,6	5,5	5,1	4,5	4,2	4,0	3,8
	0,6	6,7	5,8	5,5	5,0	4,7	4,5	4,3
	0,5	6,9	6,1	5,8	5,4	5,2	5,0	4,9
1600	0,95	6,3	4,8	4,2	3,5	3,0	2,6	2,5
	0,9	6,4	5,0	4,4	3,7	3,3	3,0	2,7
	0,8	6,5	5,2	4,8	4,2	3,8	3,5	3,3
	0,7	6,6	5,6	5,1	4,6	4,2	4,0	3,8
	0,6	6,8	5,8	5,5	5,0	4,7	4,5	4,4
	0,5	6,9	6,1	5,8	5,4	5,2	5,0	4,8
2500	0,95	6,4	4,9	4,4	3,7	3,2	2,9	2,6
	0,9	6,5	5,1	4,5	3,9	3,4	3,1	2,9
	0,8	6,6	5,3	4,9	4,3	3,8	3,6	3,4
	0,7	6,7	5,6	5,2	4,7	4,3	4,1	3,9
	0,6	6,9	5,9	5,5	5,1	4,8	4,6	4,4
	0,5	7,0	6,2	5,9	5,5	5,2	5,1	5,0

Для стальных проводов активное и внутреннее индуктивное сопротивления зависят от значения протекающего по проводу переменного тока.

Если выразить ΔU в процентах от номинального напряжения U_H, а ток нагрузки через мощность в киловаттах, то формула (4.10.10) примет вид:

– для двухпроводной сети (однофазной, двухфазной без нулевого рабочего проводника или постоянного тока)

$$\Delta U = \frac{2 \cdot 10^{11}}{\gamma s U_H^2} M; \qquad (4.10.14)$$

– для четырехпроводной трехфазной с нулевым рабочим проводником и трехфазной трехпроводной без нулевого рабочего проводника сети

$$\Delta U = \frac{10^{11}}{\gamma s U_H^2} M; \qquad (4.10.15)$$

– для трехпроводной двухфазной с нулевым рабочим проводником сети

$$\Delta U = \frac{2{,}25 \cdot 10^{11}}{\gamma s U_H^2} M; \qquad (14.10.16)$$

где γ – удельная проводимость проводника, См/м; s – сечение проводника, мм^2; U_H – номинальное напряжение сети (для трех- и двухфазных сетей – линейное напряжение), В; M – момент нагрузки, равный произведению нагрузки P, кВт, на длину линии L м, и определяемый по схемам рис. 4.49.

Таблица 4.10.7

Активное и индуктивное сопротивления проводников

Сечение проводника s, мм^2	Активное сопротивление проводников r (при температуре 35 °С), Ом/км		Индуктивное сопротивление проводников (средние значения) x, Ом/км	
	медных	алюминиевых	кабели, провода в трубах и т.п.	проводники при расстоянии между ними 15–40 см (провода на изоляторах, на клицах и т.п.)
1,5	13,3	–		
2,5	8,0	13,2		
4	5,0	8,3	0,1	0,37
6	3,3	5,5	0,09	0,36
10	2,0	3,3	0,08	0,34
16	1,25	2,06	0,08	0,33
25	0,8	1,32	0,08	0,31
35	0,57	0,95	0,75	0,3
50	0,40	0,66	0,75	0,29
70	0,28	0,47	0,07	0,28
95	0,21	0,35	0,07	0,27
120	0,167	0,276	0,07	0,26
150	0,133	0,220	0,07	0,25
185	0,108	0,179	0,07	0,25
240	0,084	0,137	0,07	0,25

В схеме по рис. 4.49, *б* предпочтителен второй вид формулы для M, позволяющий определить ΔU по отдельным участкам; в схеме по рис. 4.49, *в*, характерной для групповой сети, положение центра нагрузки в ряде случаев допускается определять приближенно.

При заданных номинальном напряжении сети и материале проводника

$$\Delta U = \frac{M}{Cs}; \qquad (4.10.17)$$

$$\Delta U = \frac{M}{C\,\Delta U}, \qquad (4.10.18)$$

где C – коэффициент, значение которого при различных напряжениях и материале проводника приведено в табл. 4.10.8.

В практических расчетах следует пользоваться таблицами моментов (табл. 4.10.10–4.10.21), позволяющими по заданным M и ΔU найти s или по s и M определить ΔU.

Пример. Линия напряжением 220/127 В длиной 120 м выполняется алюминиевыми проводами и питает щиток с нагрузкой 8 кВт; $\cos\varphi = 1$. Рассчитать ее на потерю напряжения 2 %.

$$M = 120 \cdot 8 = 960 \text{ кВт·м}.$$

По табл. 4.10.11 ближайшее сечение провода 35 мм^2. При этом сечении по той же таблице находим фактическое $\Delta U = 1{,}9$ %.

При расчете разветвленной питающей сети и при одновременном расчете питающей и групповой сетей распределение ΔU между участками сети следует производить по условиям общего минимума расхода проводникового металла (что в большинстве случаев достаточно близко совпадает и с минимумом затрат на осветительную сеть).

Сечение каждого участка сети определяется по ΔU, располагаемой от начала данного участка до конца сети, и приведенному моменту $M_П$, определяемому по формуле

$$M_П = \sum M + \alpha \sum m, \qquad (4.10.19)$$

где $\sum M$ – сумма моментов данного и всех последующих по направлению участков с тем же числом проводов в линии, что и на данном участке; $\sum m$ – сумма моментов питаемых через данный участок линий с иным числом проводов, чем на данном участке; α – коэффициент приведения моментов (табл. 4.10.9).

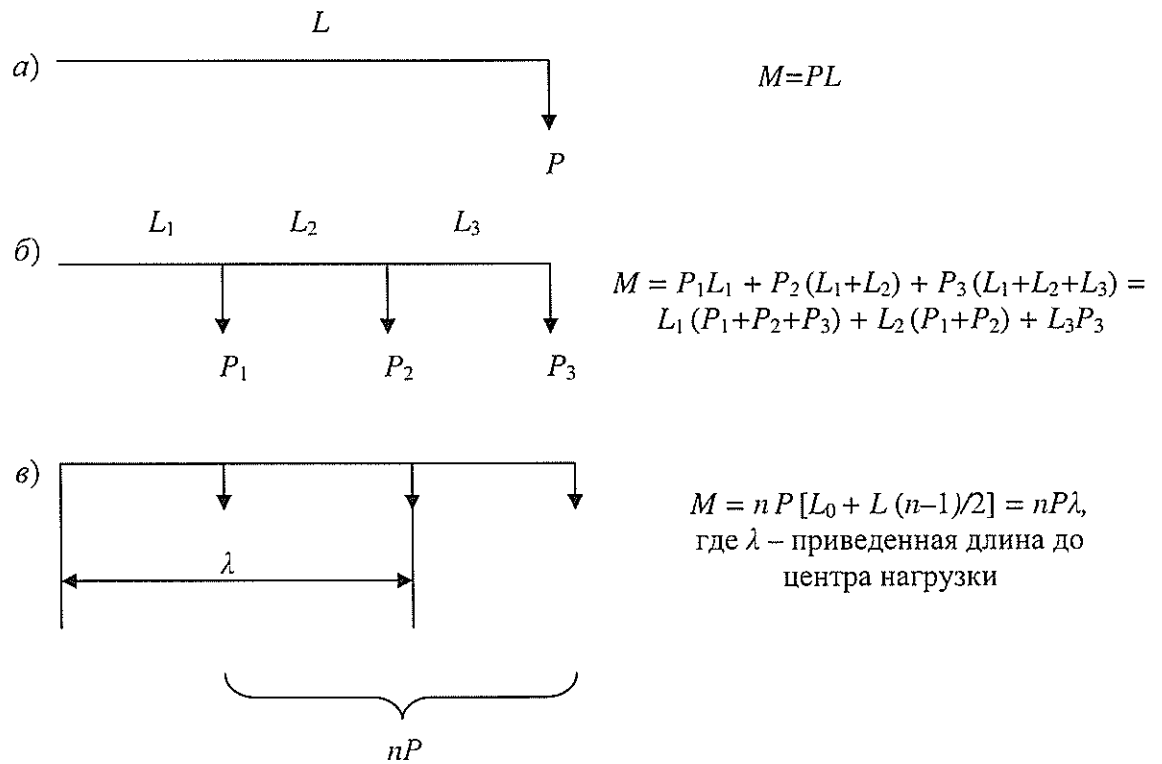


Рис. 4.49. Определение моментов нагрузки

Определив по M_H и ΔU сечение s данного участка (сечения начальных участков предпочтительно округлять до стандартного в большую сторону), по s и фактическому моменту участка находим его действительное ΔU. Последующие участки рассчитываем аналогично на остающуюся потерю напряжения. При раздельном расчете питающей и групповой сетей целесообразное распределение между ними ΔU определяется приближенно, по возможности исходя из ожидаемого соотношения моментов и с учетом α.

Пример. Рассчитать на минимум металла сеть на напряжение 380/220 В, показанную на рис. 4.50. Провода алюминиевые. Полное $\Delta U = 3$ %.

$$M_1 = 100 \cdot 12 = 1200 \text{ кВт·м}; \; M_2 = M_4 = 80 \cdot 6 = 480 \text{ кВт·м};$$

$$m_3 = m_5 = 30 \cdot 2 = 60 \text{ кВт·м};$$

$$M_П = M_1 + M_2 + M_4 + \alpha (3m_3 + 3m_5) = 1200 + 960 + 1{,}85 \cdot 360 = 2830 \text{ кВт·м}.$$

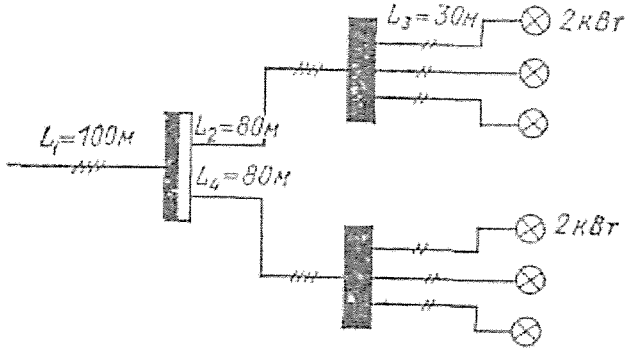


Рис. 4.50. К примеру расчета сети на минимум металла

По табл. 4.10.10 выбираем $s_1 = 25$ мм^2, при этом сечении и $M_1 = 1200$ кВт·м по той же таблице определяем $\Delta U = 1{,}1$ %.

Для верхней ветви $M_П = M_2 + \alpha 3m_3 = 815$ кВт·м и располагаемая $\Delta U = 3–1{,}1 = 1{,}9$ %.

По табл. 4.10.10 выбираем $s_2 = 10$ мм^2; при этом сечении и $M_2 = 480$ кВт·м находим, что $\Delta U = 1{,}1$ %. На каждую из линий групповой сети остается $\Delta U = 0{,}8$ %, что при $m = 60$ по табл. 4.10.12 соответствует сечению 10 мм^2. Описанные схемы расчета предполагают симметричную нагрузку всех фаз одной линии.

Таблица 4.10.8

Значения коэффициентов *C*, входящих в формулы для расчета сетей по потере напряжения

Номинальное напряжение сети, В	Система сети и род тока	Выражение коэффициента *C*	Значение коэффициента *C* для проводников	
			медных	алюминиевых
380/220	Трехфазная с нулевым рабочим проводником	$\frac{\gamma U_Л^2}{10^5}$	72	44
380	Трехфазная с нулевым рабочим проводником		72	44
220/127	Трехфазная с нулевым рабочим проводником		24	14,7
220 36 24 12	Трехфазная без нулевого рабочего проводника		24 0,648 0,288 0,072	14,7 0,396 0,176 0,044
380/220	Двухфазная с нулевым рабочим проводником	$\frac{\gamma U_Л^2}{2{,}25 \cdot 10^5}$	32	19,5
220/127			10,7	6,5
220	Двухпроводная переменного или постоянного тока	$\frac{\gamma U^2}{2 \cdot 10^5}$	12	7,4
127			4	2,46
36			0,324	0,198
24			0,144	0,088
12			0,036	0,022

Таблица 4.10.9

Значения коэффициента приведения моментов α

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения моментов α
Трехфазная с нулевым РП	Однофазное	1,85
Трехфазная с нулевым РП	Двухфазное с нулевым РП	1,39
Трехфазная с нулевым РП	Однофазное	1,33
Трехфазная с нулевым РП	Двухпроводное	1,15

Таблица 4.10.10

Моменты для алюминиевых проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт м, линий четырехпроводных трехфазных с нулевым рабочим проводником (РП) на напряжение 380/220 В или трехпроводных трехфазных без нулевого РП на 380 В при сечении проводника s, мм^2, равном													
	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
0,2	22	35	53	88	141	220	308	440	616	836	1056	1320	1628	2112
0,4	44	70	106	176	282	440	616	880	1232	1672	2112	2640	3256	4224
0,6	66	106	158	264	422	660	924	1320	1848	2508	3168	3960	4884	6336
0,8	88	141	211	352	563	880	1232	1760	2464	3341	4224	5280	6512	8448
1	110	176	264	440	704	1100	1540	2200	3080	4180	5280	6600	8140	10560
1,2	132	211	317	528	845	1320	1848	2640	3696	5016	6336	7920	9768	12672
1,4	154	246	370	616	986	1540	2156	3080	4312	5852	7392	9240	11396	14784
1,6	176	282	422	704	1126	1760	2464	3520	4928	6688	8448	10560	13024	16896
1,8	198	317	475	792	1267	1980	2772	3960	5544	7524	9504	11880	14652	19008
2	220	352	528	880	1408	2200	3080	4400	6160	8360	10560	13200	16280	21120
2,2	242	387	581	968	1549	2420	3388	4840	6776	9196	11616	14520	17908	23232
2.4	264	422	634	1056	1690	2640	3696	5280	7392	10032	12672	15840	19536	25344
2.6	286	458	686	1144	1830	2860	4004	5720	8008	10868	13728	17160	21164	27456
2.8	308	493	739	1232	1971	3080	4312	6160	8624	11704	14784	18480	22792	29568
3	330	528	792	1320	2112	3300	4620	6600	9240	12540	15840	19800	24420	31680
3,2	352	563	845	1408	2253	3520	4928	7040	9856	13376	16896	21120	26048	33792
3,4	374	598	898	1496	2394	3740	5236	7480	10472	14212	17952	22440	27676	35904
3,6	396	634	950	1584	2534	3960	5544	7920	11088	15048	19008	23760	29304	38016
3,8	418	669	1003	1672	2675	4180	5852	8360	11704	15884	20064	25080	30932	40128
4	440	704	1056	1760	2816	4400	6160	8800	12320	16720	21120	26400	32560	42240
4,2	462	739	1109	1848	2957	4620	6468	9240	12936	17556	22176	27720	34188	44352
4,4	484	774	1162	1936	3098	4840	6776	9680	13552	18392	23232	29040	35816	46464
4,6	506	810	1214	2024	3238	5060	7084	10120	14168	19228	24288	30360	37444	48576
4,8	528	845	1267	2112	3379	5280	7392	10560	14784	20064	25344	31680	39072	50688
5	550	880	1320	2200	3520	5500	7700	11000	15400	20900	26400	33000	40700	52800

Таблица 4.10.11

Моменты для алюминиевых проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт м, линий четырехпроводных трехфазных с нулевым РП на напряжение 220/127 В или трехпроводных трехфазных без нулевого РП на 220 В при сечении проводника s мм^2, равном													
	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
0,2	7	12	18	29	47	73	103	147	206	279	353	441	544	706
0,4	15	23	35	59	94	147	206	294	412	558	706	882	1088	1411
0,6	22	35	53	88	141	220	309	441	617	837	1058	1323	1633	2116
0,8	29	47	71	118	188	294	412	558	823	1117	1411	1764	2176	2822
1	37	59	88	147	235	367	514	735	1029	1396	1764	2205	2719	3528
1,2	44	71	106	176	282	440	617	282	I235	1675	2117	2646	3263	4234
1,4	52	82	123	206	329	514	720	1029	1441	1954	2470	3087	3807	4939
1,6	59	94	141	235	376	587	823	1176	1646	2233	2822	3528	4352	5644
1,8	66	106	159	265	423	661	926	1323	1852	2513	3175	3969	4895	6350
2	74	118	176	294	470	735	1029	1470	2058	2792	3528	4410	5439	7056
2,2	81	130	194	323	517	808	1132	1617	2264	3071	3881	4851	5983	7762
2,4	89	141	211	353	564	882	1235	1764	2470	3350	4234	5292	6527	8467
2,6	96	153	229	382	611	955	1338	1911	2675	3629	4586	5733	7072	9172
2,8	103	165	247	412	658	1029	1441	2058	2881	3909	4939	6174	7615	9878
3	110	176	265	441	706	1102	1543	2205	3087	4188	5292	6615	8158	10584
3,2	117	188	283	470	753	1175	1646	2352	3293	4467	5645	7056	8702	11290
3,4	125	199	300	500	800	1249	1749	2499	3499	4746	5998	7497	9246	11995
3,6	132	211	318	529	847	1324	1852	2646	3704	5025	6350	7938	9791	12700
3,8	139	223	336	559	894	1396	1955	2793	3910	5305	6703	8379	10334	13406
4	147	235	353	588	941	1470	2058	2940	4116	5584	7056	8820	10878	14112
4,2	154	247	371	617	988	1543	2161	3087	4322	5863	7409	9261	11422	14818
4,4	162	258	388	647	1035	I617	2264	3234	4528	6142	7762	9702	11966	15523
4,6	169	270	406	676	1082	1690	2367	3381	4733	6421	8114	10143	12511	16228
4,8	176	282	424	706	1129	1764	2470	3528	4939	6701	8467	10584	13504	16934
5	184	294	441	735	1176	1837	2572	3675	5145	6980	8820	11025	13597	17640

Таблица 4.10.12

Моменты для алюминиевых проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт·м, линий												
	двухпроводных на напряжение 220 В						трехпроводных двухфазных с нулевым РП на напряжение 380/220 В						
	при сечении проводника s мм^2, равном												
	2,5	4	6	10	16	25	2,5	4	6	10	16	25	35
0,2	4	6	9	15	24	37	10	16	23	39	62	97	136
0,4	7	12	18	30	47	74	19	31	45	78	125	195	273
0,6	11	18	27	44	71	101	29	47	67	117	187	292	409
0,8	15	24	35	59	95	148	39	62	91	156	250	390	546
1	18	30	44	74	118	185	49	78	117	195	312	487	682
1,2	22	36	53	89	142	222	58	94	140	234	374	585	819
1,4	25	41	62	104	166	259	68	109	162	273	437	682	955
1,6	30	17	71	118	189	296	78	125	181	312	499	780	1092
1,8	33	53	80	133	213	333	88	140	211	351	562	877	1228
2	37	59	89	148	237	370	97	156	231	390	624	975	1365
2.2	41	65	98	163	260	407	107	172	257	429	686	1072	1501
2,4	44	71	107	178	284	444	117	187	279	468	749	1170	1633
2,6	48	77	115	192	308	4S1	127	203	301	507	811	1267	1774
2,8	52	83	121	207	331	518	136	218	325	546	874	1365	1911
3	55	89	133	221	355	555	146	234	351	585	936	1162	2047
3,2	59	95	142	236	379	592	156	250	374	624	998	1560	2184
3,4	63	101	151	251	403	629	166	265	396	663	1061	1657	2320
3,6	67	107	160	265	426	666	175	281	418	702	1123	1755	2457
3,8	70	112	169	280	450	703	185	296	445	741	1186	1852	2593
4	74	118	178	296	474	740	195	312	468	780	1248	1950	2730
4,2	78	124	186	311	497	777	205	328	491	819	1310	2047	2866
4,4	81	130	195	326	521	814	214	343	513	858	1373	2145	3003
4,6	85	136	201	340	545	851	224	359	535	897	1435	2242	3139
4,8	89	142	213	355	568	888	234	374	562	936	149S	2340	3276
5	92	148	222	370	592	925	214	390	585	975	1560	2137	3112

Таблица 4.10.13

Моменты для алюминиевых проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт·м, линий на напряжение 36 В											
	двухпроводных						трехфазных трехпроводных					
	при сечении проводника s, мм^2, равном											
	2,5	4	6	10	16	25	2,5	4	6	10	16	25
1	0,5	0,8	1,19	1,98	3,17	5	1	1,58	2,38	3,96	6,34	10
2	1	1,58	2,38	3,96	6,34	10	2	3,17	4,75	7,92	12,7	20
3	1,49	2,38	3,57	5,94	9,51	14,9	2,98	4,76	7,14	11,9	19	29,8
4	1,98	3,17	4,75	7,92	12,7	19,8	3,96	6,34	9,5	15,8	25,4	39,6
5	2,48	3,96	5,94	9,9	15,9	24,8	4,96	7,92	11,9	19,8	31,8	49,6
6	2,98	4,76	7,13	11,9	19	29,8	5,96	9,52	14,3	23,8	38	59,6
7	3,47	5,54	8,32	13,9	22,2	34,7	6,94	11,1	16,6	27,8	44,4	69,4
8	3,97	6,34	9,51	15,9	25,4	39,7	7,94	12,7	19	31,8	50,8	79,4
9	4,46	7,13	10,7	17,8	28,5	44,6	8,92	14,3	21,4	35,6	57	89,2
10	4,95	7,92	11,9	19,8	31,7	49,5	10	15,8	23,8	39,6	63,4	100

Таблица 4.10.14

Моменты для алюминиевых проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт·м, линий на напряжение 24 В											
	двухпроводных						трехфазных трехпроводных					
	при сечении проводника s, мм^2, равном											
	2,5	4	6	10	16	25	2,5	4	6	10	16	25
1	0,22	0,35	0,53	0,88	1,41	2,2	0,44	0,7	1,06	1,76	2,82	4,4
2	0,44	0,7	1,06	1,76	2,82	4,4	0,88	1,4	2,12	3,52	5,64	8,8
3	0,66	1,04	1,6	2,64	4,23	6,6	1,32	2,08	3,2	5,28	8,46	13,2
4	0,88	1,4	2,11	3,52	5,64	8,8	1,76	2,8	4,22	7,04	11,3	17,6
5	1,1	1,76	2,64	4,4	7,04	11	2,2	3,52	5,28	8,8	14,1	22
6	1,32	2,12	3,17	5,28	8,4	13,2	2,64	4,21	6,34	10,6	16,8	26,4
7	1,54	2,47	3,7	6,16	9,81	15,4	3,08	4,94	7,4	12,3	19,6	30,8
8	1,76	2,82	4,22	7,04	11,3	17,6	3,52	5,64	8,44	14,1	22,6	35,2
9	1,98	3,17	4,75	7,92	12,7	19,8	3,96	6,34	9,5	14,8	25,4	39,6
10	2,2	3,52	5,28	8,8	14,1	22	4,4	7,04	10,6	17,6	28,2	44

Таблица 4.10.15

Моменты для алюминиевых проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт·м, линий на напряжение 12 В											
	двухпроводных						трехфазных трехпроводных					
	при сечении проводника s, мм^2, равном											
	2,5	4	6	10	16	25	2,5	4	6	10	16	25
1	0,06	0,09	0,13	0,22	0,35	0,55	0,11	0,18	0,26	0,44	0,7	1,1
2	0,11	0,18	0,26	0,44	0,7	1,1	0,22	0,36	0,52	0,88	1,4	2,2
3	0,165	0,26	0,4	0,66	1,05	1,65	0,33	0,52	0,8	1,32	2,1	3,3
4	0,22	0,35	0,53	0,88	1,41	2,2	0,44	0,7	1,06	1,76	2,82	4,4
5	0,275	0,44	0,66	1,1	1,76	2,75	0,55	0,88	1,32	2,2	3,52	5,5
6	0,33	0,53	0,79	1,32	2,1	3,3	0,66	1,06	1,58	2,64	4,2	6,6
7	0,39	0,62	0,92	1,54	2,45	3,9	0,78	1,24	1,84	3,08	4,9	7,8
8	0,44	0,7	1,06	1,76	2,82	4,4	0,88	1,4	2,12	3,52	5,64	8,8
9	0,5	0,8	1,19	1,98	3,17	5	1	1,6	2,38	3,96	6,31	10
10	0,55	0,88	1,32	2,2	3,52	5,5	1,1	1,76	2,64	4,4	7,04	11

Таблица 4.10.16

Моменты для медных проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт м, линий четырехпроводных трехфазных с нулевым РП на напряжение 380/220 В или трехпроводных трехфазных без нулевого РП на 380 В при сечении проводника s, мм^2, равном													
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
0,2	22	36	58	86	144	230	360	504	720	1008	1368	1728	2160	2664
0,4	43	72	115	173	288	461	720	1008	1440	2016	2736	3456	4320	5328
0,6	65	108	173	259	432	691	1080	1512	2160	3024	4104	5184	6480	7992
0,8	86	144	230	346	576	922	1440	2016	2880	4032	5472	6912	8640	10656
1	108	180	288	432	720	1152	1800	2520	3600	5040	6840	8640	10800	13320
1,2	130	216	346	518	864	1382	2160	3024	4320	6048	8208	10368	12960	15984
1,4	151	252	403	605	1008	1613	2520	3528	5040	7056	9576	12096	15120	18648
1,6	173	288	462	691	1152	1843	2880	4032	5760	8064	10944	13824	17280	21312
1,8	194	324	518	778	1296	2074	3240	4536	6480	9072	12312	15552	19440	23976
2	216	360	576	864	1440	2304	3600	5040	7200	10080	13680	17280	21600	26640
2,2	238	396	636	950	1584	2534	3960	5544	7920	11088	15048	19008	23760	29304
2,4	259	432	691	1037	1728	2765	4320	6048	8640	12096	16416	20736	25920	31968
2,6	281	478	749	1121	1872	2995	4780	6552	9360	13104	17784	22464	28100	34632
2,8	302	504	806	1210	2016	3226	5040	7056	10080	14112	19152	24192	30200	37296
3	324	540	864	1296	2160	3456	5400	7560	10800	15120	20520	25920	32400	39960
3,2	346	576	922	1386	2304	3686	5760	8064	11520	16128	21888	27648	34560	42624
3,4	367	612	979	1469	2448	3917	6120	8568	12240	17136	23256	29376	36720	45288
3,6	389	648	1037	1555	2592	4147	6480	9072	12960	18144	24624	31104	38880	47952
3,8	410	684	1094	1642	2736	4378	6840	9576	13680	19152	25992	32832	41040	50616
4	432	720	1152	1728	2880	4608	7200	10080	14400	20160	27360	34560	43200	53280
4,2	454	756	1210	1814	3024	4838	7560	10584	15120	21168	28728	36288	45360	55944
4,4	475	792	1267	1901	3168	5069	7920	11088	15840	22176	30096	38016	47520	58608
4,6	497	828	1325	1987	3312	5299	8280	11592	16560	23184	31464	39744	49680	61272
4,8	518	864	1382	2074	3456	5530	8640	12096	17280	24192	32832	41472	51840	63936
5	540	900	1440	2160	3600	5760	9000	12600	18000	25200	34200	43200	54000	66600

Таблица 4.10.17

Моменты для медных проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт·м, линий четырехпроводных трехфазных с нулевым РП на напряжение 220/127 В или трехпроводных трехфазных без нулевого РП на 220 В при сечении проводника s, мм^2, равном													
	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
0,2	7	12	19	29	48	77	120	168	240	336	456	576	720	888
0,4	14	24	38	58	96	154	240	336	480	672	912	1152	1440	1776
0,6	22	36	58	86	144	230	360	504	720	1008	1368	1728	2160	2664
0,8	29	48	77	115	192	307	480	672	960	1344	1824	2304	2880	3552
1	36	60	96	144	240	384	600	840	1200	1680	2280	2880	3600	4440
1,2	43	72	115	173	288	461	720	1008	1440	2016	2736	3456	4320	5328
1,4	50	84	134	202	336	538	840	1176	1680	2352	3192	4032	5040	6216
1,6	58	96	154	230	384	614	960	1344	1920	2688	3648	4608	5760	7104
1,8	65	108	173	259	432	691	1080	1512	2160	3024	4104	5184	6480	7992
2	72	120	192	288	480	768	1200	1680	2400	3360	4560	5760	7200	8880
22	79	132	211	317	528	845	1320	1848	2640	3696	5016	6336	7920	9768
2,4	86	144	230	346	576	922	1440	2016	2880	4032	5472	6912	8640	10656
2,6	94	156	250	376	624	998	1560	2184	3120	4368	5928	7488	9360	11544
2,8	101	168	269	403	672	1075	1780	2352	3360	4704	6384	8064	10080	12432
3	108	180	288	432	720	1152	1800	2520	3600	5040	6840	8640	10800	13320
3,2	115	192	307	461	768	1229	1920	2688	3840	5376	7296	9216	11520	14208
3,4	122	204	326	490	816	1306	2040	2856	4080	5712	7752	9792	12240	15096
3,6	130	216	346	518	864	1382	2160	3024	4320	6048	8208	10368	12960	15984
3,8	137	228	365	547	912	1459	2280	3192	4560	6384	8664	10944	13680	16872
4	144	240	384	576	960	1536	2400	3360	4800	6720	9120	11520	14400	17760
4,2	151	252	403	605	1008	1613	2520	3528	5040	7056	9576	12096	15120	18648
4,4	158	264	422	634	1056	1690	2640	3696	5280	7392	10032	12672	15840	19536
4,6	166	276	442	662	1104	1766	2760	3864	5520	7728	10488	13248	16560	20424
4,8	173	288	461	691	1152	1843	2880	4032	5760	8064	10944	13824	17280	21312
5	180	300	480	720	1200	1920	3000	4200	6000	8400	11400	14400	18000	22200

Таблица 4.10.18

Моменты для медных проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт·м, линии												
	двухпроводных на напряжение 220 В							трехпроводных двухфазных с нулевым РП на напряжение 380/220 В					
	при сечении проводника s, мм^2, равном												
	1	1,5	2,5	4	6	10	16	1,5	2,5	4	6	10	16
0,2	2	4	6	10	14	24	38	10	16	26	38	64	102
0,4	5	7	12	19	29	48	77	19	32	51	77	128	205
0,6	7	11	18	29	43	72	115	29	48	77	115	192	307
0,8	10	14	24	38	58	96	154	38	64	102	154	256	410
1	12	18	30	48	72	120	192	48	80	128	192	320	512
1,2	14	22	36	58	86	144	230	58	96	154	230	384	614
1,4	17	25	42	67	101	168	269	67	112	179	209	418	717
1,6	19	29	48	77	115	192	307	77	128	205	307	512	819
1,8	22	32	54	86	130	216	346	86	144	230	346	576	922
2	24	36	60	96	144	240	384	96	160	256	384	640	1024
2,2	26	40	66	106	158	264	422	106	176	282	422	704	1126
2,4	29	43	72	115	173	288	461	115	192	307	461	764	1229
2,6	31	47	78	125	187	312	499	125	208	333	499	832	1331
2,8	34	50	84	134	202	336	538	134	224	358	538	896	1434
3	36	54	90	144	216	360	576	144	240	384	576	960	1536
3,2	38	58	96	154	230	384	614	154	256	410	614	1025	1638
3,4	41	61	102	163	245	408	653	163	272	435	653	1088	1741
3,6	43	65	108	173	259	432	691	173	288	461	691	1152	1843
3,8	46	68	114	182	274	456	730	182	304	486	730	1216	1946
4	48	72	120	192	288	480	768	192	320	512	768	1280	2048
4,2	50	76	126	202	302	504	806	202	336	538	806	1344	2150
4,4	53	79	132	211	317	528	845	211	352	563	845	1408	2253
4,6	55	83	138	221	331	552	883	221	368	589	883	1172	2355
4,8	58	86	144	230	346	576	922	230	384	614	922	1546	2458
5	60	90	150	240	360	600	960	240	400	640	960	1600	2560

Таблица 4.10.19

Моменты для медных проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт·м, линии на напряжение 36 В											
	двухпроводных						трехфазных трехпроводных					
	при сечении проводника s, мм^2, равном											
	1,5	2,5	4	6	10	16	1,5	2,5	4	6	10	16
1	0,49	0,81	1,3	1,95	3,24	5,18	0,97	1,62	2,59	3,89	6,48	10,4
2	0,97	1,62	2,59	3,89	6,48	10,4	1,94	3,24	5,18	7,78	13	20,8
3	1,46	2,43	3,89	5,83	9,72	15,5	2,92	4,86	7,78	11,7	19,4	31,1
4	1,95	3,24	5,18	7,78	13	20,7	3,9	6,48	10,4	15,6	26	41,4
5	2,43	4,05	6,48	9,72	16,2	25,9	4,86	8,1	13	19,4	32,4	51,8
6	2,92	4,86	7,78	11,7	19,4	31,1	5,84	9,72	15,6	23,4	38,8	62,2
7	3,41	5,67	9,08	13,6	22,6	36,3	6,82	11,3	18,2	27,2	45,2	72,6
8	3,89	6,48	10,4	15,5	25,9	41,5	7,78	13	20,8	31,1	51,8	83
9	4,37	7,29	11,7	17,5	29,2	46,7	8,74	14,6	23,4	35	58,4	93,3
10	4,86	8,1	13	19,4	32,4	51,8	9,72	16,2	25,9	38,9	64,8	104

Таблица 4.10.20

Моменты для медных проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт·м, линии на напряжение 24 В											
	двухпроводных						трехфазных трехпроводных					
	при сечении проводника s, мм^2, равном											
	1,5	2.5	4	6	10	16	1,5	2,5	4	6	10	16
1	0,22	0,36	0,58	0,86	1,44	2,3	0,43	0,72	1,15	1,73	2,88	4,6
2	0,43	0,72	1,15	1,73	2,88	4,6	0,86	1,44	2,3	3,46	5,76	9,2
3	0,65	1,08	1,73	2,59	4,32	6,9	1,3	2,16	3,46	5,18	8,64	13,8
4	0,86	1,44	2,3	3,46	5,76	9,2	1,72	2,88	4,6	6,92	11,5	18,4
5	1,08	1,8	2,88	4,32	7,2	11,5	2,16	3,6	5,76	8,64	14,4	23
6	1,3	2,16	3,46	5,18	8,64	13,8	2,6	4,32	6,92	10,3	17,3	27,6
7	1,5	2,52	4,03	6,05	10,1	16,1	3	5,04	8,06	12,1	20,2	32,2
8	1,72	2,88	4,61	6,91	11,5	18,4	3,44	5,76	9,22	13,8	23	36,8
9	1,94	3,24	5,18	7,78	13	20,7	3,88	6,48	10,4	15,6	26	41,4
10	2,16	3,6	5,76	8,64	14,4	23	4,32	7,2	11,5	17,3	28,8	46,1

Таблица 4.10.21

Моменты для медных проводников

ΔU, %	Момент нагрузки, кВт·м, линии на напряжение 12 В											
	двухпроводных						трехфазных трехпроводных					
	при сечении проводника s, мм^2, равном											
	1,5	2,5	4	6	10	16	1,5	2,5	4	6	10	16
1	0,05	0,09	0,14	0,22	0,36	0,58	0,1	0,18	0,29	0,43	0,72	1,15
2	0,1	0,18	0,29	0,43	0,72	1,15	0,22	0,36	0,58	0,86	1,44	2,3
3	0,16	0,27	0,43	0,65	1,08	1,73	0,32	0,54	0,86	1,3	2,16	3,46
4	0,22	0,36	0,58	0,86	1,44	2,3	0,44	0,72	1,16	1,72	2,88	4,6
5	0,27	0,45	0,72	1,08	1,8	2,88	0,54	0,9	1,44	2,16	3,6	5,76
6	0,32	0,54	0,86	1,3	2,16	3,46	0,64	1,08	1,72	2,6	4,32	6,92
7	0,38	0,63	1	1,51	2,52	4,03	0,76	1,26	2	3,02	5,04	8,06
8	0,44	0,72	1,16	1,72	2,88	4,6	0,88	1,44	2,32	3,44	5,76	9,2
9	0,49	0,81	1,3	1,94	3,24	5,18	0,98	1,62	2,6	3,88	6,48	10,4
10	0,54	0,9	1,44	2,16	3,6	5,76	1,08	1,8	2,88	4,32	7,2	11,5

Основным (хотя и не вполне исчерпывающим) критерием для отнесения линий к симметричным является приблизительное равенство моментов нагрузки отдельных фаз при нормальном режиме работы.

В этих случаях, хотя ΔU для отдельных фаз и может несколько различаться, часто оказывается достаточным обеспечить его среднее значение.

В соответствии с этим при обеспечении приблизительного равенства моментов могут рассчитываться как симметричные:

а) линии питающей сети;

б) групповые линии, питающие многоламповые светильники или блоки светильников с равномерной нагрузкой фаз в каждой точке присоединения нагрузки;

в) групповые линии при схеме присоединения ламп в порядке A, B, C, C, B, A;

г) то же, при схеме присоединения в порядке A, B, C, A, B, C, при числе ламп начиная примерно от 9, хотя точный расчет (см. пример) может привести в этом случае к различным сечениям фазных проводов.

Остальные линии рассматриваются как несимметричные; групповые же двух и трехфазные линии с местными выключателями, а также рассчитанные на создание при отключении со щитка одной-двух фаз полной освещенности на части площади во всех случаях рассчитываются как однофазные группы, хотя и имеют общий нулевой провод.

Потеря напряжения для любой из фаз несимметричных четырехпроводных линий может быть определена по формуле

$$\Delta U = \frac{M_A}{2Cs_A} + \frac{M_A - 0{,}5(M_B - M_C)}{2Cs_0}, \qquad (4.10.20)$$

где M_A – момент нагрузки любой данной фазы;

M_B, M_C – моменты нагрузки двух других фаз;

s_A – сечение провода данной фазы;

s_0 – сечение нулевого провода;

C – коэффициент (табл. 4.10.8) для двухпроводных линий.

Первый член формулы дает потерю напряжения в фазном, второй – в нулевом проводе. Моменты нагрузки каждой фазы должны учитываться до последней лампы этой фазы, но не дальше, чем до последней лампы той фазы, в которой определяется потеря напряжения.

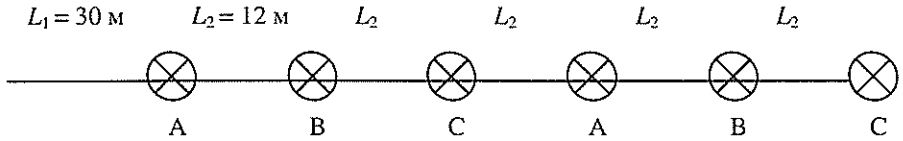


Рис. 4.51. К примеру расчета четырехпроводных несимметричных сетей на потерю напряжения

Пример. Рассчитать на потерю напряжения 2 % линию на напряжение 380/220 В, выполненную алюминиевыми проводами. Схема линии с лампами накаливания 1 кВт каждая показана на рис. 4.51.

Для фазы *C*:

$$M_A = 2 \cdot 48 = 96 \text{ кВт·м}; \; M_B = 2 \cdot 60 = 120 \text{ кВт·м}; \; M_C = 2 \cdot 72 = 144 \text{ кВт·м}.$$

Если предположить, что сечение нулевого провода равно половине сечения провода фазы *C*, то из формулы (4.10.20) следует:

$$\Delta U_C = \frac{3M_C - M_A - M_B}{2Cs_C} = \frac{216}{2 \cdot 7{,}4 \cdot s_C} = \frac{14{,}6}{s_C} = 2\,\%,$$

откуда $s_C = 6$ мм^2 (с недостатком); $s_0 = 4$ мм^2 (с избытком).

Для фазы *A*:

$M_A = 2 \cdot 48 = 96$ кВт·м; $M_B = 1 \cdot 42 + 1 \cdot 66 = 108$ кВт·м; $M_C = 1 \cdot 54 + 1 \cdot 66 = 120$ кВт·м, причем два последних момента подсчитаны только до последней лампы фазы *A*.

При уже выбранном $s_0 = 4$ мм^2 потеря в нулевом проводе для фазы *A* составит

$$\Delta U_0 = \frac{96 - 0{,}5(108 + 120)}{2 \cdot 7{,}4 \cdot 4} = -\frac{18}{59{,}2} = -0{,}3\,\%,$$

следовательно, в фазовом проводе фазы *A* может быть допущена потеря напряжения 2+0,3 = 2,3 %.

Первый член формулы (4.10.20) позволяет найти

$$s_A = \frac{M_A}{2C\Delta U_A} = \frac{96}{2 \cdot 7{,}4 \cdot 2{,}3} \approx 2{,}5 \text{ мм}^2.$$

Аналогично может быть рассчитана фаза *B*.

Потеря напряжения в трехфазных несимметричных сетях, при питании ламп линейным напряжением, при прямом следовании фаз при одинаковом *R* всех проводов определяется по формуле

$$\begin{aligned}\Delta U_{AB} = {} & [2I_{AB}\cos\varphi_{AB} - I_{CA}\cos(\varphi_{CA} - 120°) - I_{BC}\cos(\varphi_{BC} + 120°)]R + \\ & + [2I_{AB}\sin\varphi_{AB} - I_{CA}\sin(\varphi_{CA} - 120°) - I_{BC}\sin(\varphi_{BC} + 120°)]X.\end{aligned} \qquad (4.10.21)$$

Аналогично определяется ΔU_{BC} и ΔU_{CA}.

При обратном следовании фаз ΔU при разных $\cos\varphi$ может оказаться выше, поэтому дополнительно производится проверка ΔU и при обратном следовании фаз.

В этом случае в формуле (4.10.21) следует поменять на обратные знаки у углов 120°, стоящих под знаком cos и sin, т.е. формула (4.10.21) приобретает вид:

$$\begin{aligned}\Delta U_{AB} = {} & [2I_{AB}\cos\varphi_{AB} - I_{CA}\cos(\varphi_{CA} + 120°) - I_{BC}\cos(\varphi_{BC} - 120°)]R + \\ & + [2I_{AB}\sin\varphi_{AB} - I_{CA}\sin(\varphi_{CA} + 120°) - I_{BC}\sin(\varphi_{BC} - 120°)]X.\end{aligned} \qquad (4.10.22)$$

В формулах (4.10.21) и (4.10.22) ΔU потеря напряжения, %; I_{AB}, I_{CA}, I_{BC} – фазные токи (токи нагрузки), А; *R* и *X* – активное и индуктивное сопротивления линий, Ом.

Пример. Определить ΔU в трехфазной линии на напряжение 380 В, выполненной кабелем $АВБ_БШ_В$-1 (3 х 35 + 1 х 16) и питающей две ксеноновые лампы (рис. 4.52). Мощность каждой лампы $P = 20$ кВт, $\cos\varphi \approx 0{,}9$.

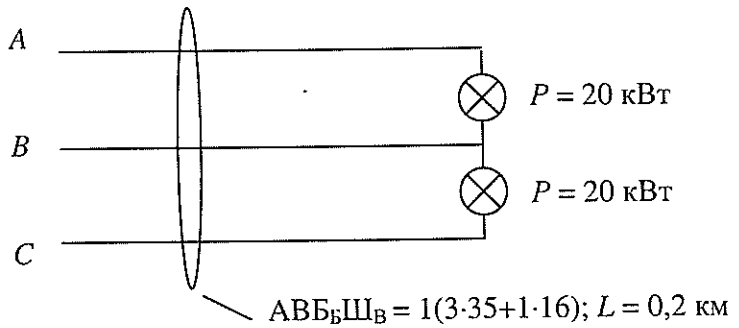


Рис. 4.52. К примеру расчета потери напряжения в сети с неравномернои нагрузкой фаз при питании ламп линейным напряжением

По табл. 4.10.10 для кабеля с алюминиевыми жилами сечением 35 мм^2 находим $r = 0{,}95$ Ом/км, $x = 0{,}075$ Ом/км:

$$R = rL = 0{,}95 \cdot 0{,}2 = 0{,}190 \text{ Ом};$$

$$X = xL = 0{,}075 \cdot 0{,}2 = 0{,}015 \text{ Ом}.$$

Ток лампы (фазный ток)

$$I_Л = \frac{P_Л}{U_Н \cos\varphi} = \frac{20000}{380 \cdot 0{,}9} \approx 60 \text{ А};$$

$\Delta U_{AB} = [2 \cdot 60 \cdot 0{,}9 - 60 \cdot \cos(26° - 120°)]0{,}19 + [2 \cdot 60 \cdot 0{,}44 - 60 \cdot \sin(26° - 120°)]0{,}015 = 21 + 1{,}7 = 22{,}7$ В, или 6 % $U_Н$;

$$\Delta U_{CA} = \Delta U_{AB} \quad \text{(согласно рис. 4.52)}.$$

При питании газоразрядных ламп и других электроприемников с $\cos\varphi$, меньшим 1, полная потеря напряжения $\Delta U_П$ (в процентах) определяется из выражения

$$\Delta U_П = \Delta U \, k_K, \qquad (4.10.23)$$

где ΔU – активная составляющая потери напряжения, определяемая по таблицам моментов (табл. 4.10.10–4.10.21), %; k_K – поправочный коэффициент, учитывающий реактивную составляющую потери напряжения и принимаемый по табл. 4.10.22.

Пример. Нагрузка электроосвещения мощностью $P = 100$ кВт, расположенная на расстоянии $L = 50$ м от подстанции, питается кабелем АВВГ-1 (4 х 50). Напряжение сети 380/220 В; $\cos\varphi = 0{,}6$. Определить $\Delta U_П$.

Решение.

По табл. 4.10.10 находим A ($\Delta U = 2{,}3$ %); по табл. 4.10.22 $k_K = 1{,}14$, следовательно, $\Delta U_П = 2{,}3 \cdot 1{,}14 \approx 2{,}65$ %.

Определение ΔU в шинопроводах производится: для шинопроводов типа ШРА – по табл. 4.10.23; для шинопроводов типа ШОС-67 – аналогично определению ΔU для кабельных и трубных проводок, исходя из сечения медных проводников, равного 6 мм^2.

Особенности расчета сетей с газоразрядными лампами. Пускорегулирующие аппараты (ПРА) газоразрядных ламп ведут к искажению синусоидальной формы тока и появлению высших гармоник. В свою очередь, высшие гармоники, в основном третья, приводят к наличию тока в нулевых рабочих проводах трехфазных линий.

По ГОСТ 16809–71 «Аппараты пускорегулирующие для газоразрядных ламп» величина тока в нулевом проводе трехфазных линий не должна превышать тока в фазных проводах – при компенсированных ПРА и половины этого тока – при индуктивных ПРА.

Это положение должно учитываться при выборе сечения нулевого проводника; но даже при компенсированных схемах оно не всегда приводит к равенству сечений нулевого и фазных проводников, так как последние могут быть приняты повышенного сечения по условиям ограничения потери напряжения, механической прочности и т.п.

Повышенный ток в нулевом проводе, а следовательно, и в нейтрали трансформаторов может привести к недопустимому его перегреву.

Таблица 4.10.22

Значения коэффициента k_K

s, мм^2	Проводники при расстоянии между ними, равном примерно диаметру проводника (кабели, провода в трубах и т.п.), при $\cos\varphi$					Проводники при расстоянии между ними 15–40 см (провода на изоляторах, на клицах и т.п.) при $\cos\varphi$				
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Для алюминиевых проводников										
4	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01					
6	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01					
10	1,04	1,03	1,02	1,02	1,01					
16	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,28	1,21	1,16	1,12	1,08
25	1,11	1,08	1,06	1,05	1,03	1,40	1,31	1,23	1,17	1,12
35	1,14	1,11	1,08	1,06	1,04	1,54	1,41	1,31	1,23	1,16
50	1,18	1,14	1,10	1,08	1,05	1,73	1,56	1,42	1,31	1,21
70	1,24	1,19	1,14	1,10	1,07	2,00	1,76	1,57	1,43	1,29
95	1,35	1,27	1,20	1,15	1,10	2,30	2,00	1,75	1,56	1,38
120	1,43	1,33	1,25	1,19	1,13	2,60	2,25	1,93	1,70	1,47
150	1,55	1,43	1,32	1,24	1,16					
185	1,67	1,52	1,39	1,29	1,19					
240	1,88	1,68	1,51	1,38	1,25					
240	1,88	1,68	1,51	1,38	1,25					
Для медных проводников										
4	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01					
6	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,2	1,12	1,09	1,07	1,04
10	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02	1,29	1,23	1,17	1,13	1,08
16	1,12	1,09	1,07	1,05	1,03	1,45	1,35	1,26	1,20	1,13
25	1,18	1,14	1,10	1,08	1,05	1,68	1,52	1,39	1,29	1,19
35	1,24	1,18	1,14	1,10	1,07	1,92	1,70	1,53	1,40	1,26
50	1,33	1,25	1,19	1,14	1,09	2,26	1,97	1,73	1,55	1,36
70	1,43	1,33	1,25	1,19	1,12	2,73	2,33	2,00	1,75	1,50
95	1,57	1,44	1,33	1,25	1,16	3,10	2,70	2,28	1,96	1,64
120	1,73	1,56	1,42	1,31	1,21	3,70	3,10	2,56	2,17	1,78
150	1,91	1,70	1,53	1,40	1,26					
185	2,13	1,87	1,65	1,49	1,32					

Таблица 4.10.23

Моменты для расчета шинопроводов типа ШРА по потере напряжения. Трехфазная система 380/220 В (3 фазы и нулевой рабочий проводник)

ΔU, %	Значение момента нагрузки, кВт м, при коэффициенте мощности, равном											
	0,95	0,9	0,57	0,5	0,95	0,9	0,57	0,5	0,95	0,9	0,57	0,5
	нагрузка линии 250 А				нагрузка линии 400 А				нагрузка линии 600 А			
0,2	837	788	580	533	1305	1193	795	717	2188	1950	1197	1064
0,4	1674	1576	1160	1066	2610	2386	1590	1434	4376	3900	2394	2128
0,6	2511	2364	1740	1599	3915	3579	2385	2151	6564	5850	3591	3192
0,8	3348	3152	2320	2132	5220	4772	3180	2868	8752	7800	4788	4256
1,0	4185	3940	2900	2665	6525	5965	3975	3585	10940	9750	5985	5320
1,2	5022	4728	3480	3198	7830	7158	4770	4302	13128	11700	7182	6384
1,4	5859	5516	4060	3731	9135	8351	5565	5019	15316	13650	8379	7448
1,6	6696	6304	4640	4264	10440	9544	6360	5736	17504	15600	9576	8512
1,8	7533	7092	5220	4797	11745	10737	7155	6453	19692	17550	10773	9576
2,0	8370	7880	5800	5330	13050	11930	7950	7170	21880	19500	11970	10640
2,2	9207	8668	6380	5863	14355	13123	8745	7887	24068	21450	13167	11704
2,4	10044	9456	6960	6396	15660	14316	9540	8604	26256	23400	14364	12768
2,6	10881	10244	7540	6929	16965	15509	10335	9321	28444	25350	15561	13832
2,8	11718	11032	8120	7462	18270	16702	11130	10038	30632	27300	16758	14896
3,0	12555	11820	8700	7995	19575	17895	11925	10755	32820	29250	17955	15960
3,2	13392	12608	9280	8528	20880	19066	12720	11472	35008	31200	19152	17024
3,4	14229	13396	9860	9061	22185	20281	13515	12189	37196	33150	20349	18088
3,6	15066	14184	10440	9594	23490	21474	14310	12906	39384	35100	21546	19152
3,8	15903	14972	11020	10127	24795	22667	15105	13623	41572	37050	22743	20216
4,0	16740	15760	11600	10660	26100	23860	15900	14340	43760	39000	23940	21480
4,2	17577	16548	12180	11193	27405	25053	16695	15057	45918	40950	25137	22344
4,4	18414	17336	12760	И726	28710	26246	17490	15774	48136	42900	26334	23408
4,6	19251	18124	13310	12259	30015	27439	18285	16491	50324	44850	27531	24472
4,8	20088	18912	13920	12792	31320	28632	19080	17207	52512	46800	28728	25536
5,0	20925	19700	14500	13325	32625	29825	19875	17925	54700	48750	29925	26600

Согласно ГОСТ 11677–65 значение тока в нулевом выводе трансформатора не должно превышать 0,25 фазного тока – при схеме соединения его обмоток $Y/Y_н$ и 0,75 фазного тока – при схеме $\Delta/Y_н$. Это должно учитываться при выборе трансформаторов.

При расчете сети, помимо мощности ламп, учитываются также и потери в ПРА, в пределах 5–40 % номинальной мощности ламп.

Включение газоразрядных ламп в сеть через ПРА приводит к понижению $\cos\varphi$. Для повышения $\cos\varphi$ до значения 0,9–0,95, как правило, используются статические конденсаторы.

Компенсация $\cos\varphi$ может быть индивидуальной или групповой. При индивидуальной компенсации конденсаторы устанавливаются у каждого светильника (преимущественно встраиваются в него), при групповой – присоединяются к началу каждой групповой линии или, реже, к питающим осветительным линиям или шинам подстанции.

Индивидуальная компенсация должна выполняться, как правило, заводами-изготовителями светильников.

В настоящее время светотехническая промышленность поставляет комплектно с компенсирующими конденсаторами только светильники с люминесцентными лампами и применение таких светильников без индивидуальной компенсации запрещено.

Светильники с прочими газоразрядными лампами (ДРЛ, ДРИ и др.) компенсирующими конденсаторами, как правило, не комплектуются, и в необходимых случаях в проекте предусматривается групповая компенсация реактивной мощности. Целесообразность последней выявляется технико-экономическими расчетами, в которых учитываются многие факторы, в том числе величина мощности газоразрядных ламп и ее доля в общей мощности освещения объекта, загрузка трансформаторов, характеристика электросиловых потребителей и т.д. При этом нередко оказывается, что применение конденсаторов в сетях освещения экономического эффекта не дает.

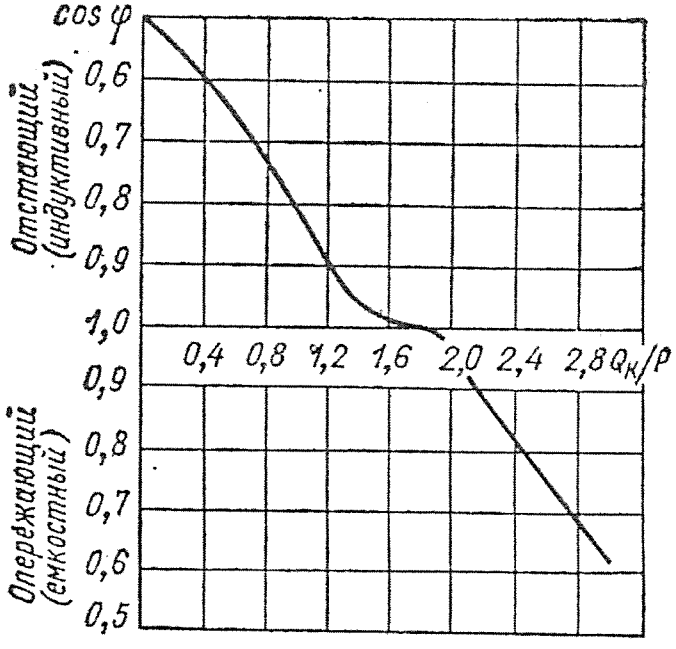


Рис. 4.53. График для определения $\cos\varphi$ в установках с лампами ДРЛ:
P – номинальная мощность ламп ДРЛ, включая потери в ПРА, кВт; Q_K – мощность подключаемых к осветительной сети конденсаторов, кВАр

Реактивная мощность конденсаторов Q_K (в киловольт-амперах реактивных), необходимая для повышения $\cos\varphi_1$ до значения $\cos\varphi_2$ определяется по формуле

$$Q_K = P(\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2), \qquad (4.10.24)$$

где P – активная мощность (номинальная мощность ламп накаливания и газоразрядных с учетом потерь в ПРА), кВт.

Для расчета сетей только с лампами ДРЛ при cos φ комплекта «лампа-ПРА» 0,5 на рис. 4.53 приведен график, позволяющий определить cos φ по заданным P и Q_K или Q_K по заданным P и cos φ.

Для определения по P и реактивной мощности Q полной мощности S и cosφ может быть использован график на рис. 4.54.

При индивидуальной компенсации применяются конденсаторы малой мощности, основной характеристикой которых является емкость.

Емкость С (в микрофарадах) определяется по формуле

$$C = \frac{Q_K}{2\pi f U^2 \cdot 10^{-3}}, \qquad (4.10.25)$$

где U – напряжение на зажимах конденсатора, кВ;

f – частота переменного тока, Гц;

Q_K – мощность конденсатора, кВАр.

Для компенсации реактивной мощности газоразрядных ламп преимущественно использовались: для индивидуальной компенсации – конденсаторы типа ЛС, для групповой на групповых линиях – конденсаторы типа КС мощностью 18 и 36 кВАр, в настоящее время используются компенсирующие установки (см.п. 4.1).

Схема компенсации на трехфазных групповых линиях с лампами ДРЛ показана на рис. 4.55. Ответвительные клеммы устанавливаются в тех случаях, когда расчетный ток, протекающий через автоматический выключатель, более 0,6 его номинального тока.

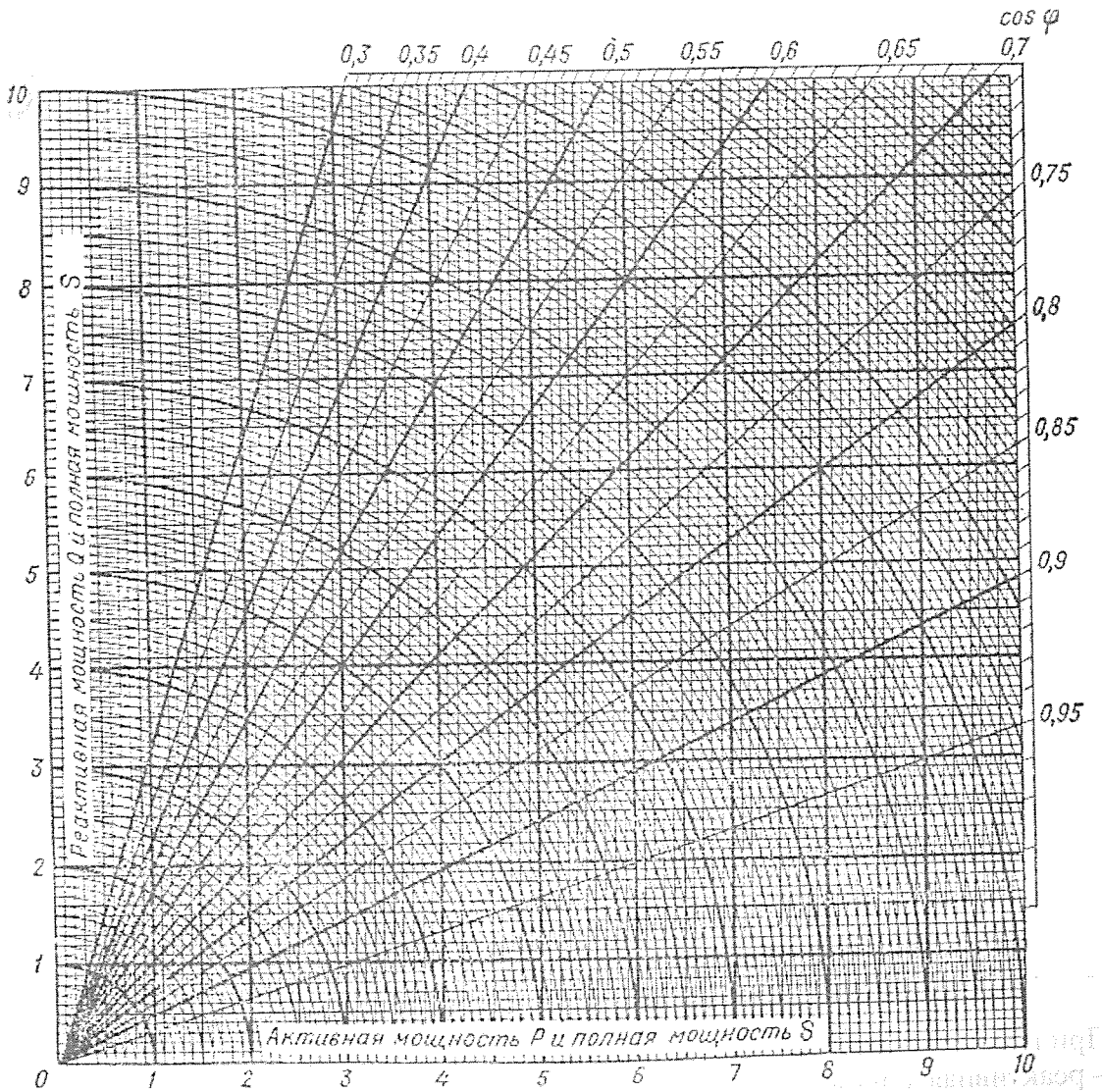


Рис. 4.54. Номограмма P–Q–S–cosφ

Если в этих случаях проводники ламп и конденсатора присоединить непосредственно к автоматическому выключателю (АВ), то тепловыделения, обусловленные токами лампы и конденсатора и дополнительными переходными сопротивлениями в месте присоединения проводников к АВ, могут вызвать недопустимый перегрев последнего.

В отдельных случаях во избежание перегрева контактных частей автоматические выключатели выбираются на большие номинальные токи.

На участках сети с некомпенсированной реактивной мощностью на потерю напряжения влияет не только активное, но индуктивное сопротивление линий.

Для учета индуктивного сопротивления линий при расчете сетей на потерю напряжения найденные по табл. 4.10.10–4.10.21 значения моментов нагрузки умножаются на коэффициент $k_к$ (табл. 4.10.22).

Токи высших гармоник также влияют на величину потери напряжения, но в редких случаях: в основном в предельно нагруженных воздушных линиях сечением 50 мм^2 и выше и в линиях с потерями напряжения.

Ниже приводится пример расчета сетей с газоразрядными лампами, при наличии групповой компенсации.

Пример. Общая мощность освещения P = 18 кВт, в том числе лампы накаливания $P_Н$ = 3 кВт, $\cos\varphi$ = 1 и лампы ДРЛ $P_Д$ = 15 кВт (с учетом потерь в ПРА), $\cos\varphi$ = 0,5; $\operatorname{tg}\varphi$ = 1,73. Питание освещения осуществляется трехфазной четырехпроводной линией, выполненной кабелем АВВГ. Фазное напряжение сети $U_Ф$ = 0,22 кВ. Загрузка фаз равномерная.

Определить мощность компенсирующего конденсатора $Q_К$, ток автоматического выключателя $I_А$ на осветительном щитке, сечение (по току) фазовых $s_Ф$ и нулевого s_0 проводов групповой сети, ток линии $I_Л$.

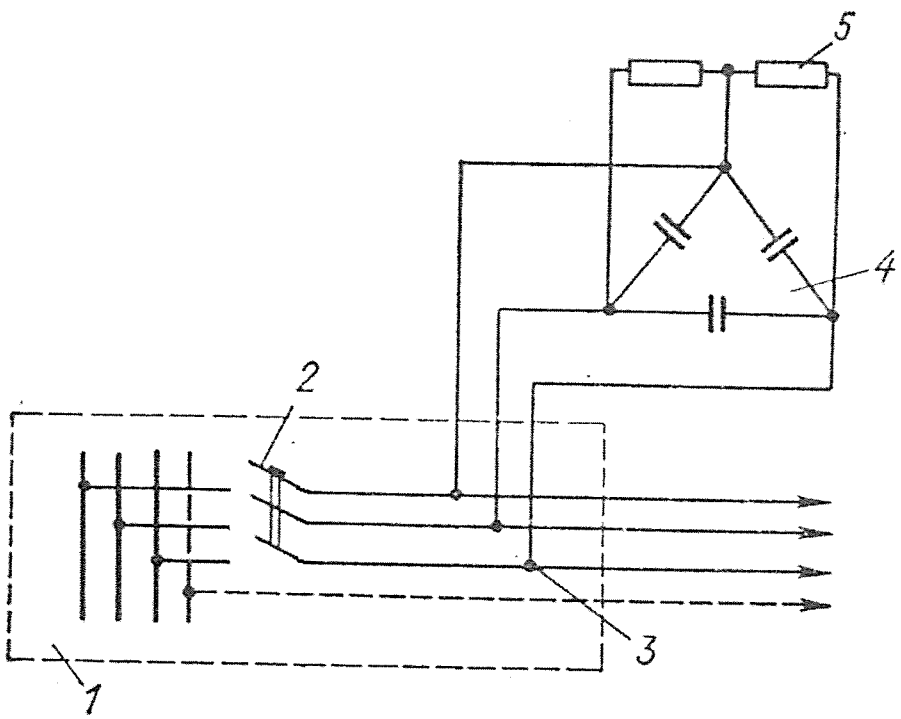


Рис. 4.55. Схема присоединения проводов к щитку при питании ламп ДРЛ с групповой компенсацией при нагрузке более 0,6 номинального тока АВ: 1 – групповой щиток; 2 – АВ А3163; 3 – зажим У734М; 4 – трехфазный конденсатор; 5 – разрядный резистор

При неисправленном коэффициенте мощности:

– реактивная мощность:

$$Q_1 = P_Д \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 = 15 \cdot 1{,}73 = 26 \text{ кВАр};$$

– полная мощность

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{18^2 + 26^2} = 31{,}6 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

– ток групповой линии

$$I_{Л} = \frac{S_1}{\sqrt{3}U_{Л}} = 48 \text{ А};$$

– коэффициент мощности установки

$$\cos\varphi_1 = \frac{P}{S_1} = \frac{18}{31{,}6} = 0{,}57;$$

– необходимая мощность конденсатора, устанавливаемого в начале групповой линии (рис. 4.55) для повышения коэффициента мощности от $\cos\varphi_1 = 0{,}57$ ($\text{tg}\varphi_1 = 1{,}43$) до значения $\cos\varphi_2$, близкого к 0,95 ($\text{tg}\varphi_2 = 0{,}33$),

$$Q_K = P\ (\text{tg}\ \varphi_1 - \text{tg}\ \varphi_2) = 18\ (1{,}43 - 0{,}33) = 19{,}8 \text{ кВАр}.$$

Ориентируясь на выпускаемые промышленностью аппараты, принимаем мощность конденсатора равной 18 кВАр.

При исправленном коэффициенте мощности $\cos\varphi_2$:

– реактивная мощность

$$Q_2 = Q_1 - Q_K = 8 \text{ кВАр};$$

– полная мощность

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = 19{,}6 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

– коэффициент мощности

$$\cos\varphi_2 = \frac{P}{S_2} = 0{,}92.$$

По табл. 4.10.2 для $I_{Л} = 48$ А определяем $s_{Ф} = 16$ мм^2.

Ввиду отсутствия компенсации реактивной мощности на участке «автоматический выключатель-лампы» увеличения s_0 до $s_{Ф}$ не требуется: принимаем s_0 равным 10 мм^2, тогда

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = 19{,}6 \text{ кВА},$$

где $k_{П} = 1{,}4$ – коэффициент на пусковые токи.

Выбираем автоматический выключатель с расцепителем на ток 40 А.

Расчет сетей дистанционного управления освещения. При расчете сетей дистанционного управления освещением необходимо учитывать следующее:

1. У катушек управляемых аппаратов (магнитных пускателей, контакторов, реле) должно быть обеспечено напряжение не менее 85 % номинального.

2. В момент пуска по сравнению с рабочим режимом:

– при питании переменным током – понижается $\cos\varphi$ и возрастает ток (в 10–15 раз);

– при питании постоянным током – сила тока несколько уменьшается.

3. При определении сечения линий учитывается сопротивление катушек, поскольку величина этих сопротивлений оказывается вполне сопоставимой с сопротивлениями проводов сети.

При переменном токе сечение s проводников с малым индуктивным сопротивлением X (провода в трубах, кабели и т.п.) определяется по формуле

$$s = \frac{2L\, I_{П}\, \rho \cdot 10^9}{U_{Н}(\sqrt{1{,}4 - \sin^2\varphi_{П} - \cos^2\varphi_{П}})}, \qquad (4.10.29)$$

где L – длина линии управления (в один конец), км;

$I_{П}$ – пусковой ток катушки управляемого аппарата, А;

ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·м;

$U_{Н}$ – номинальное напряжение сети управления, В;

$\varphi_{П}$ – угол сдвига фаз мужду $I_{П}$ и $U_{Н}$.

В упрощенном виде формула (4.10.29) может быть представлена в виде:

где $$s = \beta I_П L,$$

$$\beta = \frac{2\rho \cdot 10^9}{U_Н(\sqrt{1{,}4 - \sin^2 \varphi_П - \cos^2 \varphi_П})}. \qquad (4.10.30)$$

Числовые значения коэффициента β приводятся в табл. 4.10.24. Для сетей переменного тока с большим X (электропроводки проводами на изоляторах, воздушные линии) потеря напряжения (в процентах)

$$\Delta U = 100(1 - \frac{Z_К}{Z'}), \qquad (4.10.31)$$

где $Z_К = U_Н / I_Н$ – полное сопротивление катушки, Ом; Z' – полное сопротивление цепи с учетом сопротивления проводников и катушки, Ом;

$$Z' = \sqrt{(R_Л + R_К)^2 + (X_Л + X_К)^2}, \qquad (4.10.32)$$

где $$R_Л = \frac{2\rho L \cdot 10^9}{s};$$

$$R_К = Z_К \cos \varphi_П = \frac{U_Н}{I_П} \cos \varphi_П;$$

$$X_Л = 2\,x\,L;$$

$$X_К = Z_К \sin \varphi_П = \frac{U_Н}{I_П} \sin \varphi_П.$$

Таблица 4.10.24

Значение коэффициента β

$\cos \varphi_П$	Медные жилы при напряжении, В, равном			Алюминиевые жилы при напряжении, В, равном		
	127	220	380	127	220	380
1	1,57	0,91	0,52	26	1,51	0,86
0,95	1,47	0,86	0,49	2,44	1,43	0,81
0,9	1,43	0,83	0,475	2,37	1,38	0,79
0,85	1,36	0,79	0,45	2 26	1,31	0,75
0,8	1,3	0,75	0,43	2,16	1,24	0,71
0,75	1,24	0,72	0,41	2,06	1,19	0,68
0,7	1,17	0,68	0,39	1,94	1,13	0,65
0,65	1,1	0,64	0,37	1,83	1,06	0,61
0,6	1,04	0,6	0,345	1,73	1,0	0,57
0,55	0,99	0,57	0,33	1,64	0,95	0,55
0,5	0,93	0,54	0,31	1,55	0,9	0,52
0,45	0,89	0,51	0,3	1,48	0,85	0,5
0,4	0,83	0,48	0,275	1,38	0,8	0,46
0,35	0,78	0,45	0,26	1,29	0,75	0,43
0,3	0,72	0,415	0,24	1,19	0,69	0,4
0,25	0,665	0,385	0,22	1,1	0,64	0,365
0,2	0,62	0,355	0,205	1,03	0,59	0,34

При постоянном токе расчет сетей дистанционного управления производится по формуле

$$\Delta U = \frac{0{,}85 I_P R_Л}{U_Н} \cdot 100, \qquad (4.10.33)$$

где ΔU – потеря напряжения, %; I_P – расчетный ток катушки, А.

Поскольку жилы телефонных кабелей имеют единый стандартный диаметр 0,5 мм, при котором r = 95 Ом/км, формула приобретает вид:

$$\Delta U = \frac{161{,}5 I_P L}{U_Н} \cdot 100. \qquad (4.10.34)$$

При наиболее распространенном напряжении $U_Н$ = 48 В

$$\Delta U = 337 I_P L. \qquad (4.10.35)$$

В формулах (4.10.34) и (4.10.35) L – длина линии в один конец, км.

В тех случаях, когда напряжение источника питания постоянного тока $U_И$ больше, чем номинальное напряжение катушки $U_Н$, необходимо включение в цепь питания отдельных катушек добавочного сопротивления $R_Д$ для погашения избытка напряжения.

При телефонных кабелях

$$R_Д = \frac{U_Н}{0{,}85} - 190L - R_К, \qquad (4.10.36)$$

где $R_К$ – омическое сопротивление катушки, Ом.

Формула (4.10.36) может быть принята также для определения значения $R_Д$ в цепи сигнальных ламп.

Пример 1. Сеть управления, выполненная двужильным кабелем с медными жилами, питает катушку контактора.

Данные контактора: $U_Н$ = 220 В; $I_П$ = 20 А; cos $\varphi_П$ = 0,3; длина линии (в один конец) L = 1 км.

Определить сечение линии s:

$$s = I_П L \frac{2\rho \cdot 10^9}{U_Н(\sqrt{1{,}4 - \sin^2 \varphi_П} - \cos\varphi_П)} = 20 \cdot 1 \frac{2 \cdot 20}{220(\sqrt{1{,}4 - 0{,}9} - 0{,}3)} = 9 \text{ мм}^2.$$

Принимаем ближайшее большее сечение – 10 мм^3.

Пример 2. Условия аналогичны примеру 1, но линия воздушная.

Предполагаем, что $s \geq 10$ мм^2 (полное сопротивление линии Z' несколько больше, чем в примере 1, за счет наличия $X_Л$). При s = 10 мм^2.

$$R_Л = \frac{2\rho L \cdot 10^9}{s} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 1}{10} = 4 \text{ Ом};$$

$$R_К = \frac{U_Н}{I_Н}\cos\varphi_П = \frac{220}{20} \cdot 0{,}3 = 3{,}3 \text{ Ом};$$

$$X_Л = 2x\,L = 2 \cdot 0{,}37 \cdot 1 = 0{,}74 \text{ Ом};$$

$$X_К = \frac{U_Н}{I_Н}\sin\varphi = \frac{220}{20} \cdot 0{,}95 = 10{,}5 \text{ Ом};$$

$$Z' = \sqrt{(R_Л - R_К)^2 + (X_Л + X_К)^2} = \sqrt{(4 + 3{,}3)^2 + (0{,}74 + 10{,}5)^2} = 13{,}3 \text{ Ом};$$

$$\Delta U = 100(1 - \frac{Z_К}{Z'}) = 100(1 - \frac{11}{13{,}3}) = 17\ \%.$$

ΔU несколько выше допустимой (15 %), поэтому принимаем s = 16 мм^2.

4.11. Расчеты при выборе заземляющих устройств

В целом сопротивление растеканию электрического тока с заземлителей (сопротивление заземляющего устройства) складывается из сопротивления собственно вертикальных и горизонтальных заземлителей (в зависимости от вида заземляющих устройств) и удельного сопротивления грунта. Чем точнее определено удельное сопротивление грунта, тем выше точность расчета сопротивления ЗУ. Чаще всего удельное сопротивление грунта выбирают из таблиц, точность таких выбранных данных оказывается невысокой, что приводит к увеличению количества вертикальных заземлителей. А это в свою очередь приводит к удорожанию ЗУ.

Для более точного определения удельного сопротивления грунта необходимо проводить его измерение непосредственно на объекте. Однако не всегда имеется такая возможность, т.к. измерение требует специальных приборов и опыта персонала, выполняющего измерения.

В настоящее время для территорий занятых населенными пунктами и городами составлены или составляются геологические планы, из которых можно взять данные по удельным сопротивлениям грунта.

Рассмотрим порядок определения электрических характеристик грунта, так как это наиболее распространенные практика определения удельного сопротивления грунта, и порядок проведения измерения.

Определение электрических характеристик грунта

Электрические характеристики грунта (земли) оказывают решающее влияние на сопротивление заземляющих устройств, а значит и на электробезопасность персонала, обслуживающего ЭУ. Сопротивление ЗУ, выполненного в виде одиночного вертикального заземлителя, определяется, как указывалось выше, по формуле:

$$R_3 = \rho/(\pi D).$$

Проводимость поверхностного слоя существенно влияет на величину напряжений прикосновения и шага.

Удельное электрическое сопротивление грунта изменяется в очень широком диапазоне в зависимости от геологической структуры земли. Однако даже на площадке, выбранной для сооружения заземляющего устройства, грунты отличаются чаще всего значительной неоднородностью в вертикальном и горизонтальных разрезах, поэтому удельное сопротивление, удовлетворяющее высокой точности расчета, можно получить только путем непосредственных измерений.

В случаях, когда не требуется высокой точности расчета, можно использовать табличные значения удельного сопротивления грунта. Известно, что все вещества по своим электропроводящим свойствам разделяются на проводники ($\rho \leq 10^{-5}$ Ом м), изоляторы ($\rho \geq 10^{8}$ Ом·м) и полупроводники (10^{-5} Ом·м $< \rho < 10^{8}$ Ом·м). Горные породы, различные структуры земли и естественные водные среды, как правило, относятся к полупроводникам.

Удельное электрическое сопротивление различных горных пород (табл. 4.11.1), измеренное при температуре 15–30 °С и при промышленной частоте 50–60 Гц, приведено в табл. 4.11.2.

Значения удельного сопротивления для отдельного минерала в ряде случаев отличаются на несколько порядков. Эти изменения обусловлены влиянием примесей и различной структурой минеральных зерен, на которых проводились измерения.

Микроскопические трещины и окисления поверхности в пределах индивидуальных зерен вызывают значительные изменения значений измеряемых сопротивлений.

Таблица 4.11.1

Классификация наиболее распространенных обломочных и глинистых пород

Структура породы	Размеры зерен, мм	Несцементированные породы			Сцементированные породы
		Несвязные		Связные	
		Неокатанные	Окатанные		
Крупнообломочная	1000–500 100–40 40–2	Глыбы Дресва Щебень	Валуны Галька Гравий	– – –	Конгломерат
Среднеобломочная	2–0,05	Песок различной крупности		–	Песчаник
Мелкообломочная, пылеватая	0,05–0,005	–	–	Супесь, лёсс, алеврит	Алевролит
Тонкая	0,005	–	–	Суглинок, глина	Аргиллит, глинистый сланец

Таблица 4.11.2

Удельное электрическое сопротивление горных пород ρ

Горная порода	Удельное сопротивление ρ, Ом · м											
	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^{0}	10^{1}	10^{2}	10^{3}	10^{4}	10^{5}
Графит												
Магнетит												
Сульфиды												
Уголь антрацит												
Вода морская, подземная												
Песок с соленой водой												
Песчаник рыхлый												
Глина												
Доломит												
Вода речная												
Известняк рыхлый, ракушечник												
Мергель												
Песок с пресной водой												
Уголь бурый												
Уголь каменный												
Песчаник плотный												
Сланец глинистый												
Известняк плотный												
Вода дождевая												
Гнейс												
Базальт												
Габбро												
Гранит												
Диабаз												
Каменная соль												

В табл. 4.11.3 приведены удельные сопротивления водосодержащих пород. Эти данные также относятся к температуре порядка 20 °С и к промышленной частоте проводимых измерений. Электропроводность породы, если она не содержит высоких концентраций проводящих минералов, при обычных температурах определяется количеством присутствующей в ней воды, минерализацией воды и характером распределения воды в породе.

Сопротивление ρ водосодержащих пород можно сопоставить с содержанием воды, используя эмпирическую формулу

$$\rho = a\rho_\omega \Phi^{-m} S^{-n},$$

где ρ_ω – удельное электрическое сопротивление содержащейся в породе воды;

Φ – пористость;

S – доля порогового объема, заполненного водой;

a, m, n – эмпирические параметры.

Параметр m принимает значения от 1,3 для рыхлого песка до 2,5 для плотно сцементированной зернистой породы. В табл. 4.11.4 приведены значения Φ, a и m. Значение n в уравнении очень близко по значению к 20 для случая, когда вода заполняет более 30 % породового пространства. Для пород, у которых вода не смачивает зерна минералов, параметр n может достигать 10.

Таблица 4.11.3

Пределы электрического удельного сопротивления водосодержащих пород ρ

Геологический возраст пород	Удельное сопротивление ρ, Ом·м				
	Морской песок, глинистый сланец	Континентальные пески, песчаник	Вулканические породы (базальты, туфы)	Граниты, габбро	Известняки, доломиты, ангидриты, соль
Третичный, четвертичный	1–10	15–20	$10–2\cdot10^2$	$5\cdot10^2–2\cdot10^3$	$50–5\cdot10^3$
Мезозойский	5–20	$25–10^2$	$20–5\cdot10^2$	$5\cdot10^2–2\cdot10^3$	$10^2–10^4$
Карбоновый	10–40	$50–3\cdot10^2$	$50–10^3$	$10^3–5\cdot10^3$	$2\cdot10^2–10^5$
Докарбоновый палеозой	40–200	$10^2–5\cdot10^2$	$10^2–2\cdot10^3$	$10^3–5\cdot10^3$	$10^4–10^5$
Докембрийский	$10^2–2\cdot10^3$	$3\cdot10^2–5\cdot10^3$	$2\cdot10^2–5\cdot10^3$	$5\cdot10^3–2\cdot10^4$	$10^4–10^5$

Значения удельного электрического сопротивления грунтовых вод приведены в табл. 4.11.5.

Удельное электрическое сопротивление породы зависит также от температуры. Для водосодержащих пород влияние температуры на сопротивление породы такое же, как и влияние температуры на электрическое сопротивление находящейся в породе воды в интервале температур между точками ее замерзания и кипения. Изменения сопротивления, вызванные температурными изменениями в растворе электролита, приближенно выражаются формулой

$$\rho_T = \rho_{20} e^{-0{,}022(T-20)},$$

где ρ_T, ρ_{20} – сопротивления при температурах T и 20 °С соответственно.

Таблица 4.11.4

Значения пористости Φ, параметров a и m для водонасыщенных пород

Формации водонасыщенных пород	Φ	a	m
Песок (девон, мел, эоцен)	0,15–0,367	0,62	2,15
Песчаник (юра)	0,14–0,23	0,62	2,10
Чистый миоценовый песчаник	0,11–0,26	0,78	1,92
Чистый меловой песчаник	0,08–0,25	0,47	2,23
Чистый ордовикский песчаник	0,07–0,15	1,30	1,71
Сланцевый песчаник (эоцен)	0,09–0,22	1,80	1,64
Сланцевый песчаник (олигоцен)	0,07–0,26	1,70	1,65
Сланцевый песчаник (мел)	0,07–0,31	1,70	1,80
Оолитовый известняк (мел)	0,07–0,19	2,30	1,64
Оолитовый известняк (юра)	0,09–0,26	0,73	2,10
Кремнистый известняк (девон)	0,07–0,30	1,20	1,88
Известняк (мел)	0,08–0,30	2,20	1,65

Таблица 4.11.5

Удельное электрическое сопротивление грунтовых вод

Образец породы	Сопротивление при 20 °С, Ом·м	
	пределы изменения	среднее значение
Изверженные породы	3–40	7,60
Современные и плейстоценовые континентальные осадки	1–27	3,90
Третичные осадки	0,7–3,5	1,40
Мезозойские осадочные породы	0,31–47	2,50
Палеозойские осадочные породы	0,29–7,1	0,93
Хлоридные воды нефтяных месторождений	0,049–0,95	0,16
Сульфатные воды нефтяных месторождений	0,43–5	1,20
Бикарбонатные воды нефтяных месторождений	0,24–10	0,98

Таблица 4.11.6

Температурная зависимость удельного электрического сопротивления породы вблизи 0 °С

Горная порода	Пористость, Ф	$\rho(t=-12\,°C)$ / $\rho(t=20\,°C)$	Горная порода	Пористость, Ф	$\rho(t=-12\,°C)$ / $\rho(t=20\,°C)$
Песчаник	0,119 0,068	184 80	Доломит	0,204	237
			Гранит	0,034	430
Конгломерат	0,018 0,21	87 73	Красный порфир	0,122 0,1	343 100
Ортокварцит	0,038 0,041 0,087	76 175 375	Сиенит Нефелиновый сиенит	0,049 0,008	27 62
Глинистый сланец	0,101	255	Мариуполит	0,008	47
Известняк тонкозернистый	0,22	17	Пироксенит	0	32
			Базальт	0,064	21
Известняк	0,011 0,073	4 178	Метакварцит	0,098 0,071	10 40

Из табл. 4.11.6 видно резкое возрастание удельного электрического сопротивления горных пород при замерзании породовой влаги. В табл. 4.11.7 приведены рекомендуемые для использования в проектных расчетах значения удельного электрического сопротивления верхнего слоя земли мощностью до 50 м.

Для измерения параметров электрической структуры земли – толщины слоев и удельного электрического сопротивления каждого слоя – в настоящее время рекомендуется два способа: пробного вертикального электрода и вертикального электрического зондирования. Выбор способа измерения зависит от характеристики грунтов и необходимой точности измерения.

Метод пробного вертикального электрода может применяться в ЭУ до 20 кВ, если грунт в районе ЭУ отличается относительно невысоким удельным сопротивлением. Как правило, в таких ЭУ заземляющее устройство рассчитывается по допустимому сопротивлению, причем значительные по величине нормированные допустимые сопротивления можно получить при сравнительно невысокой точности определения удельного сопротивления грунта.

Метод основан на измерении сопротивления пробного электрода, геометрические размеры которого соответствуют принятым для проектирования заземляющего устройства, погружаемого на расчетную глубину в различных точках выбранной площадки. Для измерения может применяться любой из методов, используемых для контроля за сопротивлением заземляющих устройств с соблюдением соответствующих условий размещения электродов.

Удельное электрическое сопротивление определяется на основании формул, характеризующих сопротивление заземлителя соответствующей формы. Например, для стержневого пробного заземлителя удельное сопротивление рассчитывается по формуле

$$\rho = \frac{R \cdot l}{0{,}366 \cdot \lg \frac{2l}{d}},$$

где R – сопротивление заземлителя в виде пробного электрода, полученное измерением, Ом;

l – глубина заложения пробного электрода, м;
d – диаметр пробного электрода, м.

Таблица 4.11.7

Рекомендуемые расчетные значения удельного электрического сопротивления верхнего слоя земли (мощностью не более 50 м)

Слой земли	Сопротивление земли, Ом·м
Песок (при температуре выше 0 °С): сильно увлажненный грунтовыми водами умеренно увлажненный влажный слегка влажный сухой	 10–60 60–130 130–400 400–1500 1500–4200
Суглинок: сильно увлажненный грунтовыми водами (при температуре выше 0 °С) промерзший слой (при температуре –5 °С)	 10–60 60–190
Глина (при температуре выше 0 °С)	20–60
Торф: при температуре около 0 °С при температуре выше 0 °С	 40–50 10–40
Солончаковые почвы (при температуре выше 0 °С)	15–25
Щебень: сухой мокрый	 Не менее 5000 Не менее 3000
Дресва (при температуре выше 0 °С)	5500
Гранитное основание (при температуре выше 0 °С)	22500

Полученное в результате измерения удельное сопротивление представляет некоторую усредненную величину, учитывающую неоднородность грунта по вертикали. Чтобы учесть неоднородность грунта по горизонтали рекомендуется проводить несколько измерений в различных точках выбранной площадки и для расчетов использовать среднее арифметическое результатов измерений:

$$\rho_{CP} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \cdots + \rho_n}{n},$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_n – удельное сопротивление, полученное в результате измерения в различных точках площадки, Ом·м; n – количество измерений.

При небольших размерах площадок изменение удельного сопротивления по горизонтали незначительно и можно ограничиваться проведением одного замера. Климатические условия в районе сооружения заземляющего устройства вызывают, как правило, существенные колебания удельного сопротивления грунта в течение года в результате промерзания, увлажнения и высыхания почвы, поэтому измеренное удельное сопротивление (Ом·м) необходимо приводить к расчетным условиям посредством сезонного коэффициента:

$$\rho_Э = \rho_{CP} \cdot k, \qquad (4.11.1)$$

где $\rho_Э$ – расчетное эквивалентное удельное сопротивление (соответствует наиболее неблагоприятному климатическому состоянию грунта);

k – сезонный коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления грунта под влиянием климатических условий.

Сезонные изменения удельного сопротивления грунта зависят от климатических условий в районе ЭУ и глубины залегания слоев грунта. Для учета сезонных изменений вся территория РФ разделена на четыре климатические зоны (табл. 4.11.8).

Таблица 4.11.8

Климатические зоны РФ

Характеристики климатической зоны	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Средняя многолетняя низшая температура воздуха (январь), С°	–20 ÷ –15	–14 ÷ –10	–10 ÷ 0	0 ÷ +5
Средняя многолетняя высшая температура воздуха (июль), С°	16–18	18–22	22–24	24–26
Среднегодовое количество осадков, см	40	50	50	30–50
Продолжительность замерзания воды, дней	190–170	150	100	0

Сезонные коэффициенты выбираются в зависимости от климатических условий в период, непосредственно предшествующий измерениям. При этом принимаются различные коэффициенты для вертикальных (табл. 4.11.9) и горизонтальных (табл. 4.11.10) заземлителей.

Таблица 4.11.9

Сезонные коэффициенты для приведения к расчетным условиям удельного сопротивления, измеренного вертикальным пробным электродом

Климатические зоны	Значение k при глубине погружения электрода					
	2–3 м			4–5 м		
	для влажности почвы или количества осадков в период перед измерениями					
	повышенной	средней	пониженной	повышенной	средней	пониженной
I	1,85	1,65	1,50	1,45	1,35	1,30
II	1,60	1,45	1,30	1,30	1,25	1,20
III	1,45	1,30	1,20	1,25	1,15	1,10
IV	1,30	1.10	1,00	1,20	1,10	1,0

Таблица 4.11.10

Сезонные коэффициенты для приведения к расчетным условиям удельного сопротивления при расчете сопротивления горизонтальных заземлителей

Климатические зоны	Значение коэффициента k при длине заземлителя					
	2–3 м			4–5 м		
	для влажности почвы или количества осадков, выпавших в период перед изменениями					
	повышенной	средней	пониженной	повышенной	средней	пониженной
I	5,4	3,2	2,3	4,3	2,6	2,0
II	3,8	2,2	1,7	3,2	2,0	1,5
III	3,1	1,7	1,4	2,6	1,5	1,3
IV	2,0	1,3	1,1	1,8	1,2	1,0

Тем самым учитывается различное влияние климатических условий на поверхностный и углубленные слои грунта.

Метод пробного электрода отличается простотой измерений, а также требует использования минимального числа измерительной аппаратуры и расчетов. Основной его недостаток – сложность погружения пробных электродов на расчетную глубину, особенно в ус-

ловиях твердых грунтов. Однако метод практически неприемлем для измерений на площадках с высоким удельным сопротивлением поверхностных слоев грунта (скальные, многолетнемерзлые и т.д.). В таких условиях может возникнуть необходимость погружать заземлители на значительную глубину и для определения расчетного удельного сопротивления необходимо применять метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ).

Для измерений используется четыре электрода (рис. 4.56), погружаемых на небольшую глубину 40–50 мм. Измеряя величину тока I, проходящего от источника через токовые электроды 1, 4, и напряжение между потенциальными электродами 2, 3, (рис. 4.56) определяем сопротивление

$$R = U/I,$$

равное сопротивлению некоторого объема грунта, примыкающего к мерительной установке. Принимают условно этот объем равным полусфере с диаметром, определяемым расстоянием между токовыми электродами, а измеренное таким способом удельное сопротивление относят к точке грунта на вертикальной оси полусферы па глубине, равной четверти ее диаметра. Следовательно, для измерения удельного сопротивления на глубине h необходимо, чтобы расстояние между токовыми электродами составляло $l_{1\text{-}4} = 4\,h$.

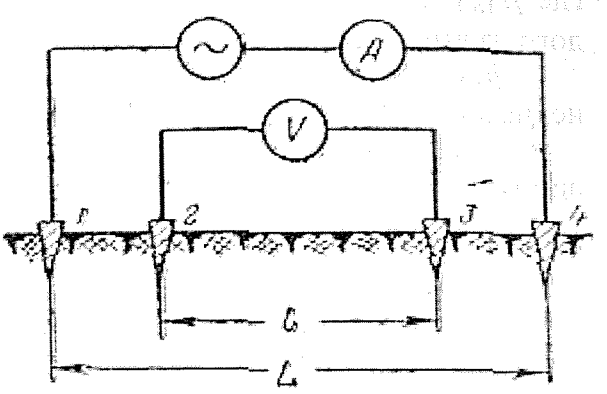


Рис. 4.44. Размещение электродов для измерения удельного сопротивления грунта методом вертикального электрического зондирования

Если при этом потенциальные электроды разделяют расстояние между токовыми на равные части $l_{2\text{-}3} = 1/3\ l_{1\text{-}4}$, удельное сопротивление (Ом·м) можно вычислить по формуле

$$\rho_{ВЭЗ} = 2\pi Ra,$$

где $a = l_{1\text{-}2} = l_{2\text{-}3} = l_{3\text{-}4}$ – расстояние между соседними электродами, м;

R – измеренное сопротивление, Ом.

Изменяя расстояние между токовыми электродами, измеряют условное удельное сопротивление ρ на различной глубине h для различных слоев грунта. Если при этом расстояние между потенциальными электродами $l_{2\text{-}3} < 1/3\ l_{1\text{-}4}$ можно переставлять только токовые электроды, оставляя потенциальные неизменными.

Величина удельного сопротивления вычисляется в этом случае по формуле:

$$\rho_{ВЭЗ} = \frac{\pi}{2} R \left(\frac{l_{1\text{-}4}^2 - l_{2\text{-}3}^2}{2 l_{2\text{-}3}^2} \right).$$

Для получения минимальной погрешности расстояние между потенциальными электродами нельзя принимать слишком малым. Рекомендуется принимать $l_{2\text{-}3} = (0{,}41 \div 0{,}43)\ l_{1\text{-}4}$.

Измеренное методом вертикального электрического зондирования удельное сопротивление является условной величиной. Для приведения его к расчетному пользуются специальными графиками-теоретическими палетками для многослойных грунтов, применяемыми в геофизике. При этом необходимо стремиться результаты вертикального электрического зондирования свести к возможно меньшему числу слоев.

Вертикальное электрическое зондирование для площадок размером не более 50 х 50 м^2 рекомендуется проводить, разнося электроды во взаимноперпендикулярных направлениях из центра площадки. Для площадок больших размеров электрическое зондирование проводят, разнося электроды во взаимноперпендикулярных направлениях из нескольких центров, выбираемых в центре площадки и в центрах ограничивающих ее сторон. При этом результаты измерений в разных направлениях отличаются и для каждого слоя необходимо пользоваться средним значением удельного сопротивления $\rho_{СР}$ и толщины слоя $h_{СР}$:

$$\left.\begin{aligned}\rho_{СР.ВЭЗ} &= \frac{\rho_{1ВЭЗ}+\rho_{2ВЭЗ}+\cdots+\rho_{nВЭЗ}}{n};\\ h_{СР.ВЭЗ} &= \frac{h_{1ВЭЗ}+h_{2ВЭЗ}+\cdots+h_{nВЭЗ}}{n},\end{aligned}\right\}$$

где $\rho_{1ВЭЗ}, \ldots, \rho_{nВЭЗ}$ – удельное сопротивление рассматриваемого слоя по результатам каждого из выполненных n ВЭЗ, Ом·м;

$h_{1ВЭЗ}, \ldots, h_{nВЭЗ}$ – толщина рассматриваемого слоя по результатам каждого из выполненных n ВЭЗ, м.

Влияние сезонных колебаний сопротивления грунта учитывается посредством толщины слоя сезонных изменений и сезонного коэффициента (табл. 4.11.11).

Таблица 4.11.11

Сезонные коэффициенты k и толщина слоя сезонных изменений h_C для приведения к расчетным условиям параметров электрической структуры земли, измеренных методом вертикального электрического зондирования

Климатические зоны	Сезонный коэффициент k при влажности почвы или количестве осадков, выпавших перед измерением			Толщина слоя сезонных изменений h_C, м
	повышенной	средней	пониженной	
I	7,0	4,0	2,7	2,2
II	5,0	2,7	1,9	2,0
III	4,0	2,0	1,5	1,8
IV	2,5	1,4	1,1	1,6

Приведение измеренных параметров электрической структуры к расчетным осуществляется в зависимости от соотношения между толщиной верхнего слоя, полученной в результате усреднения результатов измерений методом ВЭЗ $h_{1ВЭЗ}$, и толщиной слоя сезонных изменений h_C.

Если $h_{1ВЭЗ} < h_C$, параметры слоев определяются из соотношений:

– для первого слоя ρ_1 и h_1

$$\frac{kh_C}{\rho_1} = \frac{h_{1ВЭЗ}}{\rho_{1ВЭЗ}} - \frac{h_C - h_{1ВЭЗ}}{\rho_{2ВЭЗ}}; \qquad h_1 = h_C;$$

– для второго слоя

$$\rho_2 = \rho_{2ВЭЗ}; \qquad h_2 = h_{1ВЭЗ} + h_{2ВЭЗ} - h_C.$$

Если $h_{1ВЭЗ} > h_C$, для определения приведенных параметров слоев рекомендуются соотношения:

– для первого слоя $\rho_1 = k\rho_{1ВЭЗ}; \quad h_1 = h_C;$

– для второго слоя $\rho_2 = \rho_{1ВЭЗ}; \quad h_2 = h_{1ВЭЗ} - h_C;$

– для третьего слоя $\rho_3 = \rho_{2ВЭЗ}; \quad h_3 = h_{2ВЭЗ}.$

Если в результате приведения к расчетным условиям структура земли насчитывает несколько слоев, ее приводят к двухслойной. Для этого выбирается ориентировочная глубина заложения горизонтальных (t) и вертикальных (l_B) проводников заземляющего устройства, причем необходимо выбирать длину вертикальных электродов пропорционально глубине залегания слоев грунта с высокой проводимостью.

За первый эквивалентный слои принимается грунт, в котором размещено заземляющее устройство, т.е. слои, в которые проникают вертикальные электроды. Все остальные слои грунта относят ко второму эквивалентному слою.

Параметры слоев приближенно определяются по следующим соотношениям:

– для первого эквивалентного слоя

$$h_{1Э} = h_1 + h_2 + \cdots + h_k = l_B + t,$$

где $h_1, h_2, \ldots, h_k$ – толщина слоев, в которые проникают вертикальные электроды, м;

$$\frac{h_{1Э}}{\rho_{1Э}} = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \cdots + \frac{h_k}{\rho_k};$$

$\rho_1, \rho_2, \ldots, \rho_k$ – удельные сопротивления слоев грунта, в которые проникают вертикальные электроды, Ом·м;

– для второго эквивалентного слоя

$$h_{2Э} = H_n - h_{1Э} + 10;$$

$$H_{n-1} = h_1 + h_2 + \cdots + h_{n-1};$$

$$\frac{h_{2Э}}{\rho_{2Э}} = \frac{h_{k+1}}{\rho_{k+1}} + \frac{h_{k+2}}{\rho_{k+2}} + \cdots + \frac{10}{\rho_n},$$

где $\rho_{k+1}, \ldots, \rho_n$ – удельные сопротивления слоев грунта, лежащих ниже вертикальных электродов, Ом·м.

Однако полученные эквивалентные удельные сопротивления двухслойной структуры нельзя непосредственно использовать для расчета сопротивления заземляющих устройств. В самом деле, заземляющие устройства состоят из различного рода заземлителей, занимающих разное положение относительно эквивалентных слоев грунта расчетной двухслойной структуры земли, определяющее их сопротивление. Поэтому для основных видов заземлителей и заземляющих устройств разработаны таблицы и графики, позволяющие определять расчетное эквивалентное удельное сопротивление в зависимости от отношений удельных сопротивлений двухслойной структуры ρ_1/ρ_2 и относительного положения в ней заземлителей.

Для вертикального и горизонтального одиночного заземлителя расчетные эквивалентные удельные сопротивления земли приведены в табл. 4.11.12, 4.11.13, для основных видов заземляющих устройств – в табл. 4.11.14, 4.11.15.

Таблица 4.11.12

Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли $\rho_{Э.В}/\rho_2$ для расчета сопротивления одиночного вертикального электрода в двухслойной земле

ρ_1/ρ_2	$\rho_{Э.В}/\rho_2$ для относительной толщины верхнего слоя с учетом глубины заложения заземления														
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0	1,25	2	4
0,01	0,22	0,125	0,08	0,045	0,037	0,032	0,027	0,024	0,032	0,02	0,019	0,018	0,017	0,015	0,013
0,05	0,5	0,35	0,25	0,18	0,14	0,12	0,105	0,094	0,084	0,08	0,076	0,074	0,073	0,068	0,062
0,1	0,63	0,5	0,4	0,3	0,24	0,21	0,186	0,165	0,15	0,143	0,14	0,137	0,135	0,13	0,12
0,2	.0,78	0,7	0,59	0,45	0,38	0,35	0,315	0,285	0,260	0,255	0,25	0,245	0,243	0,235	0,22
0,3	0,88	0,79	0,69	0,59	0,51	0,47	0,43	0,4	0,37	0,362	0,355	0,35	0,348	0,34	0,33
0,5	0,95	0,9	0,84	0,77	0,72	0,69	0,65	0,62	0,59	0,57	0,55	0,54	0,538	0,53	0,52
2	1,01	1,03	1,06	1,12	1,2	1,25	1,32	1,4	1,5	1,6	1,7	1,75	1,95	1,98	2,0

Продолжение табл. 4.11.12

ρ_1/ρ_2	$\rho_{э.в}/\rho_2$ для относительной толщины верхнего слоя с учетом глубины заложения заземления														
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1,0	1,25	2	4
3	1,03	1,05	1,1	1,2	1,3	1,4	1,52	1,68	1,86	2,1	2,3	2,4	2,9	2,97	3,0
5	1,05	1,08	1,16	1,25	1,4	1,58	1,75	2,0	2,4	2,9	3,3	3,6	4,6	4,85	5,0
10	1,06	1,12	1,24	1,35	1,52	1,74	2,0	2,4	3,1	4,1	5,1	6,2	9,0	9,8	10,0
30	1,08	1,17	1,3	1,46	1,7	2,0	2,5	3,1	4,15	6,2	9,2	1,49	27,0	29,7	30,0
50	1,1	1,2	1,35	1,52	1,74	2,1	2,65	3,5	4,7	7,4	12,5	22,1	45	48,5	50,0
100	1,12	1,23	1,41	1,61	1,85	2,2	2,9	4,0	5,4	9,2	18,0	38,5	90	98	100,0

Таблица 4.11.13

Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли $\rho_{э.г}/\rho_2$ для расчета сопротивления горизонтального электрода

ρ_1/ρ_2	Относительное эквивалентное удельное сопротивление при относительной толщине верхнего слоя с учетом глубины заложения электрода $\frac{h-t}{l_г}$						
	0,01	0,03	0,05	0,1	0,125	0,5	1,0
0,01	0,082	0,057	0,042	0,033	0,026	0,0185	0,0135
0,05	0,225	0,166	0,130	0,115	0,098	0,076	0,060
0,1	0,34	0,255	0,210	0,19	0,165	0,135	0,115
0,2	0,50	0,41	0,345	0,32	0,29	0,250	0,225
0,3	0,60	0,52	0,46	0,44	0,40	0,360	0,320
0,5	0,76	0,68	0,64	0,60	0,54	0,360	0,320
2	1,50	1,62	1,70	1,75	1,85	1,94	1,96
3	2,0	2,2	2,45	2,60	2,80	2,9	2,95
5	3,0	3,48	4,0	4,2	4,50	4,8	4,9
10	9,4	6,4	7,6	8,0	8,75	9,6	9,8
30	15,5	18,5	21,3	23,0	25,0	27,5	29,0
50	25,5	30,0	33,5	36,5	40,5	46,0	49,0
100	47,5	54,5	62,0	70,5	79,5	96,0	98,0

Таблица 4.11.14

Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли $\rho_{эк}/\rho_2$ для расчета сопротивления заземляющих сеток

ρ_1/ρ_2	Плотность сетки $h/\sqrt{S}$	Относительное эквивалентное удельное сопротивление при $h/\sqrt{S}$ или $(h-t)/\sqrt{S}$							
		0,00625	0,0125	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	1,0
0,125	4	0,57	0,51	0,45	0,38	0,30	0,24	0,19	0,125
0,125	6	0,64	0,58	0,51	0,44	0,36	0,28	0,21	0,125

Продолжение табл. 4.11.14

ρ_1/ρ_2	Плотность сетки $h/\sqrt{S}$	Относительное эквивалентное удельное сопротивление при $h/\sqrt{S}$ или $(h-t)/\sqrt{S}$							
		0,00625	0,0125	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	1,0
0,125	10	0,73	0,64	0,59	0,50	0,41	0,32	0,23	0,125
0,125	18	0,68	0,72	0,64	0,56	0,45	0,35	0,25	0,125
0,25	4	0,67	0,62	0,57	0,51	0,45	0,39	0,33	0,25
0,25	6	0,74	0,69	0,63	0,57	0,50	0,43	0,35	0,25
0,25	10	0,80	0,75	0,69	0,63	0,55	0,46	0,38	0,25
0,25	18	0,85	0,81	0,74	0,58	0,60	0,50	0,40	0,25
0,5	4	0,81	0,77	0,72	0,71	0,66	0,61	0,58	0,5
0,5	6	0,86	0,83	0,79	0,75	0,71	0,66	0,59	0,5
0,5	10	0,90	0,87	0,83	0,80	0,74	0,68	0,61	0,5
0,5	18	0,92	0,89	0,86	0,83	0,77	0,70	0,63	0,5
2,0	4	1,28	1,38	1,45	1,55	1,67	1,73	1,82	2,0
2,0	6	1,23	1,29	1,40	1,43	1,51	1,64	1,72	2,0
2,0	10	1,16	1,20	1,30	1,33	1,45	1,57	1,67	2,0
2,0	18	1,11	1,15	1,19	1,25	1,35	1,46	1,65	2,0
4,0	4	1,88	2,18	2,37	2,56	2,85	3,10	3,40	4,0
4,0	6	1,67	1,92	2,00	2,24	2,48	2,80	5,20	4,0
4,0	10	1,47	1,60	1,70	1,94	2,20	2,50	3,00	4,0
4,0	18	1,27	1,37	1,50	1,70	1,95	2,35	2,85	4,0
8,0	4	3,16	3,88	4,25	4,75	5,30	5,85	6,40	8,0
8,0	6	2,50	2,90	3,40	3,90	4,45	5,20	5,90	8,0
8,0	10	2,06	2,30	2,80	3,14	3,70	4,50	5,50	8,0
8,0	18	1,65	1,85	2,20	2,54	3,16	4,05	5,25	8,0

Таблица 4.11.15

Относительное эквивалентное удельное сопротивление земли $\rho_{ЭК}/\rho_2$ для расчета сопротивления заземляющих сеток с вертикальными электродами

ρ_1/ρ_2	Относительное расстояние между электродами a/l	Относительное эквивалентное удельное сопротивление при h/l_B или $(h-t)/l_B$						
		0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	0,95
0,125	0,5–4	0,95	0,90	0,80	0,70	0,62	0,54	0,52
0,25	0,5–4	0,97	0,93	0,85	0,78	0,71	0,65	0,64
0,5	0,5–4	0,99	0,96	0,92	0,88	0,83	0,79	0,77
2,0	1	1,02	1,03	1,05	1,10	1,15	1,30	1,40
2,0	2	1,03	1,07	1,10	1,13	1,15	1,32	1,50
2,0	4	1,05	1,17	1,13	1,15	1,20	1,38	1,60
5,0	1	1,05	1,10	1,15	1,22	1,35	1,36	2,40
5,0	2	1,22	1,26	1,35	1,43	1,54	2,12	2,70
5,0	4	1,33	1,41	1,50	1,65	1,83	2,60	3,50
10,0	1	1,10	1,19	1,28	1,38	1,62	2,50	3,70
10,0	2	1,30	1,40	1,50	1,60	1,80	2,75	5,50
10,0	4	1,52	1,70	1,88	2,08	2,33	3,52	6,00

Расчет искусственного заземляющего устройства в виде заземляющей сетки

Целью расчета ЗУ является определение их геометрических размеров, позволяющих обеспечить выполнение нормативных требований к ЗУ – нормированное сопротивление стекания тока либо допустимое напряжение прикосновения на ЗУ.

Конструктивно заземляющие устройства выполняются в виде заземляющих сеток и заземляющих сеток с вертикальными электродами. Заземляющие устройства в виде горизонтальных полосовых заземлителей, связанных в сетку (рис. 4.57), рекомендуется сооружать, если удельное сопротивление грунта увеличивается с увеличением глубины либо если под ЭУ отведены значительные площадки, позволяющие разместить заземлитель значительных размеров (более 100×100 м^2). При этом рекомендуется глубина заложения заземлителей 0,5–0,8 м. Сопротивление заземляющего устройства рассчитывается из соотношения

$$R = 0{,}44\frac{\rho_Э}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_Э}{L}, \qquad (4.11.2)$$

где S – площадь заземлителя, м^2;

L – суммарная длина горизонтальных заземлителей, м;

$\rho_Э$ – эквивалентное удельное сопротивление грунта, Ом·м. Для однородных электрических структур земли $\rho_Э$ определяется по (4.11.1), для двухслойной структуры – по табл. 4.11.15.

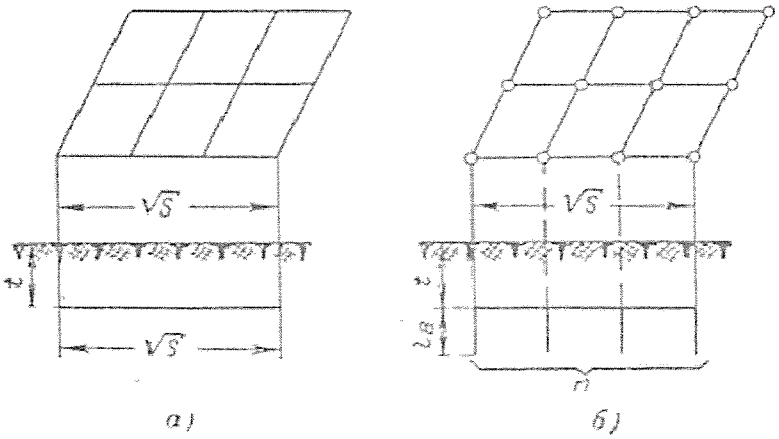


Рис. 4.57. Основные виды заземляющих устройств: а – заземляющая сетка; б – заземляющая сетка с вертикальными электродами

Заземляющее устройство в виде сетки с вертикальными электродами (рис. 4.57) применяется при небольших площадях, отведенных под заземление, либо при уменьшении удельного сопротивления земли с увеличением глубины. При этом рациональная длина вертикальных электродов зависит от глубины залегания слоя грунта с высокой проводимостью, возможностей механизированного погружения электродов и т.п. Во всех случаях не рекомендуется применение вертикальных электродов длиной менее 5 м.

Если же удельное сопротивление верхнего слоя грунта значительно превышает удельное сопротивление нижнего слоя, целесообразно применять длинные вертикальные электроды до 20 м. В отдельных случаях возможно применение вертикальных электродов длиной до 30 м. Вертикальные электроды размещаются по контуру заземлителя, причем рекомендуется отношение расстояния между электродам к их длине $a / l_B = 0{,}5 \div 3$.

Сопротивление (Ом) заземляющей сетки с вертикальными электродами определяется по формуле

$$R = A\frac{\rho_Э}{\sqrt{S}} + \frac{\rho_Э}{L + n\,l_B}, \qquad (4.11.3)$$

где l_B – длина вертикального электрода, м;

n – число вертикальных электродов, шт.;

$p_Э$ – эквивалентное удельное сопротивление, величина которого определяется по (4.11.1) для однородной структуры и по табл. 4.11.15 для двухслойной структуры;

A – коэффициент, учитывающий влияние вертикальных электродов:

$l_B / \sqrt{S}$ 0,03 0,06 0,12 0,24 0,5

A..... 0,42 0,39 0,36 0,32 0,26

Иногда нормированное сопротивление заземляющих устройств можно обеспечить более простыми конструкциями, например применением заземляющей полосы с вертикальными электродами в ряд. Сопротивление (Ом) такого заземлителя рассчитывается по формуле

$$R = 0{,}366\,\delta \frac{\rho_Э}{l_Г} \lg \frac{l_B}{dt},$$

где δ – коэффициент, учитывающий влияние длины вертикальных электродов ($l_B / l_Г$) и расстояние между ними (a / l_B), находится из рис. 4.58;

$l_Г$, l_B – длина горизонтальных и вертикальных заземлителей, м;

d, t – диаметр и глубина заложения горизонтального заземлителя, м;

$\rho_Э$ – эквивалентное удельное сопротивление для расчета сопротивления заземляющей полосы с вертикальными электродами в ряд, Ом·м. При измерении $\rho_Э$ пробным электродом коэффициент сезонности принимается как для вертикальных заземлителей. При измерении методом ВЭЗ $\rho_Э$ определяют по табл. 4.11.15.

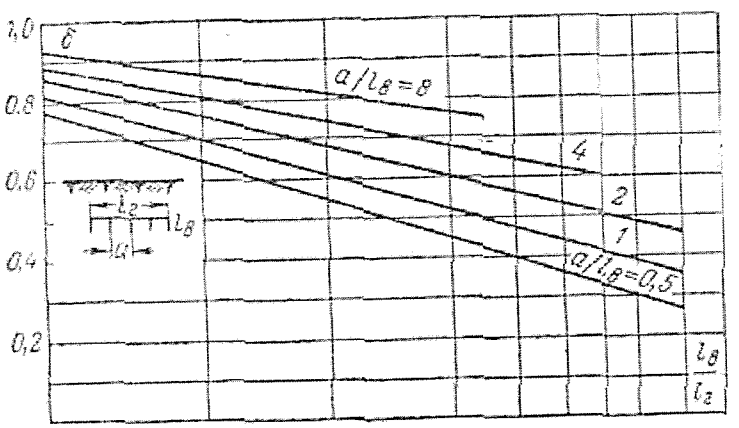


Рис. 4.58. График для определения коэффициента δ

Важным параметром, определяющим сопротивление заземляющих устройств, является площадь S, на которой они размещаются. Как правило, за расчетную принимают площадь, на которой размещена ЭУ. Однако бывают случаи, когда на площади, занимаемой ЭУ, невозможно добиться нормированного сопротивления заземляющего устройства. Поэтому рекомендуется до начала расчета геометрических размеров заземляющего устройства определять минимальную площадь $S_{МИН}$ (м^2). на которой можно разместить искусственный заземлитель с сопротивлением, равным допустимому $R_{И.ДОП}$:

$$S_{МИН} = \left(\frac{\rho_{2Э} B}{R_{И.ДОП} T^{\beta}} \right), \qquad (4.11.4)$$

где B, β – параметры, зависящие от отношения $\rho_{1Э} / \rho_{2Э}$ (табл. 4.11.16–4.11.17);

$$T = 40 \text{ при } 0{,}5 \le \rho_{1Э} / \rho_{2Э} \le 2;$$

$$T = 40 \left(1 - \frac{h_{1Э} - t}{t_B} \right) \text{ при } 2 \le \rho_{1Э} / \rho_{2Э} \le 20.$$

Таблица 4.11.16

Зависимость параметра B от ρ_1 / ρ_2 и h

ρ_1 / ρ_2	Значения B при h, м								
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,5	0,104	0,103	0,101	0,10	0,098	0,097	0,095	0,094	0,093
1,0	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149	0,149
1,5	0,174	0,175	0,177	0,178	0,180	0,182	0,183	0,185	0,186
2,0	0,194	0,197	0,200	0,203	0,206	0,209	0,212	0,215	0,218
2,5	0,214	0,210	0,205	0,199	0,194	0,188	0,171	0,174	0,166
3,0	0,227	0,223	0,219	0,215	0,209	0,204	0,198	0,191	0,183
3,5	0,233	0,235	0,232	0,228	0,224	0,219	0,213	0,206	0,199
4,0	0,248	0,246	0,244	0,241	0,237	0,232	0,227	0,221	0,210
4,5	0,257	0,256	0,255	0,252	0,249	0,245	0,240	0,235	0,228
5,0	0,266	0,266	0,265	0,263	0,260	0,257	0,253	0,248	0,241
5,5	0,274	0,274	0,273	0,271	0,269	0,265	0,265	0,260	0,254
6,0	0,482	0,283	0,283	0,283	0,282	0,279	0,276	0,272	0,264
6,5	0,289	0,290	0,292	0,292	0,291	0,289	0,287	0,284	0,279
7,0	0,295	0,298	0,300	0,301	0,301	0,300	0,298	0,295	0,290
7,5	0,302	0,305	0,307	0,309	0,310	0,309	0,308	0,305	0,301
8,0	0,308	0,312	0,315	0,317	0,318	0,319	0,317	0,315	0,312
8,5	0,314	0,318	0,322	0,325	0,327	0,328	0,327	0,325	0,322
9,0	0,320	0,324	0,329	0,332	0,335	0,336	0,336	0,335	0,332
9,5	0,991	1,003	1,01	1,03	1,04	1,06	1,06	1,07	1,08
10,0	1,00	1,016	1,03	1,04	1,05	1,07	1,08	1,09	1,10
10,5	1,02	1,03	1,04	1,06	1,06	1,08	1,10	1,11	1,12
11,0	1,03	1,042	1,06	1,07	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14
11,5	1,04	1,055	1,07	1,03	1,10	1,11	1,13	1,14	1,16
12,0	1,05	1,067	1,08	1,10	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17
12,5	1,06	1,078	1,09	1,11	1,13	1,14	1,16	1,17	1,19
13,0	1,07	1,09	1,11	1,12	1,14	1,16	1,17	1,19	1,21
14,0	1,09	1,11	1,13	1,15	1,17	1,18	1,20	1,22	1,24
15,0	1,11	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27
16,0	1,13	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,25	1,27	1,30
17,0	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	1,26	1,28	1,30	1,32
18,0	1,165	1,19	1,21	1,23	1,26	1,28	1,30	1,33	1,35
19,0	1,18	1,20	1,23	1,25	1,28	1,30	1,33	1,35	1,37
20,0	1,20	1,22	1,25	1,07	1,30	1,32	1,35	1,37	1,40

Рассмотрим последовательность расчета заземляющего устройства для различных электроустановок.

Электроустановки напряжением до 1000 В. При расчете заземляющих устройств электроустановок до 1000 В необходимо обеспечить только выполнение нормы на величину сопротивления, поэтому нет необходимости рассчитывать величину напряжений прикосновения. Заземляющие устройства, как правило, размещаются на значительных площадях (больше 100 × 100 м^2), поэтому можно в большинстве случаев нормированное сопротивление обеспечить заземляющими сетками без вертикальных электродов. Исключение составляют ЭУ, размещенные на площадках с удельным сопротивлением наружного слоя, значительно превышающим удельное сопротивление углубленных слоев грунта ($\rho_1 > 4\rho_2$), для которых обеспечить нормированное сопротивление заземляющих устройств можно только посредством вертикальных электродов.

Таблица 4.11.17

Зависимость параметра β от ρ_1 / ρ_2 и h

ρ_1 / ρ_2	Значения B при h, м								
	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,5	0,453	0,446	0,438	0,431	0,424	0,417	0,411	0,404	0,398
1,0	0,520	0,520	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
1,5	0,589	0,598	0,606	0,615	0,623	0,632	0,641	0,65	0,659
2,0	0,649	0,660	0,676	0,692	0,709	0,726	0,744	0,762	0,780
2,5	0,706	0,704	0,702	0,699	0,697	0,694	0,691	0,688	0,685
3,0	0,740	0,739	0,738	0,737	0,736	0,734	0,733	0,731	0,729
3,5	0,769	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,770	0,769	0,769
4,0	0,796	0,797	0,799	0,800	0,802	0,803	0,804	0,804	0,804
4,5	0,820	0,823	0,825	0,828	0,830	0,833	0,835	0,836	0,838
5,0	0,842	0,846	0,850	0,853	0,857	0,860	0,863	0,866	0,869
5,5	0,863	0,863	0,877	0,877	0,882	0,886	0,890	0,894	0,898
6,0	0,882	0,888	0,894	0,899	0,905	0,910	0,915	0,920	0,925
6,5	0,900	0,907	0,914	0,920	0,926	0,933	0,939	0,945	0,951
7,0	0,917	0,925	0,932	0,940	0,947	0,955	0,962	0,969	0,976
7,5	0,933	0,942	0,950	0,959	0,967	0,975	0,983	0,991	0,999
8,0	0,979	0,958	0,967	0,977	0,986	0,994	1,004	1,01	1,02
8,5	0,963	0,973	0,984	0,994	1,003	1,01	1,02	1,03	1,04
9,0	0,977	0,988	0,999	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06
9,5	0,325	0,331	0,335	0,339	0,348	0,345	0,345	0,345	0,342
10,0	0,330	0,336	0,360	0,346	0 360	0,353	0,354	0,354	0,352
10,5	0,335	0,342	0,366	0,353	0,358	0,361	0,362	0,363	0,361
11,0	0,340	0,348	0,371	0,359	0,365	0,368	0,371	0,371	0,370
11,5	0,345	0,353	0,360	0,366	0,372	0,376	0,379	0,380	0,380
12,0	0,350	0,358	0,366	0,373	0,379	0,383	0,387	0,388	0,388
12,5	0,334	0,363	0,371	0,379	0,385	0,390	0,394	0,397	0,397
13	0,358	0,368	0,377	0,385	0,392	0,398	0,402	0,405	0,406
14	0,367	0,377	0,387	0,396	0,404	0,411	0,417	0,420	0,422
15	0,375	0,386	0,397	0,407	0,416	0,424	0,434	0,436	0,438
16	0,382	0,395	0,407	0,418	0,428	0,437	0,444	0,450	0,454
17	0,390	0,403	0,416	0,428	0,439	0,449	0,458	0,464	0,469
18	0,397	0,411	0,425	0,438	0,450	0,461	0,471	0,478	0,484
19	0,403	0,419	0,433	0,447	0,461	0,473	0,483	0,492	0,496
20	0,410	0,426	0,442	0,457	0,471	0,484	0,495	0,505	0,512

Рекомендуется следующая последовательность проектирования:

1) определяется необходимое сопротивление искусственного заземляющего устройства с учетом сопротивления естественных заземлителей, найденного расчетом или измерением:

$$R_{И} = \frac{R_З R_E}{R_E - R_З}, \qquad (4.11.5)$$

где $R_З$ – суммарное сопротивление заземляющего устройства, равное 4 Ом;

R_E – сопротивление естественных заземлителей, Ом;

2) на основании результатов измерения параметров электрической структуры земли и размеров площадки, занимаемой ЭУ, принимается решение о конструктивном выполнении заземляющего устройства. Как правило, за исключением случаев с очень высоким удельным сопротивлением поверхностного слоя грунта принимается вариант заземляющей сетки;

3) определяют геометрические размеры заземляющего устройства. Размер площади, на которой планируется сооружение заземления, определяется размерами ЭУ. Длина горизонтальных электродов определяется из (4.11.2)

$$L = \frac{\rho_Э}{R_И - 0{,}44\rho_Э / \sqrt{S}}; \qquad (4.11.6)$$

4) составляют эскиз размещения горизонтальных заземлителей сетки с учетом размещения оборудования. Если при этом окажется, что расчетную длину горизонтальных электродов невозможно уложить в размеры площадки (например, при сооружении заземляющих устройств для построенных зданий, когда заземляющую полосу можно размещать только по периметру здания), переходят к варианту заземляющего устройства с вертикальными электродами. Принимая длину заземляющей полосы L' равной допустимой по условиям размещения на площадке и выбирая длину вертикальных электродов $l_В$, рассчитывается их количество из выражения (4.11.3)

$$n = \frac{\rho_Э}{(R_И - A\rho_Э / \sqrt{S}) \cdot l_В} - \frac{L'}{l_В}.$$

Дальнейшего уменьшения сопротивления заземляющего устройства добиваются путем увеличения длины вертикальных электродов.

Электроустановки напряжением выше 1000 В с малыми токами замыкания на землю. В соответствии с принятыми нормами заземляющее устройство должно обладать нормированным сопротивлением и обеспечивать выравнивание потенциалов на поверхности земли вблизи ЭУ. Поэтому принимается следующая последовательность расчета:

1) определяют допустимое сопротивление искусственного заземляющего устройства $R_И$ (аналогично предыдущему случаю);

2) определяют минимальную площадь $S_{МИН}$, на которой можно разместить заземляющее устройство, обеспечивающее необходимое минимальное сопротивление по формуле (4.11.4);

3) если $S_{МИН}$ меньше или равно площади, занимаемой ЭУ S_0, для расчета принимают площадь S_0. При $S_{МИН} > S_0$ для сооружения заземляющего устройства с заданным сопротивлением площади ЭУ недостаточно, поэтому в дальнейшем расчете исходят из площади $S_{МИН}$;

4) в зависимости от параметров электрической структуры грунта выбирают вид заземляющего устройства и рассчитывают его геометрические размеры. В дальнейшем последовательность расчета та же, что и в ЭУ до 1000 В.

Электроустановки напряжением выше 1000 В с большими токами замыкания на землю. Заземляющие устройства рассчитываются на допустимое по нормам сопротивление или на допустимые напряжение прикосновения и потенциал заземлителя. Рекомендуется, однако, проводить расчет заземляющего устройства на соблюдение одной и другой нормы, останавливаясь на экономически наиболее рациональном варианте. Принимается следующая последовательность расчета:

1. Проводят расчет искусственного заземляющего устройства по допустимому сопротивлению аналогично ЭУ с малыми токами замыкания на землю. Однако, если при этом искусственный заземлитель с необходимым сопротивлением не размещается на площади, занятой ЭУ ($S_{МИН} > S_0$), необходимо проверить его соответствие нормам на допустимое напряжение прикосновения и допустимый потенциал заземлителя по формулам (4.11.7), (4.11.8) и (4.11.9).

$$R_В = 0{,}366 \frac{\rho_{ЭВ}}{l_В} \cdot \lg \frac{2l_В}{d}; \qquad (4.11.7)$$

$$\varphi_З = I_З \cdot R_З; \qquad (4.11.8)$$

$$U_{ПР} = U_К \alpha\beta = I_З R_З \alpha_{ПР} \beta. \qquad (4.11.9)$$

Если напряжение прикосновения или потенциал заземлителя превышают допустимые нормы, необходимо размещать заземляющее устройство на площади, превышающей площадь ЭУ (т.е. на площади $S_{МИН}$). В противном случае (при $U_{ПР} < U_{ПР.ДОП}$ и $\varphi_З \le \varphi_{З.ДОП}$) останавливаются на площади S_0.

2. Уточняют геометрические размеры заземляющего устройства с целью получения оптимального варианта. Для этого в пределах площади S_0 или $S_{МИН}$ принимают конструкцию заземляющего устройства в соответствии с рекомендациями по сооружению. Рассчитывают сопротивление полученного заземляющего устройства, напряжение прикосновения и максимальный потенциал заземлителя. При этом возможны следующие варианты:

а) в результате расчета выясняется, что не удовлетворяется норма на сопротивление и на напряжение прикосновения или потенциал заземлителя – необходимо добиваться уменьшения сопротивления до величины нормированного увеличением количества и длины вертикальных электродов;

б) сопротивление заземляющего устройства превышает нормированное, однако нормы на напряжение прикосновения и потенциал заземлителя выполняются. Для уменьшения стоимости заземляющего устройства рекомендуется увеличивать расстояние между горизонтальными заземлителями до тех пор, пока напряжение прикосновения или потенциал заземлителя не станут равными допустимому. Полученный вариант заземляющего устройства и будет оптимальным;

в) сопротивление заземляющего устройства удовлетворяет норме, однако напряжение прикосновения и потенциал заземлителя ниже нормированных значений. Рекомендуется увеличивать расстояние между горизонтальными заземлителями (но не более 32 м), пока напряжение прикосновения или потенциал заземлителя не возрастут до нормированного значения. Останавливаются на полученном варианте, даже если сопротивление заземляющего устройства превысит нормированное.

В практике проектирования заземляющих устройств возможны случаи, когда сопротивление естественных заземлителей удовлетворяет норме для соответствующей ЭУ. При этом искусственное заземляющее устройство сооружается для присоединения оборудования, подлежащего заземлению, а в ЭУ выше 1000 В – и для выравнивания потенциалов. Заземляющие устройства выполняются без вертикальных электродов и их сопротивление не рассчитывается.

Пример. Рассчитать заземляющее устройство для цеха площадью 80 × 80 м^2, расположенного во II климатической зоне.

Удельное электрическое сопротивление грунта, измеренное методом пробного электрода 100 Ом·м. В период, предшествовавший измерению, выпало много осадков. Сопротивление естественных заземлителей по данным измерений составило 16 Ом.

Мощность питающего трансформатора 560 кВ·А; к заземляющему устройству присоединяется только электрооборудование до 1000 В.

1. Определяем нормированное сопротивление заземляющего устройства:

$$U < 1000 \text{ В}; P > 100 \text{ кВ·А}; R_З \le 4 \text{ Ом}.$$

2. Определяем расчетное эквивалентное удельное сопротивление грунта по (4.11.3)

$$\rho_Э = \rho_{ИЗМ} k = 100 \times 3{,}2 = 320 \text{ Ом м}.$$

Значение коэффициента k выбираем из предположения, что заземляющее устройство будет выполнено из горизонтальных заземлителей.

3. Определяем площадь заземляющего устройства по размерам цеха $\sqrt{S} = 80$ м.

4. Рассчитываем необходимое сопротивление искусственного заземления по (4.11.6)

$$R_И = \frac{4 \times 16}{16 - 4} = 5{,}3 \text{ Ом}.$$

5. Выбираем тип заземляющего устройства в виде заземляющей сетки и определяем необходимую длину горизонтальных заземлителей по (4.11.6)

$$L = \frac{320}{5{,}3 - 0{,}44\dfrac{320}{80}} = 90 \text{ м}.$$

Следовательно, полосовой заземлитель, уложенный по периметру здания, с избытком удовлетворяет требованиям к сопротивлению заземляющего устройства.

Расчет параметров заземляющих устройств и зануления

Собственное сопротивление заземляющего проводника в диапазоне частот до $5 \cdot 10^3$ Гц с погрешностью, не превышающей 5 %, Ом/км, определяется по формуле

$$Z = r_A + j\omega\left(L - \frac{\mu}{2}10^{-4}\right), \qquad (4.11.10)$$

где r_A – активное сопротивление проводника, Ом/км; в тех случаях, когда в качестве токопроводящих элементов проводника используется медь или алюминий, активное сопротивление принимается равным сопротивлению проводника постоянному току;

ω – круговая частота, $с^{-1}$;

μ – магнитная проницаемость проводника (для медных и алюминиевых проводников $\mu = 1$);

L – коэффициент самоиндукции проводника, Гн/км.

Коэффициент самоиндукции бесконечно длинного проводника, расположенного на высоте h над поверхностью однородной земли, рассчитывается по формуле

$$L = \left(2\ln\frac{2}{\gamma|k|R} + 1 - j\frac{\pi}{2} - \frac{8jkh}{3}\right)10^{-4}, \qquad (4.11.11)$$

где k – физический параметр, характеризующий электромагнитные свойства системы ($k^2 = -4\pi J \omega \sigma$); величина $3/k$ определяет глубину зоны растекания обратного тока в земле, см;

σ – удельная проводимость земли в единицах μ_0 системы СГС; в электромагнитной системе СГС единица удельной проводимости имеет размерность $с/см^2$ (1 $с/см^2$ = 10^{11} См/м);

γ – постоянная Эйлера ($\gamma = 1{,}781$);

R – расчетный радиус провода, см;

h – высота провода над поверхностью земли, см.

В дальнейшем параметры заземляющих проводников определены для промышленной частоты 50 Гц. В этом случае при расчете самоиндукции проводников последним членом выражения (4.11.11) можно пренебречь ввиду его малости, и (4.11.10) запишется в окончательном виде так:

$$Z_K = r_A + 0{,}05 - j\,0{,}144\left[1{,}42 + \lg\left(R\sqrt{\sigma}\right)\right],$$

Значения собственных сопротивлений проводников приведены в табл. 4.11.18. Данные относятся к сопротивлению земли $\rho = 100$ Ом·м.

Входящие в табл. 4.11.18 величины связаны соотношением

$$Z_0 = r_0 + j\,x_0 = |Z_0|\,e^{j\varphi_0},$$

Взаимное сопротивление двух заземляющих проводников

$$Z_M = j\omega M, \qquad (4.11.12)$$

где M – коэффициент взаимной индукции проводников.

Коэффициент взаимной индукции между двумя бесконечно длинными проводниками, расположенными над поверхностью земли, рассчитывается по формуле

$$M = \left[2\ln\frac{2}{\gamma|k|a} + 1 - j\frac{\pi}{2} - \frac{4jk}{3}(h_1 + h_2)\right]10^{-4}, \qquad (4.11.13)$$

где a – расстояние между проводниками;

h_1, h_2 – высоты расположения проводников над поверхностью земли, см.

При расчете коэффициентов взаимоиндукции между заземляющими проводниками последним членом выражения (4.11.12) ввиду его малости можно пренебречь. Тогда формула (4.11.12) запишется в виде

$$Z_M = 0{,}05 - j\,0{,}144\left[1{,}53 + \lg\left(a\sqrt{\sigma}\right)\right]. \qquad (4.11.14)$$

Таблица 4.11.18

Сопротивление заземляющих проводников

Марка провода	q, мм^2	$2R$, см	r_0, Ом/км	x_0, Ом/км	$\lvert Z_0 \rvert$, Ом/км	φ_0, Град
МФ100	100	1,23	0,229	0,762	0,795	73° 15'
МФ85	85	1,13	0,26	0,767	0,81	71° 15'
МФ85	72	1,13	0,297	0,767	0,823	68° 50'
М120	113	1,4	0,208	0,753	0,782	74° 35'
М95	90	1,25	0,25	0,761	0,802	71° 50'
АС185	105	1,85	0,22	0,726	0,759	73° 10'
АС 120	66	1,52	0,32	0,748	0,813	66° 50'
АС 95	54	1,35	0,38	0,756	0,845	63° 20'
АС 70	39	1,14	0,51	0,767	0,92	56° 25'
ПБСМ1 95	32	1,25	0,613	0,761	0,978	51° 05'
ПМСМ2 95	25	1,25	0,754	0,761	1,07	45° 15
ПБСМ1 70	25	1,1	0,781	0,769	1,095	44° 35'
А 185	105	1,75	0,22	0,746	0,772	73° 25'
АІМ	85	1,58	0,26	0,753	0,79	70° 45
А 120	68	1,4	0,32	0,769	0,817	66° 55'
Примечание. q – сечение проводника в медном эквиваленте; R – радиус проводника						

Для среднего значения сопротивления земли, равного 100 Ом·м, взаимное сопротивление между заземляющими проводниками (a =130 см) составляет 0,34 $e^{j81°}$ Ом/км. При изменении сопротивления земли в 10 раз модуль взаимного сопротивления меняется всего лишь на ± 20 %, а угол на ± 2°. На этом основании во всех дальнейших расчетах, кроме особо оговоренных случаев, взаимные сопротивления относятся к ρ = 100 Ом·м.

Эквивалентное сопротивление пучка проводников может выражаться через собственные и взаимные сопротивления отдельных проводников, образующих пучок. Эквивалентное сопротивление двухпроводной системы, состоящей из двух заземляющих проводников, рассчитывается по Формуле

$$Z = \frac{Z_1 Z_2 - Z_{12}}{Z_1 + Z_2 - 2Z_{12}},$$

где Z_1 и Z_2 – сопротивления первого и второго заземляющего проводника соответственно;

Z_{12} – взаимное сопротивление между проводниками.

Токораспределение между первым и вторым проводниками определяется выражением

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{Z_2 - Z_{12}}{Z_1 - Z_{12}},$$

где I_1 и I_2 – токи первого и второго заземляющих проводников.

При большем числе проводников задача определения эквивалентного сопротивления может быть решена последовательной заменой каждых двух проводников эквивалентным. Этот способ дает приемлемую точность при симметричном расположении однородных проводников, образующих систему. Обычно им пользуются при замене рельсов нескольких путей одним эквивалентным рельсом.

Сопротивление рельсов (массивных стальных проводников). Эквивалентное сопротивление двух рельсов Z_{2P} определяется по формуле

$$Z_{2P} = \frac{Z'_P Z''_P - Z^2_{PA}}{Z'_P + Z''_P - 2Z_{PA}},$$

где Z'_P и Z''_P – сопротивления первого и второго рельса соответственно;

Z_{PA} – взаимное сопротивление между рельсами.

Взаимное сопротивление Z_{PA} можно определить по формуле (4.11.14), в которой, $a = a_P$ означает расстояние между рельсами. Если $Z'_P = Z''_P = Z_P$, то

$$Z_{P1} = \frac{r_{PA}}{2} + 0{,}05 - j0{,}144\left[1{,}53 - 5{,}2\frac{r_{PA}}{2} + \lg\left(\sqrt{Ra_P}\sqrt{\sigma}\right)\right],$$

Эквивалентное сопротивление рельсов n путей

$$Z_{Pn} = \frac{1}{2^{n-1}}(Z_{P1} + Z_{A1}) + \sum_{i=2}^{n-1}\frac{1}{2^{n-i}}Z_{Ai},$$

где Z_{A1} – взаимное сопротивление между рельсами первого и второго путей;

Z_{Ai} – взаимное сопротивление между эквивалентным рельсом предыдущих путей и рельсами i-го пути.

Эквивалентное сопротивление четырех рельсов двухпутного участка

$$Z_{P2} = \frac{r_{pa}}{4} + 0{,}05 - j\,0{,}144\left[1{,}53 - 5{,}2\frac{r_{pa}}{4} + \lg\left(\sqrt[4]{R\,a_p a_M^2}\sqrt{\sigma}\right)\right],$$

где a_M – ширина междупутья.

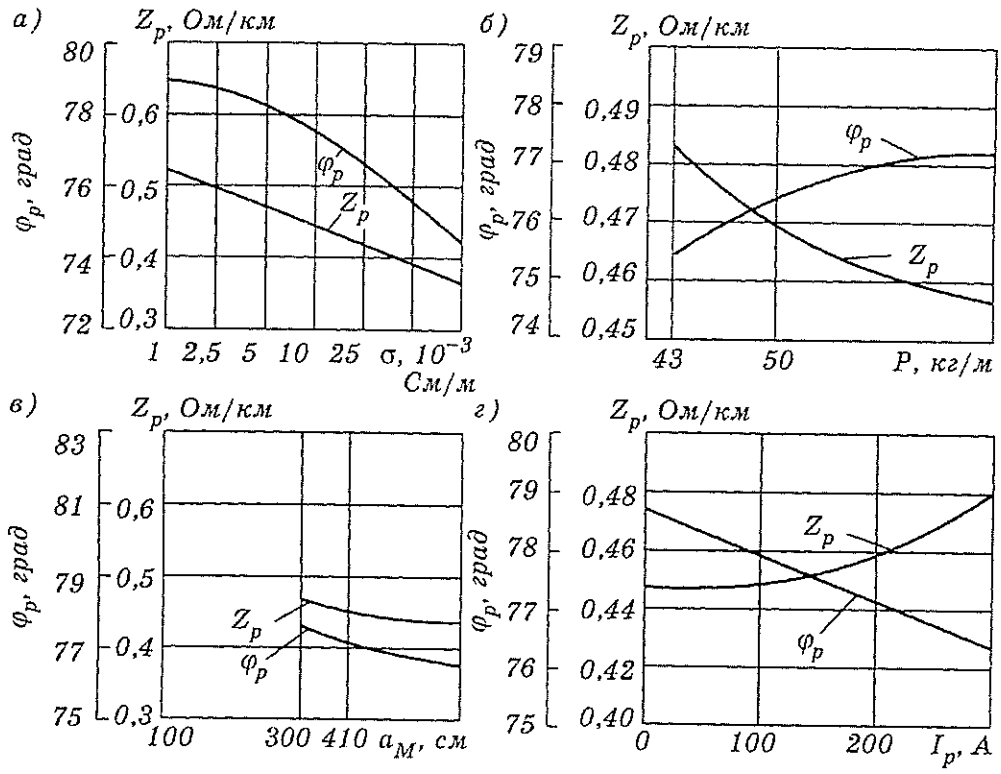


Рис. 4.59. Зависимость сопротивлений рельсов двухпутевого участка Z_P от проводимости земли σ (*а*), ширины междупутья a_M (*б*), погонного веса рельсов P (*в*), тока в рельсе I_P (*г*)

В реальном диапазоне изменения проводимости земли ($5\cdot10^{-3}$–$30\cdot10^{-3}$ См/м) модуль полного сопротивления рельсов отклоняется от среднего значения 0,45, соответствующего $\sigma = 10\cdot10^{-3}$ См/м, на ± 5 %, а максимальное отклонение угла $\varphi_P = \pm 30'$.

Возможное изменение ширины междупутья (360–500 см) не оказывает заметного влияния на эквивалентное сопротивление рельсов двухпутного участка. Изменение массы рельсов (43–65 кг/м) также не оказывает заметного влияния на сопротивления рельсов.

В диапазоне изменения тока рельса (0–300 А) модуль сопротивления рельсов отклоняется от среднего значения на ± 0,015, а максимальное отклонение угла $\varphi_P \approx 1°$. Принимая во внимание сравнительно слабое влияние возможного изменения проводимости земли, ширины междупутья, веса рельса и тока в нем на Z_{P2}, в расчетах сопротивлений рельсов параметры σ, a_M, P, I_P принимались постоянными и равными: $\sigma = 10\cdot10^{-3}$ См/м, $a_M = 410$ см, $P = 65$ кг/м, $I_P = 200$ А (рис. 4.59).

Расчет сопротивления растеканию электрического тока с заземлителей в неоднородной земле

Как уже указывалось ранее, заземляющие устройства промышленных предприятий состоят из комбинаций сосредоточенных и протяженных заземлителей. В качестве сосредоточенных заземлителей используются контурные и глубинные заземлители, железобетонные фундаменты производственных зданий, в качестве протяженных заземлителей – рельсовые сети, эстакады и галереи различного назначения.

Рассматривается модель заземляющего устройства, состоящего из комбинаций трех сосредоточенных заземлителей, имеющих сопротивления растеканию Z_1, Z_2, Z_3 соответственно (рис. 4.60). Приняты следующие допущения:

1) сопротивления растеканию Z_1, Z_2, Z_3 не зависят от тока во всем возможном диапазоне его изменения в длительном режиме и при коротком замыкании;

2) взаимные сопротивления между i-м и j-м заземлителями

$$Z_{ij} = \frac{\sqrt{\rho_i \ \rho_j}}{2\pi a_{ij}},$$

где ρ_i, ρ_j – эквивалентное удельное сопротивление земли на площадках i-го и j-го заземлителя соответственно;

a_{ij} – расстояние между «центрами тяжести» i-го и j-го заземлителя.

Общий ток заземляющего устройства

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3,$$

Токи I_1, I_2, I_3 связаны следующими уравнениями:

$$I_1 = \beta(Z_2 - Z_{12})I_3;$$

$$I_2 = \beta(Z_2 - Z_{12})I_3;$$

$$\beta = \frac{Z_3 - Z_{13}}{(Z_1 - Z_{13})(Z_2 - Z_{13}) - (Z_{12} - Z_{13})^2},$$

из которых следует

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{(Z_2 - Z_{12})}{(Z_1 - Z_{12})}.$$

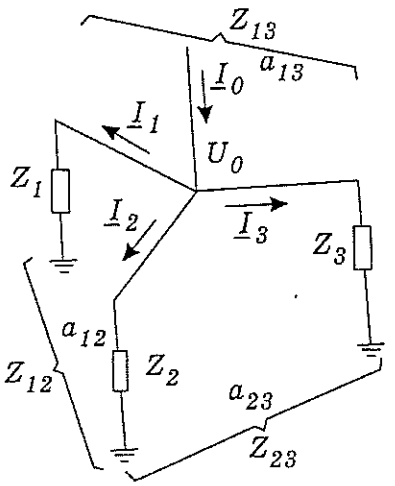


Рис. 4.60. Расчетная схема цепи обратного тока, состоящей из трех сосредоточенных заземлителей

Выражения относительных токов каждого элемента цепи обратного тока (ЦОТ):

$$\alpha_1 = K^{-1}(Z_2 - Z_{12})(Z_3 - Z_{13});$$

$$\alpha_2 = K^{-1}(Z_1 - Z_{12})(Z_3 - Z_{13});$$

$$\alpha_3 = K^{-1}[(Z_1 - Z_{13})(Z_2 - Z_{13}) - (Z_{12} - Z_{13})^2],$$

где

$$K = (Z_1 - Z_{13})(Z_2 - Z_{13}) + (Z_3 - Z_{13})(Z_1 + Z_2 - 2Z_{12}) - (Z_{12} - Z_{13})^2;$$
$$\alpha_1 = I_1 / I_0; \alpha_2 = I_2 / I_0; \alpha_3 = I_3 / I_0.$$

Эквивалентное входное сопротивление заземляющего устройства

$$Z_{O.ЭК} = K^{-1}\{(Z_3 - Z_{13})[Z_2(Z_1 - Z_{12}) + Z_{12}(Z_2 - Z_{12})] +$$
$$+ Z_{23}[(Z_1 - Z_{13})(Z_2 - Z_{13}) - (Z_{12} - Z_{13})^2]\}.$$

Особенности расчета предельных моделей заземлителей рассмотрены ниже.

Сложный заземлитель в земле с резко выраженной горизонтальной неоднородностью. Сложный заземлитель в общем случае может состоять из комбинации контурных и скважинных заземлителей. Приняты следующие допущения:

1) имеющая место горизонтальная неоднородность земли позволяет разбить сложный заземлитель на отдельные части, в пределах каждой из которых можно пренебречь горизонтальной неоднородностью;

2) сопротивление растеканию каждой составной части заземлителя не зависит от тока во всем возможном диапазоне его изменения в длительных режимах и при коротких замыканиях;

3) взаимное сопротивление между отдельными частями сложного заземлителя определяется выражением

$$R_{ij} = \frac{\sqrt{\rho_i \rho_j}}{2\pi a_{ij}},$$

где ρ_i, ρ_j – эквивалентные удельные сопротивления земли i-й и j-и частей сложного заземлителя;

a_{ij} – расстояние между центрами тяжести i-й и j-и частей сложного заземлителя;

4) взаимное сопротивление R_{13} равно взаимному сопротивлению R_{23}.

Введены следующие обозначения: R_1, R_2, R_3 – сопротивления растеканию 1–3-го заземлителей соответственно; I_1, I_2, I_3 – токи, стекающие в землю 1–3-го заземлителей соответственно; R_{12}, R_{13}, R_{23} – взаимные сопротивления между 1–2, 1–3, 2–3-м заземлителями соответственно.

Соответствующая принятым допущениям модель сложного заземлителя в земле с резко выраженной горизонтальной неоднородностью представлена на рис. 4.61.

Общий ток, стекающий с заземлителя

$$I_1 = \sum_{j=1}^{3} I_j,$$

Сопротивление растеканию сложного заземлителя

$$Z_1 = M^{-1}\{(R_3 - R_{13})[R_2(R_1 - R_{12}) + R_{12}(R_2 - R_{12})] +$$
$$+ R_{23}[(R_1 - R_{13})(R_2 - R_{13}) - (R_{12} - R_{13})^2]\},$$

где

$$M = (R_1 - R_{12})(R_2 - R_{13}) + (R_3 - R_{13})(R_1 + R_2 - 2R_{12}) - (R_{12} - R_{13})^2.$$

Токи каждой части сложного заземлителя определяются выражениями

$$I'_1 = M^{-1}(R_2 - R_{12})(R_3 - R_{13})I_1;$$
$$I''_1 = M^{-1}(R_1 - R_{12})(R_3 - R_{13})I_1;$$
$$I'''_1 = M^{-1}[(R_1 - R_{13})(R_2 - R_{13}) - (R_{12} - R_{13})^2]I_1.$$

Отметим, что даже при отсутствии скважинных заземлителей, сопротивления R_1, R_2, R_3 и Z_1 являются комплексными величинами, что обусловлено влиянием собственного продольного сопротивления полос сетки.

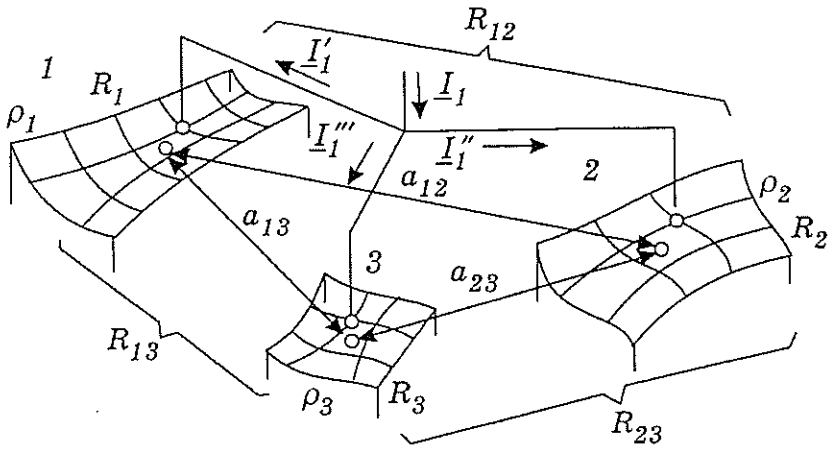


Рис. 4.61. Расчетная схема сложного заземлителя в земле с резко выраженной горизонтальной неоднородностью

Контурный заземлитель в двухслойной земле. Приняты следующие допущения:

1) земля, в которой расположен заземлитель, является идеальным бесконечным полупространством, состоящим из двух слоев; толщина верхнего слоя h_1 конечна, нижний слой имеет неограниченную мощность ($h = \infty$); в пределах каждого слоя удельное сопротивление земли постоянно и равно ρ_1 и ρ_2 соответственно; поверхность земли и граница раздела между слоями горизонтальны;

2) контурный заземлитель, образованный из горизонтальных полос и вертикальных электродов, целиком расположен в верхнем слое земли;

3) продольное сопротивление полос и вертикальных электродов переменному току частотой 50 Гц пренебрежимо мало.

Кроме того, сохраняет силу допущение, сформулированное ранее.

Расчетная модель контурного заземлителя в двухслойной земле, соответствующая принятым допущениям, представлена на рис. 4.62.

Сопротивление растеканию контурного заземлителя (рис. 4.62)

$$R = 0{,}52\rho_{ЭК}/\sqrt{S},$$

где $\rho_{ЭК}$ – эквивалентное удельное электрическое сопротивление двухслойной земли.

Для определения $\rho_{ЭК}$ Р.Н. Карякиным и В. И. Солнцевым в 1975 г. была предложена эвристическая формула

$$\rho_{ЭК} = \rho_1(1 - e^{-\alpha h_1/\sqrt{S}}) + \rho_2(1 - e^{-\beta\sqrt{S}/h}), \qquad (4.11.15)$$

где α, β – безразмерные коэффициенты.

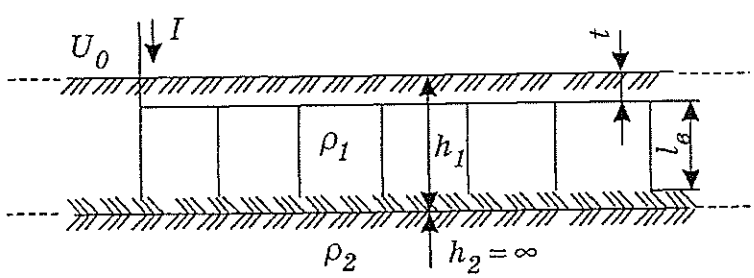


Рис. 4.62. Расчетная схема контурного заземлителя в двухслойной земле (поперечный разрез)

Эвристическое выражение (4.11.15) моделирует процесс формирования $\rho_Э$ в двухслойной земле с учетом влияния параметра $\Delta = h/\sqrt{S}$. Если $\Delta \to 0$, то $\rho_{ЭК} \to \rho_2$; если $\Delta \to \infty$, то $\rho_{ЭК} \to \rho_1$.

Предельное значение (4.11.15) при $\rho_1 = \rho_2 = \rho_{ЭК}$

$$e^{-\alpha\Delta} + e^{-\beta/\Delta} = 1.$$

Для условия $\rho_1 > \rho_2$

$$\rho_{ЭК} = \rho_1(1 - e^{-3,7\Delta}) + \rho_2(1 - e^{-\beta_i'/\Delta}), \qquad (4.11.16)$$

где $\beta_i' = -2,3\Delta \lg(1 - e^{-3,7\Delta})$;

для условия $\rho_1 < \rho_2$

$$\rho_{ЭК} = \rho_1(1 - e^{-84\Delta}) + \rho_2(1 - e^{-\beta_i''/\Delta}), \qquad (4.11.17)$$

где $\beta_i' = -2,3\Delta \lg(1 - e^{-84\Delta})$.

Ошибка расчета сопротивления растеканию при вычислении $\rho_{ЭК}$ по (4.11.16–4.11.17) не превышает 30 % при доверительной вероятности, равной 0,999.

Контурный заземлитель в многослойной земле. Приняты следующие допущения:

1) земля, в которой расположен заземлитель, является идеальным бесконечным полупространством, состоящим из произвольного числа n слоев. Толщины каждого из n-1 слоя конечны. Подстилающий n-й слой имеет неограниченную мощность ($h = \infty$). В пределах каждого i-го слоя удельное сопротивление земли постоянно и равно ρ_i. Поверхность земли и границы раздела между слоями горизонтальны;

2) сопротивление растеканию рассматриваемого контурного заземлителя с погрешностью, не превышающей 20 %, равно сопротивлению растекания полусферического заземлителя в многослойной земле, в которой поверхности раздела слоев образованы полусферами с радиусами, равными глубинам расположения поверхностей раздела горизонтальных слоев, а удельные сопротивления слоев земли, образованных полусферами, равны удельным сопротивлениям соответствующих горизонтальных слоев земли. Радиус эквивалентного полусферического заземлителя r_0, найденный из условия равенства сопротивления растеканию контурного заземлителя сопротивлению растеканию полусферического заземлителя в однородной земле

$$R = \rho/(2\pi r_0),$$

определяется выражением

$$r_0 = 0,307\sqrt{S}.$$

Расчетная модель эквивалентного полусферического заземлителя в n-слойной земле представлена на рис. 4.63.

Для рассматриваемых условий сопротивление растеканию сферического заземлителя

$$R = \frac{1}{2\pi}\left[\rho_n \frac{1}{r + \sum_{i=1}^{i-1} h_i} + \sum_{i=1}^{n-1} \rho_i \frac{h_i}{(r + \sum_{j=1}^{i-1} h_j)(r + \sum_{k=1}^{i} h_k)}\right]. \qquad (4.11.18)$$

Под эквивалентным удельным сопротивлением неоднородной многослойной земли с полусферическими поверхностями раздела $\rho_{ЭК}$ понимают такое удельное сопротивление однородной земли, при котором рассматриваемый полусферический заземлитель будет иметь то же сопротивление растеканию R, определяемое по (4.11.18):

$$R = \rho_{ЭК}/(2\pi r_0),$$

$$\rho_{ЭК} = \rho_n\left[\frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n-1} \eta_i} + \sum^{n-1} \frac{\rho_i \eta_i}{\rho_n(1 + \sum_{j=1}^{i-1} \eta_j)(1 + \sum_{k=1}^{i} \eta_k)}\right];$$

$$\eta_i = h_i / r_0.$$

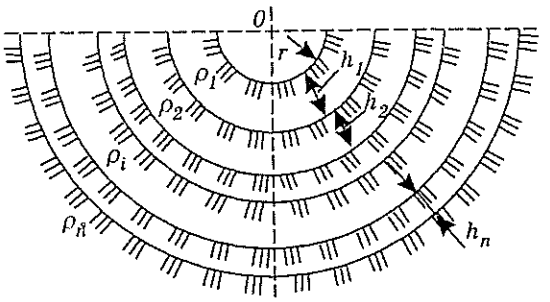


Рис. 4.63. Расчетная схема эквивалентного полусферического заземлителя в n-слойной земле

Применительно к двухслойной горизонтальной структуре

$$\rho_{ЭК} = \rho_2\left(\frac{1}{1+\eta} + \frac{\rho_1}{\rho_2}\frac{\eta}{1+\eta}\right),$$

где $\eta = 3{,}26/\sqrt{S}$.

Контурный заземлитель в земле с непрерывным изменением удельного сопротивления по глубине. Приняты следующие допущения:

1) земля, в которой расположен заземлитель, является идеальным бесконечным полупространством, удельное сопротивление которого изменяется по глубине по закону

$$\rho = \rho_0 e^{-kz},$$

где ρ_0 – удельное сопротивление земли на ее поверхности;

k – вещественное положительное число, характеризующее скорость изменения удельного сопротивления по глубине в направлении вертикальной оси z. Поверхность земли горизонтальна;

2) сопротивление растеканию рассматриваемого контурного заземлителя с погрешностью, не превышающей 20 %, равно сопротивлению растекания полусферического заземлителя в идеальном бесконечном полупространстве, удельное сопротивление которого изменяется в радиальном направлении по закону

$$\rho_r = \rho_0 e^{-kz},$$

где ρ_0 – удельное сопротивление земли на границе с полусферическим заземлителем ($r = r_0$);

r – радиус-вектор, характеризующий рассматриваемую точку идеального бесконечного полупространства.

Радиус полусферического заземлителя

$$r_0 = 0{,}307\sqrt{S}\,.$$

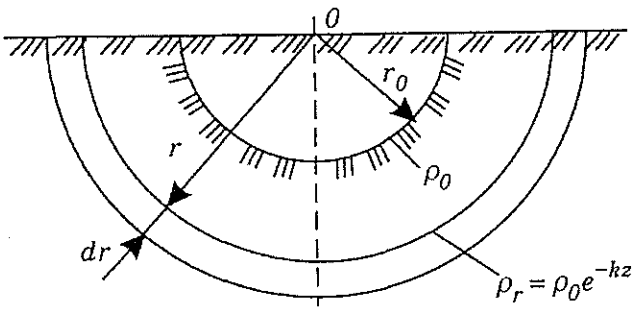


Рис. 4.64. Расчетная схема эквивалентного полусферического заземлителя при непрерывном изменении удельного сопротивления земли по глубине

Расчетная модель эквивалентного полусферического заземлителя для рассматриваемых условий представлена на рис. 4.64. Из рисунка следует, что

$$R = \frac{\rho_0}{2\pi}\left[\frac{e^{-k r_0}}{r_0} + k\, E_i(-kr_0)\right],$$

где $E_i(-kr_0)$ – интегральная показательная функция.

Выражение эквивалентного удельного сопротивления для рассматриваемой задачи

$$\rho_{ЭК} = \rho_0\left[e^{-kr_0} + k\, r_0\, E_i(-kr_0)\right]. \qquad (4.11.19)$$

Пример. Пусть $\sqrt{S} = 100$ м, $k = 100^{-2}$ м$^{-1}$. Тогда находим $r_0 = 30{,}7$ м.

Подставляя значения k и r_0 в (4.11.19), получаем

$$\rho_{ЭК} = \rho_0\left[e^{-0{,}307} + 0{,}307 E_i(-0{,}307)\right].$$

После подстановки значения $E_i\,(-0{,}307) = -0{,}887$ находим $\rho_{ЭК} = 0{,}463\ \rho_0$.

Скважинный неоднородный заземлитель в многослойной земле. Приняты следующие допущения:

1) земля, в которой расположен заземлитель, является идеальным бесконечным полупространством, состоящим из произвольного числа слоев. Толщина каждого из n-1 слоя конечна. Подстилающий n-й слой имеет неограниченную мощность ($h_n = \infty$). В пределах каждого i-го слоя удельное сопротивление земли постоянно и равно ρ_i. Поверхность земли и границы раздела между слоями горизонтальны;

2) труба, образующая скважинный заземлитель, может быть разбита на конечное число m отдельных частей, в пределах каждой из которых можно пренебречь неоднородностью ее электрических параметров – продольным сопротивлением Z_{0i} и переходным сопротивлением r_{ni};

3) электрические сопротивления скважинного заземлителя Z_{0i} и r_{ni} не зависят от тока во всем возможном диапазоне его изменения в длительных режимах и при коротких замыканиях.

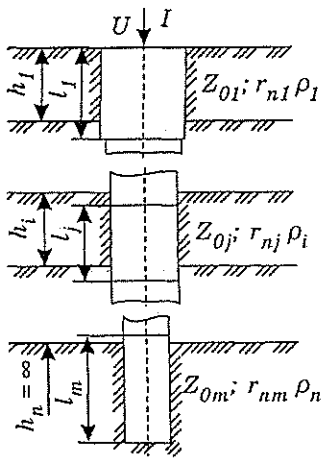


Рис. 4.65. Расчетная схема неоднородного скважинного заземлителя в многослойной земле

Расчетная модель скважинного заземлителя для рассматриваемых условий представлена на рис. 4.65.

Входное сопротивление скважинного заземлителя определяется выражением

$$Z_{BX1} = Z_{B1}\frac{Z_{BX2} + Z_{B1} th\gamma_1 l_1}{Z_{B1} + Z_{BX2} th\gamma_1 l_1},$$

$$Z_{BX2} = Z_{B2}\frac{Z_{BX3} + Z_{B2} th\gamma_2 l_2}{Z_{B2} + Z_{BX3} th\gamma_2 l_2};$$

.....

$$Z_{BXj} = Z_{Bj}\frac{Z_{BX(j+1)} + Z_{Bj} th\gamma_j l_j}{Z_{Bj} + Z_{BX(j+1)} th\gamma_j l_j};$$

.....

$$Z_{BXm} = Z_{Bm} cth\gamma_m l_m;$$

где

$$Z_{Bj} = \sqrt{Z_{oj} j r_{nj}};$$

$$\gamma_j = \sqrt{Z_{oj} / r_{nj}}.$$

Продольное сопротивление j-го участка трубы Z_{0j} определяется выражением (4.11.20), в котором следует принять $\varphi = 2\pi$; $\rho = \rho_j$; $R_T = a_j$, где a_j – наружный радиус трубы.

Переходное сопротивление j-го участка трубы r_{nj} определяется выражением (4.11.21), в котором следует принять $\rho = \rho_j/2$; $a = a_j$; $\gamma = \gamma_j$;

$$Z = r_0 + \pi^2 f \cdot 10^{-4} - 29 \cdot 10^{-4} f \lg \frac{0{,}316}{R_T} \sqrt{\frac{\rho \cdot 10^{11}}{\varphi f}}; \qquad (4.11.20)$$

$$r_n = \frac{\rho}{\pi} \ln \frac{1{,}12}{a\gamma}. \qquad (4.11.21)$$

Достаточно часто на практике в качестве естественных заземлителей используются строительные конструкции, и этом случае сооружения искусственного заземляющего устройства не требуется.

Особенности расчета заземляющих свойств строительных конструкций

Распространенной практикой является использование в качестве естественных заземлителей строительных конструкций. Ниже рассмотрим способы их расчета.

Расчет сопротивления растеканию строительных конструкций производственного здания. Сопротивление растеканию железобетонных фундаментов производственного здания [50]

$$R = 0{,}52 \frac{\rho_{ЭК}}{\sqrt{S}}, \qquad (4.11.22)$$

где S – площадь, ограниченная периметром здания, м^2;

$\rho_{ЭК}$ – эквивалентное удельное электрическое сопротивление земли, Ом·м.

Для расчета $\rho_{ЭК}$ следует использовать формулу

$$\rho_{ЭК} = \rho_1 \left(1 - e^{-\alpha h / \sqrt{S}}\right) + \rho_2 \left(1 - e^{-\beta \sqrt{S}/h}\right), \qquad (4.11.23)$$

где ρ_1 – удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом·м;

ρ_2 – удельное электрическое сопротивление нижнего слоя, Ом·м;

h – мощность (толщина) верхнего слоя земли;

α, β – безразмерные коэффициенты, зависящие от соотношения удельных электрических сопротивлений слоев земли:

если $\rho_1 > \rho_2$, то $\alpha = 3{,}6$, $\beta = 0{,}1$;

если $\rho_1 < \rho_2$, то $\alpha = 1{,}1 \cdot 10^2$, $\beta = 0{,}3 \cdot 10^{-2}$.

Удельные электрические сопротивления ρ_1, ρ_2 и мощность h верхнего слоя определяют по результатам вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) или по данным геологических изысканий. Многослойную структуру земли приводят к двухслойной. Под верхним слоем следует понимать слой земли, удельное сопротивление которого более чем в 2 раза отличается от удельного электрического сопротивления нижнего слоя.

По данным $\rho_1, \rho_2, h, \sqrt{S}$ и по формуле (4.11.23) или по номограмме рис. 4.66 определяется $\rho_{ЭК}$. При отсутствии сведений об удельном электрическом сопротивлении слоев земли допустимо пользоваться данными табл. 4.11.7.

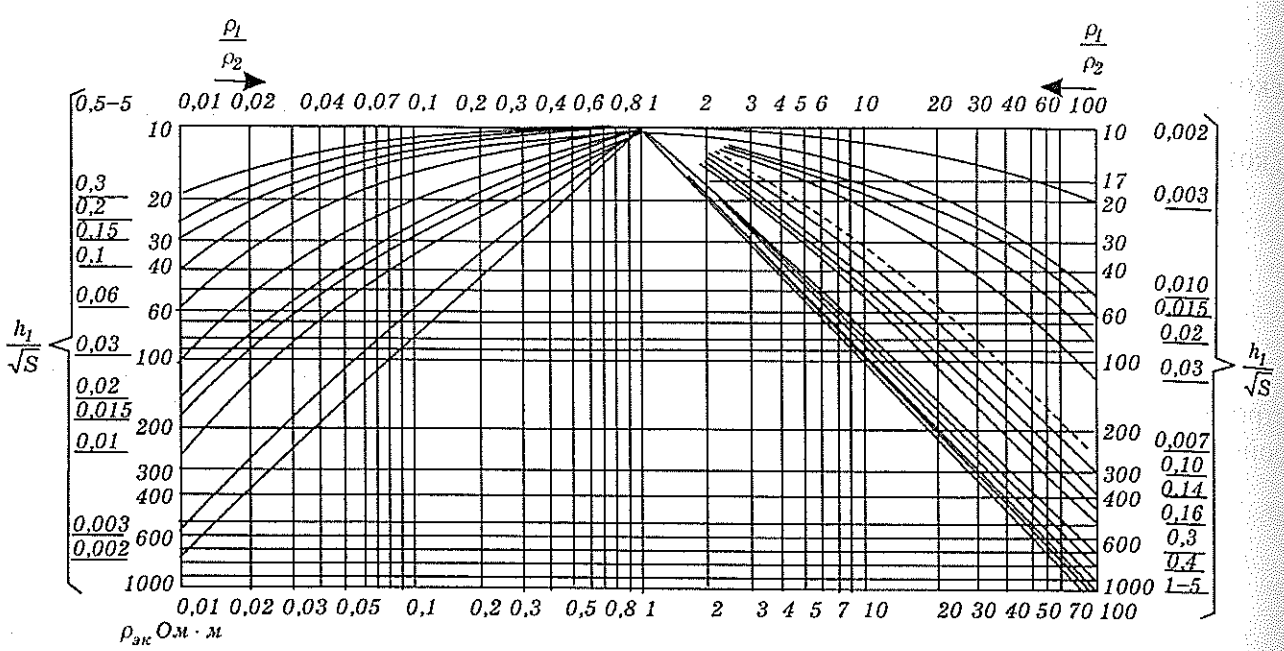


Рис. 4.66. Зависимость эквивалентного электрического сопротивления двухслойной земли от ρ_1/ρ_2 и $h_1/\sqrt{S}$: ρ_1 – электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом·м; ρ_2 – электрическое сопротивление подстилающего слоя земли, Ом·м; h_1 – толщина верхнего слоя земли, м; $\sqrt{S}$ – площадь нулевого цикла здания, м^2

Для оценки возможности использования железобетонных конструкций зданий в качестве заземляющих устройств можно воспользоваться следующими соотношениями:

а) в ЭУ напряжением выше 1000 В с заземленной нейтралью, расположенных внутри здания или примыкающих к промышленному зданию с железобетонными фундаментами, следует использовать эти фундаменты в качестве заземлителей, если выполняется соотношение

$$\sqrt{S} \geq K_1 \rho,$$

где K_1 – коэффициент, значения которого даны ниже.

Значения удельного электрического сопротивления земли $\rho_{ЭК}$, Ом·м	$\rho_{ЭК} \leq 5\cdot10^2$	$5\cdot10^2 < \rho_{ЭК} < 5\cdot10^3$	$\rho_{ЭК} \geq 5\cdot10^3$
Значения K_1	1	$500/\rho_{ЭК}$	0,1

При выполнении указанного выше неравенства сопротивление заземляющего устройства будет не более нормированных значений;

б) в ЭУ напряжением выше 1000 В с изолированной нейтралью, расположенных внутри промышленного здания с железобетонными фундаментами или примыкающих к нему, следует использовать эти фундаменты в качестве заземлителей, одновременно использующихся для электроустановок напряжением до 1000 В, без сооружения искусственных заземлителей, если выполняется соотношение

$$\sqrt{S} \geq \rho_{ЭК} \cdot I \cdot K_2,$$

где I – расчетный ток замыкания на землю, А; $K_2 = 2\cdot10^{-3}$ В$^{-1}$.

Сопротивление растеканию таких заземляющих устройств будет не более требуемых ПУЭ;

в) в ЭУ напряжением до 1000 В с заземленной нейтралью, расположенных внутри промышленного здания или примыкающих к зданию с железобетонными фундаментами, следует использовать железобетонные фундаменты в качестве заземлителей, если выполняется соотношение

$$S > S_0, \qquad (4.11.24)$$

где S_0 – критический параметр, значения которого в зависимости от линейного напряжения ЭУ и эквивалентного удельного электрического сопротивления земли приведены в табл. 4.11.19.

Таблица 4.11.19

Значения критического параметра S_0

Удельное эквивалентное сопротивление земли $\rho_{ЭК}$, Ом м	Линейное напряжение, В		
	220	380	660
$\rho_{ЭК} \le 10^3$	36	156	625
$\rho_{ЭК} > 10^3$	$0{,}36 \cdot 10^{-4} \rho_{ЭК}^2$	$1{,}56 \cdot 10^{-4} \rho_{ЭК}^2$	$6{,}25 \cdot 10^{-4} \rho_{ЭК}^2$

При соблюдении этих соотношений выполняются требования ПУЭ.

Если производственное здание имеет металлические колонны и необходимо определить возможность использования анкерных болтов в качестве заземлителей без их приварки к арматуре фундамента, расчет выполняется в следующей последовательности.

Сопротивление растеканию заземляющего устройства

$$R = C \frac{\rho_{ЭК}}{\sqrt{S}},$$

где C – коэффициент, определяемый по формуле

$$C = \frac{\sqrt{S}}{2\pi l N}\left[\ln\frac{8l}{D} - 1 + \frac{2kl}{\sqrt{S}}\left(\sqrt{N}-1\right)^2\right];$$

S – площадь фундаментного поля;

N – число фундаментов;

l – длина анкерного болта;

$k = 1{,}37$ – безразмерный эмпирический коэффициент;

D – эквивалентный диаметр анкерного болта, при котором его сопротивление равно сумме сопротивлений всех анкерных болтов $\sum R_Б$:

$$D = \frac{4l}{\exp\left(\dfrac{2\pi l \sum R_Б}{\rho_{ЭК}}\right)}.$$

Суммарное сопротивление анкерных болтов

$$\sum R_Б = \frac{1}{n_Б}\left(\frac{\rho_1}{2\pi l}\ln\frac{n_б}{d_К} + \frac{\rho_1}{4\pi l}\ln k_П\right),$$

где $k_{1i} = k_1 \times k_2 \times k_3 \times ... \times k_i$ – коэффициент, учитывающий взаимное влияние анкерных болтов:

$$k_i = \frac{\sqrt{x_i^2 + l^2} + l}{\sqrt{x_i^2 + l^2} - l}.$$

Здесь x_i – расстояние между анкерными болтами;

$d_К$ – кажущийся диаметр электрода в земле, если бы роль электрода выполнял болт:

$$d_К = \frac{4l}{\exp\left(\dfrac{2\pi l R_б}{\rho_{ЭК}}\right)}.$$

Сопротивление анкерного болта

$$R_Б = \frac{\rho_Б}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d_Б} - \frac{\rho_Б}{2\pi l}\ln\frac{4l}{D_Б} + \frac{\rho_1}{2\pi l}\ln\frac{4l}{D_Б},$$

где $d_Б$ – диаметр анкерного болта;

$D_Б$ – диаметр анкерного болта вместе с наименьшим защитным слоем бетона.

Расчет необходимости устройства выравнивающих полос для ЭУ напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью. В ЭУ от 110 до 500 кВ не требуется прокладка выравнивающих проводников, в том числе у входов и въездов, кроме мест расположения нейтралей силовых трансформаторов, короткозамыкателей, вентильных разрядников и молниеотводов, если выполняется условие

$$I_{КЗ} \le (5{,}4 + 7\cdot 10^{-3}\rho_1)\frac{\sqrt{S}}{\rho_{ЭК}},$$

где $I_{КЗ}$ – расчетный ток однофазного замыкания, стекающий в землю с фундаментов здания, кА.

Расчет входного сопротивлении эстакады. Анализ конструктивного исполнения эстакад, а также проведенные расчеты показали, что все эстакады можно разделить на три группы в зависимости от значения продольного сопротивления, каждому из которых соответствует свое семейство кривых для определения входного сопротивления: технологические эстакады, на которых проложены:

1) одна или две трубы (Z_0 = 1,5 Ом/км);

2) три или четыре трубы (Z_0 = 0,75 Ом/км);

3) пять и более труб, а также кабельные галереи (Z_0 = 0,5 Ом/км).

Переходное сопротивление эстакады определяется согласно по формуле, Ом/км,

$$R_П = (R_0 a + 1{,}5\rho_{ЭК})\cdot 10^{-3}, \qquad (4.11.25)$$

где R_0 – сопротивление растеканию тока одного фундамента опоры;

a – расстояние между соседними опорами;

$\rho_{ЭК}$ – эквивалентное удельное электрическое сопротивление земли.

Сопротивление растеканию тока одного фундамента опоры зависит от соотношения между его наибольшим горизонтальным размером D и глубиной заложения l:

если $D < l$, то

$$R_0 \approx \rho_{ЭК}/l, \qquad (4.11.26)$$

если $D \ge l$, то

$$R_0 \approx 0{,}3\rho_{ЭК}/D.$$

Эквивалентное удельное электрическое сопротивление земли

$$\rho_{ЭК} = \rho_1\left(1 - e^{-\alpha h/L}\right) + \rho_2\left(1 - e^{-\beta L/h}\right),$$

где ρ_1 и ρ_2 – удельные сопротивления верхнего и подстилающего слоев двухслойной земли соответственно;

α и β – безразмерные коэффициенты;

h – мощность верхнего слоя земли.

При $\rho_1 > \rho_2$ $\alpha = 6{,}2$ $\beta = 5{,}7\cdot 10^{-2}$; при $\rho_1 < \rho_2$ $\alpha = 3{,}5\cdot 10^{2}$, $\beta = 0{,}1\cdot 10^{-2}$.

Семейства кривых $Z_{ВХ} = f(L)$ параметра $R_П$ приведены на рис. 4.67 для объектов с продольными сопротивлениями Z_0 = 1,5; 0,75 и 0,5 Ом/км соответственно. Для эстакады, па которой проложено более пяти труб и которая имеет продольное сопротивление 0,5 Ом/км, переходное сопротивление 0,48 Ом/км и длину 3,7 км, получаем входное сопротивление, рапное 0,48 Ом.

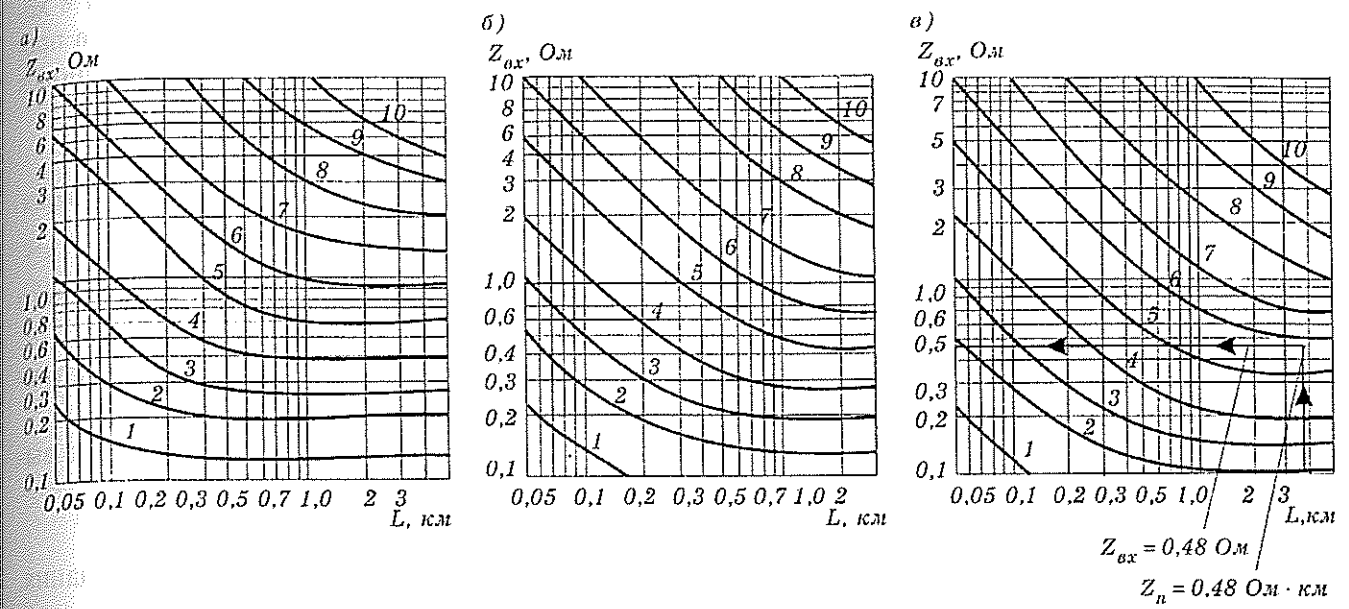


Рис. 4.67. Входное сопротивление технологической эстакады, на которой проложено: *а* – не более двух стальных труб (Z_0 = 1,5 Ом/км; $R_П$ = 10 Ом·км); *б* – три или четыре трубы (Z_0 = 0,75 Ом/км; $R_П$ = 10 Ом·км); *в* – пять и более стальных труб (Z_0 = 0,5 Ом/км; $R_П$ = 10 Ом·км); 1 – 0,001 Ом·км; 2 – 0,0025 Ом·км; 3 – 0,05 Ом·км; 4 – 0,1 Ом·км; 5 – 0,25 Ом·км; 6 – 0,5 Ом·км; 7 – 1 Ом·км; 8 – 2,5 Ом·км; 9 – 5 Ом·км; 10 – 10 Ом·км

Проведенные расчеты показали, что эстакады всех назначений можно применять в качестве заземляющих устройств во всех климатических зонах РФ, включая зону многолетнемерзлых грунтов, при условии, что они расположены на неагрессивных и слабоагрессивных грунтах.

Расчет числа железобетонных опор в группе, арматура которых должна иметь металлическое соединение с арматурой траверс, балок и фундаментов, проводится в следующей последовательности.

1. Число железобетонных опор *N*, арматура которых должна иметь металлическое соединение с арматурой траверс, балок и фундаментов для целей молниезащиты и защиты от статического электричества, определяется из соотношения

$$N \geq L' / a, \qquad (4.11.27)$$

где a – шаг опор эстакады, м;

L' – длина участка железобетонной эстакады, арматура опор которого должна иметь указанное выше металлическое соединение.

Значение L' определяется из соотношения

$$L' \geq r_П / [R_Н],$$

где $[R_Н]$ – нормируемое значение сопротивления заземляющего устройства, в качестве которого используется эстакада. Это значение удовлетворяет требованиям п.п. 2.126, 2.20, 2.27, 2.33 СН 305–77, а также п. 11.2.1 «Правил защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности».

2. Число железобетонных опор в грунте, арматура которых должна иметь металлическое соединение с арматурой траверс и балок в эстакадах, используемых для защитного заземления, определяется из соотношения (4.11.28).

Значение $Z_{ВХ}$ определяется по рис. 4.67 с учетом входного сопротивления, которое должно удовлетворять требованиям ПУЭ к сопротивлению заземляющих устройств, и значений переходного $r_П$ и продольного R_0 сопротивлений.

Совместное использование железобетонных фундаментов зданий и эстакады в качестве заземлителей. При совместном использовании железобетонных фундаментов производственного здания и эстакады в качестве естественных заземлителей электроустановок не требуется сооружение искусственных заземлителей, если выполняется соотношение

$$\frac{R_Ф|Z_{BX}|}{R_Ф+|Z_{BX}|} \le [R_H],$$

где $|Z_{BX}|$ – модуль входного сопротивления эстакады, Ом;

$R_Ф$ – сопротивление растеканию железобетонных фундаментов производственного здания, Ом;

$[R_H]$ – нормированное значение сопротивления заземляющего устройства рассматриваемой ЭУ, определяемое требованиями ПУЭ, Ом.

Сопротивление растеканию железобетонных фундаментов здания определяется выражением

$$R_Ф = (0{,}52\rho_{ЭК})/\sqrt{S},$$

где $\rho_{ЭК}$ – эквивалентное удельное сопротивление земли фундаментного поля здания, Ом·м;

S – площадь фундаментного поля, м^2.

Номограмма для определения $\rho_{ЭК}$ дана на рис. 4.66.

При совместном использовании железобетонных фундаментов здания и эстакады в качестве заземлителей ЭУ напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью возможен отказ от прокладки заземлителей для выравнивания потенциалов. Условие при котором возможен отказ от прокладки заземлителей для выравнивания потенциала на территории, занятой электрооборудованием (в том числе у входов и въездов, кроме мест расположения заземляемых нейтралей трансформаторов, короткозамыкателей, вентильных разрядников и молниеотводов), записывается в виде

$$I_{К.Ф} \le (5{,}4 + 7\cdot 10^{-3}\rho_1')\frac{\sqrt{S}}{\rho_{ЭК}}, \qquad (4.11.28)$$

где $I_{К.Ф}$ – расчетный ток, стекающий в землю с фундаментов здания при однофазном коротком замыкании, кА;

ρ_1' – удельное сопротивление верхнего слоя земли фундаментного поля здания, Ом·м.

Ток $I_{К.Ф}$ определяется по формуле

$$I_{К.Ф} = I_{КЗ}\frac{|Z_{BX}|}{R_Ф+|Z_{BX}|},$$

где $I_{КЗ}$ – ток, стекающий в землю при однофазном коротком замыкании в ЭУ напряжением выше 1000 В с эффективно заземленной нейтралью, кА.

Рассмотрим примеры расчетов сопротивления растеканию железобетонных фундаментов производственных здании.

Пример 1. Исходные данные: площадь производственного здания из сборного железобетона S = 2500 м^2; электроустановка напряжением 380 В с заземленной нейтралью; эквивалентное удельное сопротивление земли $\rho_{ЭК}$ =185 Ом·м. Требуется определить сопротивление фундаментов.

Оцениваем по (4.11.24) возможность использования железобетонных фундаментов в качестве заземлителей

$$S < S_0,$$

где S_0 определяем по табл. 4.11.19. Получаем 2500 > 156. Определяем сопротивление растеканию фундаментов здания по (4.11.22):

$$R = 0{,}52\frac{185}{\sqrt{2500}} = 1{,}92 \text{ Ом}.$$

Расчетное значение не превышает допустимого, равного 4 Ом.

Пример 2. Исходные данные: площадь машиностроительного завода S = 84100 м^2; каркас здания – стальной; напряжение электроустановки 10/0,4 кВ; ρ_1 = 500 Ом·м; ρ_2 = 100 Ом·м; h = 8 м. Требуется определить сопротивление растеканию фундаментного поля.

По номограмме рис. 4.66 определяем $\rho_{ЭК.У}$:

$$\rho_{ЭК} = \rho_{ЭК.У}\frac{\rho_2}{10} = 14\frac{100}{10} = 140 \text{ Ом·м}.$$

Эквивалентное удельное сопротивление можно определить и по (4.11.23):

$$\rho_{ЭК} = 500(1-e^{-3{,}6\cdot 8/290}) + 100(1-e^{-0{,}1\cdot 290/8}) = 140 \text{ Ом·м}.$$

Сопротивление растеканию фундаментного поля

$$R = 0{,}52\frac{140}{290} = 0{,}26 \text{ Ом}.$$

Пример 3. Исходные данные: площадь производственного здания S = 49970 м^2; колонны стальные – 136 шт. На каждом фундаменте имеется восемь болтов для крепления колонн длиной 600 мм, диаметром 42 мм. Болты заделываются в бетон марки М150 ($\rho_Б$ = 200 Ом·м). Удельное сопротивление верхнего слоя земли ρ_1 = 80 Ом·м, нижнего слоя ρ_2 = 500 Ом·м. Эквивалентное удельное сопротивление грунта $\rho_{ЭК}$ = 193 Ом·м.

Требуется определить сопротивление фундаментного поля (заземлителями являются анкерные болты, не соединенные *с* арматурой фундаментов). Определяем сопротивление одного анкерного болта:

$$R_Б = \frac{200}{2\pi\cdot 0{,}6}\ln\frac{4\cdot 0{,}6}{0{,}042} - \frac{200}{2\pi\cdot 0{,}6}\ln\frac{4\cdot 0{,}6}{0{,}3} + \frac{80}{2\pi\cdot 0{,}6}\ln\frac{4\cdot 0{,}6}{0{,}3} =$$
$$53{,}1\cdot 4{,}04 - 53{,}1\cdot 2{,}08 + 21{,}2\cdot 2{,}08 = 148{,}2 \text{ Ом}.$$

Кажущийся диаметр электрода в земле с ρ_1

$$d_K = \frac{4\cdot 0{,}6}{\exp\left[(2\pi\cdot 0{,}6\cdot 148{,}2)/80\right]} = 0{,}0022 \text{ м}.$$

На рис. 4.68 показана схема расположения анкерных болтов.

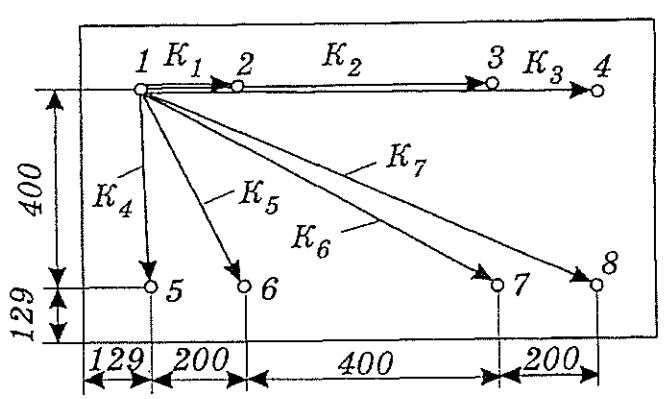


Рис. 4.68. Схема расположения анкерных болтов для определения коэффициентов $k_П$

Суммарное сопротивление анкерных болтов

$$\sum R_Б = \frac{1}{8}\left(\frac{80}{2\pi 0{,}6}\ln\frac{4\cdot 0{,}6}{0{,}0022}+\frac{80}{4\pi 0{,}6}\ln 41\cdot 5{,}8\cdot 44\cdot 9\cdot 4{,}5\cdot 3{,}55\right)=37{,}4\ \text{Ом}.$$

Эквивалентный диаметр

$$D=\frac{4\cdot 0{,}6}{\exp\left[(2\pi\cdot 0{,}6\cdot 37{,}4)/80\right]}=0{,}41\ \text{м}.$$

$$C=\frac{\sqrt{49970}}{2\pi\cdot 136\cdot 0{,}6}\left[\ln\frac{8\cdot 0{,}6}{0{,}41}-1+\frac{2\cdot 1{,}37\cdot 0{,}6\cdot\left(\sqrt{136}-1\right)^2}{\sqrt{49970}}\right]=0{,}998.$$

Сопротивление фундаментного поля

$$R=0{,}998\frac{193}{\sqrt{49970}}=0{,}86\ \text{Ом}.$$

Значение эквивалентного сопротивления растеканию заземляющего устройства рекомендуется вычислять по формуле

$$R_{ЭК}=\frac{R'R''-R_a^2}{R'+R''-2R_a},$$

где $R_a=\sqrt{\rho'_{ЭК}\rho''_{ЭК}}/2\pi a$ – взаимное сопротивление, Ом;

a – расстояние между геометрическими центрами площадей заземляющего устройства, м.

Рассмотрим примеры расчета заземлителей для молниезащиты.

Пример 4. Исходные данные: сопротивление растеканию одного фундамента $R_ф$ = 37,4 Ом; шаг колонн – 6 м; пролет – 24 м; колонны металлические; анкерные болты l = 600 мм, диаметром d = 24 мм, в одном фундаменте восемь болтов.

Расчетный случай – удар молнии в угол здания.

При шаге колонн 6 м и пролете 24 м в зону удара молнии будут входить пять фундаментов.

Сопротивление растеканию одного фундамента импульсному току равно:

$$R'_ф=\alpha R_ф=0{,}9\cdot 37{,}4=33{,}7\ \text{Ом}.$$

Сопротивление зоны равно:

$$R_З=33{,}7/6=5{,}6\ \text{Ом}.$$

Это сопротивление заземлителя молниезащиты удовлетворяет требованиям II категории.

Пример 5. Исходные данные: площадь фундамента 3 × 3 = 9 м^2. Удельное эквивалентное сопротивление земли $\rho_{ЭК}$ = 500 Ом·м, шаг колонн – 12 м, пролет – 24 м. Требуется определить возможность использования фундамента для молниезащиты.

Определяем сопротивление растеканию фундамента:

$$R=0{,}52\frac{500}{2}=86{,}7\ \text{Ом}.$$

Сопротивление растеканию фундамента импульсному току равно:

$$R_ф=0{,}7\cdot 86{,}7=60{,}7\ \text{Ом}.$$

В 25-метровую зону попадают четыре фундамента. Сопротивление зоны

$$R_З=60{,}7/4=15{,}2\ \text{Ом}.$$

Фундаменты данного здания можно использовать для молниезащиты III категории.

Пример 6. Расчет напряжения прикосновения при использовании железобетонных фундаментов о качестве заземлителей. Напряжение прикосновения равно:

$$U_{ПР} = k_{ПР} I_З R_З,$$

где $k_{ПР}$ – коэффициент напряжения прикосновения;

$I_З$ – ток, стекающий с фундаментов здания, А;

$R_З$ – сопротивление растеканию заземляющего устройства, Ом.

Допустимое значение этого напряжения определяется из выражения

$$U_{ПР} = U + (3/2)(I\rho_1),$$

где U и I – допустимые значения напряжения на теле человека и тока, проходящего через тело человека, зависящие от времени воздействия t;

ρ_1 – удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли.

В качестве допустимых значений следует принять (U = 250 В, I = 0,25 А для t = 0,2 с для электроустановок с заземленной нейтралью напряжением до 1000 В.

При длине производственного здания более 30 м $k_П = 0{,}1$.

Тогда с учетом значений U и I при t = 0,2 с имеем

$$U_{ПР} = 250 + 0{,}375\rho_1.$$

Используя последнее равенство и выражение (4.11.28) получаем, Ка,

$$I_{КЗ} \le \frac{(250 + 0{,}375\rho_1)\sqrt{S}}{0{,}1 \cdot 0{,}5\rho_{ЭК}} \le \left(5{,}4 + 7{,}5 \cdot 10^{-3}\rho_1\right)\frac{\sqrt{S}}{\rho_{ЭК}}. \qquad (4.11.29)$$

Таким образом, при стекании с фундаментов производственного здания тока $I_{КЗ}$, удовлетворяющего неравенству (4.11.28), требование электробезопасности в соответствии с ГОСТ 12.1.038–87 будет обеспечено.

По (4.11.28) можно оценить возможность использования заземляющего устройства по норме на напряжение прикосновения, а также необходимость в сооружении выравнивающих проводников.

Пример 7. Исходные данные: производственное здание площадью 49970 м^2; удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли ρ_1 = 80 Ом·м; эквивалентное удельное сопротивление грунта 130 Ом·м; расчетный ток однофазного короткого замыкания $I_{КЗ}$ = 5,6 кА.

По формуле (4.11.28) определяем ток однофазного короткого замыкания, стекающий с фундаментов заземляющего устройства:

$$I_{КЗ} \le \left(5{,}4 + 7{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 80\right)\frac{\sqrt{49970}}{130} \le 9{,}62 \text{ кА}.$$

Напряжение прикосновения не превышает допустимое значение, равное 250 В, при t = 0,2 с (t – время срабатывания защиты).

Пример 8. Исходные данные: площадь подстанции 120 × 120 м^2; ρ_1 = 500 Ом·м; ρ_2 = 100 Ом·м; расчетный ток однофазного короткого замыкания $I_З$ = 8 кА; время отключения t = 0,2 с. Требуется определить допустимый ток короткого замыкания по условию электробезопасности.

Определяем по формуле (4.11.28):

$$I_{КЗ} \le \left(5{,}4 + 7{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 500\right)\frac{120}{100} \le 10{,}7 \text{ кА}.$$

Расчетный ток однофазного короткого замыкания не превышает допустимое значение.

Следовательно, не требуется прокладка выравнивающих полос, в том числе у входов и въездов на территорию подстанции, кроме мест расположения короткозамыкателей, вентильных разрядников и молниеотводов.

Рассмотрим расчет входного сопротивления эстакады.

Пример 9. Исходные данные: длина эстакады $L = 3{,}65$ км; расстояние между опорами $a = 24$ м; глубина заложения фундамента $l = 6$ м; наибольший горизонтальный размер фундамента $D = 2{,}6$ м; эквивалентное удельное сопротивление $\rho_{эк} = 100$ Ом·м. Па эстакаде проложено более пяти технологических труб.

Так как $D < 1$ то по (4.11.26) определяем

$$R_0 = 100/6 = 16{,}6 \text{ Ом}.$$

По (4.11.25) определяем

$$R_{П} = (16{,}6 \cdot 24 + 1{,}5 \cdot 100)10^{-3} = 0{,}43 \text{ Ом/км}.$$

Входное сопротивление определяется следующим образом. В зависимости от числа труб по Z_0 выбирается семейство кривых (см. рис. 4.66).

Для данной эстакады продольное сопротивление принимаем $Z_0 = 0{,}5$ Ом/км, как и у эстакады с числом труб больше пяти. На оси L откладывается длина эстакады в километрах. На оси Z_{BX} определяется искомое входное сопротивление. Для рассматриваемого случая $Z_{BX} = 0{,}48$ Ом.

Очень часто проектировщикам для принятия того или иного решения при проектировании ЗУ необходимо провести предварительный упрощенный расчет.

Упрощенный расчет заземляющих устройств

1. В соответствии с ПУЭ устанавливают необходимое сопротивление заземления $R_з$

2. Определяют путем замера, расчета или на основе данных по работающим аналогично ЗУ возможное сопротивление растеканию естественных заземлителей R_E (табл. 4.11.20).

3. Если $R_E < R_з$, то устройство искусственного заземления не требуется. Если $R_E > R_з$, то необходимо устройство искусственного заземления.

Сопротивление растекания искусственного заземления, [Ом]

$$R_{И} = \frac{R_з R_E}{R_E - R_з}.$$

Далее все расчеты ведутся по $R_{И}$.

4. Определяют ρ грунта (табл. 4.11.21) или замеряют при производственном вычислении ρ умножаются на коэффициент сезонности, зависящий от климатических зон и вида заземлителя (табл. 4.11.22).

Расчетное ρ грунта для стержневых заземлителей:

1) вертикальных $\rho_{РАСЧ.В} = k_C \rho$;

2) горизонтальных $\rho_{РАСЧ.Г} = k_C \rho$, где k_C – коэффициент сезонности.

5. Определение сопротивления растекания одного ВЗ (рис. 4.68):

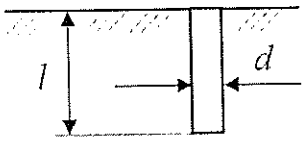
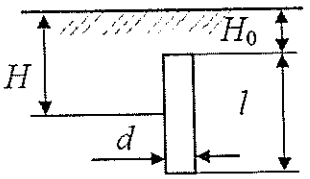
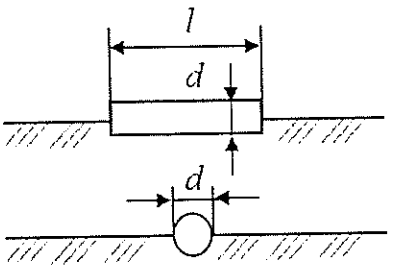
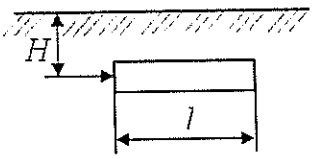
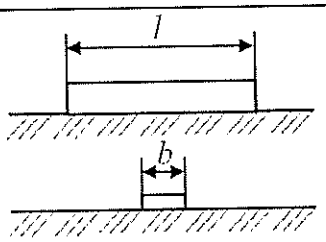
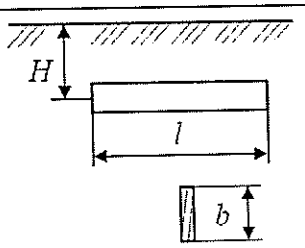
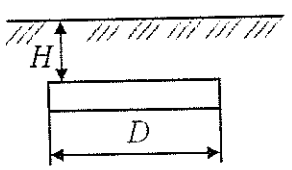
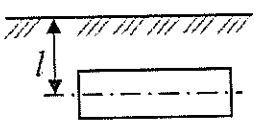
– круглого стержневого сечения (трубчатый или уголковый) в земле

$$R_B = \frac{0{,}366\rho_{РАСЧ.В}}{l_B}\left(\ln\left(\frac{2l_B}{d}\right) + \frac{1}{2}\ln\left(\frac{4t + l_B}{4t - l_B}\right)\right),$$

где l_B – длина вертикального электрода, м; ρ – удельное сопротивление грунта, Ом·м;

Таблица 4.11.20

Значения сопротивления растеканию естественных заземлителей

№ п/п	Тип заземлителя	Схема	Формула	Дополнительные указания
1	Трубчатый или стержневой у поверхности грунта		$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{4l}{d}$	$l >> d$
2	Трубчатый или стержневой в грунте		$R_B = \frac{\rho}{2\pi l}(\ln\frac{2l}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4H+l}{5H-l})$	$H_0 > 0{,}5$ м
3	Протяженный круглого сечения – труба, кабель и т.д. на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{\pi l}\ln\frac{2l}{d}$	$l >> d$
4	Протяженный круглого сечения в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{l^2}{dH}$	$l / H \geq 5$
5	Протяженный полосовой на поверхности грунта		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{4l}{b}$	$l >> b$
6	Протяженный – полоса в грунте		$R = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{2l^2}{bH}$	$l / H \geq 5$
7	Круглая пластинка в грунте		$R = \frac{\rho}{4D}(1+\frac{2}{\pi}\times \arcsin\frac{D}{\sqrt{16H^2+D^2}}$	$2H > D$
8	Пластинчатый в грунте		$R = \frac{\rho}{4\sqrt{\pi F}}(\frac{\pi}{2}+ \times \arcsin\sqrt{\frac{F}{4\pi H^2+F}}$	$H > \sqrt{F/\pi}$ F – площадь пластины

t – глубина заложения, равная расстоянию от поверхности земли до середины электрода, м; d – диаметр круглого стержневого электрода, м; $l_B >> d$, $t_0 >> 0{,}5$.

– для уголка с шириной полки $d = 0{,}5$ м

(упрощенные формулы:

– для уголка 50×50×5 мм

$$R_B = 0{,}348\rho_{РАСЧ.В};$$

– для уголка 60×60×6 мм

$$R_B = 0{,}298\rho_{РАСЧ.В};$$

– для уголка 75×75×8 мм

$$R_B = 0{,}292\rho_{РАСЧ.В};$$

– для трубы диаметром 60 мм, $l_B = 2 - 2{,}5$ м

$$R_B = 0{,}302\rho_{РАСЧ.В}).$$

Таблица 4.11.21

Приближенные значения удельных сопротивлений грунтов и воды ρ [Ом м]

Грунт и вода	Возможные пределы колебаний ρ
Глина	8–70
Суглинок	40–150
Песок	400–700
Супесок	150–400
Торф	10–30
Чернозем	9–53
Садовая земля	30–60
Каменистый грунт	500–800
Скалистый грунт	10^3–10^7
Вода:	
Морская	0,2–1
Речная	10–100
Прудовая	40–50
Грунтовая	20–70
В ручьях	10–60

Таблица 4.11.22

Коэффициент сезонности k_C

Характеристики климатических зон. Тип применяемых заземляющих электродов	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Климатические признаки Средняя многолетн. низшая t° (январь)	От –20 °С До –15 °С	От –14 °С До –10 °С	От –10 °С До 0 °С	От 0 °С До + 5 °С
Средняя многолетн. высшая t° (июль)	От +16 °С До +18 °С	От +18 °С До +22 °С	От +22 °С До +24 °С	От +24 °С До +26 °С
Среднегодовой уровень осадков, мм	~ 400	~ 500	~ 5000	~ 300–500
Продолжительность замерзания вод (дней)	190–170	150	100	0
k_C стержневых электродов $l = 2 - 3$ м и глубина 0,5–0,8 м	1,8–2	1,5–1,8	1,4–1,6	1,2–1,4
k_C протяженных электродов глубина 0,8 м	4,5–7,0	3,5–4,5	2,0–2,5	1,5–2,0
k_C при длине стержней 5 м и глубине заземления 0,7–0,8 м	1,35	1,25	1,15	1,1

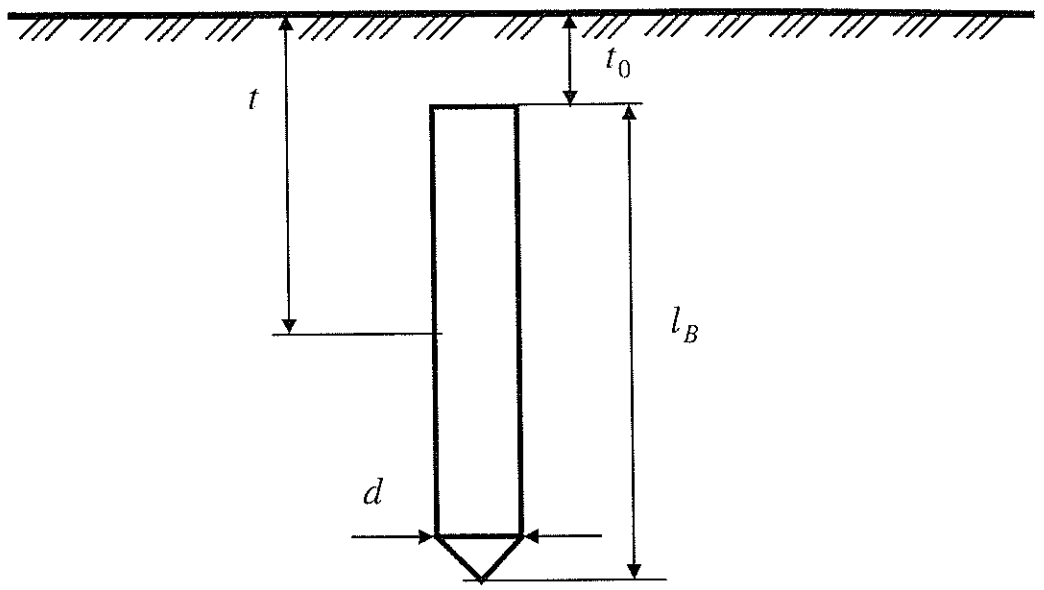


Рис. 4.68. Вертикальный заземлитель в грунте и его линейные размеры

6. Установив характер расположения заземления (в ряд или контур), определяют число вертикальных заземлителей

$$n_B = \frac{R_B}{\eta_B R_{II}},$$

где η_B – коэффициент использования вертикальных заземлителей (ВЗ) (определяется по табл. 4.11.23–4.11.24); $\eta_B = f(a, l_B, n)$,

а – расстояние между электродами,

$n = \frac{R_B}{R_{II}}$ – количество ВЗ для определения η_B).

Таблица 4.11.23

Коэффициенты использования ВЗ из труб, уголков или стержней, размещенных в ряд

Отношение расстояния между электродами к их длине a/l_B	Число электродов n	η_B
1	2	0,84–0,87
	3	0,76–0,80
	5	0,67–0,72
	10	0,56–0,62
	15	0,51–0,56
	20	0,47–0,5
2	2	0,50–0,92
	3	0,85–0,88
	5	0,79–0,83
	10	0,72–0,77
	15	0,66–0,73
	20	0,65–0,70
3	2	0,93–0,95
	3	0,90–0,92
	5	0,85–0,88
	10	0,79–0,83
	15	0,76–0,80
	20	0,74–0,79

Таблица 4.11.24

Коэффициенты использования ВЗ из труб, уголков, стержней, размещенных по контуру

Отношение расстояния между электродами к их длине a/l_B	Число электродов n	η_B
1	4	0,66–0,72
	6	0,58–0,65
	10	0,52–0,58
	20	0,44–0,50
	40	0,38–0,44
	60	0,36–0,42
	100	0,33–0,39
2	4	0,76–0,8
	6	0,71–0,75
	10	0,66–0,71
	20	0,61–0,66
	40	0,55–0,61
	60	0,52–0,58
	100	0,49–0,55
3	4	0,84–0,86
	6	0,78–0,82
	10	0,74–0,78
	20	0,68–0,73
	40	0,64–0,69
	60	0,62–0,67
	100	0,59–0,65

При устройстве простых заземлителей (короткий ряд вертикальных стержней) расчет на этом заканчивают, не учитывая проводимость соединяющей полосы, т.к. длина ее не велика. При устройстве контурных заземлителей необходимо учитывать и сопротивление растекания полос горизонтального заземлителя (ГЗ) $R_Г$.

На площади размещения ЗУ намечают, как будут размещены ВЗ с учетом их числа n_B, и определяют длину соединительной полосы

$$l_Г = 1{,}05 n_B\, a,$$

где a – расстояние между ВЗ, его обычно принимают как соотношение a/l_B заведомо 1, 2, 3.

7. Определяют $R_Г$ растекания ГЗ

1) круглого сечения (рис. 4.69):

$$R_Г = \frac{0{,}366\,\rho_{РАСЧ.В}}{l_Г} \times \ln\left(\frac{l_Г^2}{d\,t}\right),\ l_Г > d;\ l_Г >> 4\,t.$$

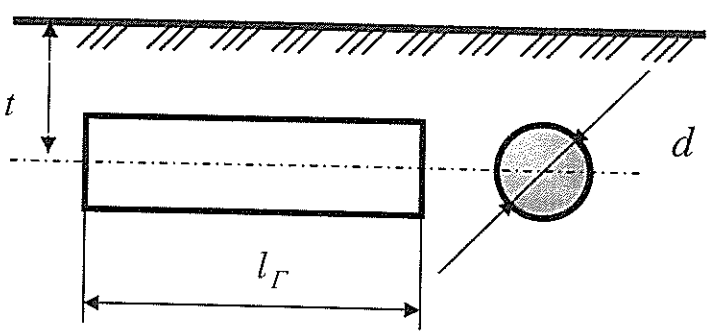


Рис. 4.69. Горизонтальный заземлитель круглого сечения в грунте и его линейные размеры

2) полосового сечения (рис. 4.70):

$$R_Г = \frac{\rho_{РАСЧ.В}}{2\pi l_Г} \times \ln\left(\frac{2 l_Г^2}{b\,t}\right),\ l_Г > b;\ l_Г >> 4\,t$$

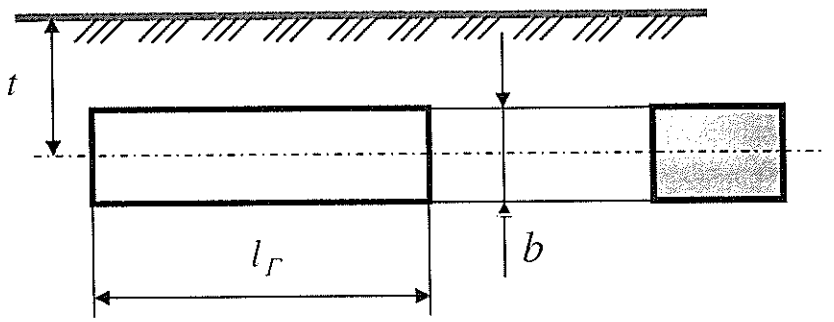


Рис. 4.70. Горизонтальный заземлитель прямоугольного сечения в грунте и его линейные размеры

8. С учетом коэффициента использования

$$R'_Г = \frac{R_Г}{\eta_Г},$$

где $\eta_Г$ – коэффициент использования горизонтального заземлителя (см. табл. 4.11.25–4.11.26).

Таблица 4.11.25

Коэффициент использования ГЗ (трубы, уголки, полосы и т.д.) при размещении ВЗ в ряд

Отношение расстояния между электродами к их длине $a/l_В$	$\eta_Г$, при числе электродов в ряд							
	4	5	8	10	20	30	50	65
1	0,77	0,74	0,67	0,62	0,42	0,31	0,21	0,20
2	0,89	0,86	0,79	0,75	0,56	0,46	0,36	0,34
3	0,92	0,90	0,85	0,82	0,68	0,58	0,49	0,47

Таблица 4.11.26

Коэффициент использования ГЗ (трубы, уголки, полосы и т.д.) при размещении ВЗ по контуру

Отношение расстояния между электродами к их длине $a/l_В$	$\eta_Г$, при числе электродов в ряд							
	4	5	8	10	20	30	50	65
1	0,45	0,4	0,36	0,34	0,27	0,24	0,21	0,20
2	0,55	0,48	0,43	0,4	0,32	0,3	0,28	0,26
3	0,65	0,64	0,6	0,56	0,45	0,41	0,37	0,35

9. Уточняется сопротивление растеканию вертикальных заземлителей $R'_В$ с учетом ГЗ

$$R'_В = \frac{R'_Г R_В}{(R'_Г - R_В)}.$$

10. Определяют уточненные количества ВЗ, при этом n'_B округляется в сторону увеличения

$$n'_B = \frac{R_3}{\eta_B} n_B .$$

Согласно требований гл. 1.7 «Заземление и защитные меры электробезопасности» ПУЭ, сопротивление защитного заземления электрооборудования не должно превышать 10 Ом при мощности источника до 100 кВА и 4 Ом при большей мощности.

Сопротивление R_3 в сетях до 1000 В с системой заземления TN в зависимости от величины напряжения в любое время года должно быть не более 2, 4, 8 Ом в сетях трехфазного тока при линейных напряжениях соответственно 660, 380, 220 В или сетях однофазного тока при напряжениях соответственно 380, 220, 127 В.

Сопротивление естественных заземлителей R_E определяют путем замера в конкретной установке, но их значение могут приблизительно такими:

1) стальная водопроводная труба 2–4 Ом;
2) свинцовая оболочка кабеля 2–3 Ом;
3) система трос – опора 2,5–3 Ом.

Для расчета возьмем худший случай. Пусть $R_E \approx 8$ Ом. Если $n_E > R_3$, то необходимо сооружение искусственных заземлителей, сопротивление которых должно быть равно:

$$R_И = \frac{R_E R_3}{R_E - R_3} = \frac{8 \cdot 4}{8 - 4} = 8 \text{ Ом}.$$

Определим удельное сопротивление для горизонтальных и вертикальных заземлителей:

$$\rho_{РАСЧ.Г} = \kappa_C \rho = 3{,}5 \cdot 226 = 791 \text{ Ом·м};$$

$$\rho_{РАСЧ.В} = \kappa_C \rho = 1{,}5 \cdot 226 = 339 \text{ Ом·м}.$$

Наиболее вероятное удельное сопротивление грунта $\rho = 226$ Ом·м. В качестве искусственных заземлителей применяют вертикальные заземлители – стержни длиной 3–5 м, диаметром 12–20 мм и горизонтальные заземлители – стальные полосы 40×4 мм.

Сопротивление растекания одного вертикального заземлителя равно

$$R_3 = \frac{0{,}366\,\rho_{РАСЧ.В}}{l_B}\left(\ln\left(\frac{2l_B}{d}\right) + \frac{1}{2}\ln\left(\frac{4t + l_B}{4t - l_B}\right)\right).$$

В качестве вертикального заземлителя имеем трубу с диаметром d = 60 мм, $l_B = 2 \div 2{,}5$ м, тогда $R_B = 153{,}58$ Ом.

Разместим вертикальные заземлители по контуру. Определим коэффициент использования для ВЗ. Для этого количества ВЗ n можно принять равным:

$$n = \frac{R_B}{R_И} = \frac{153{,}58}{8} \approx 20 \text{ шт}.$$

Из табл.4.11.24 определим коэффициент использования, приняв отношение между расстоянием электродов к их длине $a/l_B = 2$, $\eta_B = 0{,}63$.

Тогда $n_B = \frac{R_B}{\eta_B R_И} = \frac{153{,}58}{0{,}63 \cdot 8} \approx 30$ шт.

При устройстве контурных заземлителей необходимо учитывать и сопротивление растекания полос горизонтального заземлителя. На площади размещения ЗУ размещаем ВЗ и определим длину соединительной полосы

$$l_Г = 1{,}05 \cdot n_B \cdot a = 1{,}05 \cdot 30 \cdot 4 = 126 \text{ м}.$$

В качестве горизонтального заземлителя, рассчитываем пруты круглого сечения

$$R_Г = \frac{0{,}366 \cdot \rho_{РАСЧ.Г}}{l_Г} \cdot \ln\left(\frac{l_Г^2}{d\,t}\right) = 14{,}2 \text{ Ом}.$$

С учетом коэффициента использования горизонтального заземлителя $\eta_Г$ рассчитаем сопротивление растекания горизонтального заземлителя

$$R'_Г = \frac{R_Г}{\eta_Г} = {}^{14,2}\!/_{0,3} = 47,3 \text{ Ом}.$$

Уточним сопротивление растекания вертикальных заземлителей с учетом горизонтального заземлителя

$$R'_В = \frac{R'_Г R_В}{R'_Г + R_В} = \frac{47,3 \cdot 8}{47,3 + 8} = 6,9 \text{ Ом}.$$

В таком случае число вертикальных заземлителей будет изменено $n'_В = \frac{R'_В}{R_И} n_В = \frac{6,9}{8} 30 \approx 28$ шт.

Расчет и выбор данного ЗУ можно осуществлять с помощью ЭВМ. Программа расчета и выбор ЗУ представлена в данном приложении.

Контур заземляющего устройства будет иметь вид, представленный на рис. 4.71, 4.72.

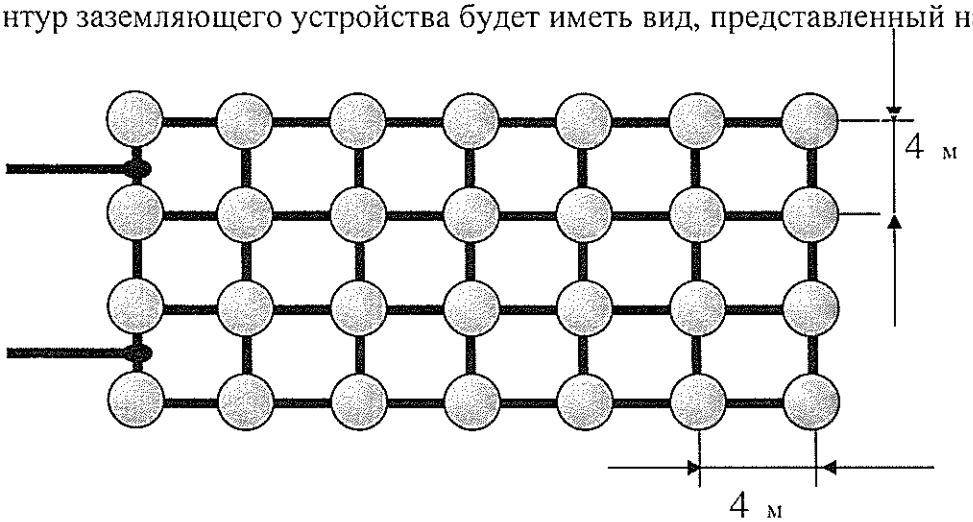


Рис. 4.71. Контур заземляющего устройства, вид сверху

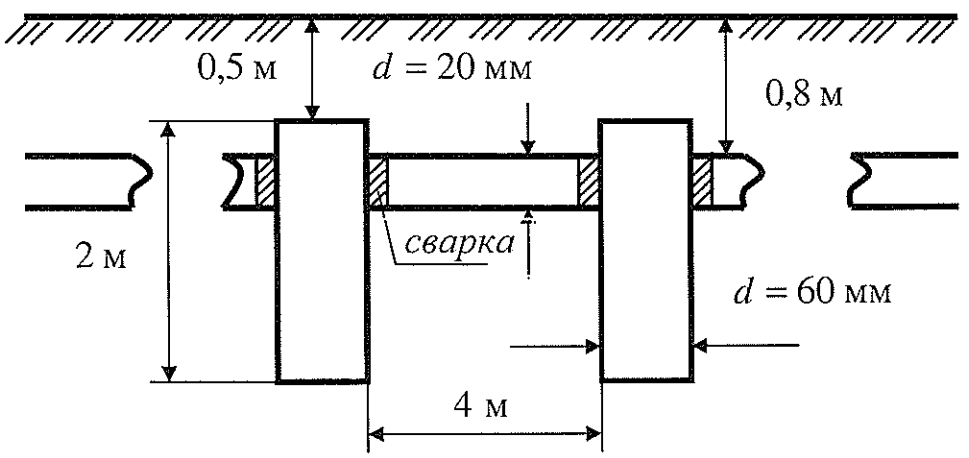


Рис. 4.72. Заземляющее устройство, вид сбоку

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение П.1
Условные обозначения электрооборудования на планах (по ГОСТ 21.6.14–88)

I. Розетки для открытой установкис защитным контактом и степенью защиты IP20 - 23

- двухполюсная (1-но фазн)
- двухполюсная сдвоенная (1-но фазн)
- трехполюсная (3-х фазн)

II. Розетки для скрытой установкис защитным контактом и степенью защиты IP20 - 23

- двухполюсная (1-но фазн)
- двухполюсная сдвоенная (1-но фазн)
- трехполюсная (3-х фазн)

III. Розетки для открытой установкис защитным контактом и степенью защиты IP44 - 55

- двухполюсная (1-но фазн)
- двухполюсная сдвоенная (1-но фазн)
- трехполюсная (3-х фазн)

IV. Розетки для открытой установкис защитным контактом и степенью защиты IP44 - 55

- двухполюсная (1-но фазн)
- двухполюсная сдвоенная (1-но фазн)
- трехполюсная (3-х фазн)

V. Выключатели для открытой установки со степенью защиты IP 20 - 23

- однополюсный
- двухполюсный
- трехполюсный

VI. Выключатели для открытой установки со степенью защиты IP 44 - 55

- однополюсный
- двухполюсный
- трехполюсный

VII. Выключатели для скрытой установки со степенью защиты IP 20 - 23

- однополюсный
- двухполюсный
- трехполюсный

VIII. Выключатели для скрытой установки со степенью защиты IP 44 - 55

- однополюсный
- двухполюсный
- трехполюсный

IX. Переключатели для скрытой установки со степенью защиты IP 20 - 23

- однополюсный
- двухполюсный
- трехполюсный

X. Переключатели для скрытой установки со степенью защиты IP 44 - 55

- однополюсный
- двухполюсный
- трехполюсный

XI. Патроны

- стенной
- подвесной
- потолочный

XII. Светильники с лампами накаливания

- люстра
- потолочный
- настенный
- подвесной
- встроенный

XIII. Светильники с люминисцентными лампами

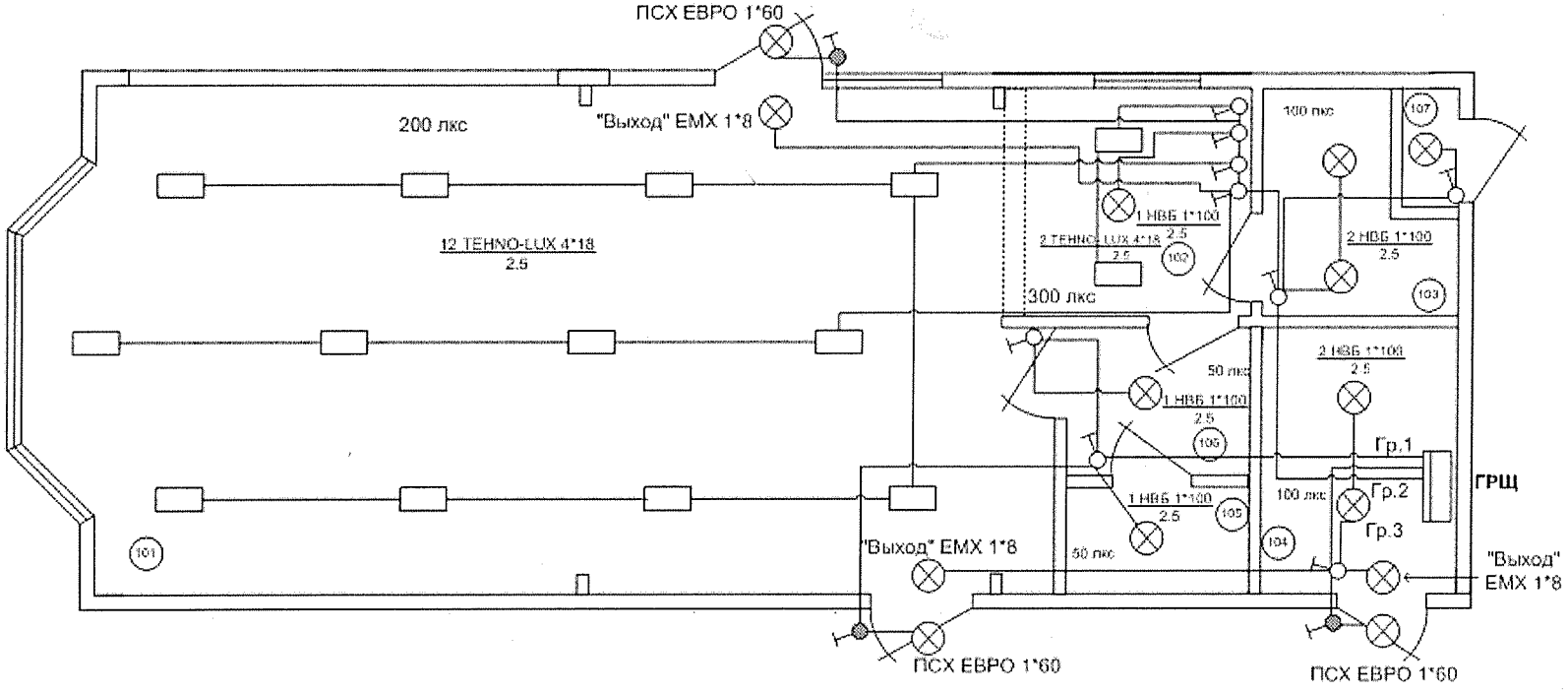
- потолочный
- подвесной
- настенный
- встроенный
- установленные в линию

XIV. Электрооборудование

- щит силовой одностороннего обслуживания
- щит силовой двухстороннего обслуживания
- щит освещения
- автоматический выключатель
- ящик управления
- магнитный пускатель
- кнопка управления
- стиральная машина
- плита электрическая
- холодильник
- сушилка
- вентилятор
- водонагреватель
- посудомоечная машина
- устройство электронагревательное
- УГП
- звонок

Приложение П.2

План сетей освещения



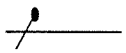
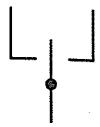
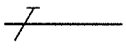
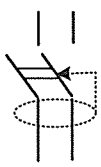
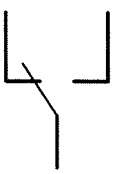
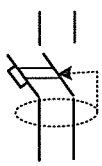
Примечание: светильники аварийного освещения **ЕМХ 1х8** устанавливаются со встроенными аккумуляторными батареями, которые обеспечивают их работу в течении 2,5 часов после исчезновения напряжения.Подключение светильников производится к линиям рабочего освещения.Светильники находяться постоянно в работе и их отключение возможно только в щитовой.

ЭКСПЛИКАЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ		
№	Наименование	Площадь, кв.м
101	Машинный зал	45.0
102	Операторская	3.9
103	Кабинет начальника	3.7
104	Щитовая	3.9
105	Туалет	1.5
106	Тамбур	1.8
107	Кладовая	0.5

					03 - 2002 - ЭК	
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		
					Объект проектирования	
					Проект электроснабжения	Стадия: Р; Лист; Листов
ГИП		Акимов				
Нач. отд		Иванов				
Гл. спец		Сидоров			План сетей внутреннего освещения	НИИ
Исполнил		Козлов				

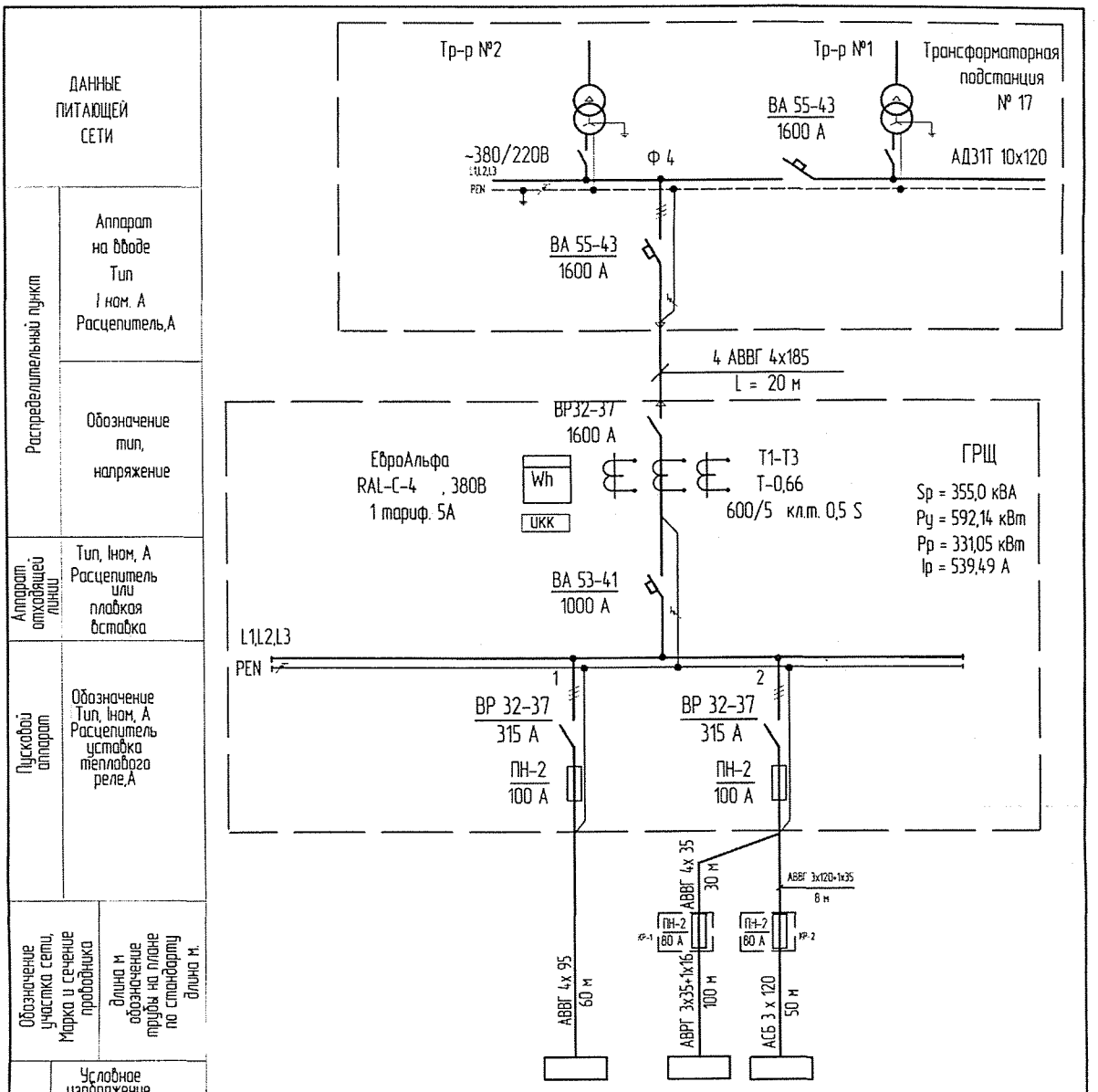
Приложение П.3

Условные графические обозначения электрических аппаратов до 1000 В, применяемые в схемах (ГОСТ 2.755–87, ГОСТ 2.751–73, 2.727–68)

Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение
Шина N		Переключатель, рубильник на два направления со средним положением	
Шина PE		Предохранитель	
Рубильник, контакт реле, магнитный пускатель		Автоматический выключатель	
Рубильник, контакт реле, магнитный пускатель с дугогасительным устройством		Устройство защитного отключения	
Переключатель, рубильник на два направления		Дифференциальный автоматический выключатель	

Приложение П.4

Однолинейная структурная схема электроснабжения



Изм.	Кол.уч	Лист	№ док	Подпись	Дата
Разработал		Груздев			08.05
Проверил		Нечай			08.05
Н.контр.		Маньков			08.05

077-08-05-ЭМ

Санкт-Петербург, Колпинский район, п. Саперный,
(территория Мебельного комбината, цех № 8)

Электроснабжение ООО "О.Р.Б."

Стадия	Лист	Листов
ИД	4	

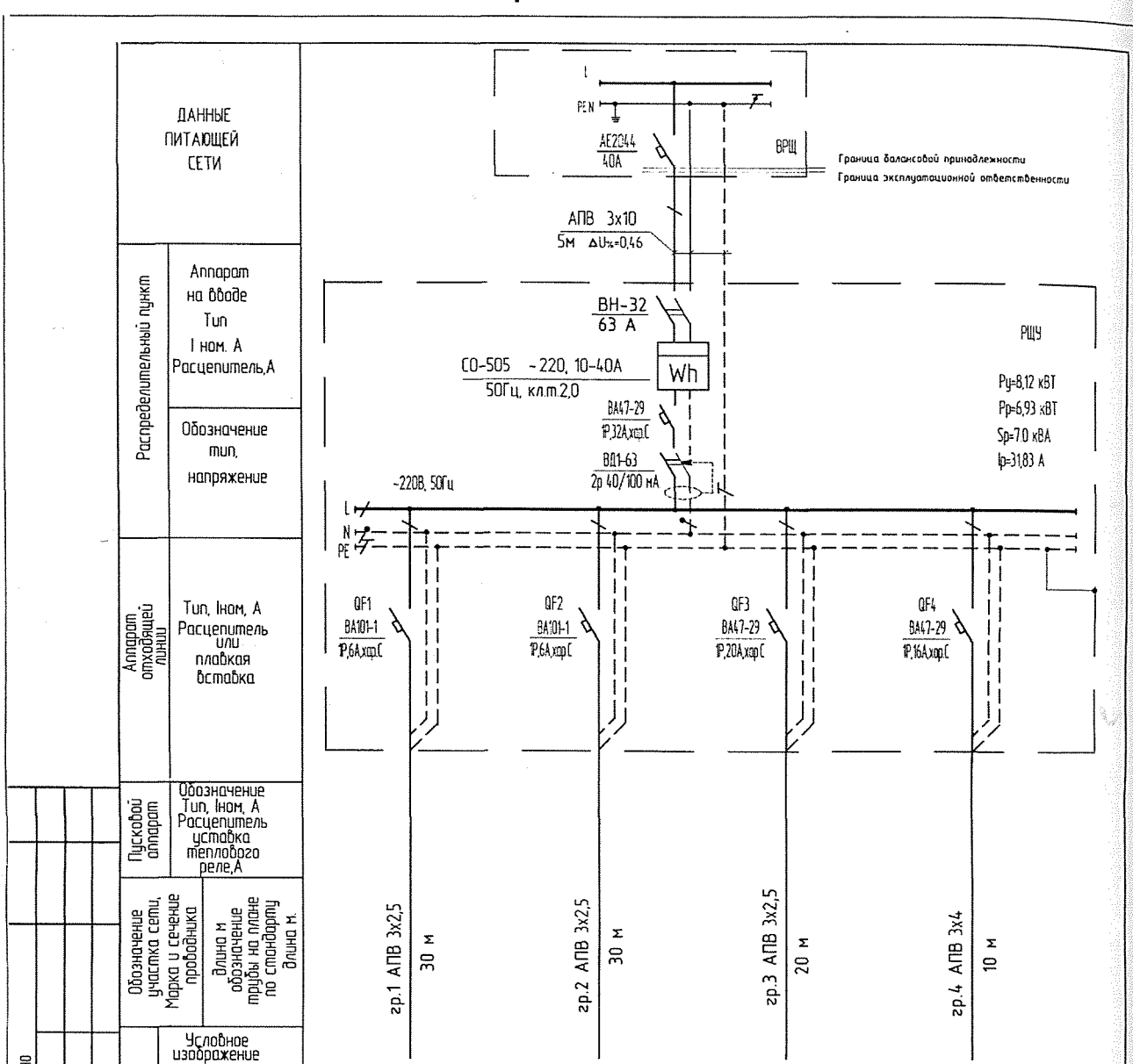
Принципиальная однолинейная схема электроснабжения

ООО "Электро Сервис"

Взам.инв.N | Подпись и дата | Инв.N подл.

Приложение П.5

Схема электроснабжения объекта



Изм.	Кол.уч.	Лист	N док.	Подпись	Дата
Разработал		Васильев			11.05
Проверил		Кравченко			11.05
Н.контр.		Маньков			11.05

085-11-05-ЭО

Квартира по адресу: г. С-Петербург, ул. Политехническая, д. 17,

ФГУП "Санкт-Петербургское протезно-ортопедическое предприятие"

Стадия	Лист	Листов
ИД	2	1

Схема электрическая принципиальная РЩУ

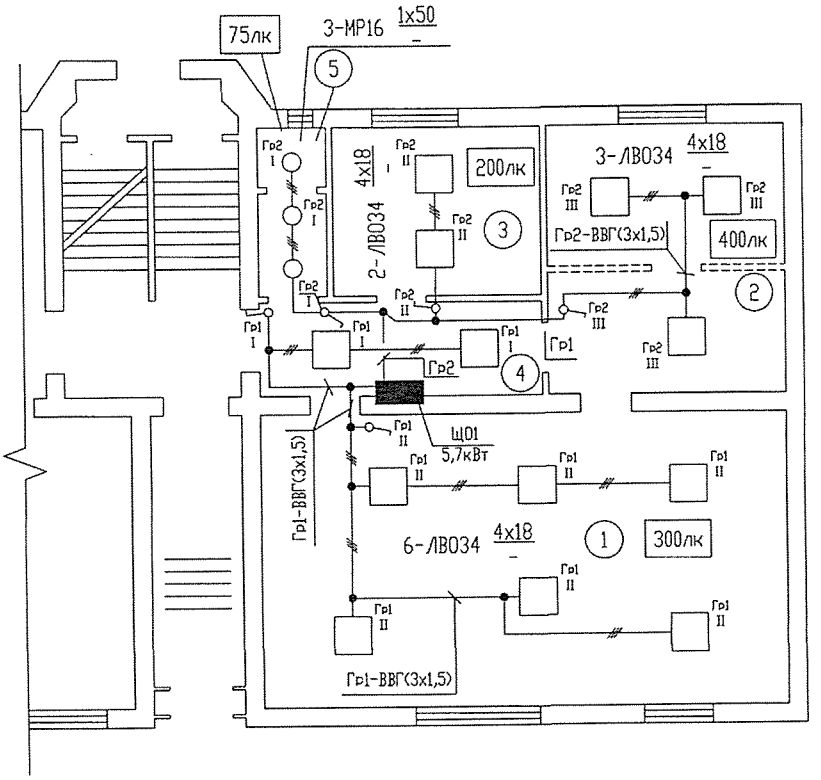
ООО "Электро Сервис"

Формат А3

Приложение П.6

План сети освещения

План сети освещения
М1:100



1. Монтож оборудования и прокладку кабелей выполнить в соответствии с требованиями СНиП 3.05.06-85 и документацией фирм-изготовителей оборудования.
2. Кабели групповых сетей проложить:
   - вертикальные участки: в пространстве за гипсокартоном в гофрированной пластиковой трубе
   - горизонтальные участки: в пространстве за подвесным потолком в гофрированной пластиковой трубе.
3. Штепсельные розетки установить на высоте 0,3м от уровня пола.
4. Выключатели установить на высоте 1,5м от уровня пола.

Согласовано | Взамен инв. N° | Подп. и дата | Инв. N° подл.

Изм.	Кол.уч.	Лист	N°док.	Подпись	Дата
Нор. конт.		Хиров			
Проверил		Маньков			
Разработал		Ржевский			

16-10-76-ЭО

ГУ "ТЦСО", Санкт-Петербург, Стачек, 12

Внутреннее электроосвещение

Стадия	Лист	Листов
Р	11	

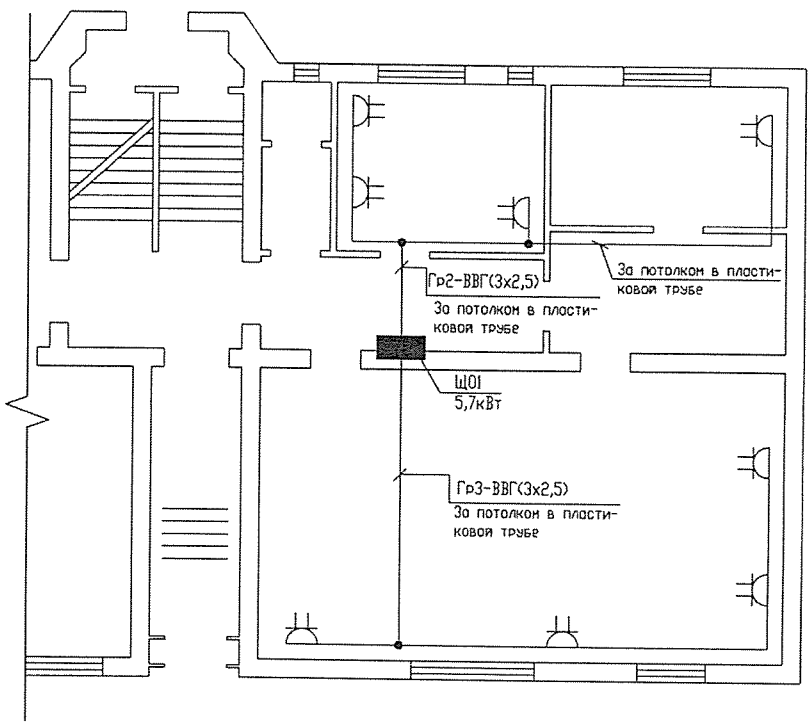
План сети освещения.

ООО "Электро Сервис"

Приложение П.7

План розеточной сети

План розеточной сети
М1:100



1. Монтаж оборудования и прокладку кабелей выполнить в соответствии с требованиями СНиП 3.05.06-85 и документацией фирм-изготовителей оборудования.
2. Кабели групповых сетей проложить:
   - вертикальные участки: в пространстве за гипсокартоном в гофрированной пластиковой трубе
   - горизонтальные участки: в пространстве за подвесным потолком в гофрированной пластиковой трубе.
3. Штепсельные розетки установить на высоте 0,3м от уровня пола.
4. Выключатели установить на высоте 1,5м от уровня пола.

Согласовано

Взамен инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Кол.уч.	Лист	№док.	Подпись	Дата
Нор. конт.		Хиров			
Проверил		Маньков			
Разработал		Ржевский			

16-10-76-ЭО

ГУ "ТЦСО", Санкт-Петербург, Стачек, 12

Внутреннее электроосвещение

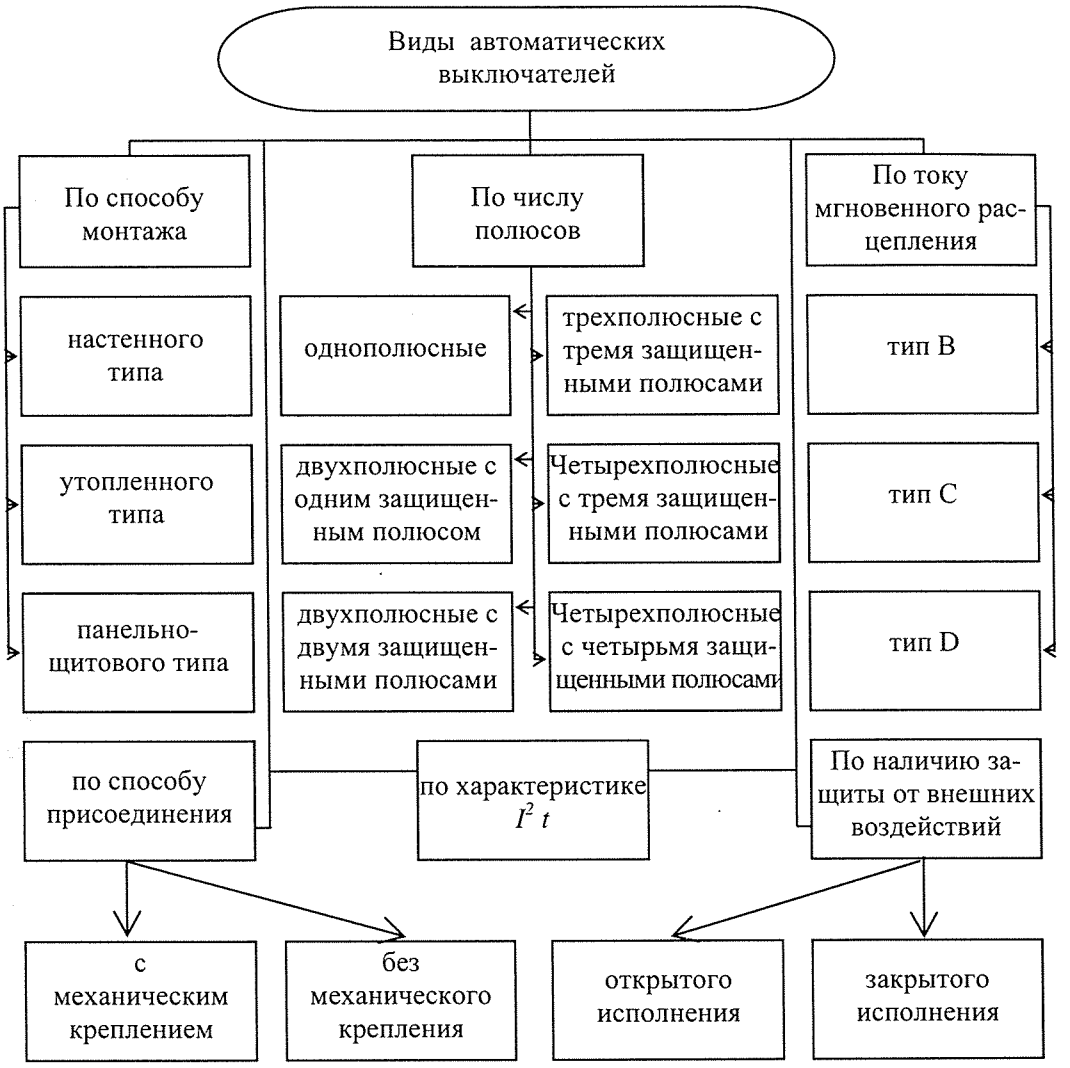
Стадия	Лист	Листов
Р	10	

План розеточной сети.

ООО "Электро Сервис"

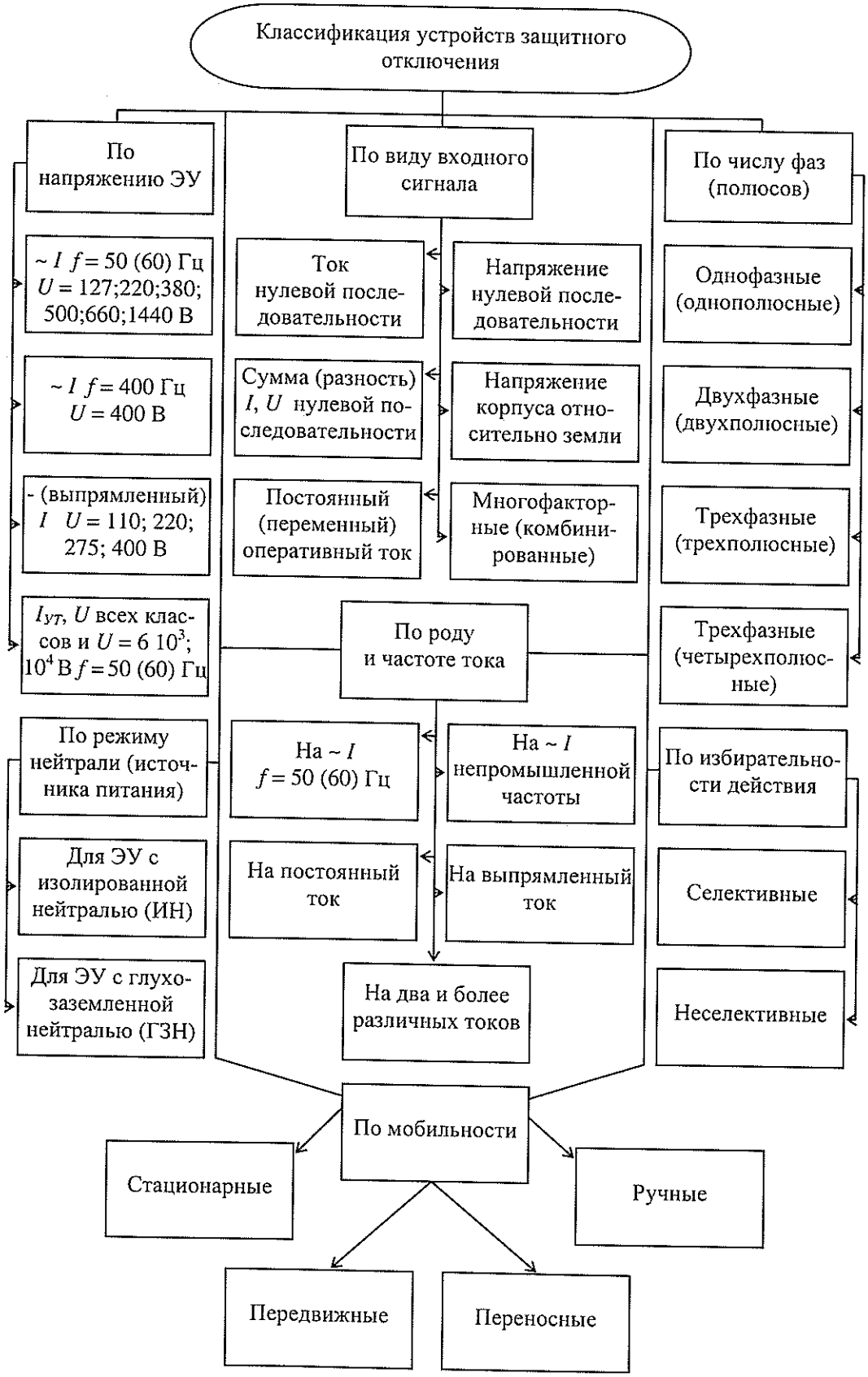
Приложение П.8

Классификация автоматических выключателей



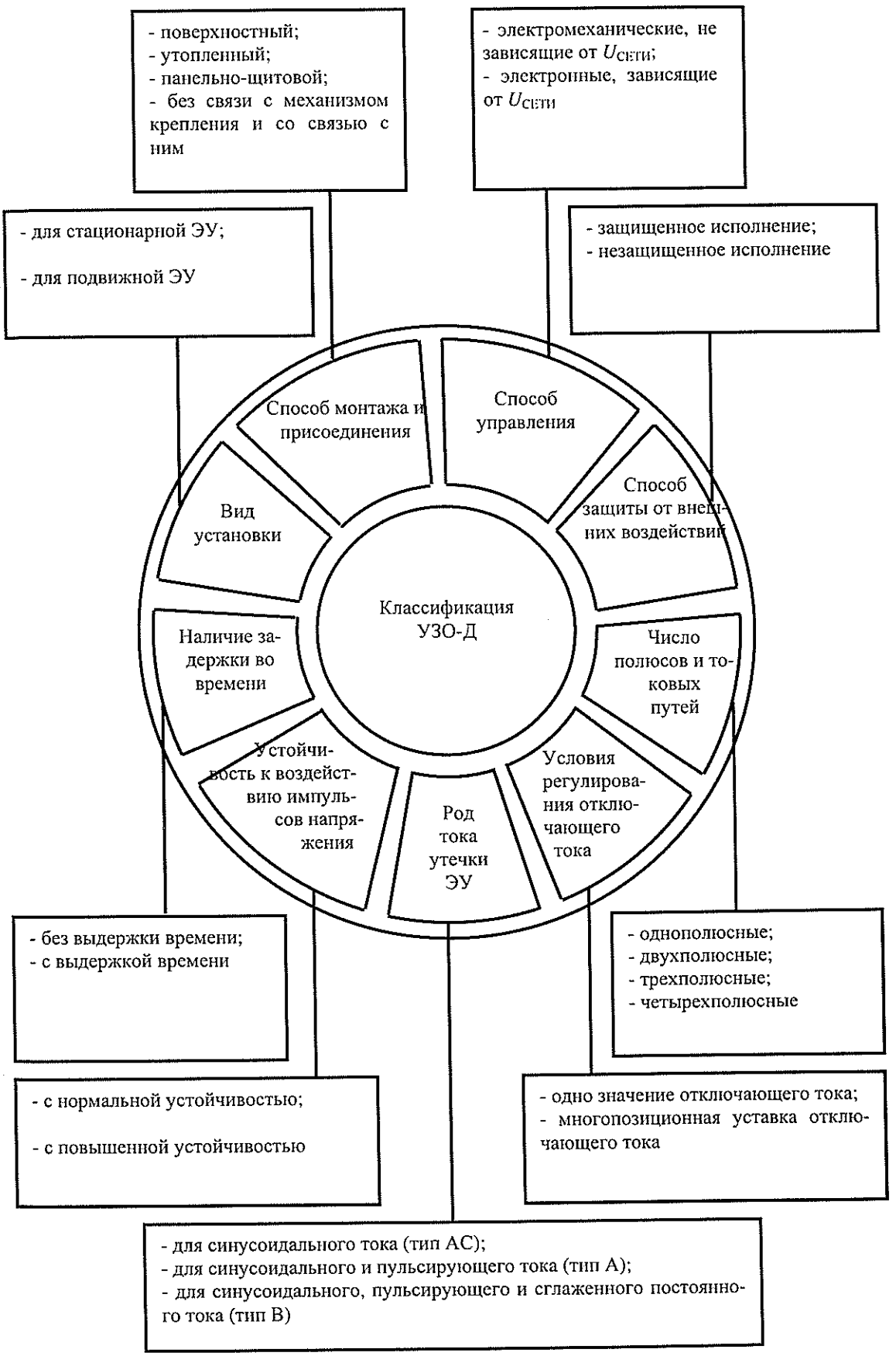
Приложение П.9

Классификация устройств защитного отключения



Приложение П.10

Классификация УЗО-Д



Приложение П.11

Классификация помещений по характеру окружающей среды

№ пп	Класс помещения	Характеристика (признаки) помещения
1	Нормальное	Сухое помещение, в котором отсутствуют признаки, свойственные помещениям жарким, пыльным и с химически активной или органической средой (см. п.п. 6, 7 и 8)
2	Сухое	Относительная влажность воздуха не превышает 60 %
3	Влажное	Относительная влажность воздуха более 60 %, но не превышает 75 %
4	Сырое	Относительная влажность воздуха превышает 75 %
5	Особо сырое	Относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой)
6	Жаркое	Температура постоянно или периодически (более 1 суток) превышает +35 °С
7	Пыльное	Помещение, в котором по условиям производства выделяется токопроводящая или нетокопроводящая пыль, оседающая на токоведущих частях и проникающая внутрь ЭУ
8	С химически активной или органической средой	Помещение, в котором постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные вещества (пары, газы, жидкости), образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования

Примечание: относительная влажность воздуха φ - есть отношение (в процентах) массы водяных паров, содержащихся в воздухе интересующего нас пространства, к массе водяных паров, насыщающих это пространство при данной температуре (то есть, когда испарение влаги прекратилось, что соответствует 100 %-ной влажности).

Приложение П.12

Классификация помещений по электробезопасности

Группа помещений	Характеристика помещений
1. Помещения с повышенной опасностью	Помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: а) сырость (см. Прил.П. 15); б) токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.д.); в) высокая температура воздуха (см. Прил.П. 15); г) токопроводящая пыль; д) возможность одновременного прикосновения человека к металлическим корпусам электрооборудования (открытым проводящим частям) и к заземленным металлоконструкциям зданий
2. Помещения особо опасные	Помещения, характеризующиеся наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: а) особая сырость (см. Прил.П. 15); б) химически активная или органическая среда (см. Прил.П. 15); в) одновременно два и более условий повышенной опасности. Территория открытых ЭУ в отношении опасности поражения людей электрическим током приравнивается к особо опасным помещениям
3. Помещения без повышенной опасности	Помещения, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность

Приложение П.13

Степени защиты персонала и электротехнических изделий по электробезопасности и их условные обозначения (ГОСТ 14254-96 «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками»)

Таблица 13.1

Характеристика степеней защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями внутри оболочки и от попадания твердых тел внутрь оболочки электротехнического изделия напряжением до 72,5 кВ

Обозначение степени защиты	Степень защиты	
	Краткое описание	Характеристика (определение)
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от твердых тел размером более 50 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки большого участка поверхности человеческого тела, например руки, и твердых тел размером свыше 50 мм
2	Защита от твердых тел размером более 12 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной не более 80 мм и твердых тел размером свыше 12 мм
3	Защита от твердых тел размером более 2,5 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки инструментов, проволоки и т.п. диаметром или толщиной более 2,5 мм
4	Защита от твердых тел размером более 1 мм	Защита от проникновения внутрь оболочки проволоки и твердых тел размером более 1 мм
5	Защита от пыли	Проникновение внутрь оболочки пыли полностью не предотвращено. Однако количество проникающей пыли таково, что не вызывает нарушения работы изделия
6	Пыленепроницаемость	Проникновение пыли предотвращено полностью

Данные табл. 13.1 могут быть использованы с учетом нижеследующих замечаний:

1. Указания таблицы распространяются на электротехнические изделия с номинальным напряжением не более 72,5 кВ.

2. Для обозначения степени защиты применяются буквы IP (*International Protektion*) и следующие за ними цифры.

Первая цифра обозначает степень защиты персонала от соприкосновения с находящимися под напряжением частями или приближения к ним и от соприкосновения с движущимися частями, расположенными внутри оболочки, а также степень защиты изделия от попадания внутрь твердых тел. Первая цифра обозначения и ее расшифровка указаны в настоящей таблице.

Вторая цифра обозначает степень защиты изделия от попадания воды. Расшифровка второй цифры приведена в табл. 13.2. Обозначение степени защиты должно наноситься на оболочку изделия или на табличку с маркировочными данными и устанавливаться в стандартах или технических условиях на изделия конкретных серий и типов.

Если для изделия требуется указать степень защиты только одной цифрой, то пропущенная цифра заменяется буквой X, например: IPX5, IP2X.

3. Оболочка изделий со степенью защиты, соответствующей первым цифрам 1-4, не допускает проникновения твердых тел правильной и неправильной формы размером в трех взаимноперпендикулярных направлениях, указанным в графе «Краткое описание».

4. Возможность применения степеней защиты 3 и 4 по первой цифре обозначения для изделий с отверстиями для слива конденсата и (или) вентиляционными отверстиями устанавливается в стандартах или технических условиях на изделия конкретных серий и типов.

Замечания 1, 2 и 4, приведенные в табл. 13.1, соответствуют и табл. 13.3, кроме того, при степени защиты 8 для некоторых типов изделий допускается проникновение воды внутрь оболочки, но без нанесения вреда изделию.

Таблица 13.2

Характеристика степеней защиты электротехнического изделия напряжением до 72,5 кВ от попадания воды внутрь оболочки

Обозначение степени защиты	Степень защиты	
	Краткое описание	Характеристика (определение)
0	Защита отсутствует	Специальная защита отсутствует
1	Защита от капель воды	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие
2	Защита от капель воды при наклоне до 15о	Капли воды, вертикально падающие на оболочку, не должны оказывать вредного воздействия на изделие при наклоне его оболочки на любой угол до 15° относительно нормального положения
3	Защита от дождя	Дождь, падающий на оболочку под углом 60° от вертикали, не должен оказывать вредного воздействия на изделие
4	Защита от брызг	Вода, разбрызгиваемая на оболочку в любом направлении, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
5	Защита от водяных струй	Струя воды, выбрасываемая в любом направлении на оболочку, не должна оказывать вредного воздействия на изделие
6	Защита от волн воды	Вода при волнении не должна попадать внутрь оболочки в количестве, достаточном для повреждения изделия
7	Защита при погружении в воду	Вода не должна проникать в оболочку, погруженную в воду, при определенных давлении и времени в количестве, достаточном для повреждения изделия
8	Защита при длительном погружении в воду	Изделия пригодны для длительного погружения в воду при условиях, установленных изготовителем

Таблица 13.3

Условные обозначения степеней защиты оболочек электрических аппаратов напряжением до 1000 В

Степень защиты от соприкосновения и попадания посторонних тел	Степень защиты от проникновения воды								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00	-	-	-	-	-	-	-	-
1	IP10	IP11	IP12	-	-	-	-	-	-
2	IP20	IP21	IP22	IP23	-	-	-	-	-
3	IP30	IP31	IP32	IP33	IP34	-	-	-	-
4	IP40	IP41	IP42	IP43	IP44	-	-	-	-
5	IP50	IP51	-	-	IP54	IP55	IP56	-	-
6	IP60	-	-	-	-	IP65	IP66	IP67	IP68

Приведенные в табл. 13.3 данные могут быть использованы с учетом следующих дополнений:

1. Указания таблицы распространяются на оболочки, в которые встраиваются электрические аппараты общего назначения на напряжение до 1000 В.

Указания не распространяются на оболочки электрических аппаратов, предназначенных для работы во взрывоопасной среде и особых климатических условиях, а также на оболочки электробытовых приборов.

2. Указанные в настоящей таблице степени защиты электрических аппаратов устанавливаются в зависимости от степени защиты персонала от прикосновения к токоведущим частям аппаратов, попадания посторонних тел и проникновения воды под оболочку.

3. Характеристики степеней защиты оболочек электрооборудования приведены в табл. 13.1 и 13.2.

4. На отдельные виды аппаратов рекомендуется устанавливать предпочтительные степени защиты.

Таблица 13.4

Условные обозначения степеней защиты электрических машин

Степень защиты от соприкосновения и попадания посторонних тел	Степень защиты от проникновения воды								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00	IP01	-	-	-	-	-	-	-
1	IP10	IP11	IP12	IP13	-	-	-	-	-
2	IP20	IP21	IP22	IP23	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	IP43	IP44	-	-	-	-
5	-	-	-	-	IP45	IP55	IP56	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечания:

1. Указания таблицы распространяются на электрические вращающиеся машины и устанавливают степени защиты персонала от соприкосновения с токоведущими или движущимися частями, находящимися внутри машины, а также от попадания твердых посторонних тел внутрь машины и степени защиты от проникновения внутрь машины воды.

Указания таблицы не распространяются на электрические машины, предназначенные для работы во взрывоопасной среде и в других климатических условиях (например, тропических, воздействия влажности, инея, химических реагентов, плесневых грибков).

2. Характеристики степеней защиты и их обозначения соответствуют ГОСТ 14254-80 (см. табл. 13.1 и 13.2).

3. Исходя из специфических особенностей отдельных видов электрических машин, допускаются степени защиты IP57 и IP58.

4. Если электрическая машина имеет коробку выводов или коробку контактных колец, то степень защиты коробки должна соответствовать степени защиты электрической машины, но не менее IP20 для коробки выводов и IP23 для коробки контактных колец, если степень защиты электрической машины менее IP20.

5. У электрической машины со степенью защиты IP43 и выше, имеющей внешний вентилятор, насаженный на конец вала, степень защиты кожуха вентилятора должна быть не менее IP20.

У электрической машины со степенью защиты IP43 или IP44, имеющей указанный вентилятор и продуваемый воздухом ротор, степень защиты отверстий для прохода воздуха через ротор должна быть не менее IP23.

При этом конструкция электрической машины с продуваемым воздухом ротором должна обеспечивать соответственно степень защиты IP43 или IP44 внутренней части машины (зоны расположения обмоток статора и ротора) от тракта, по которому проходит воздух, охлаждающий ротор.

Со стороны выхода воздуха (промежутки между наружными ребрами станины или трубы) должна быть обеспечена защита от соприкосновения пальца с вращающимся вентилятором и от попадания крупных твердых посторонних тел (диаметром более 50 мм).

6. Сливные отверстия в корпусе машины со степенью защиты IP44 должны иметь степень защиты не менее IP23.

Дополнительная буква обозначает степень защиты людей от доступа к опасным частям.

Дополнительные буквы следует использовать только:

- если действительная защита от доступа к опасным частям выше защиты, указанной первой

характеристической цифрой;

- либо если обозначена только защита от доступа к опасным частям, а первая характеристическая цифра заменена символом X.

Например, только более высокая степень защиты может быть обеспечена путем установки заграждений, специальной формой отверстий либо за счет расстояний внутри оболочки.

В табл. 13.5 приведены щупы доступности, условно воспроизводящие отдельные части человеческого тела или предметы, находящиеся в руках у человека. Кроме того, в ней даны определения степеней защиты от доступа к опасным частям, обозначаемых дополнительными буквами.

Степень защиты оболочки может быть обозначена дополнительной буквой только в том случае, если она удовлетворяет всем более низким по уровню степеням защиты. При этом не обязательно проводить испытания на установление соответствия какой-либо из более низких степеней защиты, если очевидно, что результаты таких испытаний будут заведомо удовлетворительными.

Таблица 13.5

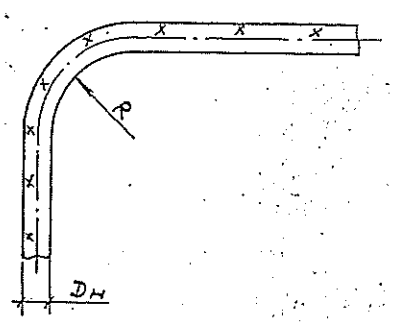
Степени защиты от доступа к опасным частям, обозначаемые дополнительной буквой

Дополнительная буква	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
A	Защищено от доступа тыльной стороной руки	Щуп доступности - сфера диаметром 50 мм - должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
B	Защищено от доступа пальцем руки	Шарнирный испытательный палец диаметром 12 мм и длиной 80 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
C	Защищено от доступа инструментом	Щуп доступности диаметром 3,5 мм и длиной 100 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей
D	Защищено от доступа проволокой	Щуп доступности диаметром 1,0 мм и длиной 100 мм должен оставаться на достаточном расстоянии от опасных частей

Приложение П.14

Минимальные радиусы изгиба кабелей при прокладке (А5-92-09)

Силовые кабели



R – радиус внутренней кривой изгиба кабеля

$D_н$ – наружный диаметр кабеля

Тип кабелей	Группа кабелей	Минимальный радиус изгиба R, мм
Силовые	Кабели с пропитанной бумажной изоляцией и с бумажной изоляцией, пропитанной нестекающим составом:	
	– многожильные в свинцовой оболочке;	15 $D_н$
	– одножильные в алюминиевой или свинцовой оболочке и многожильные в алюминиевой оболочке	25 $D_н$
	Кабели с пластмассовой изоляцией в алюминиевой оболочке	15 $D_н$
	Кабели с пластмассовой и резиновой изоляцией:	
	– одножильные	10 $D_н$
	– многожильные	7,5 $D_н$
Контрольные	Кабели в свинцовой оболочке	10 $D_н$
	Кабели бронированные в свинцовой оболочке	12 $D_н$
	Кабели в резиновой и поливинилхлоридной оболочке	10 $D_н$
	Кабели в резиновой и поливинилхлоридной оболочке, не имеющие брони	6 $D_н$

Приложение П.15

Общие технические требования, предъявляемые к распределительным щиткам для жилых зданий (извлечения из ГОСТ Р 51628-2000)

Квартирный групповой щиток: Щиток, устанавливаемый в квартире и предназначенный для присоединения групповых цепей, причем счетчик электроэнергии располагается на этажном учетно-распределительном щитке.

Квартирный учетно-групповой щиток: Щиток, устанавливаемый в квартире и предназначенный для присоединения групповых цепей и учета электроэнергии.

Этажный распределительный щиток: Щиток, устанавливаемый на этаже (лестничных клетках, этажных коридорах) и предназначенный для присоединения квартирных учетно-групповых щитков.

Этажный учетно-распределительный щиток: Щиток, устанавливаемый на этаже и предназначенный для присоединения квартирных групповых щитков и поквартирного учета электроэнергии.

Этажный учетно-распределительно-групповой щиток: Щиток, устанавливаемый на этаже и предназначенный для присоединения групповых цепей квартир и поквартирного учета электроэнергии.

Этажный совмещенный щиток: Щиток, имеющий слаботочный отсек (для размещения устройств телефонной, радиотрансляционной, телевизионной и других слаботочных сетей).

Питающая цепь: Электрическая цепь от вводно-распределительного устройства здания до этажных щитков (стояк) или электрическая цепь (сеть) от наружного источника питания (воздушной или кабельной линии) до квартирных щитков одноквартирных жилых домов.

Распределительная цепь: Электрическая цепь от этажного щитка до квартирного.

Групповая цепь: Электрическая цепь от щитка (квартирного или учетно-распределительно-группового) до светильников, штепсельных розеток и других стационарных электроприемников.

Щитки следует классифицировать по признакам, приведенным в табл.12.1.

Таблица 12.1

Классификация щитков

№ п/п	Признак классификации щитков	Вид щитков				
		Квартирные		Этажны		
		групповые	учетно-групповые	распределительные	учетно-распределительные	учетно-распределительно-групповые
1.	По исполнению, относящемуся к виду установки:					
	- настенное	+	+	+	+	+
	- встраиваемое в нишу	+	+	+	+	+
2.	По наличию слаботочного отсека:					
	- с отсеком	x	x	+	+	+
	- без отсека	x	x	+	+	+
3.	По способу защиты от поражения электрическим током по ГОСТ Р МЭК 536:					
	класс I	+	+	+	+	+
	класс II	+	+	+	+	+
4.	По числу фаз ввода в щиток:					
	- однофазный при $Pp^* \le 11$ кВт	+	+	x	x	–
	- трехфазный при $Pp > 11$ кВт или при наличии трехфазных токоприемников	+	+	x	x	–
5.	По наличию аппарата на вводе щитка:					
	- с аппаратом	+	+	x	x	x
	- без аппарата	+	+**	x	x	x

Продолжение табл.12.1

№ п/п	Признак классификации щитков	Вид щитков				
		Квартирные		Этажны		
		групповые	учетно-групповые	распределительные	учетно-распределительные	учетно-распределительно-групповые
6.	По числу фаз в групповых цепях:					
	- однофазные при *Р*р ≤ 11 кВт	+	+	х	х	х
	- трехфазные при *Р*р > 11 кВт или при наличии трехфазных токоприемников	+	+	х	х	–
7.	По наличию аппарата для защиты и отключения питающей цепи (стояка):					
	- с аппаратом (или предусмотренным местом для последующей его установки потребителем)	х	х	+	+	+
	- без аппарата	х	х	+	+	+

Примечание: * *Р*р – расчетная мощность на вводе квартиры.
** При присоединении щитка к распределительному или учетно-распределительному щитку.
Знаки в таблице обозначают:
«+», «–» – наличие или отсутствие исполнения щитка с соответствующим классификационным признаком; «х» – щитки по данному признаку не классифицируют

Основные параметры щитков должны соответствовать указанным в табл.12.2 и приводиться в технических условиях на щитки конкретных типов.

Таблица 12.2

Основные параметры щитков

№ п/п	Наименование параметра	Значение для щитков				
		квартирных		этажных		
		групповых	учетно-групповых	распределительных	учетно-распределительных	учетно-распределительно-групповых
1.	Номинальное напряжение, В, на вводах щитков:					
	а) зданий массового строительства	220	220	380/220	380/220	380/220**
	б) индивидуальных зданий и одноквартирных жилых домов:					
	- при Рр* ≤ 11 кВт	220	220	380/220	380/220	–
	- при Рр > 11 кВт или при наличии трехфазных токоприемников	380/220	380/220	380/220	380/220	–
2.	Номинальные токи однофазных вводных аппаратов квартир, А	25; 31,5; 40; 50; 63				
3.	Номинальные токи трехфазных вводных аппаратов квартир, А	25; 31,5; 40; 50; 63				
4.	Номинальные отключающие дифференциальные токи устройств защитного отключения (УЗО), устанавливаемых на однофазных вводах щитков, мА	30; 100; 300	30; 100; 300	–	–	30; 100; 300***
5.	Номинальные дифференциальные токи УЗО, устанавливаемых на трехфазных вводах щитков, мА	100, 300	100, 300	–	–	–
6.	Номинальные токи однофазных защитных аппаратов линий групповых цепей. А:					
	- автоматических выключателей	6; 10; 16; 25; 31,5; 40		–	–	10; 16; 25; 31,5; 40
	- предохранителей	6; 10				

Продолжение табл.12.1

№ п/п	Наименование параметра	Значение для щитков				
		квартирных		этажных		
		групповых	учетно-групповых	распределительных	учетно-распределительных	учетно-распределительно-групповых
7.	Номинальные токи трехфазных автоматических выключателей для защиты линий групповых цепей, А	10; 16; 25; 31,5; 40		–		
8.	Номинальные отключающие дифференциальные токи УЗО линий групповых цепей (одно- и трехфазных), мА	10; 30		–	–	10; 30
9.	Число квартир, присоединяемых к щитку	1	1	2; 3; 4	2; 3; 4	2; 3; 4
10.	Минимальное число защитных аппаратов линий групповых цепей в щитках зданий массового строительства: а) с электроплитами б) без электроплит	 4 3	 4 3	 – –	 – –	 4 на квартиру 3 на квартиру
11.	Число защитных аппаратов линий групповых цепей в щитках индивидуальных зданий и одноквартирных жилых домов	6; 12; 18; 24; 30*[4]				
12.	Номинальные рабочие токи вводных аппаратов квартир и защитных аппаратов	(определяются по расчетным мощностям квартир)				

Примечание: * *Pp* – расчетная мощность на вводе квартиры.

** Напряжение групповых цепей 220 В.

*** В учетно-распределительно-групповых щитках значения дифференциальных токов УЗО относятся к вводам квартир.

*[4] Указанные количества защитных аппаратов линии групповых цепей определяют типоразмеры квартирных щитков. Фактическое их заполнение аппаратами согласно заказу в пределах номинального рабочего тока вводного аппарата квартиры.

По согласованию с потребителем изготовитель может поставлять отдельно оболочки квартирных щитков, рассчитанные на последующую установку в них потребителем защитных аппаратов и приборов тех типов, с которыми они были испытаны.

Оболочки щитков должны сопровождаться подробной инструкцией по их заполнению, составленной на основе данных по испытанию щитков в аналогичных оболочках в объеме требований настоящего стандарта.

Значения номинальных рабочих токов вводных аппаратов квартирных щитков и вводных аппаратов квартир в этажных щитках, а также защитных аппаратов линий групповых цепей должны устанавливаться в технических условиях на щитки конкретных типов, при верхнем значении рабочей температуры окружающего воздуха, если иные предельные значения температуры окружающего воздуха не указаны в технических условиях.

Основные размеры и масса щитков (наибольшие для каждого типоразмера) должны указываться в технических условиях на щитки конкретных типов.

Комплектующие аппараты и приборы должны выбираться в соответствии с параметрами щитков, приведенными в табл.12.2.

Аппараты и приборы должны удовлетворять требованиям соответствующих нормативных документов, по которым они выпускаются.

Это требование может относиться также к зажимам, если они поставляются как комплектующие части.

Рекомендуемые виды аппаратов – согласно табл.12.3. Возможные их сочетания в щитках приведены на схемах (прил.А).

Таблица 12.3

Комплектующая аппаратура

№ п/п	Вид аппаратов	Вид щитков				
		Квартирные		Этажные		
		групповые	учетно-групповые	распределительные	учетно-распределительные	учетно-распределительно-групповые
1.	Вводные аппараты щитков:					
	а) однофазные:					
	- выключатели неавтоматические одно или двухполюсные	+	+	–	–	+**
	- выключатели автоматические одно или двухполюсные	–	–	+	+	–
	- УЗО* со встроенной защитой от сверхтока	+	+	–	–	+**
	б) трехфазные:					
	- выключатели неавтоматические трех или четырехполюсные	+	+	–	–	–
	- выключатели автоматические трех или четырехполюсные	–	–	+	+	–
	- УЗО* со встроенной защитой от сверхтока	+	+	–	–	–
2.	Аппараты групповых цепей:					
	а) однофазные:					
	- выключатели автоматические однополюсные	+	+	–	–	+
	- предохранители резьбовые	+	+	–	–	–
	- УЗО* со встроенной защитой от сверхтока	+	+	–	–	+
	б) трехфазные:					
	- выключатели автоматические трехполюсные	+	+	–	–	–
	- УЗО* со встроенной защитой от сверхтока	+	+	–	–	–

Примечания:

* Допускается применение УЗО без встроенной защиты от сверхтока при наличии в цепи отдельного защитного аппарата. УЗО по стойкости к токам короткого замыкания должно быть скоординированно с защитным аппаратом.

** В учетно-распределительно-групповых щитках вводные аппараты относятся к вводам квартир.

1. В щитках могут, при необходимости, устанавливаться аппараты управления, приборы сигнализации и контроля.

2. Виды вводных аппаратов (автоматические и неавтоматические выключатели УЗО), а также количество в них полюсов – по согласованию потребителя с изготовителем.

Для комплектации щитков следует применять преимущественно защитные аппараты и приборы, имеющие единый размерный модуль и унифицированную конструкцию для их крепления.

Автоматические выключатели (включая УЗО со встроенной защитой от сверхтока) должны быть с комбинированными расцепителями типов В, С и иметь предельную коммутационную способность не менее 3000 А.

По согласованию потребителя с изготовителем в щитках могут устанавливаться автоматические выключатели с комбинированными расцепителями типа Д.

В этажных щитках должны применяться вводные аппараты квартир, в которых предусмотрена возможность запирания и опломбирования их органов управления в положении «выключено».

Резьбовые предохранители следует применять только в квартирных щитках, имеющих дверцу.

Номинальные токи аппаратов следует выбирать согласно табл.12.2.

Выключатели следует применять с органами управления из изоляционного материала.

В щитках с узлом учета электроэнергии должны применяться счетчики активной электроэнергии класса точности не ниже 2,0 непосредственного включения, максимальный ток которых должен быть не менее номинального тока вводного аппарата квартиры.

Аппараты, приборы, зажимы должны быть надежно закреплены в щитках. Крепежные элементы должны иметь средства для предотвращения ослабления крепления.

Для внутренних цепей щитков должны применяться медные изолированные проводники.

Сечения проводников внутренних цепей должны выбираться с учетом номинальных токов аппаратов и схем их соединений.

Сечения соединительных элементов входных выводов защитных аппаратов групповых цепей (прил.А) должны выбираться по суммарному току защитных аппаратов, соединенных соответствующим элементом, умноженному на коэффициент одновременности.

В суммарное значение тока не входит номинальный ток аппарата, к которому присоединяют питающий проводник, а сам аппарат не входит в число соединенных аппаратов, по которому выбирают коэффициент одновременности.

Сечение питающего проводника, присоединенного к соединительному элементу, определяют по суммарному току всех присоединенных к нему аппаратов. Это же количество аппаратов используют при выборе коэффициента одновременности, на который должно быть умножено значение суммарного тока.

Провода должны иметь изоляцию на напряжение 660 В переменного тока.

Прокладка изолированных проводов в щитке должна быть выполнена таким образом, чтобы они не касались голых токоведущих частей, острых кромок корпуса щитка. Радиусы изгиба проводов не должны быть менее шестикратного их наружного диаметра. Провода не должны иметь промежуточных скруток, паяных и других соединений.

Фазные проводники должны различаться маркировкой или цветом. Маркировку следует наносить на концах проводников. Цвета фазных изолированных проводников – по ГОСТ Р 50462-92.

Нулевой защитный проводник PE и нулевой рабочий проводник N должны различаться цветом. Цвета этих проводников – по ГОСТ Р 50462-92.

Аппараты, приборы, внутренние цепи должны располагаться в щитке таким образом, чтобы к ним обеспечивался удобный доступ при обслуживании и замене.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(к ГОСТ 51628-2000)

Примерные схемы квартирных и этажных щитков

Примечание– Приведенные схемы являются иллюстрацией положений стандарта и не могут без предварительного анализа реальных требований потребителей использоваться при разработке щитков

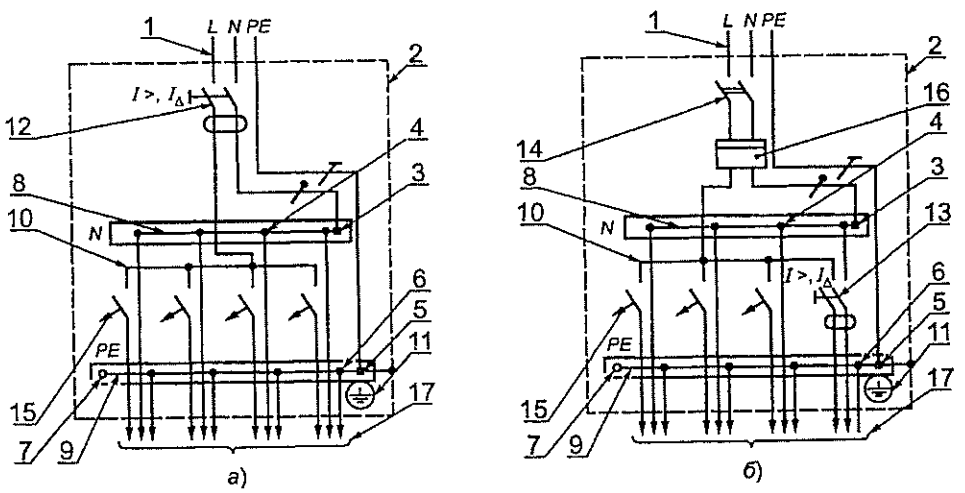


Рисунок А.1 – Схемы квартирных щитков (группового и учетно-группового), присоединенных к распределительным цепям, отходящим от:
а) этажного учетно-распределительного щитка; б) этажного распределительного щитка

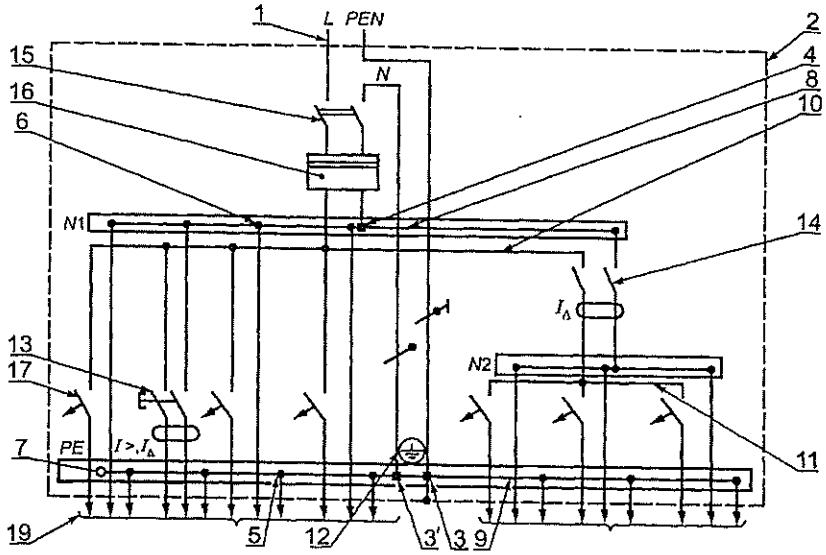
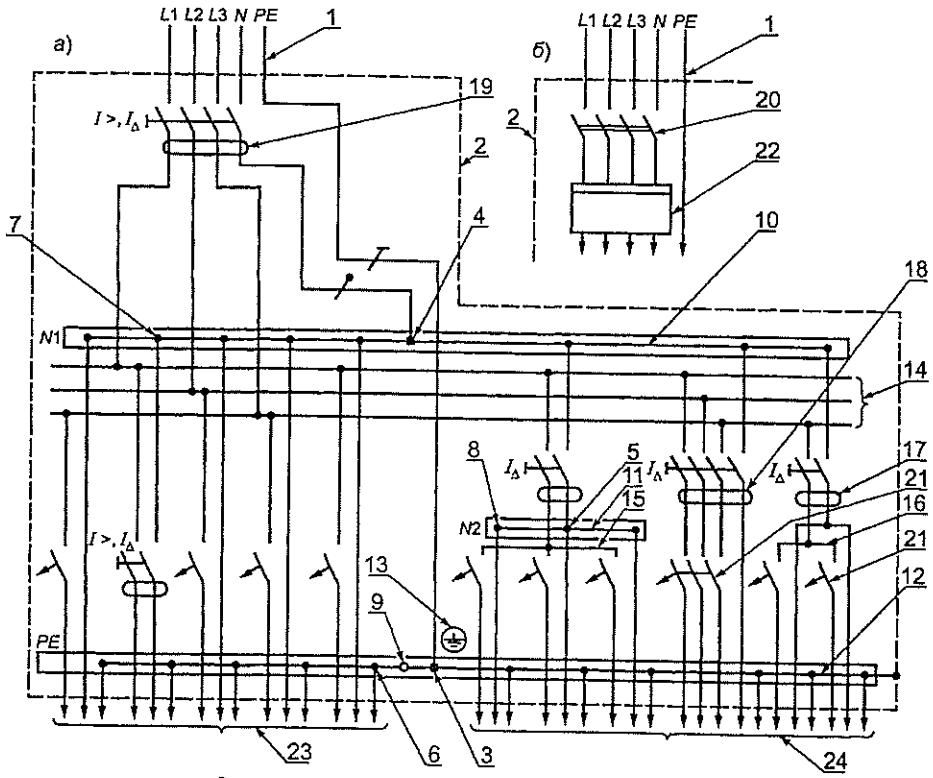


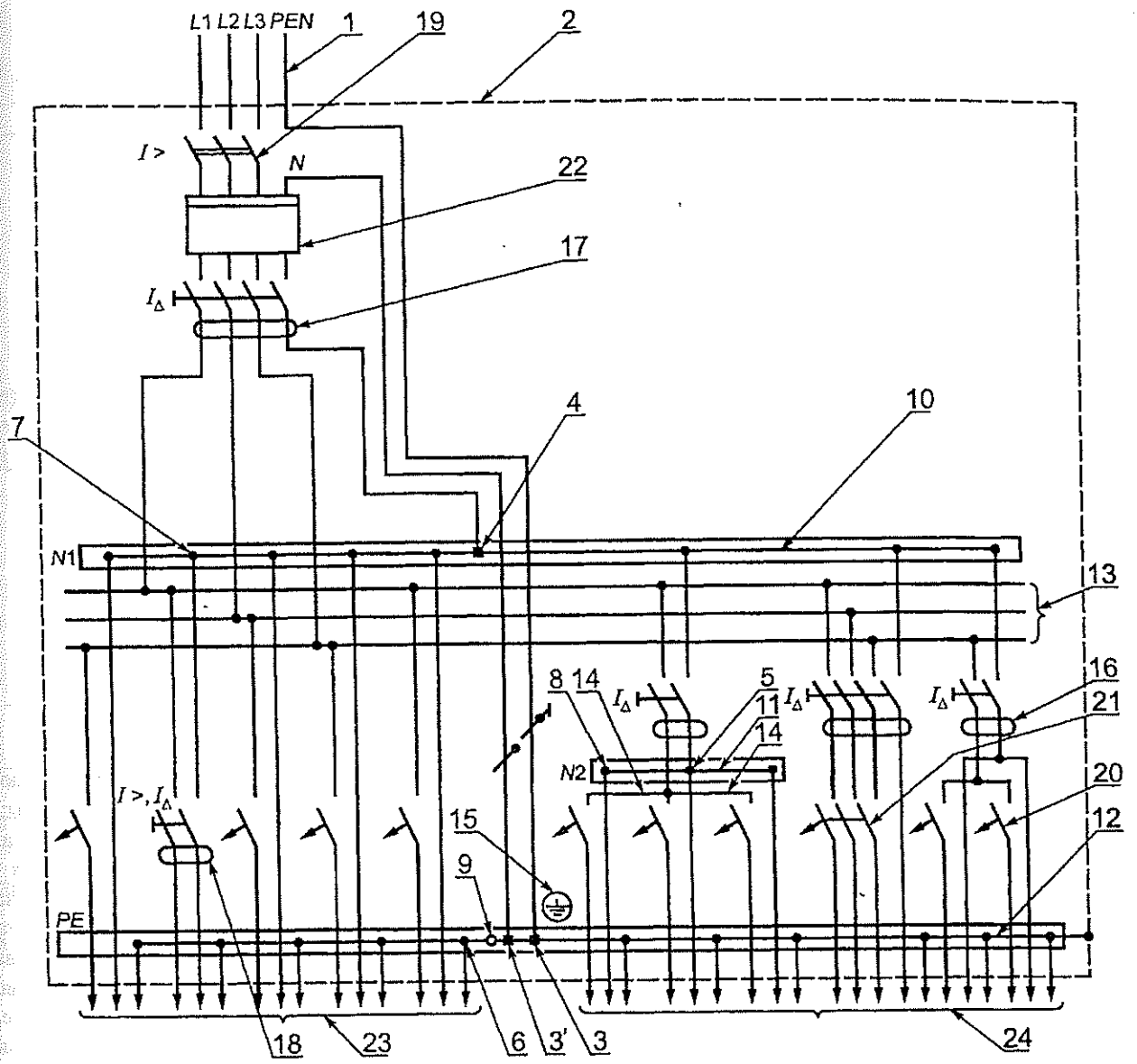
Рисунок А.3 – Схема квартирного учетно-группового щитка (для сельского жилого дома), присоединенного к наружной однофазной двухпроводной питающей сети



1 — распределительная цепь; 2 — проводящая оболочка щитка; 3, 4 — зажимы для проводников распределительной цепи (нулевого защитного PE и нулевого рабочего N); 5 — зажим для нулевого рабочего проводника N2, от устройства защитного отключения; 6, 7, 8 — зажимы для нулевых защитных PE и нулевых рабочих N1 и N2, проводников групповых цепей; 9 — зажим для проводника уравнивания потенциалов; 10, 11 — соединительные элементы зажимов нулевых рабочих проводников N [распределительных (поз. 4) и групповых цепей (поз. 5, 7, 8)]; 12 — соединительный элемент зажимов нулевых защитных проводников PE [распределительных (поз. 3) и групповых цепей (поз. 6), а также зажима проводника уравнивания потенциалов (поз. 9)]; 13 — знак заземления у зажима (поз. 3); 14, 15, 16 — соединительные элементы для соединения входных выводов защитных аппаратов групповых цепей; 17, 18 — устройства защитного отключения без встроенной защиты от сверхтока; 19 — устройство защитного отключения со встроенной защитой от сверхтока; 20 — выключатель; 21 — автоматические выключатели; 22 — счетчик; 23, 24 — линии групповых цепей

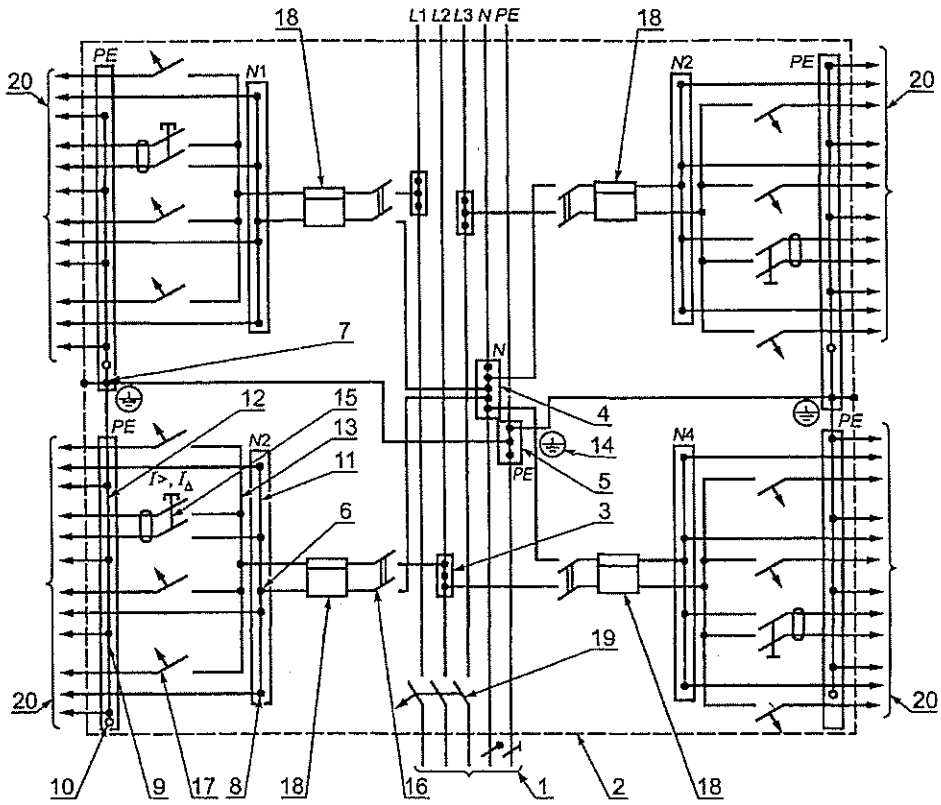
Рисунок А.5 — Схемы квартирных щитков (группового и учетно-группового) индивидуальных многоэтажных зданий, присоединенных к трехфазным пятипроводным распределительным цепям, отходящим от:

а) этажного учетно-распределительного щитка; б) этажного распределительного щитка



1 – питающая цепь; *2* – проводящая оболочка щитка; *3* – зажим для нулевого защитного проводника PE (PEN) питающей сети); *3, 4* – зажимы для нулевого рабочего проводника N; *5* – зажим для нулевого рабочего проводника N2, от УЗО; *6, 7, 8* – зажимы для нулевых защитных проводников PE и нулевых рабочих проводников N1 и N2, групповых цепей; *9* – зажим для проводника уравнивания потенциалов; *10* – соединительный элемент зажимов нулевых рабочих проводников N1 [питающей сети (поз. *4*) и групповых цепей (поз. *7*)]; *11* – соединительный элемент зажимов нулевых рабочих проводников N (поз. *5* и *8*); *12* – соединительный элемент зажимов нулевых защитных проводников PE [питающей сети (поз. *3*) и групповых цепей (поз. *6*), а также зажима проводника уравнивания потенциалов (поз. *9*)]; *13, 14* – соединительные элементы входных выводов защитных аппаратов групповых цепей; *15* – знак заземления у зажима (поз. *3*); *16, 17* – устройства защитного отключения без встроенной защиты от сверхтока; *18* – устройство защитного отключения со встроенной защитой от сверхтока; *19, 20, 21* – автоматические выключатели; *22* – счетчик; *23, 24* – линии групповых цепей

Рисунок А.6 – Схема квартирного учетно-группового щитка (для коттеджа), присоединенного к наружной трехфазной четырехпроводной питающей сети



1 — питающая цепь; 2 — проводящая оболочка щитка; 3, 4, 5 — зажимы для проводников питающей цепи и проводников распределительной цепи*; 6, 7 — зажимы проводников N и PE вводов в квартиры; 8, 9 — зажимы для нулевых рабочих N и нулевых защитных PE проводников групповых цепей; 10 — зажим для проводника уравнивания потенциалов; 11 — соединительный элемент зажимов нулевых рабочих проводников N [распределительной (поз. 6) и групповых цепей (поз. 8)]; 12— соединительный элемент зажимов нулевых защитных проводников PE [распределительной (поз. 7) и групповых цепей (поз. 9), а также зажима проводника уравнивания потенциалов (поз. 10)]; 13 — соединительный элемент входных выводов защитных аппаратов групповых цепей; 14 — знак заземления у зажимов (поз. 5, 7); 15 — устройство защитного отключения со встроенной защитой от сверхтока; 16 — выключатель; 17— автоматические выключатели; 18 — счетчик; 19 — автоматический выключатель питающей цепи (стояка); 20 — линии групповых цепей

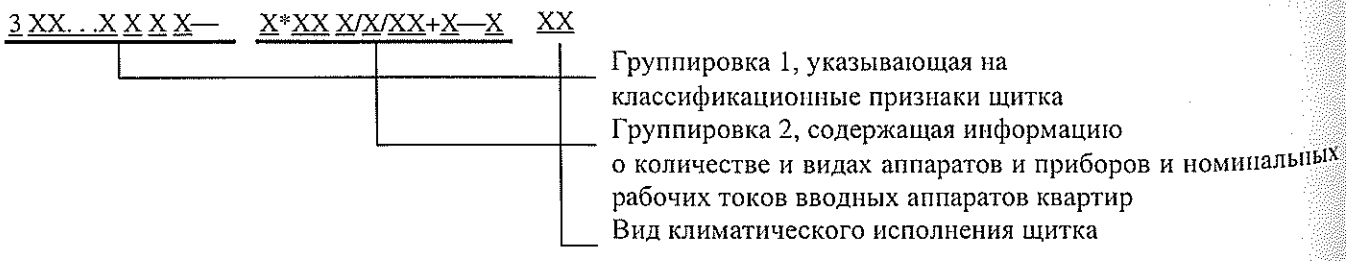
* В данном виде щитка распределительная цепь является его внутренней цепью.

Рисунок А. 9 — Схема этажного учетно-распределительно-группового щитка на четыре квартиры зданий массового строительства, присоединенного к трехфазной пятипроводной питающей цепи (стояку)

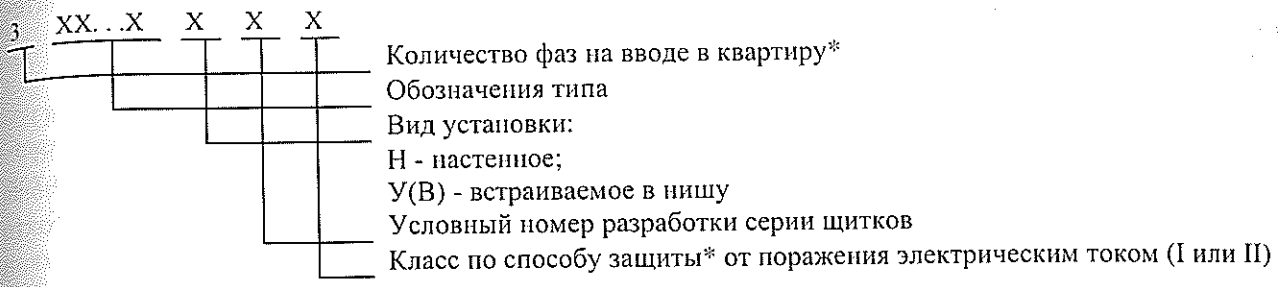
ПРИЛОЖЕНИЕ В
(к ГОСТ 51628-2000)

Обозначение типов щитков

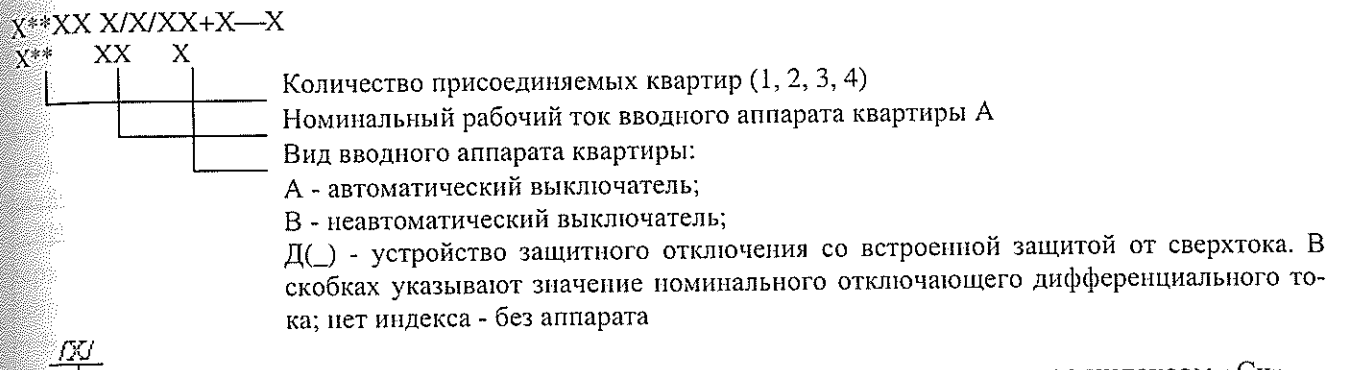
Обозначение типов щитков каждого вида в соответствии с табл.12.2 рекомендуется формировать с использованием классификационных признаков и параметров, установленных в стандарте, по следующей структуре:



Рекомендуемая структура группировки 1



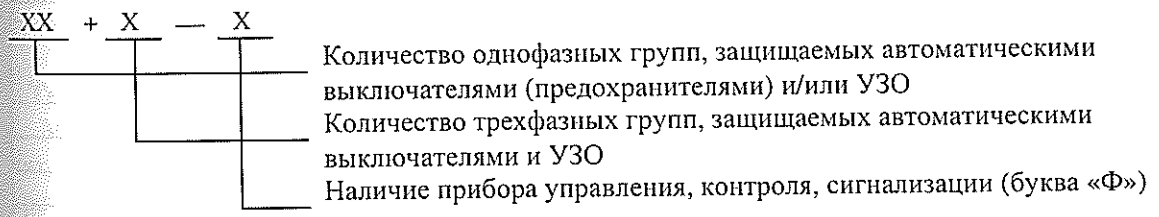
Рекомендуемая структура группировки 2



[Х]
└— – Наличие счетчика в квартирных или этажных щитках, указываемое индексом «Сч»

* В обозначениях щитков конкретных типов количество фаз для однофазных щитков и класс I могут не указываться.

** В обозначении типа приводят только те параметры, которые установлены в технических условиях на щитки конкретных типов.



Примеры условных обозначений

Пример обозначения типа однофазного учетно-группового квартирного щитка, настенного исполнения, условного номера разработки 2, класса I, с автоматическим выключателем на номинальный рабочий ток 40 А, со счетчиками, семью однофазными группами, климатического исполнения У3:

ЩКН2-40А/Сч/7У3

Пример обозначения типа трехфазного учетно-группового квартирного щитка, встраиваемого в нишу, класса II, с УЗО на номинальный рабочий ток 50 А и номинальный отключающий дифференциальный ток 300 мА, со счетчиком, с 12 однофазными и четырьмя трехфазными группами, с приборами управления и сигнализации, климатического исполнения УХЛ4.1:

3ЩКУП - 50Д (300)/Сч/12 + 4 - ФУХЛ4.1

Пример обозначения типа этажного учетно-распределительного щитка, встраиваемого в нишу, условного номера разработки 2, класса I, на три квартиры с однофазными автоматическими выключателями на номинальный рабочий ток 40 А, со счетчиками, климатического исполнения УХЛ4.1:

ЩЭУ2 - 3х 40А/Сч/УХЛ4.1

Пример обозначения типа этажного распределительного щитка, встраиваемого в нишу, условного номера разработки 4, класса I, на две квартиры, с трехфазными автоматическими выключателями на номинальный рабочий ток 50 А, климатического исполнения УХЛ4:

ЗЩЭУ4 - 2 х 50АУХЛ4

Пример обозначения типа этажного учетно-распределительно-группового щитка, встраиваемого в нишу класса I, на четыре квартиры, с вводными выключателями на номинальный рабочий ток 31,5 А, со счетчиками, с четырьмя однофазными группами, климатического исполнения УХЛ4:

ЩЭУГ - 4х 31,5/Сч/4УХЛ4.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(к ГОСТ 51628-2000)

Примерный перечень бытовых электроприемников, используемых в квартирах типовых и нетиповых зданий

№ п/п	Наименование электроприемников	Установленная мощность электроприемников, кВт, для	
		зданий массового строительства	зданий индивидуальных
1.	Стиральные машины: - без подогрева воды - с подогревом воды	 0,60 2,00-2,50	 2,00-2,50
2.	Джакузи	–	2,00-2,50
3.	Электрическая сауна	–	12,00
4.	Бойлер трехфазный	–	12,00
5.	Электроподогрев пола	–	0,80-1,40
6.	Солярий	–	0,80-1,80
7.	Стационарная электрическая плита	8,50-10,50*	8,50-10,50
8.	Надплитный фильтр	0,25	0,25
9.	Печь гриль	0,65-1,35	0,65-1,35
10.	СВЧ печь	0,90-1,30	0,90-1,30
11.	Посудомоечная машина с электроподогревом	–	2,25-2,50
12.	Морозильники, холодильники	0,14-0,30	0,14-0,30
13.	Электромясорубка	1,10	1,10
14.	Электрочайник	1,85-2,00	1,85-2,00
15.	Электрокофеварка	0,65-1,00	0,65-1,00
16.	Соковыжималка	0,20-0,30	0,20-0,30
17.	Тостер	0,65-1,05	0,65-1,05
18.	Миксер	0,25-0,40	0,25-0,40
19.	Электромассажер	–	2,20-2,50
20.	Электрофен	0,40-1,60	0,40-1,60
21.	Электроутюг	0,90-1,70	0,90-1,70
22.	Электропылесос	0,65-1,40	0,65-1,40
23.	Вентиляторы	1,00-2,00	1,00-2,00
24.	Телевизоры	0,12-0,14	0,12-0,14
25.	Радиоаппаратура	0,07-0,10	0,07-0,10
26.	Осветительные приборы	0,50-1,20	0,50-1,20

Примечание:
* Расчетные мощности соответственно 7 и 8,3 кВт.

Приложение П.16

Общие технические требования, предъявляемые к вводно-распределительным устройствам для жилых и общественных зданий (извлечения из ГОСТ Р 51732-2001)

Общие термины и определения

ВРУ: Электротехническое устройство низкого напряжения, содержащее аппаратуру, обеспечивающую возможность ввода, распределения и учета электроэнергии, а также управления и защиты отходящих распределительных и групповых электрических цепей в жилых и общественных зданиях, которая размещена в виде соответствующих функциональных блоков в одной или нескольких соединенных между собой (механически и электрически) панелях или в одном шкафу, в зависимости от типа здания.

Функциональный блок: Часть взаимосвязанных аппаратов ВРУ или панели (многопанельного ВРУ), обеспечивающая выполнение определенной функции*.

Блок ввода: Функциональный блок, через который подается электроэнергия во ВРУ и содержащий коммутационный и защитные аппараты согласно приложению А, а также включающий в себя часть объема ВРУ для размещения, крепления и присоединения к аппарату(ам) проводников питающей сети.

Блок автоматического включения резервного питания (АВР): Функциональный блок, содержащий аппаратуру контроля и управления пусковыми коммутационными аппаратами блока ввода, к которым присоединяют взаиморезервируемые питающие сети.

Блок учета электроэнергии: Функциональный блок, содержащий счетчик прямого или трансформаторного включения, трансформаторы тока и испытательную переходную коробку**.

Блок распределения: Функциональный блок, содержащий защитные аппараты распределительных и групповых цепей и включающий в себя часть объема ВРУ или панели для размещения и присоединения проводников.

Блок автоматического управления освещением: Функциональный блок, содержащий защитные аппараты групповых цепей общедомового освещения и элементы для их автоматического включения и выключения в зависимости от степени естественной освещенности и/или от времени суток по заданной программе***.

Термины и определения, относящиеся к конструктивному исполнению ВРУ (видам ВРУ).

Многопанельное ВРУ: ВРУ, в котором функциональные блоки размещены в нескольких панелях, количество которых определяется составом и количеством аппаратов, требуемых для конкретной электроустановки многоквартирного жилого дома (с числом этажей более пяти) или общественного здания.

Однопанельное ВРУ: ВРУ, выполненное на той же конструктивной основе, что и панели многопанельного ВРУ, и содержащее все необходимые функциональные блоки для электроустановки здания или ее части (с числом этажей не более пяти).

Шкафное ВРУ: ВРУ, содержащее все необходимые функциональные блоки для электроустановки индивидуального дома или коттеджа, установленные в оболочку шкафного типа.

Термины и определения, относящиеся к панелям многопанельного ВРУ.

Панель: Отделяемая часть многопанельного ВРУ, выполненная на единой конструктивной основе с другими панелями и содержащая соответствующие функциональные блоки.

Панель вводная: Панель многопанельного ВРУ, как правило, содержащая аппаратуру блока(ов) ввода и блока(ов) учета.

Панель вводная с АВР (панель с АВР): Панель вводная, содержащая также блок с аппаратурой АВР.

Примечание:

* Аппараты блока могут быть не объединены единой съемной конструктивной основой.

** Испытательная переходная коробка – аппарат, содержащий блок зажимов для присоединения контрольного трехфазного счетчика.

*** ВРУ могут содержать блоки с неавтоматическим управлением общедомовым освещением.

Панель распределительная: Панель многопанельного ВРУ, содержащая аппараты блока(ов) распределения и в которой могут также размещаться блоки учета, блоки автоматического или неавтоматического управления освещением и т. п.

Панель противопожарных устройств (панель ППУ): Распределительная панель многопанельного ВРУ, присоединяемая к вводной панели с АВР и предназначенная для питания электрооборудования и цепей управления средств пожаротушения, цепей сигнализации противопожарных устройств, эвакуационного освещения и других необходимых для оповещения и ликвидации пожара электроприемников.

Термины и определения, относящиеся к конструктивным элементам ВРУ.

Каркас: Несущая часть панели ВРУ, на которой крепятся аппараты функциональных блоков, а также элементы оболочки и внутренние защитные ограждения.

Оболочка: Часть ВРУ, обеспечивающая защиту от внешних воздействий и прямого доступа к токоведущим частям со всех сторон, а также выполняющая во ВРУ шкафного исполнения функцию несущей конструкции.

Элемент оболочки: Часть внешней оболочки ВРУ (стенки, двери, заглушки, крышки и пр.).

Отсек: Часть внутреннего пространства ВРУ, предназначенная для размещения функционального блока(ов), огражденная со всех сторон перегородками и/или стенками и закрываемая отдельной внутренней дверцей или дверью ВРУ.

Внутреннее защитное ограждение: Ограждение, расположенное за дверью панели (шкафа), препятствующее непреднамеренному прямому контакту с неизолированными токоведущими частями и обеспечивающее защиту от воздействия дуги при выполнении коммутационных операций.

Оперативная панель: Внутреннее защитное ограждение ВРУ, на которое выведены органы управления аппаратов и которая исключает доступ к токоведущим частям при открытой двери ВРУ.

Перегородка: Часть панели (шкафа), отделяющая один функциональный блок от другого или разделяющая цепи различного назначения.

Сборные шины: Система проводников, соединяемых с блоком ввода и предназначенных для присоединения к ним фазных, нулевых защитных PE и нулевых рабочих N проводников нескольких распределительных и групповых электрических цепей.

Примечание – Термин «шина» не определяет ее конструкцию.

ВРУ следует классифицировать по признакам, приведенным в табл.13.1.

Таблица 13.1

Классификация ВРУ

№ п/п	Признак классификации	Вид ВРУ		
		Многопанельное	Однопанельное	Шкафное
1.	По месту установки:			
	- в электрощитовых помещениях	+	+	-
	- вне электрощитовых помещений	+	+	+
2.	По виду установки:			
	- напольное	+	+	+
	- настенное	-	-	+
	- встраиваемое в нишу	-	-	+
3.	По степени защиты	(см. ниже)		
4.	По схемам ввода (номера схем – согласно прил.А)	1, 2, 4, 6, 7	1, 2, 4, 5, 7	1,2,3
5.	По способу (классу) защиты от поражения электрическим током по ГОСТ Р МЭК 536:			
	- класс I	+	+	+
	- класс II	-	-	+
6.	По наличию блока автоматического включения резерва (АВР):			

Продолжение табл.13.1

№ п/п	Признак классификации	Вид ВРУ		
		Многопанельное	Однопанельное	Шкафное
	- с блоком	+	+	+[2)]
	- без блока	+	+	+
7.	По наличию блока автоматического управления общедомовым освещением:			
	- с блоком	+	+	+
	- без блока (для общественных зданий)	+	+	+
8.	По доступу к обслуживанию персонала:			
	- квалифицированного	+	+	+
	- неквалифицированного[1)]	-	-	+

Примечание: [1)] Для неквалифицированного персонала обслуживание шкафного ВРУ ограничивается выполнением коммутационных операций (ГОСТ Р 51321.3).
[2)] Только по согласованию между изготовителем и потребителем.

Основные параметры ВРУ должны соответствовать приведенным в табл.13.2.

Таблица 13.2

Основные параметры ВРУ

№ п/п	Наименование параметра	Вид ВРУ		
		Многопанельное	Однопанельное	Шкафное
1.	Номинальное напряжение на вводе ВРУ, В	380/220	380/220	380/220
2.	Номинальные токи вводных аппаратов, А	250; 400; 630	160; 250	50; 63; 100; 125; 160
3.	Номинальные токи вводных коммутационных аппаратов панели с блоком автоматического включения резерва (АВР), А	100; 160; 250; 400	100; 160; 250	-
4.	Номинальные токи ВРУ и панелей многопанельных ВРУ, А	(см. ниже)		
5.	Номинальные токи защитных и/или коммутационных защитных аппаратов распределительных цепей, А	25; 32; 40; 63; 100; 160; 250	25; 32; 40; 63; 100; 160	10; 16; 25; 32; 40
6.	Номинальные токи защитных аппаратов групповых цепей, А	10; 16; 25	10; 16; 25	10; 16; 25
7.	Номинальные рабочие токи встроенных во ВРУ защитных аппаратов, А	(см. ниже)		
8.	Номинальные отключающие дифференциальные токи устройств защитного отключения, мА:			
	- на вводе ВРУ	-	-	300; 500
	- распределительной цепи	300; 500	300; 500	30; 100
	- групповой цепи	30	30	10; 30
9.	Номинальный кратковременно выдерживаемый ток короткого замыкания (действующее значение[1)]) для блока ввода и сборных шин ВРУ, кА	20	15	$I_к \leq 10$

Примечание: [1)] Пиковое значение тока короткого замыкания следует принимать равным произведению действующего значения на коэффициент $k = 1,5$.

Для однопанельных и шкафных ВРУ, а также для каждой панели многопанельного ВРУ должны определяться их номинальные токи, а для встроенных в них аппаратов – номинальные рабочие токи. Полученные значения параметров должны приводиться в технических условиях на ВРУ конкретных типов.

Основные размеры и массы однопанельных и шкафных ВРУ, а также панелей многопанельных ВРУ должны приводиться в технических условиях на ВРУ конкретных типов. Габаритные размеры панелей и шкафов ВРУ напольного исполнения, как правило, не должны превышать 2000×800(1200)×500 мм (высота, ширина, глубина), а шкафов ВРУ настенного и встраиваемого в

нишу исполнений – 1000×800×250 мм. Для внутренних цепей ВРУ должны применяться медные изолированные провода, медные или алюминиевые шины (предпочтительно плакированные медью). Нулевые защитные шины PE следует выполнять из меди.

Допускается защитные шины PE выполнять из стали с металлическим покрытием, причем их эквивалентная проводимость должна соответствовать проводимости медных шин.

Сечение сборных фазных шин следует выбирать в зависимости от значений номинальных токов вводных аппаратов, приведенных в табл.13.2, с учетом допустимого их нагрева.

Сечения сборных шин – нулевой защитной PE и нулевой рабочей N – следует принимать соответственно по табл.13.3 и 13.4 в зависимости от сечения сборных фазных шин.

Присоединения к фазным сборным шинам проводников внутренних цепей, относящихся к отдельным защитным аппаратам или группам аппаратов, соединенных между собой соединительными элементами, или к блокам, следует выполнять разборными.

На сборных нулевых рабочих шинах N и нулевых защитных шинах PE должна быть предусмотрена возможность разборного присоединения соответствующих проводников как для внутренних, так и внешних цепей.

В многопанельных ВРУ сборные фазные шины, как правило, выполняют в пределах распределительных панелей, а нулевые защитные PE и нулевые рабочие N сборные шины – в пределах каждой панели ВРУ – вводной и распределительной.

Нулевую защитную PE и нулевую рабочую N сборные шины рекомендуется размещать в непосредственной близости друг от друга в местах, удобных для присоединения внешних проводников. Нулевую защитную шину следует располагать ниже нулевой рабочей шины на высоте от основания ВРУ, достаточной для обеспечения нормированных радиусов изгиба кабелей с наибольшим сечением, которые могут быть присоединены к ВРУ. Нулевые защитные сборные шины PE должны иметь электрическую связь с открытыми проводящими частями ВРУ класса I, а нулевые рабочие шины N – изолированы от них (при снятой перемычке).

Нулевые защитные шины PE во ВРУ шкафного исполнения класса II должны быть изолированы от проводящих частей так же, как и токоведущие части.

В состоянии поставки ВРУ нулевую защитную PE и нулевую рабочую N сборные шины следует соединять съемной перемычкой сечением, равным сечению нулевой рабочей шины N, что должно обеспечивать готовность присоединения ВРУ к четырехпроводной питающей сети с совмещенным нулевым защитным и нулевым рабочим проводником – PEN-проводником.

Если ВРУ должно присоединяться к пятипроводной сети с нулевым рабочим N и нулевым защитным PE проводниками (система TN-S), то перемычка должна сниматься, что следует оговаривать в эксплуатационном документе изготовителя.

Нулевые защитные PE и нулевые рабочие N проводники должны различаться цветом.

Согласно ГОСТ Р 50462 защитные проводники должны иметь зелено-желтый цвет, нулевые рабочие – голубой. Нулевые защитные и нулевые рабочие шины могут обозначаться соответственно знаками «PE» и «N», причем в многопанельных ВРУ эти обозначения должны наноситься на шинах каждой панели.

Сечения фазных проводников, присоединяющих одиночные защитные аппараты к сборным шинам, должны выбираться по номинальным токам этих аппаратов и быть не менее 1,5 мм^2.

Сечения соединительных элементов защитных аппаратов и проводников, соединяющих эти элементы со сборными шинами, следует определять в зависимости от суммарного тока присоединенных к ним аппаратов, умноженного на коэффициент одновременности согласно прил.В.

Цепи тока, отходящие от трансформаторов тока к счетчикам, должны выполняться медными изолированными проводами сечением не менее 2,5 мм^2, цепи напряжения – медными проводами сечением не менее 1,5 мм^2. Цепи управления следует выполнять проводниками сечением, установленным для соединяемой ими соответствующей аппаратуры.

Провода внутренних цепей не должны иметь промежуточных соединений.

Прокладку изолированных проводов следует выполнять в предусмотренных местах таким образом, чтобы они не касались неизолированных токоведущих частей и острых кромок проводящих частей ВРУ, а радиусы их изгиба были не менее нормированных значений. Провода не должны препятствовать монтажу и демонтажу аппаратов.

Проводник, соединяющий разрядник нулевой с защитной шиной PE, следует прокладывать от-

дельно от других проводников. Проводники цепей управления также должны прокладываться отдельно. При больших потоках проводов мелких сечений их следует прокладывать в виде пучков или размещать в коробах, при этом количество проводов, объединяемых в пучок или прокладываемых в коробе, определяют по условиям их допустимого превышения температуры при номинальных рабочих токах аппаратов, к которым они присоединены. В местах прохода проводов через перегородки или стенки отсеков (панелей) должны предусматриваться меры, исключающие повреждения их изоляции (обработка кромок отверстий, применение проходных втулок).

Провода должны иметь изоляцию на напряжение 660 В переменного тока. Это требование относится также к проводнику, соединяющему разрядник (ограничитель перенапряжения) с защитной шиной PE.

Во ВРУ должны быть предусмотрены *контактные зажимы* (далее – зажимы), которые должны обеспечивать надежное присоединение проводников внешних и внутренних цепей и иметь средства для стабилизации контактного давления согласно ГОСТ 10434. На нулевой защитной шине PE и нулевой рабочей шине N должны быть предусмотрены зажимы для проводников внутренних цепей и внешних проводников распределительных и групповых цепей, а также для проводников питающей сети. На нулевой защитной шине PE, кроме указанных зажимов, следует предусматривать:

а) зажим для присоединения нулевого защитного проводника, соединяющего защитную шину PE ВРУ с главной заземляющей шиной электроустановки, определяемой ГОСТ Р 50571.10.

Сечение проводника, на которое должен быть рассчитан зажим, следует принимать по таб.13.3;

б) зажим для присоединения заземляющего проводника сечением согласно табл.13.3, но не менее 25 мм^2 по меди и 50 мм^2 по стали согласно ГОСТ Р 50571.10.

Примечание – Зажим используется, если защитная шина ВРУ применяется в качестве главной заземляющей шины электроустановки;

в) зажим для присоединения проводника уравнивания потенциалов сечением от 6 до 25 мм^2 согласно ГОСТ 50571.10;

г) зажим для присоединения проводника сечением 10 мм^2, соединяющего разрядник с защитной шиной PE.

Зажимы, предусматриваемые на нулевой защитной шине PE и нулевой рабочей шине N для присоединения проводников внутренних цепей и внешних проводников распределительных групповых цепей, должны обеспечивать присоединение проводников сечением от 1,5 мм^2 до значений, определяемых по табл.13.3 и 13.4, в зависимости от сечения фазных проводников.

Зажимы для присоединения соответствующих проводников питающей сети должны обеспечивать присоединение проводников сечением на ступень больше, чем определено в табл.13.3 и 13.4. Количество зажимов на шинах для проводников питающей сети следует определять с учетом схем вводов ВРУ согласно прил.А.

Таблица 13.3

Сечения фазных и соответствующих им нулевых защитных проводников PE, мм^2

Сечение фазного проводника S	Сечение соответствующего защитного проводника
$S \le 16$	S
$16 < S \le 35$	16
$35 < S \le 400$	$S/2$
$400 < S \le 800$	200
Примечание – Если материал защитного проводника отличается от фазного, то его сечение должно быть таким, чтобы обеспечивалась проводимость, эквивалентная проводимости соответствующего сечения проводника, приведенного в таблице.	

Таблица 13.4

Сечения фазных и соответствующих им нулевых рабочих проводников N, мм^2

Сечение фазного проводника S	Сечение соответствующего нулевого рабочего проводника	
	трехфазной питающей сети и трехфазных отходящих линий	однофазной питающей сети и однофазных отходящих линий
$S \le 16$	S	S
$S > 16$	$S/2$	S

К каждому зажиму для PE- и N-проводников должен присоединяться, как правило, один про-

водник. Зажимы для PE- и N-проводников отходящих распределительных и групповых цепей следует маркировать порядковыми номерами.

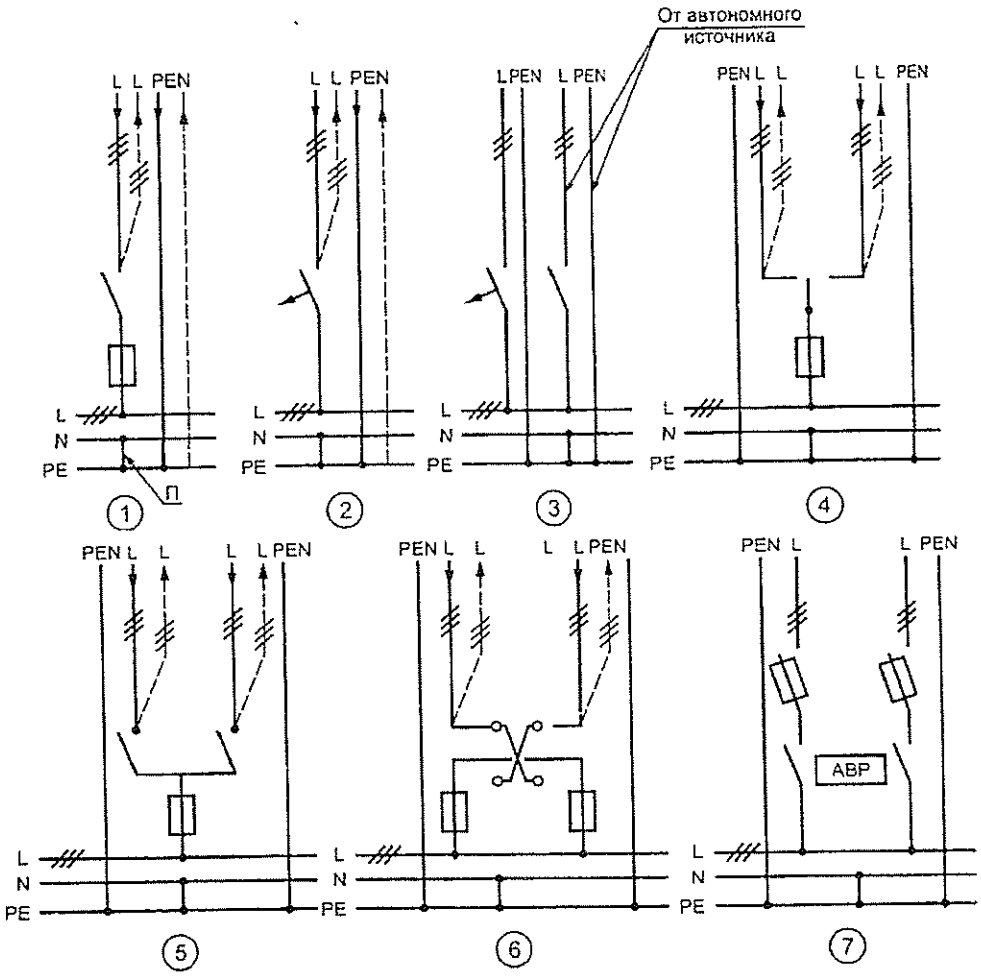
Зажимы для присоединения защитных PE- или PEN-проводников питающих сетей должны иметь маркировку знаком заземления ⏚. Размеры знака и способ выполнения – по ГОСТ 21130.

Если присоединение фазных проводников отходящих распределительных и групповых цепей, а также внешних проводников цепей управления непосредственно к выводам аппаратов затруднено, то следует предусматривать промежуточные зажимы, соединяемые с этими выводами проводниками внутренних цепей. Эти зажимы для удобства присоединения внешних проводников следует размещать над нулевой рабочей шиной в непосредственной от нее близости. Они должны обеспечивать присоединение внешних проводников тех же сечений, что и выводы аппаратов, с которыми они соединены. Зажимы следует маркировать порядковыми номерами.

Если зажимы выводов вводных аппаратов одно- и многопанельных ВРУ не могут обеспечить возможность присоединения к ним требуемого количества проводников питающей сети (см. прил.А), то следует предусматривать присоединение к выводам аппаратов промежуточных токоведущих элементов с необходимым количеством зажимов. Промежуточные элементы должны обладать электродинамической и термической стойкостью к токам короткого замыкания. При необходимости они должны быть дополнительно закреплены. Минимальное сечение этих элементов следует выбирать по номинальному току вводного аппарата соответствующего ВРУ.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(к ГОСТ 51732-2001)

Принципиальные схемы вводов во ВРУ

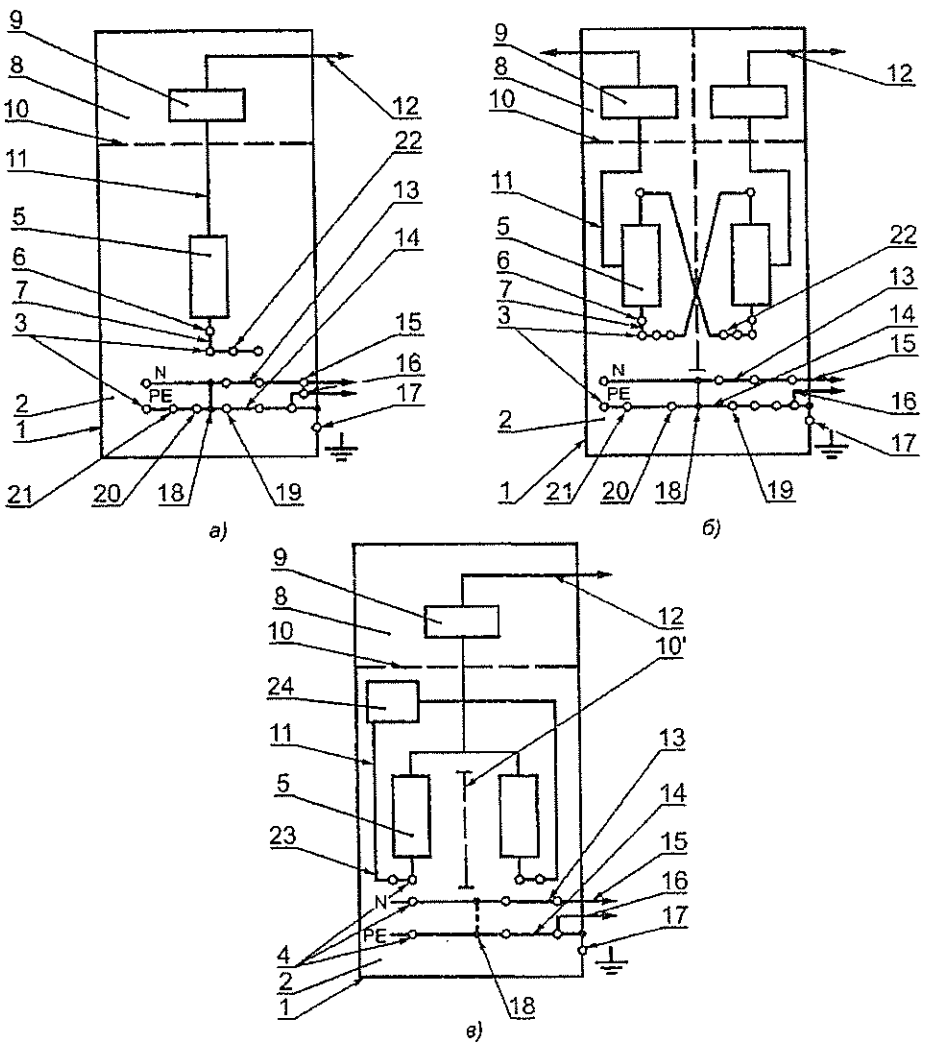


L – фазные проводники; N – нулевой рабочий проводник; PE – нулевой защитный проводник; PEN – совмещенный нулевой рабочий и защитный проводник; П – перемычка

Примечание – Применение схем для соответствующего вида ВРУ – согласно табл.13.1.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(к ГОСТ 51732-2001)

Примерные схемы расположения аппаратуры во ВРУ



1 – оболочка (корпус панели); *2* – блок ввода; *3* – зажимы для присоединения проводников питающей сети с типом заземления системы TN-C (при установленной перемычке *18* в положении, указанном на рис.Б.1а и Б.1б); *4* – зажимы для присоединения проводников питающей сети с типом заземления системы TN-S или TN-C-S (перемычка *18* между шинами PE и N не установлена, см. рис.Б.1в); *5* – вводный аппарат; *6* – выводы вводного аппарата; 7 – промежуточные токоведущие элементы, имеющие дополнительные зажимы для присоединения к вводной панели (рис.Б.1а или Б.1б), вводной панели с АВР (рис.Б.1в) и/или выполнения схемы переключения (рис.Б.1б), а также для присоединения проводников питающих сетей согласно прил.А (см. схемы 3, 4, 5, 6, 7); *8* – отсек блока учета; *9* – аппараты и приборы блока учета; *10* – стенка отсека блока учета; *10'* – перегородка между аппаратами блока АВР; *11* – внутренние цепи (включая сборные шины, относящиеся к блоку ввода); *12* – перемычка (межпанельная) для соединения фазных проводников вводной панели с распределительной; *13, 14* – сборные нулевая рабочая N и нулевая защитная PE шины с зажимами присоединения соответствующих проводников распределительных и групповых цепей; *15, 16* – межпанельные перемычки для соединения соответственно сборных нулевых рабочих N и нулевых защитных PE шин панелей ВРУ; *17* – зажим для присоединения проводника уравнивания потенциалов; *18* – перемычка; *19* – зажим для присоединения защитного проводника от главной заземляющей шины электроустановки; *20* – зажим для присоединения заземляющего проводника (при использовании сборной нулевой защитной шины в качестве главной заземляющей шины электроустановки); *21* – зажим для присоединения проводника ограничителя перенапряжений (разрядника); *22* – зажимы, предназначаемые согласно перечислению 7; *23* – зажимы для присоединения аппаратуры блока АВР; *24* – аппаратура блока АВР.

Рисунок Б.1 – Схемы расположения аппаратуры в вводных панелях многопанельных ВРУ: а) с одним вводом; б) с двумя вводами; в) с двумя взаиморезервируемыми вводами с аппаратурой АВР

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(к ГОСТ 51732-2001)

Обозначения типов ВРУ

Обозначения типов ВРУ всех видов (многопанельных, однопанельных и шкафных) рекомендуется формировать согласно структуре, приведенной ниже.

Первая цифра в структуре типа ВРУ обозначает конструкторскую разработку соответствующего вида ВРУ.

Для цифрового обозначения конструкторских разработок многопанельных ВРУ может быть использован ряд чисел от 1 до 10. Для обозначения разработок однопанельных и шкафных ВРУ перед каждой цифрой этого ряда следует проставлять соответственно один и два нуля.

Цифровое обозначение разработки ВРУ может дополняться буквенным обозначением изготовителя ВРУ.

Третьей цифрой в структуре типа (после номинального тока) обозначают модификацию ВРУ.

Цифровые обозначения присваивают модификациям ВРУ, различающимся классификационными (табл.13.1) и иными признаками, а также параметрами, приведенными в табл.13.2.

Для нумерации модификаций вводных и распределительных панелей многопанельных ВРУ могут быть использованы ряды трехзначных цифр соответственно от 100 до 199 и от 200 до 299, а для нумерации модификаций однопанельных и шкафных ВРУ – соответственно ряды цифр от 300 до 399 и от 400 до 499.

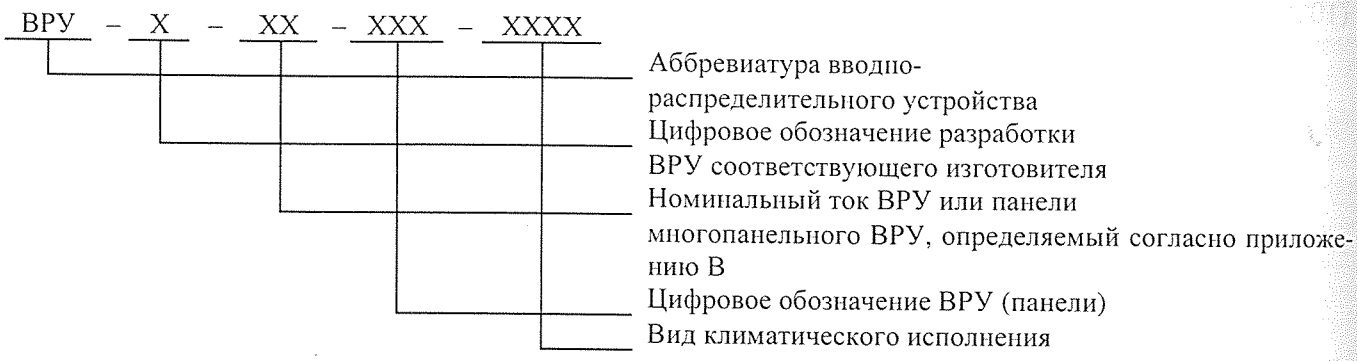


Рис. 13.1. Структура обозначения типов ВРУ (панелей многопанельных ВРУ)

Примеры обозначений типов панелей многопанельного ВРУ

Панель вводная ВРУ, 4-й разработки, изготовителя Н, на номинальный ток 360 А, цифровое обозначение 102, климатическое исполнение УХЛ4:

ВРУ-4Н-360-102 УХЛ4

Панель распределительная ВРУ, 4-й разработки, изготовителя Н, на номинальный ток 200 А, цифровое обозначение 210, климатическое исполнение УХЛ4:

ВРУ-4Н-200-210 УХЛ4

Примечание – Если распределительная панель запитывается от двух вводов, то следует указывать их номинальные токи в виде суммы, например ВРУ-4Н-(120+80) УХЛ4.

Пример обозначения типа однопанельного ВРУ

ВРУ 02-й разработки, изготовителя Н, на номинальный ток 200 А, цифровое обозначение 301, климатическое исполнение УХЛ4:

ВРУ-02Н-200-301 УХЛ4

Пример обозначения типа ВРУ шкафного исполнения

ВРУ 003-й разработки, изготовителя С, на номинальный ток 100 А, цифровое обозначение 405, климатическое исполнение УХЛ4:

ВРУ-003-100-405 УХЛ4

Приложение П.17

Рекомендации Управления государственного электроэнергетического надзора Ростехнадзора об использовании технических циркуляров, разработанных Ассоциацией «Росэлектромонтаж», при проверке проектной документации и вводе в работу новых и реконструированных электроустановок

Федеральная служба по
экологическому, технологическому
и атомному надзору

УПРАВЛЕНИЕ
ГОСУДАРСТВЕННОГО
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАДЗОРА

123053, Москва, ул. Красина, д.27, стр.1
Телефон/факс: 254-99-68
E-mail: rostehnadzor@list.ru

27.02.2007 № 10-04/481

На № _____ от _____

Информационное письмо

Управление государственного энергетического надзора информирует, что в целях уточнения и дополнения требований нормативно-технических документов в электроэнергетике и обеспечения мер безопасности при эксплуатации электроустановок Ассоциацией «Росэлектромонтаж» подготовлены технические циркуляры, одобренные (согласованные) Ростехнадзором (Госэнергонадзором Минтопэнерго России):

№ 6/2004 от 16.02.2004 «О выполнении основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания»;

№ 7/2004 от 02.04.2004 «О прокладке электропроводок за подвесными потолками и в перегородках»;

№ 10/2006 от 01.02.2006 «О схемах временного электроснабжения строительных площадок»;

№ 11/2006 от 16.10.2006 «О заземляющих электродах и заземляющих проводниках»;

№ 13/2006 от 16.10.2006 «Об электрооборудовании лоджий в жилых и общественных зданиях»;

№ 14/2006 от 16.10.2006 «О применении кабелей из сшитого полиэтилена в кабельных сооружениях, в том числе во взрывоопасных зонах».

До утверждения специальных технических регламентов рекомендуется использовать данные циркуляры для руководства и применения при проверке проектной документации и вводе в работу новых и реконструированных электроустановок.

Текст циркуляров направляется электронной почтой.

Заместитель начальника А.В. Цапенко

Приложение П.18

Дополнительные требования к выполнению основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий
"16" февраля 2004 г.

СОГЛАСОВАНО
Руководитель ГОСЭНЕРГОНАДЗОРА
Минтопэнерго России
С.А. Михайлов
"12" февраля 2004 г.

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 6/2004

г. Москва "16" февраля 2004 г

О выполнении основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания

К настоящему времени введены в действие главы 1.7 и 7.1 Правил устройства электроустановок, устанавливающие требования к выполнению основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания. С выходом главы 1.7 ПУЭ утратил силу технический циркуляр № 6-1/200 Ассоциации "Росэлектромонтаж" "О выполнении главной заземляющей шины (ГЗШ) на вводе в электроустановки зданий". Одновременно с выходом главы 1.7 ПУЭ были введены в действие ГОСТ Р 51321.1-2000 (МЭК 60439-1-92) "Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства испытанные полностью или частично. Общие технические условия", ГОСТ Р 51732-2001 "Устройства вводно-распределительные для жилых и общественных зданий. Общие технические условия" и выпущена новая редакция стандарта МЭК 60364-5-54 (IEC:2002), в которых уточнены требования к выбору сечения и конструкции нулевых защитных РЕ-шин в низковольтных комплектных устройствах и электроустановках. Целью настоящего циркуляра является разъяснение по выполнению ряда положений главы 1.7 ПУЭ в части их согласования с требованиями вышеуказанных стандартов и конкретные рекомендации по выполнению отдельных элементов основной системы уравнивания потенциалов. В циркуляре также отражены дополнительные требования по выполнению соединения основной системы уравнивания потенциалов с системой молниезащиты, выполняемой по Инструкции по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций.

При выполнении основной системы уравнивания потенциалов в зданиях следует руководствоваться следующим:

1. Если здание имеет несколько обособленных вводов, то ГЗШ должна быть выполнена для каждого вводного устройства (ВУ) или вводно-распределительного устройства (ВРУ) а при наличии одной или нескольких встроенных трансформаторных подстанций – для каждой подстанции. В качестве ГЗШ может быть использована РЕ-шина ВУ, ВРУ или РУНН, при этом все главные заземляющие шины и РЕ-шины НКУ должны соединяться между собой проводниками системы уравнивания потенциалов (магистралью) сечением (с эквивалентной проводимостью) равным сечению меньшей из попарно сопрягаемых шин.

2. Сечение РЕ-шины в водных устройствах (ВУ, ВРУ) электроустановок зданий и соответственно ГЗШ принимается по ГОСТ Р 51321.1-2000 таблица 4.

Если ГЗШ установлены отдельно и к ним не подключаются нулевые защитные проводники установки, в том числе PEN (PE) проводники питающей линии, то сечение (эквивалентная проводимость) каждой из отдельно установленных ГЗШ принимается равным половине сечения РЕ-шины наибольшей из всех РЕ-шин, но не менее меньшего из сечений РЕ-шин вводных устройств.

Сечения РЕ-шин

Сечение фазного проводника S(мм^2)	Наименьшее сечение РЕ-шины (мм^2)
До 16 включительно	S
От 16 до 35 вкл.	16
От 35 до 400 вкл.	S/2
От 400 до 800 вкл.	200
Св. 800	S/4

Площади поперечного сечения приведены для случая, когда защитные проводники изготовлены из того же материала, что и фазные проводники. Защитные проводники изготовленные из других материалов должны иметь эквивалентную проводимость.

РЕ-шина низковольтных комплектных устройств (НКУ) должна проверяться по нагреву по максимальному значению рабочего тока в PEN проводнике (например, в неполнофазных режимах, возникающих при перегорании предохранителей, при наличии третьей гармоники и т.д.). Для ГЗШ, не являющейся РЕ-шиной НКУ, такая проверка не требуется.

3. Сечение главных проводников основной системы уравнивания потенциалов должно быть не менее 6 мм^2 по меди, 16 мм^2 по алюминию и 50 мм^2 по стали. Это условие распространяется и на заземляющие проводники, соединяющие ГЗШ с заземлителями защитного заземления и/или рабочего (функционального) заземления (при их наличии), а также с естественными заземлителями.

Сечения проводников основной системы уравнивания потенциалов, используемых для присоединения к ГЗШ металлических труб коммуникаций, имеющих дополнительную металлическую связь с нейтралью трансформатора и через которые возможно протекание токов короткого замыкания (например трубопроводы, отдельно стоящих насосных, которые питаются от тех же трансформаторов, что и вводы в здание) должны выбираться по термической стойкости в соответствии с п.п. 1.7.113 и 1.7.126 ПУЭ. Присоединение к заземлителю молниезащиты заземляющих проводников основной системы уравнивания потенциалов и заземляющих проводников от естественных заземлителей (при использовании естественных заземлителей в качестве заземлителей системы молниезащиты) должно производиться в разных местах.

Если имеется специальный контур заземления молниезащиты, к которому подключены молниеотводы, то такой контур также должен подключаться к ГЗШ.

4. При наличии в здании нескольких электрических вводов трубопроводные системы и заземлители рекомендуется подключать к ГЗШ основного ввода.

5. Соединения сторонних проводящих частей с ГЗШ могут выполняться: по радиальной схеме, по магистральной схеме с помощью ответвлений, по смешанной схеме. Трубопроводы одной системы, например, прямая и обратная труба центрального отопления не требует выполнения отдельных присоединений. В этом случае достаточно иметь одно ответвление от магистрали или одну радиальную линию, а прямую и обратную трубы достаточно соединить перемычкой, сечением равным сечению проводника системы уравнивания потенциалов.

6. Для проведения измерений сопротивления растекания заземляющего устройства на ГЗШ должно быть предусмотрено разборное соединение заземляющего проводника, подключаемого к заземляющему устройству.

7. В качестве проводников основной системы уравнивания потенциалов в первую очередь следует использовать открыто проложенные неизолированные проводники.

Ввод защитных проводников в НКУ класса защиты 2 следует выполнять изолированными проводниками, поскольку РЕ-шина в них выполняется изолированной.

8. Отдельно устанавливаемые ГЗШ рекомендуется выполнять из стали. В низковольтных комплектных устройствах РЕ-шина, как правило, выполняется медной (допускается выполнение из стали, использование алюминия не допускается). Стальные шины должны иметь металлическое покрытие, обеспечивающее выполнение требований ГОСТ 10434 для разборных контактных соединений класса 2. При использовании разных материалов для ГЗШ и для проводников системы уравнивания потенциалов необходимо принять меры по обеспечению надежного электрического соединения.

9. В местах, доступных только квалифицированному электротехническому персоналу ГЗШ может устанавливаться открыто. В местах доступных неквалифицированному персоналу ГЗШ должна иметь защитную оболочку. Степень защиты оболочки выбирается по условиям окружающей среды, но не ниже IP21.

10. ГЗШ на обоих концах должна быть обозначена продольными или поперечными полосами желто-зеленого цвета одинаковой ширины. Изолированные проводники уравнивания потенциалов должны иметь изоляцию, обозначенную желто-зелеными полосами. Неизолированные проводники основной системы уравнивания потенциалов в местах их присоединения к сторонним проводящим частям должны быть обозначены желто-зелеными полосами, например, выполненными краской или клейкой двухцветной лентой.

11. Указания по выполнению основной системы уравнивания потенциалов на вводе в здания должны быть предусмотрены в проектной документации на электроустановку здания.

Приложение П.19

Дополнительные требования к прокладке электропроводок за подвесными потолками и в перегородках

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий
"2" апреля 2004 г.

СОГЛАСОВАНО
Руководитель ГОСЭНЕРГОНАДЗОРА
Минтопэнерго России
С.А. Михайлов
"2" апреля 2004 г.

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 7/2004

г. Москва "2" апреля 2004 г.

О прокладке электропроводок за подвесными потолками и в перегородках

В связи с выходом новой редакции НПБ 110-03 "Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией" и введением в действие, согласованного с Главным управлением Государственной противопожарной службы МЧС России Свода правил СП 31-110-2003 "Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий", предлагается при прокладке электропроводок руководствоваться следующим:

– за подвесными потолками и в пустотах перегородок, выполненных из негорючих материалов НГ и группы горючести Г1, электропроводки выполнять проводом и/или кабелями в удовлетворяющих требованиям пожарной безопасности неметаллических трубах и неметаллических коробах, а также кабелями с индексом НГ-LS (не распространяющие горение, с низким дымо- и газовыделением);

– за подвесными потолками и в пустотах перегородок, выполненных с использованием материалов группы горючести Г2, электропроводки выполнять проводами и/или кабелями в металлических трубах и металлических коробах со степенью защиты не ниже IP4X;

– за подвесными потолками и в пустотах перегородок, выполненных с использованием материалов группы горючести Г3, электропроводки выполнять кабелем в металлических трубах и металлических коробах со степенью защиты не ниже IP4X;

– за подвесными потолками и в пустотах перегородок, выполненных с использованием материалов группы горючести Г4, электропроводки выполнять проводами и/или кабелями в обладающих локализационной способностью металлических трубах, а также в обладающих локализационной способностью металлических глухих коробах;

– электропроводка должна быть сменяемой.

Сумма площадей поперечных сечений (с изоляцией и оболочкой) проводов и кабелей, прокладываемых в одном коробе, не должны превышать 40% внутреннего поперечного сечения короба. Свободные торцы коробов должны быть закрыты торцевыми заглушками, а торцы коробов с выходящими из них кабелями и проводами должны быть заделаны легко удаляемым негорючим составом. При этом пожаробезопасность электропроводки обеспечивается выполнением требований глав ПУЭ, а общий объем горючей массы изоляции совместно проложенных кабелей и/или проводов должен быть менее 1,5 литров на один погонный метр;

Настоящий Циркуляр действует до внесения изменений в п. 7.1.38 Правил устройства электроустановок.

Приложение П.20

Дополнительные требования к схемам временного электроснабжения строительных площадок

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий
"20" января 2006 г.

СОГЛАСОВАНО
Зам. руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
С.Ю. Светлицкий
"20" января 2006 г.

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 10/2006

г. Москва "20" января 2006 г.

О схемах временного электроснабжения строительных площадок

Требования настоящего циркуляра распространяются на временные электроустановки, предназначенные для:

возведения новых зданий;

ремонта, реконструкции, расширения либо сноса существующих зданий;

коммунальных инженерных работ;

земляных работ;

других работ подобного вида.

К электроустановкам указанных объектов предъявляются повышенные требования электробезопасности, учитывающие специфику устройства электроустановок в местах строительства.

Помимо общих требований, установленных главой 1.7 ПУЭ «Заземление и защитные меры безопасности» и ГОСТ Р 51321.1 (МЭК 60439-1) «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 1. Устройства, испытанные полностью или частично. Общие технические требования и методы испытаний», при разработке схем временного электроснабжения строительных площадок следует учитывать специальные требования, установленные ГОСТ Р 50571.23 (МЭК 60364-7-704) «Электроустановки зданий. Требования к специальным электроустановкам. Электроустановки строительных площадок» и ГОСТ Р 51321.4 (МЭК 60439-4) «Устройства комплектные низковольтные распределения и управления. Часть 4. Дополнительные технические требования и методы испытаний устройств распределения и управления для строительных площадок».

До выхода специальных нормативных документов, регламентирующих требования к электроустановкам строительных площадок, предлагается руководствоваться следующим:

для указанных установок величина допустимого напряжения прикосновения установлена 25 В переменного тока и 60 В постоянного тока;

допустимое наибольшее время автоматического отключения питания переносных (передвижных) приборов при фазном напряжении 220 В снижается до 0,2 с;

для обеспечения защиты при замыкании фазного провода на землю параметры заземляющего устройства по п. 1.7.101 ПУЭ пересчитываются в соответствии с требованиями п. 413.1.3.7 ГОСТ Р 50571.3 (МЭК 364-4-41) «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током», для допустимого напряжения прикосновения 25 В, значение R_E для строительных площадок принимается равным 20 Ом;

в дополнение к требованиям главы 1.7 ПУЭ в электроустановке должна быть выполнена система защитного заземления, обеспечивающая защиту при замыкании на землю в электроустановке выше 1 кВ в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50571.18 (МЭК 60364-4-442) «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава. 44. Защита от перенапряжений. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ». Если при однофазном замыкании на землю на трансформаторной подстанции 6–10/0,4 кВ напряжение на заземлителе превысит 33,5 В (соответствует допустимому напряжению прикосновения 25 В), нейтраль трансформатора должна быть заземлена на отдельный заземлитель;

штепсельные розетки должны быть защищены устройством защитного отключения с номинальным отключающим дифференциальным током до 30 мА или применением безопасного сверхнизкого напряжения;

для реализации схем электроснабжения следует применять специальные низковольтные комплектные устройства для стройплощадок (НКУ СП);

НКУ СП должны иметь сертификат соответствия по ГОСТ Р 51321.1 и ГОСТ Р 51321.4;

степень защиты оболочек НКУ СП определяется условиями применения в соответствии с ГОСТ 14254, но не ниже IP 43 при закрытой двери и не ниже IP 21 при открытой двери; при наружной установке без навеса степень защиты оболочки НКУ СП принимается не ниже IP 54.

Приложение П.21
Дополнительные требования к заземляющим электродам и заземляющим проводникам

ОДОБРЯЮ
Статс-секретарь – заместитель руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
К.Л. Чайка
"12" октября 2006 г.

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий
"16" октября 2006 г.

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 11/2006

г. Москва "16" октября 2006 г.

О заземляющих электродах и заземляющих проводниках

В главе 1.7 «Правил устройств электроустановок» (ПУЭ) седьмого издания были учтены требования к заземляющим устройствам и защитным проводникам установленных ГОСТ Р 50571.10-96 (МЭК 364-5-54 публикация 1980 года с изменениями 1982 года) и некоторые требования дополнительного стандарта МЭК 60364-5-548 публикация 1996 года с изменениями 1998 года.

К настоящему времени выпущена новая редакция стандарта IEC 60364-5-54 (IEC:2002), в которой уточнены требования к выбору заземляющих электродов и заземляющих проводников, проложенных в земле.

Целью настоящего циркуляра является разъяснение по выполнению ряда требований главы 1.7 ПУЭ в части приведения их в соответствие с новыми международными требованиями, регламентированных стандартом МЭК 60364-5-54 в публикации 2002 года и в связи с поступающими запросами.

В циркуляре также отражены некоторые требования по выполнению электрических соединений заземляющих устройств.

С выходом настоящего циркуляра подтверждается возможность использования расширенной, по сравнению с положениями главы 1.7 ПУЭ, номенклатуры заземляющих электродов и проводников, представленных на российском рынке.

При выборе материалов и размеров заземляющих электродов и заземляющих проводников предлагается руководствоваться следующим:

– материалы и размеры заземляющих электродов должны выбираться с учетом защиты от коррозии, соответствующих термических и механических воздействий;

– минимальные размеры заземляющих электродов из наиболее распространенных материалов с точки зрения коррозионной и механической стойкости, проложенных в земле, приведены в таблице 1;

– сечение заземляющих проводников должно соответствовать расчетным формулам п. 1.7.126 ПУЭ, при этом ожидаемые токи повреждений не должны вызывать недопустимых перегревов;

– минимальное сечение заземляющих проводников в системе защитного заземления TN может быть принято равным: 6 мм^2 Cu, 16 мм^2 Al, 50 мм^2 Fe, при условии, что протекание существенных токов повреждения (превосходящих допустимый ток заземляющего проводника) не ожидается;

– минимальные поперечные сечения заземляющих проводников, проложенных в земле, приведены в таблице 2;

– при использовании заземляющего устройства для установки выше 1 кВ с изолированной нейтралью (с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор или резистор) и одновременно для установки до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью, например, на трансформаторных подстанциях 10(6)/0,4 кВ, сечение заземляющего проводника, соединяющего сторонние проводящие части установки с заземлителем, следует принимать с учетом расчетного тока замыкания в электроустановке выше 1 кВ с изолированной нейтралью;

– соединения заземляющих электродов и защитных проводников в соответствии с требованиями п. 1.7.139 ПУЭ должны выполняться по второму классу соединений по ГОСТ 10434 «Соединения контактные электрические. Общие технические требования»;

– при соединении элементов заземляющих устройств, выполненных из различных материалов, следует учитывать возможность возникновения электрохимической коррозии;

– соединения элементов заземляющих устройств, выполненных из черного металла, рекомендуется выполнять сваркой, соединения элементов заземляющих устройств, выполненных из других материалов, рекомендуется выполнять с использованием специальных соединителей.

Таблица 1 – Минимальные размеры заземляющих электродов из наиболее распространенных материалов с точки зрения коррозионной и механической стойкости, проложенных в земле

Материал	Поверхность	Профиль	Минимальный размер			
			Диаметр, мм	Площадь поперечного сечения, мм^2	Толщина, мм	Толщина покрытия / оболочки, мк
Сталь	Черный [1] металл без антикоррозионного покрытия	Прямоугольный[2]		150	5	
		Угловой		150	5	
		Круглые стержни для заглубленных электродов [3]	18			
		Круглая проволока для поверхностных электродов [4]	12			
		Трубный	32		3,5	
	Горячего цинковния [5] или нержавеющая[5,6]	Прямоугольный[2]		90	3	70
		Угловой		90	3	70
		Круглые стержни для заглубленных электродов [3]	16			70
		Круглая проволока для поверхностных электродов [4]	10			50 [7]
		Трубный	25		2	55
	В медной оболочке	Круглые стержни для заглубленных электродов [3]	15			2000
	С электрохимическим медным покрытием	Круглые стержни для заглубленных электродов [3]	14			100
Медь	Без покрытия[5]	Прямоугольный		50	2	
		Круглый провод для поверхностных электродов [4]		25[8]		
		Трос	1,8 для каждой проволоки	25		
		Трубный	20		2	
	Луженая	Трос	1,8 для каждой проволоки	25		5
	Оцинкованная	Прямоугольный[9]		50	2	40

[1] Срок службы при скорости коррозии в нормальных грунтах 0,06 мм в год составляет 25 – 30 лет.
[2] Прокат или нарезанная полоса со скругленными краями.
[3] Заземляющие электроды рассматриваются как заглубленные, когда они установлены на глубине более 0,5 м.
[4] Заземляющие электроды рассматриваются как поверхностные, когда они установлены на глубине не более 0,5 м.
[5] Может также использоваться для электродов уложенных (заделанных) в бетоне.
[6] Применяется без покрытия.
[7] В случае использования проволоки, изготовленной методом непрерывного горячего цинкования, толщина покрытия в 50 мк принята в соответствии с настоящими техническими возможностями.
[8] Если экспериментально доказано, что вероятность повреждения от коррозии и механических воздействий мала, то может использоваться сечение 16 мм^2.
[9] Нарезанная полоса со скругленными краями.

Таблица 2 – Минимальное поперечное сечение заземляющих проводников, проложенных в земле

	Механически защищенные	Механически не защищенные
Защищенные от коррозии	2,5 мм^2 Cu 10 мм^2 Fe	16 мм^2 Cu 16 мм^2 Fe
Не защищенные от коррозии	25 мм^2 Cu 50 мм^2 Fe	

Приложение П.22

Дополнительные требования к электрооборудованию лоджий в жилых и общественных зданиях

ОДОБРЯЮ
Статс-секретарь – заместитель
руководителя Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
К.Л. Чайка
"12" октября 2006 г.

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий
"16" октября 2006 г.

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 13/2006

г. Москва "16" октября 2006 г.

Об электрооборудовании лоджий в жилых и общественных зданиях

В настоящее время в действующих нормативных документах отсутствуют указания по правилам установки электрооборудования в лоджиях.

Отсутствие указанных нормативов приводит к затруднениям при проектировании и сдаче в эксплуатацию объектов.

Целью выхода настоящего циркуляра является устранение пробелов в действующих нормативных документах и выдача конкретных рекомендаций по выполнению схем электроснабжения лоджий.

При выполнении схем электроснабжения лоджий необходимо руководствоваться следующим:

1. Лоджии различают трех типов:

– открытые;

– закрытые без подогрева;

– закрытые с подогревом (отоплением).

2. Открытые лоджии в соответствии с требованиями п. 1.1.13 ПУЭ относятся к особо опасным помещениям;

3. Закрытые лоджии в соответствии с требованиями п. 1.1.13 ПУЭ относятся к помещениям с повышенной опасностью;

4. Для закрытых лоджий в соответствии с требованиями п. 1.7.53 ПУЭ защиту от косвенного прикосновения следует выполнять при напряжении более 25 В переменного тока, а для открытых при напряжении более 12 В переменного тока.

5. Для открытых лоджий в качестве защиты от косвенного прикосновения используется двойная изоляция.

В открытых лоджиях допускается установка одного светильника для освещения горизонтальных поверхностей, на каждые четыре полных или не полных погонных метра по фронту здания. Светильники должны быть предназначены для наружной установки, иметь степень защиты оболочки не ниже IP54 и класс защиты от поражения электрическим током II. Светильник должен быть подключен к групповой линии питания розеток смежной комнаты (помещения). Выключатель должен быть установлен в смежной комнате в удобном, с точки зрения управления, месте.

6. В открытых лоджиях не допускается установка розеток любых типов и любого электрооборудования, кроме светильников. Использование светильников в качестве нагревателей не допускается.

7. Для закрытых лоджий в качестве защиты от косвенного прикосновения используются двойная изоляция, автоматическое отключение питания, дополнительное уравнивание потенциалов.

Наибольшее допустимое время автоматического отключения питания для закрытых лоджий составляет 0,2 с при фазном напряжении 220 В.

8. При использовании в закрытых лоджиях приборов класса защиты I, рекомендуется на лоджию выделить отдельную групповую сеть. Установка УЗО с номинальным дифференциальным током срабатывания до 30 мА в этом случае обязательна.

9. В закрытых лоджиях, при установке в них электрооборудования помимо оборудования класса защиты II, следует выполнить дополнительное уравнивание потенциалов в соответствии с требованиями п. 1.7.83 ПУЭ.

10. В закрытых лоджиях минимальные степени защиты оболочек оборудования следует принимать не ниже IP4X.

11. В закрытых лоджиях с подогревом пола греющий кабель должен иметь защитный экран или отделен от обогреваемой поверхности защитной металлической сеткой, подключенными к системе дополнительного уравнивания потенциалов.

12. Электропроводки в лоджиях следует выполнять открыто кабелем с медными жилами сечением не менее 2,5 мм^2 в оболочке с индексом «нг» в пластмассовых коробах или в пластмассовых трубах, имеющих сертификат пожарной безопасности.

Использование металлических труб и металлических коробов не допускается.

Допускается скрытая прокладка кабелей в бороздах, если устройство борозд, например, в потолке лоджии, допустимо по соображениям возможного ослабления прочности конструкции здания.

13. Использование мебели и других изделий, например, ящиков для хранения плодоовощной продукции, со встроенным электрооборудованием, за исключением специальных, имеющих сертификаты соответствия и пожарной безопасности, в лоджиях любых типов не допускается.

Приложение П.23

Дополнительные требования к применению кабелей из сшитого полиэтилена в кабельных сооружениях, в том числе во взрывоопасных зонах

ОДОБРЯЮ
Статс-секретарь – заместитель руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору
К.Л. Чайка
"12" октября 2006 г.

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий
"16" октября 2006 г.

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 14/2006

г. Москва "16" октября 2006 г.

О применении кабелей из сшитого полиэтилена в кабельных сооружениях, в том числе во взрывоопасных зонах

В настоящее время на рынке электротехнической продукции предлагаются новые марки кабелей, с изоляцией проводов из сшитого полиэтилена (XLPE) и этиленпропиленовой резины (EPR). Оболочки, указанных кабелей могут изготавливаться из аналогичного пластиката, винилхлорида (PVC) или резины.

В действующих нормативных документах практически отсутствуют указания по правилам проектирования кабельных линий и электропроводок, выполняемых с применением указанных марок кабелей, так как на момент выхода нормативных документов, указанные изделия отсутствовали.

Отсутствие указанных нормативов приводит к затруднениям при проектировании и не позволяет, в ряде случаев, принимать технически обоснованные решения.

Целью выхода настоящего циркуляра является устранение пробелов в действующих нормативных документах и выдача конкретных рекомендаций по применению кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины.

При применении кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины необходимо руководствоваться следующим:

1. Кабельные линии (кабельные потоки) и электропроводки выполняются не распространяющими горение, см. НПБ 242-97 «Классификация и методы определения пожарной опасности электрических кабельных линий»;

2. Кабели должны иметь сертификат пожарной безопасности с обязательным указанием категории по нераспространению горения.

3. Кабели из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины, которым присвоен индекс «нг» – не распространяющие горение (а также «нг-LS» и «нг-HF»), разрешаются к применению в кабельных сооружениях и при выполнении электропроводок, в том числе в пожаро- и взрывоопасных зонах всех классов.

ПРИМЕЧАНИЕ Данное разрешение не отменяет других ограничений, например, по материалу проводников.

4. Производители кабелей из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины указывают допустимую нагрузку кабелей соответствующую допустимой температуре проводников, при определенном способе прокладки, обычно при одиночной прокладке на воздухе или в земле.

При использовании кабелей из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины максимальная нагрузка кабелей должна выбираться с учетом достижения допустимой температуры проводников, с учетом конкретного способа прокладки, в соответствии с требованиями главы 1.3 ПУЭ шестого издания и/или МЭК 60364-5-52 (2001).

5. Для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины допустимая температура проводников равна 90 °С, что выше допустимой температуры проводников с изоляцией из винилхлорида равной 70 °С (65 °С в соответствии с п. 1.3.10 ПУЭ шестого издания). Увеличение допустимых нагрузок кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины ведет к существенному увеличению тепловыделения в кабельных сооружениях и температуры поверхностей.

6. В соответствии с требованиями ГОСТ Р 51330.13 «Электрооборудование взрывозащищенное. Электроустановки во взрывоопасных зонах» раздел 5.3 во взрывоопасных зонах опасных по газу максимальная температура любых элементов электропроводок и кабельных линий не должна превышать температуры самовоспламенения взрывоопасной смеси.

В соответствии с требованиями п. 7.3.63 ПУЭ шестого издания в помещениях опасных по воспламенению пыли или волокон (требования данного пункта распространяются на любые помещения и зоны не зависимо от их классификации по ПУЭ или НПБ) температура любых элементов электропроводок и кабельных линий должна быть на 50 °С ниже температуры тления для тлеющих пылей или не более двух третей температуры самовоспламенения для не тлеющих пылей или волокон. При применении кабелей из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины должно быть документально подтверждено, что температура любых элементов электропроводок и кабельных линий при расчетных нагрузках с учетом возможных перегрузок, не превышает допустимой по условиям окружающей среды.

При отсутствии необходимых обоснований в пожаро- и взрывоопасных зонах допустимые нагрузки для кабелей из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины следует принимать не выше, чем для кабелей с изоляцией из винилхлорида, установленных требованиями главы 1.3 ПУЭ шестого издания или МЭК 60364-5-52 (2001).

7. Применение кабелей из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины, не имеющих индекса «нг», в пожаро- и взрывоопасных зонах не допускается.

В других случаях их применение возможно при использовании дополнительных мероприятий, предотвращающих распространение горения и растекание горящего плава пластиката, например, прокладка в земле, засыпка песком, использование огнезащитных лотков. Применение огнезащитных кабельных покрытий (ОКП) допускается только на ограниченных участках кабельной трассы.

8. Для сращивания кабелей из сшитого полиэтилена и этиленпропиленовой резины следует использовать кабельные муфты, не распространяющие горение.

Не распространение горения подтверждается сертификатом пожарной безопасности в системе добровольной сертификации. В пожаро- и взрывоопасных зонах, где сращивания кабелей избежать нельзя, рекомендуется для соединений использовать термоусаживаемые муфты в соответствии с инструкцией изготовителя.

9. При расчете значений допустимых нагрузок кабелей и проводов рекомендуется использовать временные указания Ассоциации «Росэлектромонтаж» по выбору сечения проводников по нагреву в соответствии со стандартом МЭК 60364-5-52 (2001).

Приложение П.24

Дополнительные требования к электрическому подключению брони и металлических оболочек кабеля при выполнении концевых заделок во взрывоопасных зонах

ОДОБРЯЮ
Статс-секретарь – заместитель руководителя
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
К.Л. Чайка
"12" февраля 2007 г.

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий
"16" февраля 2007 г.

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 15/2007

г. Москва "16" февраля 2007 г.

О электрическом подключении брони и металлических оболочек кабеля при выполнении концевых заделок во взрывоопасных зонах

До настоящего времени концевые заделки кабелей во взрывоопасных зонах выполнялись в соответствие с «Инструкцией по монтажу электрооборудования, силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон», утвержденной Минмонтажспецстроем СССР 24 июня 1974 г. и введенной в действие с 1 июля 1975 г.

В настоящее время в России введен комплекс государственных стандартов на взрывозащищенное электрооборудование ГОСТ Р 51330, разработанных на основе международных стандартов ТК 31 МЭК 60079 «Электрооборудование для взрывоопасных газовых сред». Комплекс стандартов внесен Техническим комитетом по стандартизации ТК 403 «Взрывозащищенное и рудничное оборудование». Положения, установленные «Инструкцией по монтажу электрооборудования, силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон», по ряду позиций не соответствуют положениям вышеуказанного комплекса стандартов, а также ряду требований глав ПУЭ шестого и седьмого издания и не учитывают возможности применения новых типов кабельных вводов для взрывозащищенного оборудования. Отсутствие новой «Инструкции по монтажу электрооборудования, силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон», учитывающей положения новых нормативных документов приводит к затруднениям при выполнении проектных и монтажных работ и не позволяет, в ряде случаев, принимать технически обоснованные решения.

Целью выхода настоящего циркуляра является устранение пробелов в действующих нормативных документах и выдача конкретных рекомендаций по электрическому соединению брони и металлических оболочек кабеля при выполнении концевых заделок во взрывоопасных зонах.

При выполнении концевых заделок бронированных кабелей во взрывоопасных зонах необходимо руководствоваться следующим:

1. Броня или металлическая оболочка кабеля при выполнении концевых заделок присоединяется к системе уравнивания потенциалов в соответствие с видом взрывозащиты оборудования и требованиями проектной документации.

2. Электрические соединения должны удовлетворять требованиям ГОСТ 10434 «Соединения контактные электрические. Общие технические требования», предъявляемых ко 2-му классу соединений.

3. Для выполнения электрического соединения брони или металлической оболочки кабелей с подключаемым оборудованием в первую очередь рекомендуется использовать специальные взрывозащищенные кабельные (линейные) вводы.

4. Взрывозащищенные кабельные вводы и комплектующие изделия должны иметь сертификат соответствия Российской Федерации и разрешение на применение Ростехнадзора РФ.

5. Для выполнения электрического соединения брони или металлической оболочки кабелей с подключаемым оборудованием, допускается припайка проводника уравнивания потенциалов («заземление брони и металлических оболочек кабеля» по терминологии «Инструкции по монтажу электрооборудования, силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон») мягким припоем, например, ПОС-40 без размотки брони кабеля с механическим креплением проводника к броне с помощью бандажа.

6. Сечение гибкого медного проводника уравнивания потенциалов (заземляющего) должно соответствовать указаниям пункта 3 Технического циркуляра № 6 Ассоциации «Росэлектромонтаж» от 16.02.2004 г., согласованным с Госэнергонадзором 12.02.2004 г., но быть не менее, указанного в пункте 8-2 «Инструкции по монтажу электрооборудования, силовых и осветительных сетей взрывоопасных зон».

Приложение П.25

Дополнительные требования к прокладке взаиморезервируемых кабелей в траншеях

ОДОБРЯЮ
Статс-секретарь – заместитель руководителя
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
К.Л. Чайка
"14" сентября 2007 г.

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий
"13" сентября 2007 г.

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 16/2007

г. Москва "13" сентября 2007 г.

О прокладке взаиморезервируемых кабелей в траншеях

Вопрос о прокладке взаиморезервирующих кабельных линий в земле в действующих ПУЭ не отражен.

В свое время условия прокладки взаиморезервирующих кабельных линий в земле регламентировались «Инструкцией по проектированию электроснабжения промышленных предприятий» СН174-75, согласно которой взаиморезервирующие кабели, питающие потребители I категории, необходимо прокладывать в разных траншеях с расстоянием между траншеями не менее 1 м.

В нормы технологического проектирования НТП ЭПП-94, которые выпущены ВНИПИ Тяжпромэлектропроект взамен СН 174-75 и в проект главы 2.3 ПУЭ седьмого издания, требования к прокладке взаиморезервирующих кабелей в траншеях не включены.

Таким образом, в действующих нормативных документах практически отсутствуют указания по правилам проектирования взаиморезервирующих кабельных линий.

Отсутствие указанных нормативов приводит к затруднениям при проектировании и не позволяет, в ряде случаев, принимать технически обоснованные решения.

Целью выхода настоящего циркуляра является устранение пробелов в действующих нормативных документах и выдача конкретных рекомендаций по проектированию взаиморезервирующих кабельных линий.

При проектировании взаиморезервирующих кабельных линий необходимо руководствоваться следующим:

1. Взаиморезервирующие кабели рекомендуется прокладывать по разным трассам, т.е. в разных траншеях с расстоянием между траншеями не менее 1 м или в одной траншее с расстоянием между группами кабелей не менее 1 м.

2. Расстояние между траншеями увеличивается до 3 м для кабелей от третьего источника к электроприемникам особой группы I категории.

3. В стеснённых условиях, например для объектов городской инфраструктуры, допускается прокладка взаиморезервирующих кабельных линий в одной траншее с уменьшением расстояний между ними, за исключением третьей линии для питания электроприёмников первой категории особой группы.

Совместная прокладка с уменьшенным расстоянием выполняется в соответствии с требованиями п. 2.3.86 ПУЭ шестого издания, при условии защиты кабелей от повреждений, могущих возникнуть при к.з. в одном из кабелей.

4. В случае необходимости должна быть обеспечена защита кабелей от повреждений при производстве земляных работ, например, прокладка в трубах.

Приложение П.26

Дополнительные требования к выбору проводов и кабелей в электроустановках до 1 кВ по напряжению изоляции

ОДОБРЯЮ
Статс-секретарь – заместитель руководителя
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
К.Л. Чайка
"14" сентября 2007 г.

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий
"13" сентября 2007 г.

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 17/2007

г. Москва "13" сентября 2007 г.

О выборе проводов и кабелей в электроустановках до 1 кВ по напряжению изоляции

Большинство пожаров в зданиях, происходящих от электротехнических изделий, возникают по вине электропроводок. Основной причиной высокой потенциальной пожароопасности электропроводок наряду с наличием на рынке кабельной продукции изделий, изготовленных с нарушением требований государственных стандартов, являются нарушения при проектировании. Одной из наиболее часто встречающейся ошибок при проектировании, является выбор кабелей и проводов с

номинальным напряжением изоляции, не соответствующем условиям применения.

Одной из основных причин появления указанных ошибок является отсутствие в действующих ПУЭ конкретных указаний по данному вопросу.

Единственное указание по выбору изоляции содержится в пункте 2.1.34 ПУЭ: «... Изоляция должна ... соответствовать номинальному напряжению сети». Данное положение, по сути, не содержит конкретных указаний по выбору проводов и кабелей для электропроводок.

К настоящему времени в России введен комплекс стандартов на кабельные изделия, гармонизированный с международными стандартами, в которых, в частности, установлены номинальные напряжения систем электропроводок для конкретного кабельного изделия.

Номинальное переменное напряжение систем представлено сочетанием двух значений U_0/ U, где

U_0 – действующее значение напряжения между любым изолированным проводником и «землей» (металлической оболочкой кабеля или окружающей средой);

U – действующее значение между любыми двумя фазными проводниками многожильного кабеля или системы одножильных кабелей, В.

Что касается определения расчетных параметров для конкретной электроустановки, то они установлены ГОСТ Р 50571.18-2000 (МЭК 60364-4-442-93) «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. Раздел 442. Защита электроустановок до 1 кВ от перенапряжений, вызванных замыканиями на землю в электроустановках выше 1 кВ».

Целью выхода настоящего циркуляра является устранение пробелов в действующих нормативных документах и выдача конкретных рекомендаций по выбору проводов и кабелей в электроустановках до 1 кВ по напряжению изоляции.

При выборе проводов и кабелей в электроустановках до 1 кВ по напряжению изоляции необходимо руководствоваться следующим:

1. Кабельные изделия (кабели и провода) должны быть сертифицированы или декларированы на соответствие в установленном порядке.

В технической документации на применяемые кабельные изделия должны быть указаны нормируемые параметры U_0/U в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов и/или технических условий (ТУ), разработанных и согласованных в установленном порядке.

При применении кабелей и проводов, выпускаемых по ТУ, разработанным до принятия соответствующих действующих стандартов и в которых указано только одно значение допустимого напряжения изоляции, следует уточнить, какое именно значение регламентировано изготовителем.

2. В зданиях при использовании системы защитного заземления TN или TT и наличии основной системы уравнивания потенциалов при напряжении сети 380/220 В следует использовать провода и кабели с нормируемым значением U_0/U не ниже 230/400 В (220/380 В).

3. В электроустановках с глухозаземленной нейтралью источника питания при отсутствии основной системы уравнивания и/или ее низкой эффективности и/или высокой вероятности повреждения (обрыва) нейтрального проводника (наружные установки, строительные площадки, временные сооружения, мобильные и инвентарные здания, палатки, киоски, павильоны, объекты индивидуального строительства при питании последних от воздушных линий электропередач, выполненных неизолированными проводами и т.п.) и напряжении сети 380/220 В следует использовать провода и кабели с нормируемым значением U_0/U не ниже 450/750 В (380/660 В).

4. Для специальных электроустановок с системой защитного заземления IT (система с изолированной нейтралью) выбор проводов и кабелей по напряжению изоляции следует проводить на основании расчета в зависимости от типа IT системы и схемы подключения электроустановки потребителя.

Приложение П.27

Дополнительные требования к схемам электроснабжения центральных тепловых пунктов и индивидуальных тепловых пунктов многоквартирных жилых домов и общественных зданий

ОДОБРЯЮ
Статс-секретарь – заместитель руководителя
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
Б.А. Красных

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 18/2007

г. Москва 2007 г.

О схемах электроснабжения центральных тепловых пунктов (ЦТП) и индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) многоквартирных жилых домов и общественных зданий

В настоящее время в действующих нормативных документах, касающихся проектирования индивидуальных тепловых пунктов, имеются определенные противоречия.

Так в пункте 7.2 Свода правил СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов» сказано, что «Тепловые пункты в части надежности электроснабжения следует относить к электроприемникам II категории при установке в них подкачивающих, смесительных и циркуляционных насосов систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения, а также запорной арматуры при телеуправлении».

В таблице 5.1 Свода правил СП 31-110-2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» сказано, что «Отдельно стоящие и встроенные центральные тепловые пункты (ЦТП), индивидуальные тепловые пункты (ИТП) многоквартирных жилых домов» следует относить к электроприемникам I категории по надежности электроснабжения. Указание об отнесении электроприемников ЦТП к первой категории было установлено еще в предшествующем документе – ВСН 59-88, а указание об отнесении электроприемников ИТП к первой категории было установлено при подготовке СП 31-110-2003. Решение об отнесении электроустановок тепловых пунктов к первой категории по надёжности электроснабжения было принято на основании указаний пункта 1.2.18 ПУЭ, имеющих обязательный характер, так как отключение систем теплоснабжения может привести к значительному материальному ущербу.

Условия восстановления электроснабжения оборудования тепловых пунктов, как электроприемников второй категории, установленные пунктом 1.2.20 ПУЭ практически невыполнимы из-за отсутствия на объекте постоянного дежурного персонала и длительностью интервала времени от момента отключения электропитания до его обнаружения и вызова оперативного персонала.

Целью выхода настоящего циркуляра является устранение противоречий в действующих нормативных документах и выдача конкретных рекомендаций по проектированию электроснабжения тепловых пунктов.

При проектировании электроснабжения тепловых пунктов необходимо руководствоваться следующим:

1. Основное оборудование центральных тепловых пунктов жилых и общественных зданий и индивидуальных тепловых пунктов многоквартирных жилых домов такое как: подкачивающие, смесительные и циркуляционные насосы систем отопления, а также запорная арматура систем отопления при автоматическом управлении (телеуправлении), следует относить к первой категории в отношении надежности электроснабжения.

2. К первой категории в отношении надежности электроснабжения при отсутствии постоянного квалифицированного дежурного персонала следует относить основное оборудование ИТП общественных зданий с постоянным пребыванием людей: гостиницы, дома отдыха, пансионаты, лечебные учреждения с постоянным пребыванием людей, а также детские дошкольные учреждения и образовательные учреждения.

3. В остальных случаях категория надежности электроснабжения основного оборудования ИТП устанавливается заданием на проектирование, но не ниже второй.

4. В случае отсутствия в схеме внешнего электроснабжения объекта второго независимого источника питания для обеспечения первой или второй категории надежности электроснабжения оборудования тепловых пунктов следует использовать автономные источники питания.

Приложение П.28

Дополнительные требования к защите от сверхтоков нейтральных (нулевых рабочих) (N) и PEN-проводников в питающих и распределительных сетях

ОДОБРЯЮ
Статс-секретарь – заместитель руководителя
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
Б.А. Красных

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 19/2007

г. Москва 2007 г.

О защите от сверхтоков нейтральных (нулевых рабочих) (N) и PEN-проводников в питающих и распределительных сетях электроустановок до 1 кВ

Значительное число аварий в электрических сетях до 1 кВ возникает из-за повреждений N и PEN-проводников в результате перегрева последних от воздействия токов перегрузки и токов короткого замыкания.

Основными причинами возникновения аварийных режимов работы N и PEN-проводников являются ошибки при проектировании: нарушения требований нормативных документов и/или неправильный выбор расчетных режимов сети.

Указания по защите проводников, в том числе нейтральных, от сверхтоков наиболее полно приведены отражены в ГОСТ Р 50571.5 «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защита от сверхтока» и ГОСТ Р 50571.9 «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Применение мер защиты от сверхтоков».

Целью выхода настоящего циркуляра является выдача конкретных рекомендаций по проектированию питающих и распределительных сетей в электроустановках до 1 кВ.

При выборе мер защиты от сверхтоков N и PEN-проводников трехфазных питающих и распределительных сетей в электроустановках до 1 кВ с системой защитного заземления TN или TT необходимо руководствоваться следующим:

1. В случае, когда сечение N или PEN-проводника равно сечению фазного проводника, не требуется выполнять мероприятии по защите N и PEN-проводников от токов короткого замыкания.

2. В случае, когда сечение нейтрального проводника меньше сечения фазного проводника, требуется установка устройства обнаружения тока короткого замыкания в нейтральном проводнике с воздействием на отключение всех фазных и нейтрального проводника.

Примечание. Отключение нейтрального проводника может происходить во времени после отключения фазных проводников.

3. В случае, когда сечение нейтрального проводника меньше сечения фазного проводника, установка устройства обнаружения тока короткого замыкания в нейтральном проводнике не требуется, если нейтральный проводник защищен устройством защиты, установленном в фазных проводниках.

Примечание. Расчет превышения температуры нейтрального проводника при коротком замыкании должен проводиться с учетом максимально ожидаемого тока в нормальном режиме.

4. Поскольку отключение PEN-проводников не допускается, то применение PEN-проводников сечением меньше сечения фазного проводника возможно только при выполнении условий по пункту 3.

5. Сечение N и PEN-проводников должны выбираться с учетом возможных перегрузок. Установка устройств обнаружения токов перегрузки в N и PEN-проводниках, как правило, не требуется.

6. В качестве расчетного тока для выбора сечения N и PEN-проводников в сетях защищенных предохранителями на стороне источника и/или на стороне потребителя следует рассматривать режим при перегорании предохранителей в двух фазах.

Примечание. При перегорании одного предохранителя возникает аналогичный режим.

7. При наличии у потребителя источников токов третьей гармоники, что характерно для распределительных сетей питающих однофазное оборудование с нелинейными характеристиками, например, блоки питания оборудования информационных технологий и устройств связи, компенсационные устройства люминесцентных ламп, транзисторные и тиристорные инверторы и т. п., расчетное сечение фазных, N и PEN-проводников следует проводить с учетом корректирующего коэффициента. (См. таблицу и пример расчета).

Таблица D.52-1 (МЭК 60364-5-52:2001) – Понижающий коэффициент для четырех и пятижильных кабелей, учитывающий наличие высших гармоник тока

Содержание третьей гармоники, %	Понижающий коэффициент	
	Выбор сечения по току в фазном проводнике	Выбор сечения по току в нейтральном проводнике
0 – 15	1,0	–
15 – 33	0,86	–
33 – 45	–	0,86
> 45	–	1,0

Пример расчета с учетом понижающего коэффициента, учитывающего наличие высших гармоник тока

Рассмотрим в качестве примера трехфазную сеть с расчетным током 39 А, выполненную четырехжильным кабелем с поливинилхлоридной изоляцией, проложенным открыто по стене.

В соответствии с табл. 1.3.6 ПУЭ выбираем кабель с медными жилами сечением 6 мм^2, что соответствует режиму при отсутствии высших гармоник тока.

Если третья гармоника составляет 20 %, то понижающий коэффициент принимается 0,86, что соответствует расчетному току:

$$39 / 0{,}86 = 45 \text{ А}.$$

Для данной нагрузки требуется кабель сечением 10 мм^2.

Если третья гармоника составляет 40 %, то выбор сечения определяется током нейтрального проводника, как:

$$39*0{,}4*3 = 46{,}8 \text{ А},$$

учитывая понижающий коэффициент 0,86, получим расчетный ток:

$$46{,}8 / 0{,}86 = 54{,}4 \text{ А}.$$

Для данной нагрузки требуется кабель сечением 10 мм^2.

Если третья гармоника составляет 50 %, то выбор сечения жил кабеля также определяется током нейтрального проводника, как:

$$39*0{,}5*3 = 58{,}5 \text{ А},$$

учитывая, что понижающий коэффициент равен 1,0, получим требуемое сечение кабеля 16 мм^2.

8. Если третья гармоника, превышает 33 % и рассматривается режим, связанный с возможным перегоранием предохранителей, то максимальное значение расчетного тока в N или PEN-проводнике возникает при перегорании предохранителя в одной фазе.

Приложение П.29

Дополнительные разъяснения по применению таблицы 7.3.13 ПУЭ шестого издания

ОДОБРЯЮ
Статс-секретарь – заместитель руководителя
Федеральной службы по экологическому,
технологическому и атомному надзору
Б.А. Красных

УТВЕРЖДАЮ
Президент Ассоциации
"РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
Е.Ф. Хомицкий

АССОЦИАЦИЯ "РОСЭЛЕКТРОМОНТАЖ"
ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦИРКУЛЯР № 21/2008

г. Москва "06" октября 2008 г

О применении таблицы 7.3.13 ПУЭ шестого издания

В настоящее время действуют следующие нормативные документы, касающиеся определения взаимного расположения отдельно стоящих РУ, ТП и ПП по отношению к взрывоопасным помещениям и наружным взрывоопасным установкам:

СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений»;

СНиП П-89-80* «Генеральные планы промышленных предприятий»;

глава 7.3 ПУЭ шестого издания «Электроустановки во взрывоопасных зонах;

глава 4.2 ПУЭ седьмого издания «Распределительные устройства и подстанции напряжением выше 1 кВ».

При применении, указанных документов у проектных организаций и надзорных органов возникают вопросы об их согласованном применении.

Разногласия в нормативных требованиях возникли в связи с тем, что таблица 7.3.13 ПУЭ «Минимальное допустимое расстояние от отдельно стоящих РУ, ТП и ПП до помещений со взрывоопасными зонами и наружных взрывоопасных установок» составлена на основании указаний СНиП П-89-80* и главы 4.2 ПУЭ шестого издания.

Под закрытыми РУ, ТП и ПП в таблице 7.3.13 ПУЭ в соответствие с указаниями пункта 4.2.76 ПУЭ шестого издания понимаются здания и помещения I или II степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85* (заменен СНиП 21-01-97). В главе 4.2 ПУЭ седьмого издания данная норма не установлена.

Целью выхода настоящего циркуляра является устранение противоречий в действующих нормативных документах и выдача конкретных рекомендаций по проектированию электроустановок во взрывоопасных зонах.

При использовании табл. 7.3.13 ПУЭ необходимо руководствоваться следующим:

При использовании табл. 7.3.13 под закрытыми следует понимать РУ, ТП и ПП, размещенные в зданиях и помещения I или II степени огнестойкости;

Для РУ, ТП и ПП, размещенных в зданиях и помещения с огнестойкостью ниже II степени следует принимать минимальные расстояния по табл. 7.3.13 ПУЭ, как для открытых установок;

Указания табл. 7.3.13 ПУЭ не распространяются на взрывоопасные установки являющиеся принадлежностью ОРУ, например, топливные емкости резервных газотурбинных генераторных установок узловых ПС. При этом оборудование ОРУ должно располагаться вне взрывоопасной зоны в соответствии с указаниями пункта 7.3.78 ПУЭ. Линейные размеры взрывоопасных зон в этом случае рекомендуется определять по ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля», с учетом указаний пункта Б.4 ГОСТ Р51330.9-99 (МЭК 60079-10-95) «Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 10. Классификация взрывоопасных зон».

Приложение П.30

Разъяснение Управления по надзору в электроэнергетике Ростехнадзора о совместном применении "Инструкции по молниезащите зданий и сооружений" (РД 34.21.122-87) и "Инструкции по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций" (СО 153-34.21.122-2003)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ

УПРАВЛЕНИЕ ПО НАДЗОРУ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

109074, Москва, К-74
Китайгородский пр., 7
тел. 710-55-13, факс 710-58-29

Руководителям Федеральных государственных учреждений управлений и энергетических инспекций государственного энергетического надзора

01.12.2004 № 10-03-04/182
На № от

В управление по надзору в электроэнергетике Федеральной службы по надзору в электроэнергетике (Ростехнадзор) и ранее в Госэнергонадзор от многочисленных организаций поступают вопросы о порядке использования "Инструкции по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций" (СО 153-34.21.122-2003), утвержденной приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 280. Обращается внимание на трудности пользования данной Инструкцией из-за отсутствия справочных материалов. Также задаются вопросы о правомерности приказа РАО "ЕЭС России" от 14.08.2003 № 422 "О пересмотре нормативно-технических документов (НТД) и порядке их действия в соответствии с ФЗ "О техническом регулировании" и о сроках подготовки пособий к инструкции СО 153-34.21.122-2003.

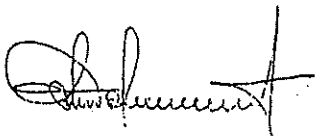
Управление по надзору в электроэнергетике Ростехнадзора в связи с этим разъясняет.

В соответствии с положением Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ "О техническом регулировании", ст. 4 органы исполнительной власти вправе утверждать (издавать) документы (акты) только рекомендательного характера. К такому типу документа и относится "Инструкция по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций".

Приказ Минэнерго России от 30.06.2003 № 280 не отменяет действие предыдущего издания "Инструкции по молниезащите зданий и сооружений" (РД 34.21.122-87), а слово "взамен" в предисловии отдельных изданий инструкции СО 153-34.21.122-2003, не означает недопустимость использования предыдущей редакции. Проектные организации вправе использовать при определении исходных данных и при разработке защитных мероприятий положение любой из упомянутых инструкций или их комбинацию.

Срок подготовки справочных материалов к "Инструкции по молниезащите зданий, сооружений и промышленных коммуникаций", СО 153-34.21.122-2003, к настоящему времени не определен из-за отсутствия источников финансирования этой работы.

Приказ РАО "ЕЭС России" от 14.08.2003 № 422 является корпоративным документом и не имеет силы для организаций, не входящих в структуру РАО "ЕЭС России".

Начальник Управления  Н.П. Дорофеев

Приложение П.31

Дополнительные разъяснения о рассмотрении проектной документации при допуске энергоустановок в эксплуатацию по применению

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ
Межрегиональное территориальное управление технологического и экологического надзора по Северо-Западному федеральному округу
(МТУ Ростехнадзора по СЗФО)
Юр. адрес: 191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, д. 3
Почт. адрес:199048, Санкт-Петербург, В.О., 10 линия, д. 51
тел. 272-96-57, 321-89-88, факс 321-49-88
E-mail:nw@gosnadzor.spb.ru

от 14.10.2008 г. № 00 – 1/14561-574
на № _____ от _____

Руководителю
Энергоснабжающей организации
Энергосбытовой организации
Сетевой организации Потребителя

[О рассмотрении проектной документации при допуске энергоустановок в эксплуатацию]

В связи со вступлением в силу приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 182 от 20.08.2008 г. «Об отмене отдельных положений Порядка организации работ по выдаче разрешений на допуск в эксплуатацию энергоустановок», зарегистрированного в Минюсте РФ 28.08.2008 г., регистрационный № 12197. которым отменены некоторые пункты и отдельные положения «Порядка организации работ по выдаче разрешений на допуск в эксплуатацию энергоустановок), утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 212 от 07.04.2008 г., зарегистрированным в Минюсте РФ 28.04.2008 г., регистрационный № 11597, а также в соответствии с ч. 16. ст. 48 Градостроительного кодекса РФ Межрегиональное территориальное управление технологического и экологического надзора по Северо-Западному федеральному округу (МТУ Ростехнадзора по СЗФО) доводит до вашего сведения, что согласование проектной документации по энергоустановкам с МТУ Ростехнадзора по СЗФО не требуется. Соответственно, предварительное (до предъявления энергоустановок к допуску в эксплуатацию) согласование проектной документации МТУ Ростехнадзора по СЗФО не осуществляет.

Состав и содержание проектной документации должны соответствовать «Положению о составе разделов проектной документации и требованиям к их содержанию», утвержденному постановлением Правительства РФ № 87 от 16.02.2008 г. и другим действующим нормам и правилам в области проектирования и устройства энергоустановок. В соответствии со ст. 761 Гражданского Кодекса проектная организация несет ответственность за ненадлежащее составление технической документации, включая недостатки, обнаруженные впоследствии в ходе строительства, а также в процессе эксплуатации объекта, созданного на основе технической документации.

При обнаружении недостатков в технической документации проектная организация по требованию заказчика обязана безвозмездно переделать техническую документацию, а также возместить заказчику причиненные убытки, если законом или договором подряда на выполнение проектных работ не установлено иное.

Проектная документация по электро-, теплоустановкам, электрическим и тепловым сетям рассматривается МТУ Ростехнадзора по СЗФО на соответствие требованиям нормативных документов при допуске энергоустановок в эксплуатацию в составе представляемого владельцем энергоустановки комплекта технической документации (исполнительной, приемо-сдаточной и эксплуатационной).

Заместитель руководителя Г. Ю. Мицык

Приложение П.32

Порядок организации работ по выдаче разрешений на допуск в эксплуатацию энергоустановок

(Приложение к приказу Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 07 апреля 2008 г. № 212. Зарегистрирован в Минюсте РФ 28 апреля 2008 г. № 11597 с учетом требований приказа Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 20 августа 2008 г. № 182 «Об отмене отдельных положений Порядка организации работ по выдаче разрешений на допуск в эксплуатацию энергоустановок». Зарегистрирован в Минюсте РФ 28 августа 2008 г. № 12197)

ПОРЯДОК ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ ПО ВЫДАЧЕ РАЗРЕШЕНИЙ НА ДОПУСК В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Порядок организации работ по выдаче разрешений на допуск в эксплуатацию энергоустановок (далее – Порядок) разработан на основании федеральных законов, нормативных правовых актов Российской Федерации и нормативных документов Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (далее - Служба), иных федеральных органов исполнительной власти.

2. Требования Порядка являются обязательными для должностных лиц центрального аппарата Службы и её территориальных органов (далее должностные лица Службы), на которых возлагаются обязанности по организации и осуществлению государственного энергетического надзора.

II. ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО ВЫДАЧЕ РАЗРЕШЕНИЯ НА ДОПУСК В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

3. Перед осмотром энергоустановки должностное лицо Службы рассматривает представленную заявителем документацию на соответствие её техническим регламентам, проекту, исполнительной документации и техническим условиям, требованиям нормативных правовых актов Российской Федерации, нормативных документов Службы и других федеральных органов исполнительной власти, на полноту проведенных наладочных работ и испытаний энергоустановки и правильность оформления протоколов, на наличие эксплуатационной и организационно-распорядительной документации, наличие и достаточность квалификации персонала, и его готовность к эксплуатации энергоустановки, на наличие сертификатов соответствия национальным стандартам (согласно утвержденного перечня продукции подлежащего обязательной сертификации).

4. Должностное лицо Службы для выдачи разрешения на допуск в эксплуатацию электроустановки рассматривает заявление установленного образца и перечень прилагаемых документов:

- копию учредительного документа, заверенную в установленном порядке (для юридического лица);
- документы, подтверждающие полномочия лица, представляющего заявителя;
- технические условия на технологическое присоединение и справка об их выполнении (с отметками сетевой организации и субъекта оперативно диспетчерского управления, при необходимости);
- акт разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности сторон;
- проект электроустановки, согласованный в установленном порядке;
- однолинейную схему электроснабжения электроустановки, подписанную ответственным за электрохозяйство заявителя;
- сертификаты соответствия на электрооборудование (согласно утвержденному перечню продукции, подлежащего обязательной сертификации);
- копию свидетельства о регистрации электротехнической лаборатории в органах Ростехнадзора, проводившей приемо-сдаточные или профилактические испытания с перечнем разрешенных видов испытаний;
- перечень инструкций по охране труда и технике безопасности по видам работ;
- перечень должностных инструкций по каждому рабочему месту электротехнического персонала;
- приказ о назначении ответственных за электрохозяйство и их заместителей;

- копию договора с эксплуатирующей организацией (при отсутствии собственного эксплуатирующего персонала);
- выписку из журнала проверки знаний лиц, ответственных за электрохозяйство и их заместителей, электротехнического и электротехнологического персонала или копии протоколов проверки знаний;
- перечень имеющихся в наличии защитных средств с протоколами испытаний, противопожарного инвентаря, плакатов по технике безопасности;
- список лиц оперативного и оперативно-ремонтного персонала (Ф.И.О., должность, номера телефонов, группа по электробезопасности), которым разрешено ведение оперативных переговоров и переключений;
- исполнительную документацию (в соответствии с требованиями нормативно правовых актов);
- приемо-сдаточную документацию (протоколы, акты испытаний, наладки в соответствии с требованиями нормативно правовых актов, технических регламентов, паспортов изготовителей).

5. Должностное лицо Службы для выдачи разрешения на допуск в эксплуатацию котельной рассматривает заявление установленного образца и перечень прилагаемых документов:
- копию учредительного документа (заверенную в установленном порядке) для юридического лица;
- документы, подтверждающие полномочия лица (лиц), представляющего собственника;
- наличие заключения экспертизы промышленной безопасности и ее утверждение органами Ростехнадзора (при идентификации котельной как опасного производственного объекта);
- документ на специальное водопользование;
- разрешения на применение технических устройств на опасном производственном объекте;
- паспорта зданий (сооружений) и энергоустановок;
- сертификаты на оборудование (согласно утвержденному перечню продукции, подлежащего обязательной сертификации);
- технические условия на присоединение тепловых энергоустановок и справка о выполнение технических условий;
- акт разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности сторон;
- промежуточные акты выполненных работ;
- оформление результатов технического освидетельствования промышленных дымовых труб и энергоустановок;
- акт приема рабочей комиссией или приемо-сдаточный акт между монтажной организацией и заказчиком;
- технический отчет о проведении испытаний (измерений), включая методы неразрушающего контроля;
- разрешение на допуск в эксплуатацию электрических установок;
- разрешение на допуск в эксплуатацию узла учета тепловой энергии на источнике теплоты;
- акт комплексного опробования тепловых энергоустановок;
- акт приёмки газопроводов и газоиспользующей установки для проведения комплексного опробования (пуско-наладочных работ);
- паспорт технического устройства (котла, трубопровода, сосуда, работающего под давлением);
- распорядительные документы по организации безопасной эксплуатации тепловых энергоустановок;
- выписку из журнала проверки знаний или копии протоколов проверки знаний лиц, ответственных за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок и их заместителей, теплоэнергетического персонала;
- исполнительные схемы трубопроводов и запорной арматуры;
- должностные инструкции, инструкции по охране труда и технике безопасности;
- комплект действующих инструкций по эксплуатации энергоустановок, зданий и сооружений;
- утвержденный техническим руководителем перечень технической документации;
- утвержденную программу прогрева и пуска в эксплуатацию котельной (котла);
- перечень имеющихся в наличии защитных средств, средств пожаротушения и оказания медицинской помощи;
- оперативный план тушения пожара.

6. Должностное лицо Службы для выдачи разрешения на допуск в эксплуатацию тепловых энергоустановок и тепловых сетей рассматривает заявление установленного образца и перечень прилагаемых документов:

- копию учредительного документа (заверенную в установленном порядке) для юридического лица;
- документы, подтверждающие полномочия лица (лиц), представляющего собственника;
- наличие заключения экспертизы промышленной безопасности и ее утверждение органами Ростехнадзора (при идентификации тепловых энергоустановок и тепловых сетей как опасного производственного объекта);
- разрешение на применение технических устройств (оборудование тепловых энергоустановок, тепловых пунктов и тепловых сетей, участок тепловой сети, системы, приборы и средства противоаварийной защиты, сигнализации и контроля, используемые при эксплуатации указанного оборудования) при наличии идентифицирующих признаков опасности;
- документы по регистрации тепловой сети в органах Ростехнадзора или в организации - владельце сети;
- паспорта трубопроводов и тепловых энергоустановок;
- сертификаты на трубопроводы, арматуру и тепловые энергоустановки (согласно утвержденному перечню продукции, подлежащей обязательной сертификации);
- технические условия на присоединение тепловых энергоустановок;
- справку о выполнение технических условий;
- акт разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности сторон;
- акт приема рабочей комиссией или приемо-сдаточный акт между строительной (монтажной) организацией и заказчиком;
- технические отчеты о проведенных испытаниях (измерениях), включая отчет о тепловых испытаниях отопительных систем с определением теплозащитных свойств ограждающих конструкций и теплоаккумулирующей способности зданий;
- документы по техническому освидетельствованию;
- разрешение на допуск в эксплуатацию электрических установок (для тепловых пунктов, арматуры с электроприводом, камер и проходных каналов с системами освещения и вентиляции);
- акт комплексного опробования тепловых энергоустановок;
- распорядительные документы по организации безопасной эксплуатации тепловых энергоустановок;
- выписку из журнала проверки знаний или копии протоколов проверки знаний лиц, ответственных за исправное состояние и безопасную эксплуатацию тепловых энергоустановок и их заместителей, теплоэнергетического персонала;
- исполнительные схемы трубопроводов и запорной арматуры;
- должностные инструкции, инструкции по охране труда и технике безопасности;
- комплект действующих инструкций по эксплуатации;
- утвержденную программу прогрева и пуска в эксплуатацию тепловой энергоустановки, тепловой сети;
- перечень имеющихся в наличии защитных средств, средств пожаротушения и оказания медицинской помощи.

7. Согласование проекта энергоустановки проводится должностным лицом Службы по обращению заявителя в срок, не превышающий тридцати рабочих дней. Проект должен быть согласован с организацией, выдавшей технические условия на технологическое присоединение к электрическим и (или) тепловым сетям, и с субъектом оперативно-диспетчерского управления, в случаях согласования ими технических условий.

8. При выявлении недостаточности представленных документов и (или) несоответствия их содержания установленным требованиям документы возвращаются заявителю с письменным обоснованием, в котором перечисляются конкретные причины возврата. В этом случае осмотр энергоустановки не проводится.

9. При отсутствии замечаний к представленным документам должностное лицо Службы по обращению заявителя, оформляемому в соответствие с приложениями № 1, 2, 3 согласовывает с ним дату осмотра энергоустановки.

10. Срок рассмотрения документов и осмотра энергоустановки не должен превышать тридцати календарных дней со дня регистрации заявления. По результатам осмотра энергоустановки оформляется акт в соответствии с приложениями № 4, 5, 6.

11. В случае обнаружения при осмотре энергоустановки её несоответствия установленным требованиям, представленным документам (неготовности к эксплуатации) должностное лицо Службы

составляет акт в свободной форме с указанием в нем выявленных нарушений и отступлений, препятствующих оформлению разрешения на допуск в эксплуатацию энергоустановки.

12. После устранения выявленных нарушений должностное лицо Службы повторно рассматривает представленную документацию и осматривает энергоустановку.

13. В случае отсутствия замечаний должностное лицо Службы, проводившее осмотр энергоустановки, оформляет акт осмотра энергоустановки и выдает разрешение на допуск её в эксплуатацию (в соответствии с приложением № 7). Указанное разрешение подписывается должностным лицом Службы, проводившим осмотр энергоустановки, и утверждается его руководителем или по его распоряжению другим должностным лицом.

14. Акт осмотра и разрешение на допуск в эксплуатацию энергоустановки (далее – разрешение на допуск) оформляются в двух экземплярах каждый, один из которых передается заявителю, второй хранится в Службе.

15. Если в течение трех месяцев энергоустановка не будет технологически присоединена к сетям, её допуск в эксплуатацию осуществляется повторно.

16. Для проведения пуско-наладочных работ, если это предусмотрено проектом, выдается разрешение на допуск на период пуско-наладочных работ. Срок действия такого разрешения устанавливается руководителем территориального органа Службы или в соответствии с его распоряжением должностными лицами этого органа, исходя из режима и графика проведения пуско-наладочных работ на энергоустановке.

17. Оформление разрешения на допуск в эксплуатацию энергоустановки для аварийно-восстановительных работ, ликвидации аварийных режимов в работе системы энергоснабжения не требуется. Факт присоединения носит уведомительный характер.

18. Заявление, акт осмотра энергоустановки, разрешение на допуск подлежат регистрации и хранению в Службе.

Порядок регистрации и хранения указанных документов устанавливает руководитель территориального органа Службы.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1
к Порядку организации работ по выдаче разрешения
на допуск в эксплуатацию энергоустановок

(образец)

Руководителю _____

(полное наименование территориального органа Ростехнадзора)

_____

(инициалы и фамилия руководителя)

ЗАЯВЛЕНИЕ
о проведении осмотра и выдаче разрешения на допуск в эксплуатацию электроустановки.

_____

(наименование заявителя, юридический, почтовый адрес, ИНН)

Телефон _____ Факс _____

В лице _____

_____

(должность, Ф.И.О. руководителя)

Для физического лица _____

_____

(почтовый индекс, адрес и телефон)

Паспортные данные _____

_____

(серия, номер паспорта, кем и когда выдан)

Просит произвести проверку документации, осмотр энергоустановки и выдать разрешение на допуск в эксплуатацию _____

_____

(наименование энергоустановки, адрес)

Приложения. Прил.П.32. Порядок организации работ по выдаче разрешений на допуск в эксплуатацию энергоустановок

1. Состав и характеристика электроустановки:

_____

(тип, мощность, напряжение, количество, длина, марка сечение кабеля, провода, характеристика ВЛ.)

Ток плавких вставок предохранителей или уставок автоматов (релейной защиты):

ввод № _____ А, ввод № _____ А, ввод № _____ А,

ввод № _____ А, ввод № _____ А, ввод № _____ А,

_____

(защитная автоматика)

2. Техническая документация:

2.1. Проект (исполнительная схема), разработан _____

_____

(наименование проектной организации (организация-разработчик исполнительной схемы)

2.2. Разрешение на установленную мощность _____ кВА (кВт), № _____, от «____» _____20_____г., выдано _____

_____

(наименование организации, № тел.)

Срок действия _____

2.3. Разрешение на применение электроэнергии на термические цели __ __ 20 __ г. № _____ выдано _____

2.4. Технические условия выданы __ _____ 20___г. _____

_____

(наименование организации выдавшей технические условия)

Действительны до ___ _____20_____г.

Продлены до ____ _____20_____г. _____

_____

(кем, когда, основание)

Выполнены/ не выполнены _____

(№ и дата справки о выполнение ТУ)

2.5. Акт разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности сторон от ___ _____ 20___ г. № _____ выдано _____

3. Акт приемки в эксплуатацию рабочей комиссией, акт технической готовности электромонтажных работ или приемо-сдаточные акты между подрядными организациями и заказчиком от ___ _____ 20_____г. № _____ .

4. Акты на скрытые работы от ____ _____20_____г. № _____

5. Электромонтажные и пусконаладочные работы выполнены _____

_____

(наименование организации)

6. Свидетельство о регистрации электролаборатории № ___ от ___ ____ 20 __г. выдано

_____

(место регистрации)

7. Паспорта (сертификаты) на электрооборудование _____

_____

8. Организация эксплуатации электроустановок:

8.1. Эксплуатация электроустановок осуществляется _____

_____

(наименование организации, дата и № регистрации в Ростехнадзоре)

8.2. Ответственный за электрохозяйство _____

(Ф.И.О., должность)

назначен приказом _____ № _____ от ___ _____ 20 __г.

Проверку знаний норм и правил прошел «__» _____ 20___ г. в комиссии

_____

с присвоением _____ гр. по электробезопасности в электроустановках _____ В.

Удостоверение № _____ от «____» _____ г.

8.3. Достаточность по количеству и квалификации электротехнического персонала _____

8.4. Договор на эксплуатацию электроустановки _____

(наименование организации)

8.5. Состояние электрозащитных средств, их достаточность _____
8.6. Наличие технической документации (да, нет):
- утвержденной принципиальной (однолинейной) электрической схемы _____;
- должностных инструкций _____;
- инструкций по эксплуатации _____;
- бланков нарядов _____;
- списков лиц, имеющих право: выдачи нарядов, оперативных переключений и др.
8.7. Наличие журналов (да, нет):
- оперативного _____;
- проверки знаний _____;
- инструктажа вводного и по охране труда электротехнического персонала _____;
- учета и содержания средств защиты _____;
- противоаварийных тренировок _____;
- учета и содержания электроинструмента _____;
- учета аварий и отказов _____;
- работ по нарядам и распоряжениям _____;
- инструктажа на 1 группу _____;
8.8. Расчет за электроэнергию производится:
По счетчикам (тип): _____ № _____ гос. пов. _____;

Приложение: комплект документации на _____ листах в _____ экз.

Руководитель (заявитель)
_____
«_____» _____ 20 ___ г.
М.П.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 4
к Порядку организации работ по выдаче разрешения на допуск в эксплуатацию энергоустановок

(образец)

НА БЛАНКЕ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ (ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ОРГАНА)

УТВЕРЖДАЮ

_____
Должность лица, утвердившего акт осмотра

_____/_____
Подпись Ф.И.О.

«_____» _____ 20___ г.

_____
Наименование организации (собственник)

_____
Должность, Ф.И.О. руководителя

_____
Юридический и фактический адрес, телефон

ИНН _____

АКТ
ОСМОТРА ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ

№ _____ от «_____» _____ 20 _____ г.

_____
Наименование электроустановки, почтовый адрес

Акт составлен _____
(должностное лицо территориального органа Ростехнадзора)

_____

_____
(Ф.И.О., телефон, наименование организации, адрес)

в присутствии руководителя (заявителя), технического руководителя или ответственного за электрохозяйство _____

(Наименование организации, Ф.И.О., телефон)

в том, что в период с «____» _____ 20___ г. по «____» _____ 20___ г. проведена проверка технической, исполнительной, пуско-наладочной и эксплуатационной документации и осмотр технического состояния _____

(Наименование электроустановки, номера вводов от источника электроснабжения)

В результате установлено:

1. Осмотру предъявлено _____

(Перечень и характеристики электрооборудования, предъявленного к осмотру, тип мощность, напряжение,

количество, длина, марка и сечение кабелей, проводов, характеристики ВЛ. и т.п.)

2. Проект (однолинейная схема) _____
Разработчик _____

3. Разрешение на присоединение мощности № _____ от _____
уст. _____ кВт., един. _____ кВА
Акт разграничения балансовой принадлежности и эксплуатационной ответственности между _____
№ _____ от « ___ » _____г.

4. Категория обеспечения надежности электроснабжения:
по проекту _____
фактически _____

5. Расчет за электроэнергию производится:По счетчикам (тип) :_____ № _____
гос.пов. _____
С измерительными трансформаторами (тип, коэффициент, номинальная нагрузка) _____
Защита на вводах электроустановки выполнена (номинал, тип реле и уставка РЗ, пл.вставка и т.д.)

6. Ответственный за электрохозяйство _____
(Должность, Ф.И.О.)

назначен приказом _____ от _____ № _____
Проверка знаний (дата, группа по Э.Б.) _____

7. Организация эксплуатации и обслуживания электроустановок _____

Обеспеченность обслуживающим персоналом _____

8. Наличие эксплуатационной документации:
8.1. Наличие технической документации (да, нет):
- утвержденной принципиальной (однолинейной) электрической схемы _____;
- должностных инструкций _____;
- инструкций по эксплуатации _____;
- бланков нарядов _____;
- списков лиц, имеющих право: выдачи нарядов, оперативных переключений и др. _____

8.2. Наличие журналов (да, нет):
- оперативного _____;
- проверки знаний _____;
- инструктажа вводного и по охране труда электротехнического персонала _____;
- учета и содержания средств защиты _____;
- противоаварийных тренировок _____;
- учета и содержания электроинструмента _____;
- учета аварий и отказов _____;
- работ по нарядам и распоряжениям _____;
- инструктажа на 1 группу _____;

9. Наличие электрозащитных средств:_____

10. Протоколы испытаний и измерений от « ____ » _____ г.

_____

Свидетельство о регистрации электролаборатории № _____ от _____

Выдано _____

_____

11. Согласование на применение электроэнергии для термических целей № _____ от _____ на _____ кВт.

12. Акт ревизии и маркировании средств учета электроэнергии от _____ № ___

Составленный _____

13. _____

_____

_____

_____

_____

_____

(Другие документы, рассмотренные в ходе осмотра,)

14. Результаты осмотра электроустановки.

_____

_____

_____

_____

_____

Заключение:

Электроустановка отвечает (не отвечает) техническим условиям, требованиям проектной документации, установленным требованиям безопасности, требованиям правил эксплуатации и может быть допущена (не может быть) в эксплуатацию _____

Акт действителен до « ____ » _____ 20__ г.

Если в течение указанного срока электроустановка не будет подключена к сети, ее осмотр осуществляется повторно.

Должностное лицо территориального органа Ростехнадзора:

/_____/_____/

(Подпись, штамп) (Ф.И.О.)

Заявитель (или иной законный представитель): /_____/_____/

(Подпись, штамп) (Ф.И.О.)

ЛИТЕРАТУРА

1. СПДС. ГОСТ21.101–97. Основные требования к проектной и рабочей документации. – М: Госстандарт России, 1998. – 47 с., ил.

2. ЕКСД. ГОСТ 2.104–68. Основные надписи. – М.: Госстандарт СССР, 1970. – 29 с., ил.

3. ЕСКД. ГОСТ 2.301–68. Форматы. – М.: Госстандарт СССР, 1972. – 36 с., ил.

4. ЕСКД. ГОСТ 2.105–95. Общие требования к текстовым документам. – М.: Госстандарт СССР, 1996. – 49 с., ил.

5. ЕСКД. ГОСТ 2.106–96. Текстовые документы. – М.: Госстандарт СССР, 1997. – 42 с., ил.

6. ГОСТ 2.701–84. Схемы: Виды и типы, общие требования к выполнению. – М.: Госстандарт СССР, 1984. – 20с., ил.

7. СПДС. ГОСТ 21.61.4–88. Изображения условные графические электрооборудования и проводок на планах. – М.: Госстандарт СССР, 1988. – 18с.

8. СПДС. ГОСТ 21.002–81. Нормоконтроль проектно-сметной документации. – М.: Госстандарт СССР, 1981. – 4 с.

9. Гетлинг В.В. Чтение схем и чертежей электроустановок. Учебное пособие. – М.: Высшая школа. 1980. – 120 с., ил.

10. СПДС. ГОСТ 21.613–88. Силовое электрооборудование. Рабочие чертежи. – М.: Госстандарт СССР, 1989. – 16 с., ил.

11. СПДС. ГОСТ 21.607–82. Электрическое освещение территорий промышленных предприятий. Рабочие чертежи. – М.: Госстандарт СССР, 1982. – 6 с., ил.

12. СПДС. ГОСТ 21.608–81. Внутреннее электрическое освещение. Рабочие чертежи. – М.: Госстандарт СССР, 1982. – 14 с., ил.

13. ЕСКД. ГОСТ 2.702–75. Правила выполнения электрических схем. – М.: Госстандарт СССР, 1977. – 26 с., ил.

14. ЕСКД. ГОСТ 2.710–81. Правила выполнения схем. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах. – М.: Госстандарт СССР, 1981. – 21 с., ил.

15. ЕСКД. ГОСТ 2.701–96. Общие требования к текстовым документам. – М.: Госстандарт СССР, 1996. – 41 с., ил.

16. ЕСКД. ГОСТ 2.709–89. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах. – М.: Госстандарт СССР, 1990. – 8 с., ил.

17. ЕСКД. ГОСТ 2.414–75. Правила выполнения чертежей жгутов кабелей и проводок. – М.: Госстандарт СССР, 1978. – 5 с., ил.

18. ЕСКД. ГОСТ 2.727–68. Обозначения условные графические в схемах. – М.: Госстандарт СССР, 1972. – 5 с., ил.

19. ЕСКД. ГОСТ 2.723–68. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители. – М.: Госстандарт СССР, 1971. – 11 с., ил.

Литература

20. ЕСКД. ГОСТ 2.732–68. Обозначения условные графические в схемах. Источники света. – М.: Госстандарт СССР, 1971. – 7 с., ил.

21. ЕСКД. ГОСТ 2.768–90. Обозначения условные графические в схемах. Источники электрохимические, электротермические и тепловые. – М.: Госстандарт СССР, 1992. – 4 с., ил.

22. СПДС. ГОСТ 21.614–88. Изображения условные графические. – М.: Госстандарт СССР, 1990. – 16 с., ил.

23. ЕСКД, ГОСТ 2.709–89. Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах. – М.: Госстандарт СССР, 1990. – 8 с., ил.

24. ГОСТ 25372–95. Условные обозначения для счетчиков электрической энергии переменного тока. – М.: Госстандарт РФ, 1996. – 11 с., ил.

25. РД 34.20.185–94. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. – М.: Энергосервис, 1996. – 30 с.

26. ГОСТ 14209–85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. – М.: Госстандарт СССР, 1986. – 28 с., ил.

27. ГОСТ 13.109–97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Энергосервис, 1998. – 60 с., ил.

28. СП–31–110–03. Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий. – М.: Госстандарт РФ, 2004. – 70 с., ил.

29. НПС 0,38–10. Нормы проектирования электрических сетей напряжения 0,38 – 10 кВ сельскохозяйственного назначения. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 40 с.

30. Титов Е.Г. Проектирование электроустановок жилых и общественных зданий и сооружений. – СПб.: ЦКС, 2006. – 124 с., ил.

31. Тищенко Г.А. Осветительные установки. – М.: Высшая школа, 1984. – 248 с., ил.

32. Тульчик И.К., Нудлер Г.И. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 480 с., ил.

33. Гурин Н.А., Янукович Г.И. Электрооборудование промышленных предприятий и установок – Мн.: Высшая школа, 1990. – 238 с., ил.

34. СПДС. ГОСТ 21.101–97. Основные требования к проектной и рабочей документации. – М.: Госстандарт РФ, 1998. – 26 с., ил.

35. НТП ЭПП–94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергосервис, 1995. – 36 с.

36. СП 2.2.1.1312–03. Гигиенические требования к проектированию вновь строящихся и реконструируемых промышленных предприятий. – М.: Минздрав России, 2004. – 22 с.

37. Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг. Постановление Правительства РФ от 27 декабря 2004 г. – №861. – М.: Энергосервис, 2005. – 18 с.

38. Карагодин В.В., Пешехонов Н.Е. Проектирование систем электроснабжения зданий и сооружений объектов МО. – СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2007. – 237 с., ил.

39. Дьяков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию. – М.: Высшая школа, 1992. – 163 с., ил.

40. Беляев А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отделение, 1988. – 172 с., ил.

41. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов. Учебное пособие для студентов учреждений сред. проф. образования. – М.: Издательство «Мастерство», Высшая школа, 2001. – 320 с., ил.

42. ГОСТ 28249–93. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ. – М.: Госстандарт РФ, 1999. – 62 с., ил.

43. РД 153.34.0–20.527–98. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования. – М.: Госстандарт РФ, 2000. – 74 с., ил.

44. Федоров А.А., Старков Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 368 с., ил.

45. Постников Н.П., Рубцов Г.М. Электроснабжение промышленных предприятий: Учебник для техникумов. – 2–е изд. – Л: Стройиздат. Ленингр. отделение. 1988. – 352 с., ил.

46. Маньков В.Д, Заграничный С.Ф. Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток. – СПб.: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2010. – 164 с., ил.

47. Строительные нормы и правила Российской Федерации. Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования. СНиП 23–05–95. – М.: Госстандарт, 1996. – 36 с.

48. Кноринг Г.М. Осветительные установки. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1981. – 288 с., ил.

49. Справочник по проектированию электрических сетей./ под ред.Д.Л. Файбисовича. – 2–е изд. Перераб. и дополн. – М.: ЭНАС, 2007. – 352 с., ил.

50. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 24. Рекомендации по защите низковольтного электрооборудования от импульсных перенапряжений. http://www.energomera.ru – 2009. – 40 с., ил.

51. Roland Caivas. Les perturbations lectriques en BT. // Cahier Technique Schneider Electric, 2001,

52. ГОСТ Р 50571.19-2000 (МЭК 60364-4-443-95) Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Глава 44. Защита от перенапряжений. – М.: Госстандарт РФ, 2001. – 18 с., ил.

53. Нормы испытания электрооборудования. Под общей редакцией С.С. Королева. – М.: Атомиздат, 1979. – 304 с.

54. Christophe Seraudie Surtension en BT. // Cahier Technique Merlin Gerin, 1995, № 179. – 15 p.

55. Сливкин В.Г. Электромагнитная совместимость ЭО информационных технологий при воздействии импульсных электромагнитных помех. // Дисс. канд. техн. наук. – Самара, 2004. – 153 с.

56. Ларионов В.П. Защита жилых домов и производственных сооружений от молнии. Изд. 3. – М.: Энергия, 1974. – 56 с.

57. Устройства защиты от импульсных перенапряжений. TRABTEXCH – 2007. – М.: Phoenix Contact, 2007. – 194 с.

58. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Защитное заземление и зануление электроустановок: Справочник (твердый переплет) – СПб.: Политехника, 2009 г. – 400 с.

59. Маньков В.Д., Заграничный С.Ф. Виды защит, обеспечивающие безопасность эксплуатации электроустановок (в трех частях). Справочное пособие. Шестое изд., испр. и доп. – СПб: НОУ ДПО «УМИТЦ «Электро Сервис», 2010 г. Часть 1. «Общие требования. Основная защита», 108 с.; Часть 2. «Защита при косвенном прикосновении. Дополнительная защита», 108 с.; Часть 3. «Защита при нарушении режимов работы ЭУ», 108 с.