

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.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Утверждено
учебным управлением НХТИ в
качестве учебного пособия для
студентов

С.В. Тиранов

**СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ**

Конспект лекций по курсу

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ
ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ**

Часть 4

Введение

Гидросфера земли составляет приблизительно 1,5 млрд.км³, но 96% ее составляет горько-соленая вода океанов и морей, которые покрывают 71% всей поверхности планеты. Ежедневно с его поверхности испаряется колоссальное количество воды – около 0,5 млн.км³. Около 90% ее возвращается в океан в виде осадков. Остальная, выпавшая над сушей, тоже почти вся в виде рек и ручьев стекает в океан. Только малая часть проникает в почву и пополняет запасы подземных вод.

Кругооборот воды предопределяет климат и условия жизни на земле. Подсчитано, что пары атмосферы обновляются каждые 10 суток, вода в руслах рек – каждые 11 суток (в среднем).

На долю пресной воды приходится примерно 90 млн.км³ (меньше 3%), причем в основном это ледники и подземные "морья". На реки, озера и доступные подземные воды приходится всего лишь 0,3% мирового запаса пресной воды. Из этого видно, как ограничено малы ресурсы пресной воды в мире, насколько важна задача ее защиты и рационального использования.

Развитие цивилизации неразрывно связано с расширением использования воды. Годовое потребление технической воды всей промышленностью страны непрерывно возрастает на 4-5% в год. В настоящее время оно уже значительно превышает потребление на хозяйственно питьевые нужды.

Основной задачей системы водоснабжения является обеспечение населения водой, отвечающей определенным санитарно-гигиеническим требованиям. Кроме того, системы водоснабжения предназначены для удовлетворения потребностей в воде промышленности и сельского хозяйства.

Многочисленные потребители требуют воду как различного качества, так и разное его количество. Количество и качество воды, необходимое каждому предприятию, определяется характером и масштабом его основного производства. В свою очередь, эффективность работы предприятия часто сильно зависит от организации снабжения его водой требуемых параметров.

Прекращение подачи воды даже на несколько минут для многих предприятий означает массовый брак продукции, а часто и аварийный выход из строя отдельных технологических аппаратов и установок.

Подача некачественной воды (грязной, жесткой и т.п.) так же приводит к появлению брака, снижению производительности и экономичности технологических аппаратов, а часто и к аварийному выходу из строя отдельных их элементов.

Рост водопотребления привел во всем мире к количественному и каче-

ственному дефициту пресной воды. Поэтому в современных условиях при решении задач водоснабжения необходим комплексный подход. Это означает, что при разработке систем водоснабжения необходимо:

- а) учитывать интересы различных групп потребителей воды;
- б) предусмотреть рациональное использование воды;
- в) разрабатывать мероприятия по охране источников от загрязнения и истощения;
- г) использовать научно обоснованные нормы водопотребления;
- д) шире внедрять маловодные и безводные технологические процессы;
- е) совершенствовать системы водоснабжения и водное законодательство.

Эксплуатацию и совершенствование систем водоснабжения промышленных предприятий, которые включают в себя насосные станции, очистные сооружения, водоохлаждающие устройства, водопроводы и др. ведут службы Главного энергетика предприятия, комплектуемые выпускниками специальности **XXXXXX – "Промышленная теплоэнергетика"**. Именно инженер-пром-теплоэнергетик должен уметь грамотно и комплексно увязывать работу систем водопотребления, водоснабжения и водоочистки с требованиями технологии производства, с возможностями экономии воды, уменьшения ее загрязнения и сброса.

1. ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ ПРОМПРЕДПРИЯТИЙ И ИСТОЧНИКИ ЕГО УДОВЛЕТВОРЕНИЯ

1.1. Виды водопотребления

Вода расходуется различными потребителями на самые разнообразные нужды. Тем не менее все виды водопотребления можно свести к трем основным категориям.

А. Хозяйственно-питьевое водопотребление.

В этой категории вода расходуется:

- 1) на утоление жажды рабочих и служащих предприятия, приготовления пищи и мытья посуды в столовых и буфетах;
- 2) для помывки рабочих и служащих предприятия в душевых и умывальниках;
- 3) на стирку в заводских прачечных, уборку помещений, цехов и т.п.;
- 4) на полив зеленых насаждений, тротуаров и т.п.

Б. Производственно-техническое водопотребление.

Потребители этой воды сведены в группы. При этом вода расходуется:

- 1) в качестве теплоносителя для охлаждения продуктов производства и технологических аппаратов, с целью обеспечения необходимого температурного уровня либо процессов, либо оборудования.

Например, защита оборудования от прогара, для конденсации паров хладагента в холодильных установках, водяного пара в паротурбинных установках, охлаждения компрессоров и т.п. В этом случае вода обычно не загрязняется, только нагревается.

Эта группа водопотребителей самая значительная, на ряде производств она расходует 70-90% всего количества производственной воды;

- 2) для выработки пара в паровых котлах, системах испарительного охлаждения и других утилизационных установках.

На эту группу потребителей расходуется от 2 до 20% всей производственной воды;

- 3) на промывку различных материалов, машин, деталей, мокрую очистку газов, вентвыбросов и т.п. Вода при этом сильно загрязняется;

- 4) на гидротранспорт, гравитационное обогащение материалов, гидрозолоудаление. Загрязнение тоже сильное, главным образом механическими примесями;

- 5) на приготовление растворов, электролитов и т.п. Это характерно для химической и рудообогатительной (при флотации руд) промышленности, электрохимического производства и т.п.;

б) для комплексного использования. В этом случае вода служит средой охлаждающей, поглощающей, транспортирующей и т.п.

Например, очистка дымовых газов, мокрое тушение кокса, грануляция шлаков и т.д.

На потребителей групп 3) – 6) может расходоваться от 5 до 15% всего количества производственной воды.

В. Пожарное водопотребление.

Вода расходуется на тушение пожаров и внутренних возгораний.

1.2. Требования к качеству воды

Цель использования воды определяет требования к ее качеству.

Для хозяйственно питьевого водоснабжения вода должна соответствовать санитарным нормам, определяемым документом [4], который заменил ГОСТ 2874-84 "Вода питьевая". В соответствии с этими документами питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства.

Иначе говоря, вода должна быть прозрачной, не должна иметь цвета, запахов, дурных привкусов, не должна содержать болезнетворных бактерий. В ней лимитируется содержание микроэлементов (ионов металлов), водородный показатель *pH*.

Не лимитируется температура воды и количество растворенных газов. Содержание солей может достигать до 7 мг-экв/л. Предписывается частота лабораторно-производственного контроля и методы испытаний.

К воде производственных целей требования к качеству различны – в зависимости от группы потребителей.

Основной принцип: вода не должна влиять на качество продукта; не должна образовывать солевых отложений и биологических обрастаний; вызывать коррозию арматуры и трубопроводов; должна обеспечивать необходимое санитарно-гигиеническое состояние рабочих мест.

Для потребителей 1-й группы предельная температура используемой воды не должна превышать 30°C. Оптимальное значение – 15°C.

Эта же вода не должна содержать механических примесей больше 50-100 ; сульфатов – 40; сероводорода – 0,5; масла – 1–2; кислорода – 4–6; сухого остатка – 1000 мг/кг. Карбонатная жесткость воды, подаваемой потребителям этой группы, не должна превышать 2–3 мг-экв/л [1].

Для потребителей 2-й группы вода должна быть химически очищенной. Общее содержание солей не должно превышать 100-2000 мг/кг в зависимости от давления вырабатываемого пара.

Группы 3-я и 5-я требуют отсутствия в воде солей и окислов железа. Вместе с тем практически все группы потребителей производственно-технической воды не предъявляют особых требований к цвету, запаху, привкусу и наличию бактерий.

Для тушения пожаров пригодна вода практически любого качества, но она не должна содержать механических примесей, засоряющих элементы системы, и химических веществ, ухудшающих эффект использования воды.

1.3. Масштабы и режимы водопотребления

1.3.1. Производственно-техническое водопотребление

Вид выпускаемой продукции и объемы ее производства во многом определяют суммарное водопотребление на промышленном предприятии. В значительной степени влияют на это тип используемого оборудования и схема технологического процесса.

Существуют полученные статистикой *удельные нормы расхода воды*. Это расходы воды на единицу продукции по данным передовых предприятий в отдельных отраслях промышленности. Эти нормы приблизительные, они не учитывают специфику конкретного предприятия, и могут быть использованы лишь для прикидочных расчетов.

Например, для получения 1 тонны [3]:

угля, необходимо затратить 3-5 м³ воды;

нефти (только переработка) – 30-50;

стали – 50-150;

чугуна – 150-200;

бумаги – 200-400;

хим. удобрений – 300-600;

х/б тканей – 300-1000;

синтетического волокна – 2500-5000 м³ воды и т.д.

Количество потребляемой воды во многом определяется ее температурой и качеством.

Большой расход воды, а следовательно и ее сброс – это показатель несовершенства технологий и схем водного хозяйства предприятия.

Этот вид водопотребления поддается расчету.

Режим (график) потребления технической воды определяется режимом работы предприятия. Чаще всего это равномерный суточный график. Но могут наблюдаться пики и провалы. Необходимо учитывать сезонное изменение водопотребления (при более холодной воде зимой, меньше и ее потребление).

1.3.2. Хозяйственно-питьевое потребление воды

Процесс этого потребления носит больше случайный характер. Оно сильно зависит от климатических условий и степени санитарно-технического благоустройства. Графики потребления очень неравномерны и практически не прогнозируемы. Можно оценить лишь максимумы потребления. При определении расчетных расходов воды в городах и населенных пунктах следует пользоваться документом [6].

Расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды и пользование душами на промышленных предприятиях должны определяться в соответствии с требованиями строительных норм и правил СНиП 2.04.01-85 и СНиП 2.09.02-85. В них даются нормы расхода воды на каждого рабочего и служащего, в зависимости от условий их работы.

Так, например, общий расчетный часовой расход воды на хозяйственно-питьевые нужды $Q_{ХП}^p$, м³/ч, на промышленном предприятии могут быть определен как сумма:

$$Q_{ХП}^p = Q_{ум}^p + Q_{д}^p + Q_{п}^p + Q_{с}^p, \quad (1.1)$$

где

$Q_{ум}^p$ – расход воды на утоление жажды и мытье рук;

$Q_{д}^p$ – расход воды в душевых предприятия;

$Q_{п}^p$ – расход на полив территории;

$Q_{с}^p$ – расход воды в столовых предприятия.

Считается нормой, при обычных условиях работы, расход воды на одного работника (рабочего или служащего) - $q_{ум}=25$ лит. воды в смену.

Для горячих цехов (с тепловыделением более 84 кДж на каждый 1м³ объема цеха) эта норма $q_{ум}^{Г.Ц}=45$ лит. в смену. Есть в СНиПе более точная методика оценки этих расходов.

Расход воды в душевых оценивается из расчета $q_{д}=500$ л/ч на одну душевую сетку. Количество сеток определяется по нормативу в соответствии с численностью работников. Длительность работы душевых принимается 0,75 часа после каждой смены.

Расход воды на полив территории оценивается из расчета 0,3 л/м² – для машинного полива дорог до 6 л/м² для ручного полива газонов и цветников.

Расход воды в столовых определяется из средней нормы расхода воды на одно блюдо $q_{с}=12$ л/блюдо.

1.3.3. Расход воды на тушение пожаров

На пожаротушение расход воды согласно [6] назначают в зависимости от пожарной опасности объекта и его значимости. Норма расхода воды на тушение одного пожара принимается в пределах от 10 до 40 л/с в зависимости от степени огнестойкости зданий (I-V), категории производства по пожарной опасности (А, Б, В, Г, Д) и объема зданий (от 3 до 400 и более тыс. м³).

Продолжительность тушения пожара в большинстве случаев принимается равной 3 ч. Для особо ответственных предприятий нормы устанавливаются органами Государственного пожарного надзора.

1.4. Источники водоснабжения

Потребности предприятий в воде всех категорий потребителей удовлетворяются из природных источников. Эти источники должны отвечать следующим требованиям:

- а) обеспечивать бесперебойное получение требуемого количества воды с учетом перспективы развития предприятия;
- б) подавать воду требуемого качества или позволять достигнуть его за счет простой и дешевой обработки исходной воды;
- в) обеспечить возможность подачи воды с наименьшими затратами;
- г) обладать такой мощностью, чтобы расчетный отбор не нарушал экологическую систему.

Для водоснабжения промышленных предприятий используются *поверхностные* (реки, озера, моря) и *подземные* (родники, грунтовые воды) источники.

Воды рек обладают значительной мутностью (содержание взвешенных частиц может достигать 12000 мг/л), высоким содержанием органических веществ и бактерий. Но, как правило, обладают небольшой жесткостью.

Воды озер маломутны, но спектр минерализации очень широк.

Качество воды в реках и озерах сильно зависят от атмосферных осадков и таяния снегов. В паводок растет мутность, загрязненность, но соленодержание снижается.

Подземные воды прозрачны, имеют низкие температуру и бактериальную загрязненность, но сильно минерализованы.

Рекомендуется для систем технического водоснабжения использовать воду поверхностных источников с простейшей очисткой или даже без нее. В некоторых случаях можно использовать морскую воду или даже очищенные стоки городов.

Подземные воды на промышленных предприятиях предпочтительно

использовать для хозяйственно-питьевых нужд. Часто для этих целей используется вода городского водопровода. Использовать водопроводную воду для технических нужд не рекомендуется. Это отрицательно сказывается на водоснабжении жилых районов города.

Водоснабжение из поверхностных источников пока самое распространенное и наиболее простое. Как правило, даже для нужд хозяйственно-питьевого водоснабжения требуется только осветление и обеззараживание.

Осветление – это освобождение от взвешенных частиц. Достигается фильтрацией воды.

Обеззараживание – это хлорирование или озонирование воды, при котором гибнут содержащиеся в ней бактерии.

Однако с ростом потребления воды наземные и подземные источники пресной воды уже не могут удовлетворить все растущие потребности народного хозяйства. Все чаще приходится обращаться к запасам высокоминерализованных морских или озерных соленых вод. В мире уже эксплуатируется более 800 опреснительных установок, которые вырабатывают 1,7 млн м³ пресной воды в сутки. Около 90% ее идет на питьевые нужды. Для доведения воды до питьевого качества дистиллят смешивают с артезианской соленой водой.

Княжество Кувейт в Персидском заливе богато нефтью, но нет воды. Раньше воду возили из Ирана и нефть была дешевле воды. Сейчас Кувейт – крупнейший производитель пресной воды (более 212 тыс. м³/сутки). Опреснение ведется термическим способом с использованием попутного газа при нефтедобыче.

Имеют опреснительные установки Австралия, страны Ближнего Востока, северной Африки, Латинской Америки, районов Карибского моря, многие острова Тихого и Атлантического океанов. Большие успехи в Японии, где промышленные 50-ступенчатые установки производят 100 тыс. м³ пресной воды в сутки.

Опреснять соленую воду можно и путем ее замораживания. При медленном охлаждении сначала образуются кристаллы пресного льда. Если их отделить и растопить, то получим воду питьевого качества.

Перспективно опреснение методом электродиализа, где ионы солей удаляются из раствора воздействием поля постоянного тока. Такие установки работают на ряде железнодорожных станций и ТЭЦ Казахстана.

Перспективен также метод обратного осмоса. Действующие установки имеются в США.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

2.1. Основные элементы системы водоснабжения

Система водоснабжения – это комплекс сооружений для обеспечения потребителей водой в требуемых количествах и требуемого качества.

В состав системы водоснабжения входят следующие сооружения:

- а) водоприемные сооружения (водозабор);
- б) водоподъемные сооружения (насосные станции);
- в) сооружения для очистки, обработки и охлаждения воды;
- г) водоводы и водопроводные сети;
- д) башни и резервуары. Это регулирующие и запасные емкости для сохранения и аккумуляции воды.

На состав и схему системы водоснабжения большое влияние оказывают местные природные условия, источник водоснабжения и характер потребления воды. Поэтому в некоторых случаях могут отсутствовать те или иные сооружения. Например, в самотечных системах отсутствуют насосные станции, в системах водоснабжения от артезианских скважин нет очистных сооружений, при равномерном графике потребления не устанавливают водонапорные башни или резервуары и т.п.

На предприятиях может быть несколько систем водоснабжения одновременно. Например, отдельно системы производственно-технического, хозяйственно-питьевого назначения.

Систему противопожарного водоснабжения обычно объединяют с какой-либо другой. Чаще всего с хозяйственно-питьевой в силу ее разветвленности. Но может быть создана и отдельная противопожарная система.

Рассмотрим схемы взаимосвязи основных сооружений в четырех основных вариантах систем водоснабжения.

2.2. Прямоточная система водоснабжения

Прямоточная система применяется для хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения. В некоторых случаях применяется и для производственно-технического водоснабжения.

На рис.2.1 приведена схема взаимосвязи основных элементов в прямоточной системе водоснабжения. Именно по такой схеме осуществляется водоснабжение городов, поселков и других населенных пунктов.

При работе этой системы вода забирается из источника с помощью водозаборного устройства 1 и подается насосами насосной станции 1-го подъема (НС 1) на очистные сооружения 3.1. Здесь обычно вода идет самотеком. Очищенная до необходимого качества она собирается в резервуаре очищен-

ной воды 4.1. Отсюда насосами насосной станции 2-го подъема (НС 2) вода по водоводам 5 подается на территорию предприятия. Из водоводов вода попадает в водопроводную сеть 8 и подается потребителям 7.1-7.6.

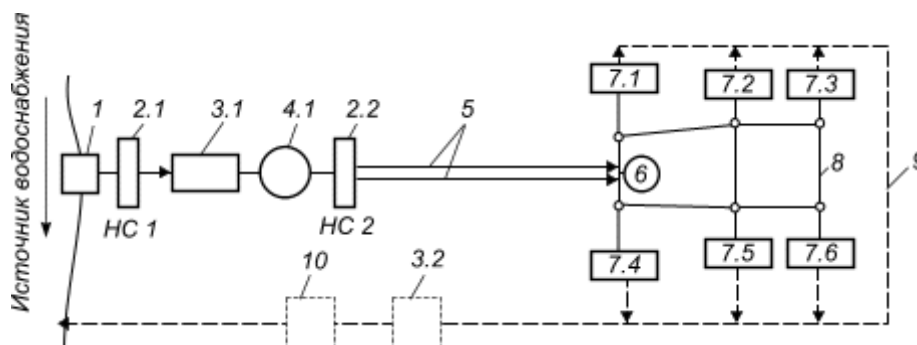


Рис.1.1. Схема прямооточной системы водоснабжения:

1 – водозабор; 2.1 – насосная станция 1-го подъема; 3.1 – очистные сооружения природной воды; 3.2 – очистные устройства для загрязненных стоков; 4.1 – резервуар чистой воды; 5 – водоводы; 6 – водонапорная башня (резервуар); 7.1-7.6 – потребители воды (цеха, здания); 8 – водопроводная сеть; 9 – сеть трубопроводов для сбора отработавшей воды; 10 – водоохлаждающее устройство.

Присоединенная к сети регулирующая емкость 6 позволяет сглаживать влияние пиков водопотребления на работу насосов НС 2. Она может быть установлена в любой точке водопроводной сети.

Вся отработавшая вода сбрасывается в источник ниже (по течению) места забора воды. При необходимости эта вода очищается и охлаждается перед сбросом. В этом случае в системе предусматриваются устройства 3.2 и 10.

Недостатки прямооточной системы водоснабжения:

а) производительность всех элементов приходится выбирать из условия покрытия максимума суточного расхода. Это увеличивает размеры сооружений и мощности всех элементов системы, что удорожает ее. Возрастает и удельный расход энергии из-за работы насосных агрегатов большую часть времени в нерасчетном режиме;

б) необходим источник с достаточным дебитом воды. Часто он удален от предприятия и приходится сооружать длинные водоводы. Это тоже ведет к удорожанию и снижению надежности системы;

в) в прямооточной системе вся отработавшая вода сбрасывается в природные водоемы. Эти водоемы должны обладать способностью поглощать эти сбросы без нарушения экологического равновесия.

Прямоточная система обеспечивает подачу наиболее качественной воды. Она единственно возможна там, где исключается повторное использование воды. Это в хозяйственно-питьевом и противопожарном водоснабжении.

В техническом водоснабжении часто можно обходиться без очистных сооружений, что удешевляет систему и увеличивает ее надежность.

2.3. Система с повторным использованием воды

Такая система применяется в том случае, если есть потребитель с большим расходом, сбросная вода которого по количеству и по качеству может удовлетворять всех остальных потребителей. Схема такой системы приведена на рис.2.2.

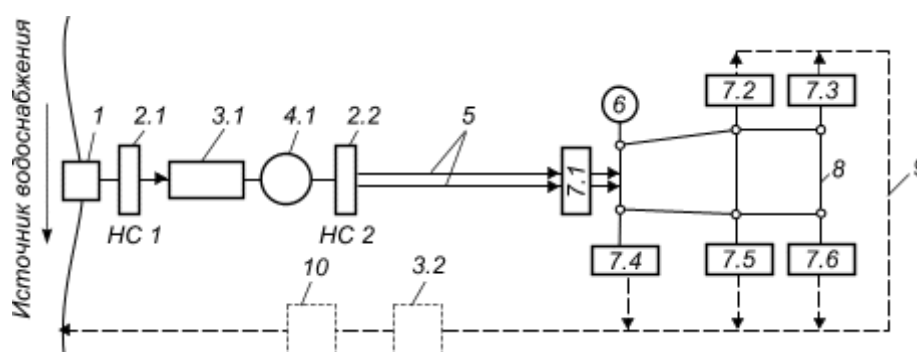


Рис.2.2. Схема системы водоснабжения с повторным использованием воды

Обозначения элементов на этой схеме такие же как и на рис.2.1.

По существу это тоже прямоточная система, но, в данном случае, здесь из источника забирается только то количество воды, которое необходимо потребителю 7.1. Остальные используют его сбросную воду.

Достоинства:

- а) система позволяет сократить забор природной воды и, следовательно, сброс стоком;
- б) удешевляются практически все элементы системы, так как снижаются их производительности.

2.4. Обратная система водоснабжения

Оборотная схема обладает еще большими возможностями в удешевлении системы технического водоснабжения. Это достигается сокращением потребления свежей воды и сброса загрязненных стоков.

За создание оборотных систем говорит то обстоятельство, что 75-85% технической воды в технологических аппаратах только нагревается. И, сле-

довательно, после охлаждения она может вновь использоваться.

Один из вариантов схем оборотных систем водоснабжения приведен на рис.2.3.

В этой системе можно использовать и ту техническую воду, которая загрязняется легко удаляемыми примесями. Для этого систему необходимо оснастить очистными устройствами для загрязненных стоков 3.2. Прошедшая очистку вода насосами оборотной воды 2.3 подается в водоохлаждающее устройство 10, после чего она попадает в сборный резервуар 4.3. Отсюда вода насосами станции 2-го подъема снова подается через водопроводную сеть потребителям.

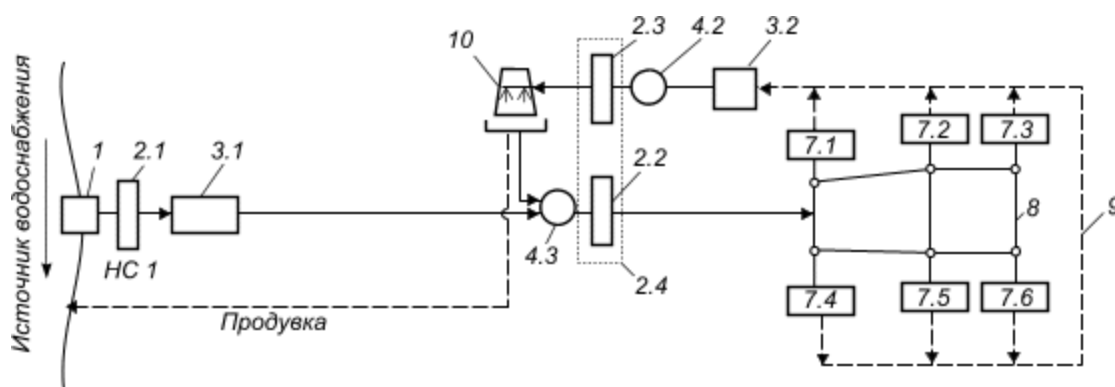


Рис.2.3. Схема оборотного производственно-технического водоснабжения: 1 – водозабор; 2.1 – насосная станция 1-го подъема; 2.2 – насосная станция 2-го подъема; 2.3 – насосная станция оборотной воды; 2.4 - циркуляционная станция; 3.1 – очистные устройства природной воды; 3.2 – очистные устройства загрязненных стоков; 4.2 – резервуар очищенной теплой воды; 4.3 – сборный резервуар очищенной и охлажденной воды; 7 – потребители воды; 8 - водопроводная сеть; 9 – сеть для сбора отработанной воды; 10 – водоохлаждающее устройство.

При работе системы часть воды теряется с уносом – $Q_{ун}$, испарением – $Q_{исп}$, утечкой – $Q_{ут}$, продувкой – $Q_{пр}$ и за счет сброса в канализацию части воды, которая не может быть использована повторно – $Q_{сбр}$. Для компенсации этих потерь из природного источника забирается соответствующее количество свежей воды – $Q_{ист}$. Это количество оценивается с помощью материального баланса системы:

$$Q_{ист} = Q_{ун} + Q_{исп} + Q_{ут} + Q_{пр} + Q_{сбр} \quad (2.1)$$

Величина продувки $Q_{пр}$ находится из солевого баланса оборотной воды (см. подраздел).

Количество добавляемой воды составляет примерно 5-10% от общего количества потребляемой воды на производстве. То есть в 10-20 раз сокра-

щается забор воды из источника по сравнению с прямоточной системой.

Преимущества оборотной системы:

а) снижаются затраты на сооружение водозаборных устройств, насосной станции 1-го подъема, водоводов, очистных сооружений природной воды;

б) снижаются сбросы загрязненной воды в водоемы.

Дополнительные затраты на водоохлаждающие устройства, очистные сооружения стоков, насосной станции оборотной воды быстро окупаются даже без учета экологических преимуществ.

Все оборотные системы подразделяют на локальные, централизованные и смешанные.

В *локальных системах* вода после восстановления потребительских качеств используется в обороте одного (или последовательно в нескольких) технологических процессах.

В *централизованных оборотных системах* отработавшая вода собирается со всех производств, проходит обработку (очистку, охлаждение) единым потоком и опять возвращается на производство.

При *смешанном водоснабжении* воды одной оборотной системы используются в другой оборотной системе. Например, из охлаждающей системы вода поступает в экстрагенную, из экстрагенной системы – в транспортирующую и т.д.

Если оборотная система работает без какого-либо сброса воды в источник, то она является замкнутой. Замкнутые системы – наиболее экологически чистые.

Техническое совершенство системы оборотного водоснабжения может быть оценено *коэффициентом использования оборотной воды* $k_{об}$:

$$k_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{св}}. \quad (2.2)$$

В ряде отраслей (химическая, черная металлургия, нефтеперерабатывающая) этот коэффициент достигает значений 0,85-0,9.

Рациональность использования воды, забираемой из источника, оценивается *коэффициентом использования свежей воды* $k_{св}$:

$$k_{св} = \frac{Q_{св} - Q_{сб}}{Q_{св}}. \quad (2.3)$$

Здесь $Q_{об}$ – расход оборотной воды в системе; $Q_{св}$ – количество свежей воды, забираемой из источника; $Q_{сб}$ – количество сточных вод, сбрасываемых в водоем.

Для замкнутых систем $k_{св}=1$, для оборотных систем $k_{об}$ и $k_{св}$ всегда меньше единицы.

2.5. Бессточные системы водоснабжения

Благоприятные перспективы для перехода к бессточным системам водоснабжения создаются при замене технологических процессов с потреблением воды на безводные. Например, замена мокрой очистки газов – сухой; гидротранспорт – пневмотранспортом; переход на воздушное оборотной воды в сухих градирнях; замена водоохлаждаемых конденсаторов холодильных машин – воздухоохлаждаемыми и т.п.

Важным вкладом является совершенствование технологического оборудования. Это сокращение утечек в воду сырья, нефтепродуктов и других веществ, затрудняющих их очистку.

Бессточные системы водоснабжения удобнее всего создавать с каскадным использованием продувочной воды. Пример такой схемы представлен на рис.2.4.

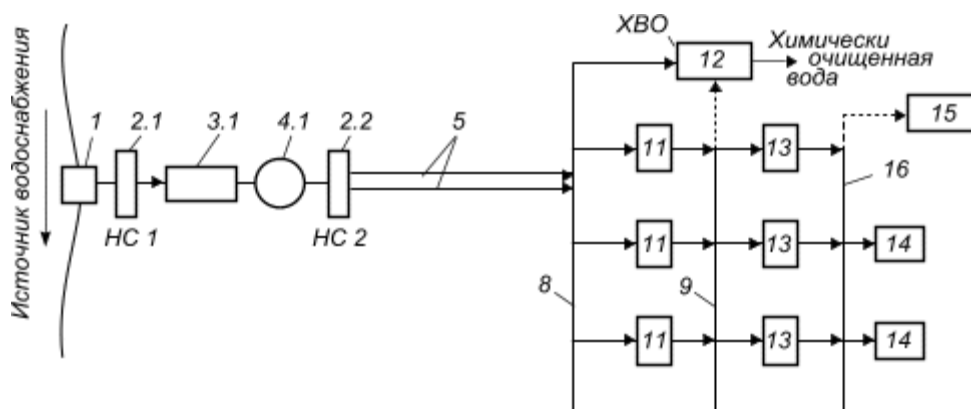


Рис.2.4. Схема бессточной системы водоснабжения с каскадным использованием продувочной воды: 1 – водозабор; 2.1 – насосная станция 1-го подъема; 3.1 – очистные сооружения природной воды; 4.1 – резервуар чистой воды; 5 – водоводы; 8 – водопроводная сеть; 9 – сеть для сбора отработанной воды и продувок "чистого" цикла; 11 – локальные оборотные системы "чистого" цикла; 12 – химводоочистка; 13 – локальные оборотные системы "грязного" цикла; 14 – технологические потребители расходуящую воду без остатка; 15 – станция обезвреживания стоков; 16 – трубопроводы продувочной воды из оборотных систем "грязных" циклов.

Эта бессточная система организована на основе объединения автономных локальных оборотных систем цехов и производств в общую (единую) схему использования технической воды на предприятии.

Локальные системы должны иметь свои водоохлаждающие устройства, водоочистку, устройства для уничтожения или доочистки шламов и продувочных вод. Это удобно, так как в каждой локальной системе свои загрязнения и свои методы очистки.

В таком случае все локальные системы делят на группы по качеству используемой воды.

В *1-ю группу* включают "чистые" циклы. Они обслуживают потребителя с наивысшими требованиями к воде (по примесям и температуре). Это ТЭЦ, компрессорные установки, холодильные и кислородные станции, цеха с большим количеством кожухотрубных теплообменников и т.п., то есть там, где накипь и отложения могут существенно снизить эффективность технологических процессов.

В этих циклах вода не загрязняется. Качество ее зависит от добавочной воды и величины продувки.

Во *2-ю группу* включают локальные оборотные системы "грязных циклов", то есть там, где вода соприкасается с технологическим продуктом. Ее качество определяется примесями от продукта, а не качеством подпитки системы. Это технологическая очистка газов, гидротранспорт различных материалов, охлаждение материалов поливом или погружением, промывка после крашения, травления и др.

Последнюю, *3-ю группу* образуют технологические потребители расходующие воду безвозвратно и для которых качество воды не имеет существенного значения. К ним можно отнести установки мокрого тушения кокса и шихты, гидрообеспыливание помещений, грануляцию шлака, производство бетона и др.

Работает бессточная система следующим образом (см. рис.2.4.). Вода из источника через водозабор, насосные станции 1-го и 2-го подъема по водоводам подается в сеть чистой воды 8. По этим трубопроводам свежая вода подается на химводоочистку 12 и на все производства, где требуется свежая вода.

Подпитка "чистых" циклов – только свежей водой. Продувочная вода этих оборотных систем через систему трубопроводов 9 обеспечивает подпитку оборотных систем "грязных" циклов. Здесь потребление свежей воды сведено к минимуму.

Продувочная вода "грязных циклов" подается к потребителям 14, потребляющих воду безвозвратно.

Если балансы циклов неблагоприятны, то есть имеются излишки продувочной воды "чистого цикла", то эти излишки могут быть направлены в

ХВО (12) вместо свежей для получения питательной воды котлов или систем испарительного охлаждения. При излишках продувочных вод "грязного цикла" их направляют на станцию обезвреживания стоков 15. Там, в зависимости от состава загрязнений, их выпаривают, сжигают и т.п.

Перевод системы производственно-технического водоснабжения промышленных предприятий на бессточный режим – основной метод их совершенствования.

2.6. Водоснабжение промышленных предприятий от городского водопровода

Хозяйственно-питьевой водопровод промышленного предприятия, размещенного в черте города, получает воду от общего городского или районного водопровода.

Подача воды из городской сети в хозяйственно-питьевой водопровод предприятия осуществляется по двум или нескольким вводам из различных магистральных линий городской водопроводной сети. В зависимости от напора воды в городской сети используют различные схемы подключения внутризаводской сети к городскому водопроводу.

Если требуемый свободный напор сети предприятия превышает напор городской сети, то ставят повысительные насосные станции, а иногда и регулирующие емкости. Эти емкости позволяют забирать равномерно воду из городского водопровода в течение суток, а подавать в сеть предприятия по заданному графику. Варианты таких схем подключений приведены на рис.2.5.

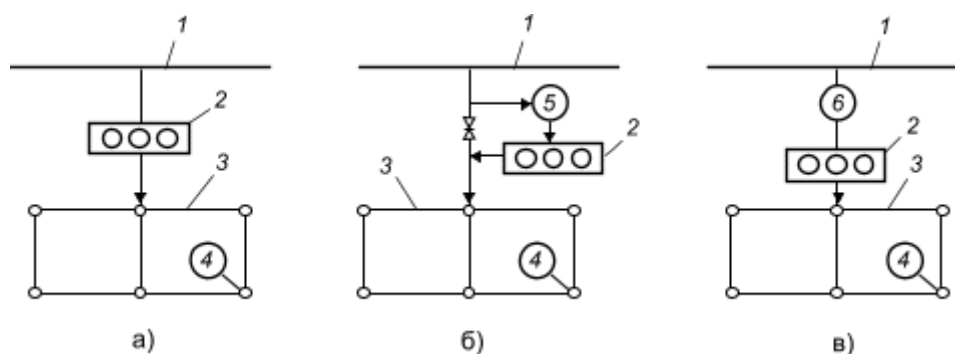


Рис.2.5. Схемы подключения хозяйственно-питьевого водопровода предприятия к городскому водопроводу: а) – через насосы – повысители напора; б) – через насосы и запасную емкость; в) – через насосы и регулируемую емкость; 1 – городская магистраль водопроводной сети; 2 – насосная станция с повысительными насосами; 3 – водопроводная сеть предприятия; 4 – водонапорная башня; 5 – запасная емкость; 6 – регулирующая емкость.

Хозяйственно-питьевой водопровод предприятия может быть объединен с производственным, если требования к воде одинаковы. Но на мелких

предприятиях такое объединение может оказаться экономически целесообразным, даже если качество питьевой воды не требуется. Строить самостоятельный производственный водопровод дороже.

2.7. Система противопожарного водоснабжения

Эти системы предназначены для обеспечения пожарной безопасности людей, технологического оборудования, материальных ценностей, зданий и сооружений.

По способу создания напора противопожарные водопроводы подразделяют на следующие типы:

- постоянно высокого давления;
- высокого давления, повышаемого только во время пожара;
- низкого давления.

Противопожарный водопровод постоянно высокого давления строят редко. Так как он требует больших материальных затрат (высокая водонапорная башня, отдельная пневматическая установка).

Пожарный водопровод высокого давления с повышением давления во время пожара строят на предприятиях с повышенной пожароопасностью. Это бумажные комбинаты, нефтеперерабатывающие комплексы и т.п. Этот водопровод объединяют с хозяйственно-питьевым водопроводом предприятия. При пожаре в промышленном водопроводе давление остается без изменения и не нарушаются производственные процессы.

Объединение пожарного и хозяйственно-питьевого водопроводов целесообразно, так как хозяйственно-питьевой водопровод более разветвлен и охватывает большую часть территории предприятия. В таких системах на улице размещают гидранты, в зданиях – пожарные стояки с пожарными кранами. Начальный напор (от башни) достаточен для тушения пожаров в начальной стадии. После пуска пожарных насосов башни отключаются, так как напор, развиваемый насосами, превышает высоту водонапорного бака.

Пожарный водопровод низкого давления, объединенный с производственным, строят на производствах, где пожарный расход мал по сравнению с производственным и он не снижает давления в системе.

Часто разделяют сети. Для наружного пожаротушения используют объединенный пожарно-производственный водопровод низкого давления. Для тушения внутренних возгораний используют хозяйственно-питьевой водопровод. Эта схема рациональна, но напор в сети низкого давления должен быть не ниже 10 м.

Выбор той или иной схемы зависит от характера производства, занимаемой территории и других местных условий.

3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

3.1. Суточные графики водопотребления

Для проектирования системы водоснабжения, выбора состава оборудования и размеров сооружений необходимо правильно определить расчетные режимы работы каждого элемента системы. Это означает, что надо знать расчетные расходы воды, значения напоров (давлений) во всех точках схемы, а также максимальные и минимальные значения температуры воды в системе.

Очевидно, что все сооружения должны быть рассчитаны на работу в условиях наибольших нагрузок.

Как правило системы водоснабжения проектируются с перспективой, не менее чем на десять лет. Считается, что в пределах этого срока (очереди) элементы системы не претерпевают изменений. Нарастает только нагрузка. Таким образом, *расчетным годом* для проектирования системы является последний год данной очереди развития.

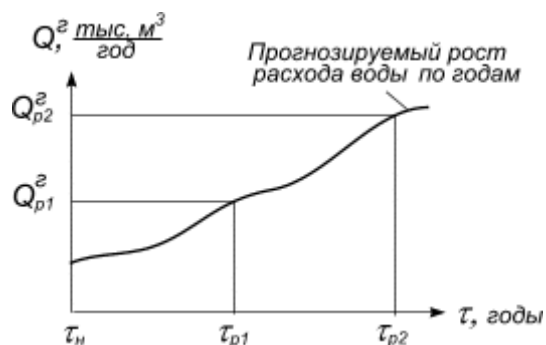


Рис.3.1. Прогнозируемый график роста водопотребления по годам развития предприятия и выбор расчетного года проектирования и реконструкции системы водоснабжения

Принятые на рис. 3.1 обозначения: τ_n — момент пуска новых сооружений; τ_{p1} — расчетный срок расширения, реконструкции 1-й очереди; τ_{p2} — расчетный срок реконструкции 2-й очереди; Q_{p1}^r — проектная годовая производительность системы 1-й очереди развития; Q_{p2}^r — то же, для 2-й очереди развития.

Потребление воды в году неравномерное, поэтому для расчетного года определяются среднесуточные расходы: средний — S_{cp} ; наибольший — S_{max} ; наименьший — S_{min} . Это суточные потребления воды в году. Они определяются: для производственно-технического потребления — расчетом; для хозяйственно-питьевого — по СНиПу.

Основным расчетным параметром является наибольший среднесуточный расход $S_{\text{макс}}$. Однако его недостаточно. Чтобы правильно выбрать число насосов, устанавливаемых на насосной станции 2-го подъема, необходимо знать еще и суточную неравномерность потребления.

Фактическая суточная неравномерность водопотребления может быть значительной, особенно в системе хозяйственно-питьевого назначения. Поэтому для упрощения расчетов эта неравномерность оценивается почасовым суточным графиком водопотребления.

Почасовой суточный график водопотребления представляет собой ступенчатую диаграмму. Считается, что расход воды в течение часа постоянен, то есть не учитывается фактическое изменение потребления воды в течение часа. Практика показала, что это допущение не вызывает каких либо нарушений в работе системы водоснабжения. Примеры таких графиков приведены на рис.3.2.

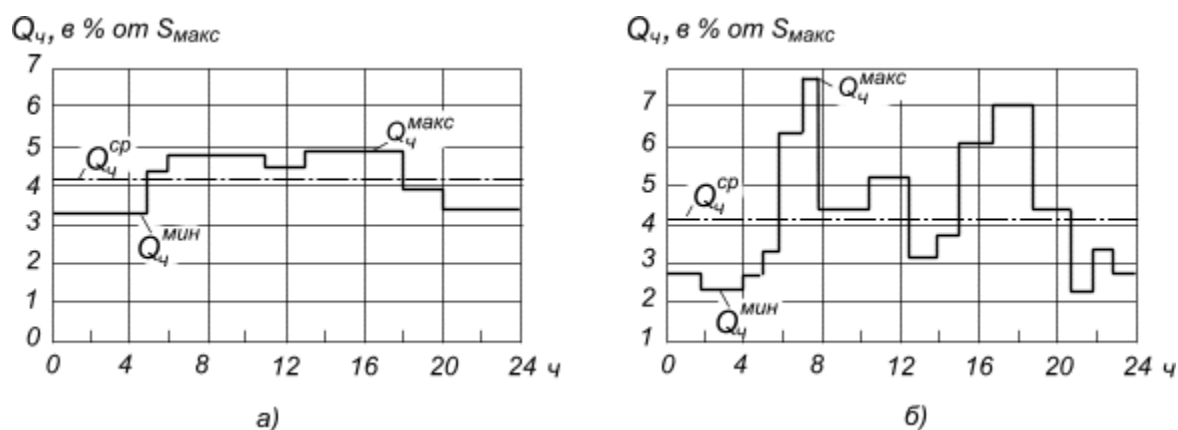


Рис. 3.2. Примеры графиков суточного водопотребления промпредприятия: а) – в системе производственно-технического водоснабжения; б) – в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения

На этих графиках: по оси ординат указан почасовой расход $Q_{\text{ч}}$ в процентах от наибольшего среднесуточного расхода $S_{\text{макс}}$; $Q_{\text{ч}}^{\text{макс}}$ – наибольший часовой расход в сутках максимального водопотребления; $Q_{\text{ч}}^{\text{мин}}$ – минимальный часовой расход; $Q_{\text{ч}}^{\text{ср}} = \frac{100\%}{24} = 4,17\%$ – среднечасовой расход за сутки. По величине $Q_{\text{ч}}^{\text{макс}}$ рассчитываются необходимые диаметры трубопроводов водопроводных сетей.

3.2. Взаимосвязь графика потребления воды с работой основных сооружений системы водоснабжения

3.2.1. Связь по расходам.

Связь по расходам позволяет определять:

- количество и производительности насосов, устанавливаемых на насосных станциях;
- диаметры трубопроводов на всех участках системы водоснабжения;
- размеры сооружений и режимы работы всех элементов системы.

Рассмотрим, для примера, режимы работы сооружений системы водоснабжения (см. рис.3.3), подающей воду в сеть предприятия.

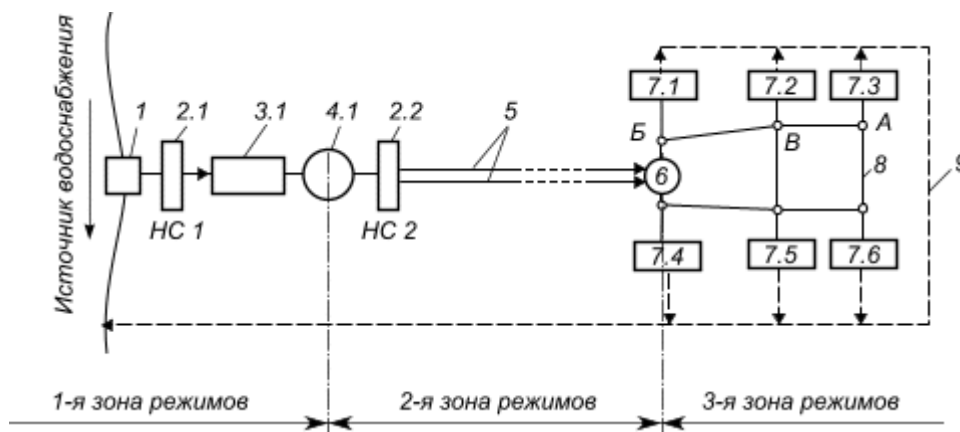


Рис.3.3. Принятая схема системы водоснабжения предприятия

Пусть будут установлены основные параметры системы, то есть известны:

- состав и взаимное расположение основных сооружений системы, выполнена трассировка водоводов и водопроводной сети;
- определены расчетные значения суточных расходов $S_{\text{ср}}$, $S_{\text{макс}}$ и $S_{\text{мин}}$;
- задан почасовой суточный график водопотребления, см. рис.3.4. Он отражает изменение почасового расхода воды в пределах суток наибольшего водопотребления $S_{\text{макс}}$.

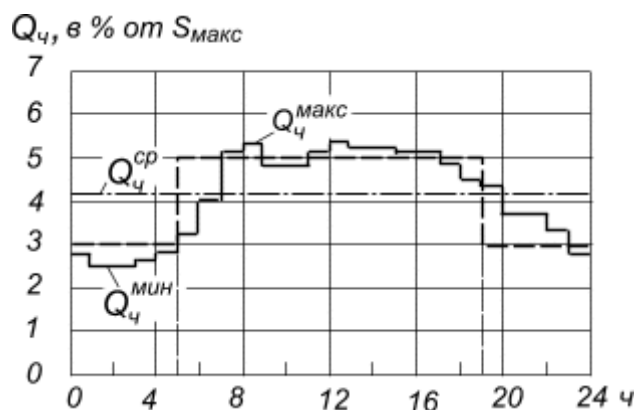


Рис.3.4. Графики потребления и подачи воды в системе:
 — — — — — почасовой суточный график водопотребления;
 — · — · — · — среднечасовое потребление воды $Q_{\text{ч}}^{\text{ср}} = 4,17\%$;
 — — — — — график подачи воды от насосной станции 2-го подъема

Активные элементы системы водоснабжения – насосные станции. Они обеспечивают движение воды в системе.

Задача насосной станции 1-го подъема (НС1) – подача суточного расхода воды на очистные сооружения из источника. Режим работы водозабора, НС1 и очистных сооружений принимается равномерным в течение суток. То есть каждый час подается 4,17% от $S_{\text{макс}}$ чистой воды в сборный резервуар. Именно из этих условий определяются производительности и мощности этих элементов, что обеспечивает минимальные затраты на их сооружение.

Производительность насосов НС1 для систем технического водоснабжения в таком случае составляет

$$Q_{\text{T}}^{\text{НС1}} = Q_{\text{T}}^{\text{ср}} + \Delta Q_{\text{с.н}}^{\text{о.с}}, \quad (3.1)$$

а для хозяйственно-питьевой системы

$$Q_{\text{ХП}}^{\text{НС1}} = Q_{\text{ХП}}^{\text{ср}} + \Delta Q_{\text{с.н}}^{\text{о.с}} + \frac{3Q_{\text{пож}}}{24}, \quad (3.2)$$

где $Q_{\text{T}}^{\text{ср}}$, $Q_{\text{ХП}}^{\text{ср}}$ – средние расходы воды за 1 час в производственно-технической и хозяйственно-питьевой системах водоснабжения;

$\Delta Q_{\text{с.н}}^{\text{о.с}}$ – расходы воды на собственные нужды очистных сооружений;

$Q_{\text{пож}}$ – часовая потребность воды на тушение пожаров. Запас воды, израсходованный за 3 часа пожара должен быть восстановлен за 24 часа после пожара.

Из резервуара 4.1 (см. рис.3.3) вода забирается насосами НС2 и подается к объекту снабжения. Производительность насосов будет зависеть от характера графика подачи. Ясно, что график подачи воды этими насосами не должен сильно отличаться от режима потребления. И в то же время он не может точно следовать ему. Поэтому график работы НС2 принимается ступенчатым, обычно 2-3 ступени.

Таким образом, емкость 4.1 является границей двух зон системы, работающих с разными режимами, т.е. является 1-й регулирующей емкостью.

Какой бы график подачи воды насосами НС2 не выбирался, количество подаваемой воды за сутки должно быть равно суточному ее расходу, т.е. $S_{\text{макс}}$. Но в отдельные часы суток подача и расход, как правило, не совпадают. При избытке подачи – вода накапливается в резервуаре (башне) 6. В обратном случае – отбор воды складывается из подачи насосов и расхода из башни.

Таким образом, 2-й регулирующей емкостью является водонапорная башня (резервуар) 6. Она тоже является границей двух режимных зон.

Очевидно, что можно составить любое число вариантов графиков подачи, при которых суточная подача будет равна суточному потреблению $S_{\text{макс}}$.

Предположим, что на НС2 установлены два одинаковых центробежных рабочих насоса. Насосы подключены параллельно (резерв не учитываем), что может обеспечить двухступенчатый график подачи. На рис.3.5 приведена характеристика одного насоса и суммарная характеристика 2-х параллельно работающих на сеть агрегатов.

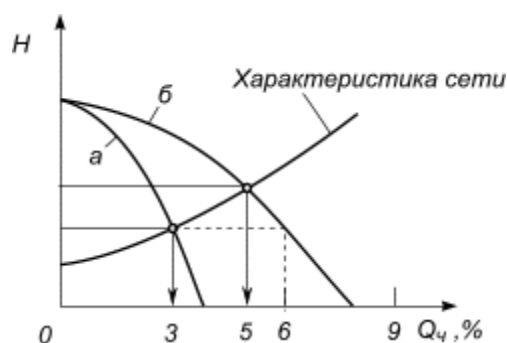


Рис.3.5. Зависимости развиваемого напора от производительности в центробежных насосах:

- а) – одного насоса;
- б) – двух параллельно работающих насосов

В соответствии с характеристиками подача одного насоса при работе в сети составляет 3% от $S_{\text{макс}}$. Подача двух насосов – 5%.

Тогда суточная подача может быть получена, на при таком сочетании режимов работы насосов НС2:

$$3\% \cdot \tau_1 + 5\% \cdot \tau_2 = 100\%, \quad (3.3)$$

где τ_1 – время работы одного насоса в сутки, час;

τ_2 – время работы двух насосов одновременно, час;

$$\tau_1 + \tau_2 = 24 \text{ часа.}$$

Полагая, что $\tau_1=10$ часов, а $\tau_2=14$ часов, то разбив время работы одного насоса на две части по 5 часов, получаем следующий график подачи воды, см. на рис.3.4:

$$3\% \cdot 5 \text{ ч} + 5\% \cdot 14 \text{ ч} + 3\% \cdot 5 \text{ ч} = 15 + 70 + 15 = 100\% \text{ от } S_{\text{макс}}.$$

На графике (рис.3.4) хорошо видна роль водонапорной башни. С его помощью можно легко подсчитать требуемый объем бака. Он будет тем меньше, чем ближе график подачи к графику потребления. Это приближение может быть достигнуто увеличением числа ступеней подачи, т.е. числом рабочих насосов. При этом возрастают затраты на станции, но снижаются расходы на водонапорную башню. Необходимо оптимальное решение на основе технико-экономических расчетов.

Опыт показал, что целесообразное число рабочих насосов может быть от одного до трех (три – для крупных водопроводов).

При проектировании водоводов за расчетный расход принимается максимальная подача от насосной станции НС2.

В некоторых производственных водопроводах колебания расходов настолько малы, что регулирующие емкости вообще не нужны. Это возможно в силу свойств характеристик центробежных насосов. Экономически целесообразны такие системы только при малых значениях неравномерности потребления.

На рис.3.6 демонстрируются возможные режимы работы насосов при работе на сеть без регулирующей емкости.

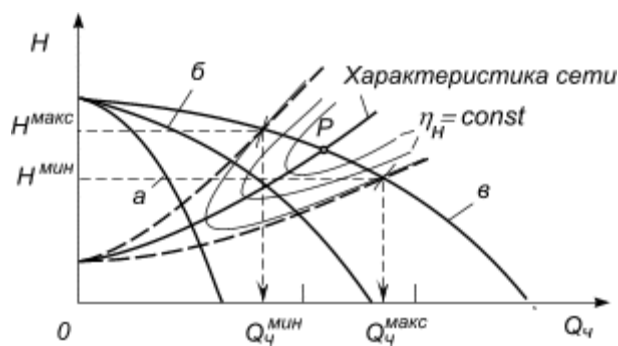


Рис.3.6. Характеристика работы группы параллельных насосов на сеть (без водонапорной башни):

а, б и в – характеристики одного, двух и трех совместно работающих насосов;

Видно, что в такой системе изменение расхода воды будет вызывать колебания напора (давления) в трубопроводах. Важно, чтобы положение рабочей точки *P* не отклонялось бы от расчетной больше чем на $\pm 10\%$, иначе появляется повышенный расход электроэнергии из-за работы насосов в нерасчетных режимах.

3.2.2. Связь по напорам

Выявление связи по напорам между графиком потребления и режимами работы сооружений системы водоснабжения позволяет определять требуемый напор подающих насосов и высоту водонапорной башни.

Насосы насосных станций должны подавать воду под таким напором, чтобы обеспечивался ее подъем до наивысшей и наиболее удаленной водоразборной точки. Наиболее неблагоприятная, с точки зрения водоснабжения, точка называется *критической* или *диктующей*.

Напора насосов должно хватать для преодоления гидравлических сопротивлений в водоводах и сети, а также подъема на высоту расположения потребителей. Напор, необходимый в узлах сети где подключаются потребители, называется *требуемым свободным напором* $H_{св}$.

Рассмотрим схему подключения потребителя к водопроводной сети, например в узле А, см. рис.3.7.

Требуемый свободный напор в узле подключения $H_{св}$ складывается: из высоты подъема воды до водоразборной точки H_0 ; требуемого напора на входе в водопотребляющую установку для выполнения необходимой работы (например, для преодоления гидравлического сопротивления теплообменника) $h_{п}$; потери напора на преодоление гидравлических потерь от узла подключения до потребителя $h_{т}$. Тогда

$$H_{св} = H_0 + h_{п} + h_{т}. \quad (3.4)$$

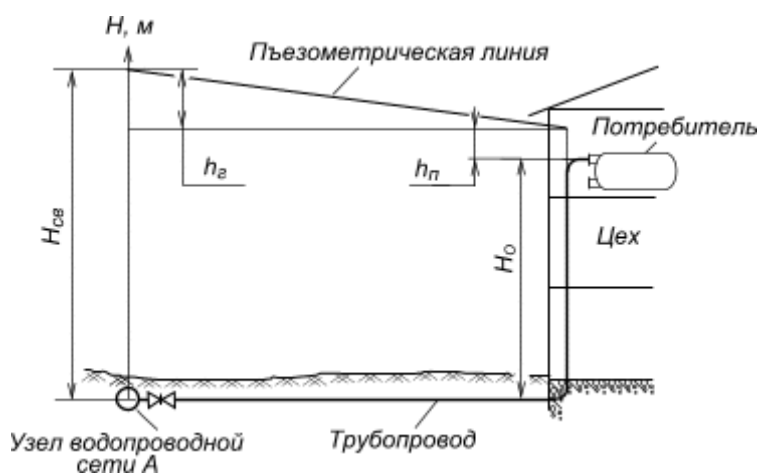


Рис.3.7. Схема подключения потребителя к водопроводной сети:

H_0 — геометрическая высота водоразборной точки (задана);

$h_{п}$ — необходимый напор в водоразборном устройстве (задан техническими условиями);

$h_{т}$ — потери на преодоление трения и местных сопротивлений в подводящем трубопроводе (определяется гидравлическим расчетом)

Связь между напорами в различных точках схемы отображается *пьезометрической* линией. Она отражает падение значений напора в сети при движении воды от источника до потребителя.

Давление в трубопроводе определяется известным соотношением:

$$P = H_{тр} \cdot \rho \cdot g, \text{ Па (Дж/м}^3\text{)}, \quad (3.5)$$

где $H_{тр}$ — напор воды в месте определения давления, м;

ρ — плотность воды, кг/м³;

$g=9,81$ — ускорение свободного падения, м/с².

Для расчета необходимого напора в начале сети требуется построить пьезометрическую линию вдоль всей трассы подачи воды. Начинают ее от критической (диктующей) точки (узла).

Будем считать, что в заданной схеме водоснабжения (рис.3.3) узел А является диктующей точкой. Свободный напор в этой точке уже вычислен и составляет $H_{св}^a$, м. Выбирается маршрут подачи воды в этот узел. Он опре-

деляется по результатам гидравлического расчета водопроводной сети. Пусть в нашем случае это $0-B-B-A$. Строится в масштабе профиль трассы от источника до критической (диктующей) точки, см. рис. 3.8.

В том же масштабе на график наносятся свободные напоры во всех узлах маршрута H_{CB}^b , H_{CB}^B и H_{CB}^a .

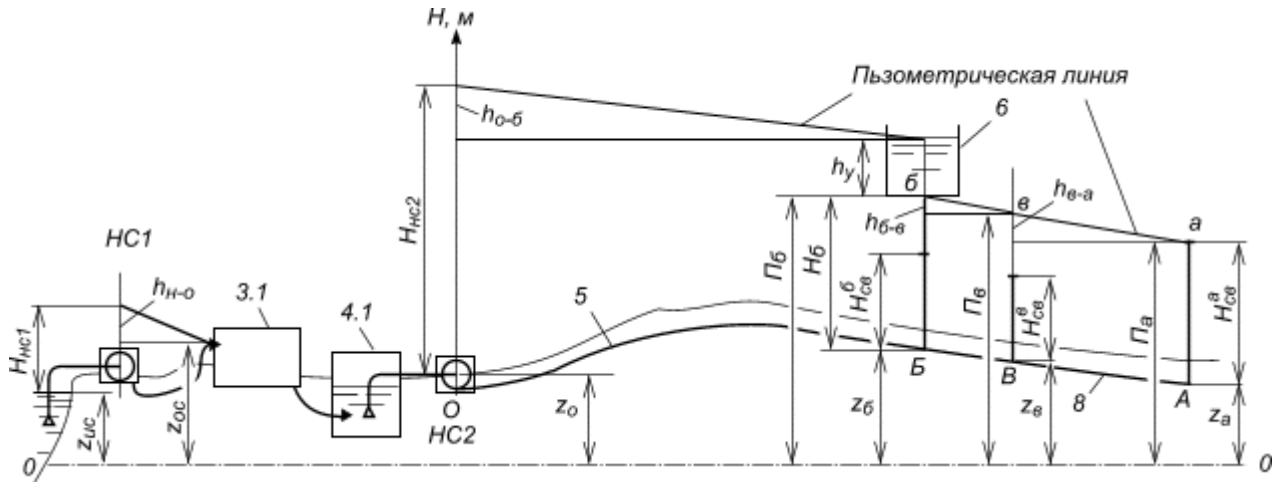


Рис. 3.8. График распределения напоров в прямоточной системе водоснабжения с водонапорной башней

Нулевая отметка уровня выбирается произвольно. Напор, измеряемый от нулевой отметки, называется пьезометрическим напором. В узле A пьезометрический напор Π_a будет соответствовать требуемому, м:

$$\Pi_a = H_{CB}^a + z_a. \quad (3.5)$$

Перемещаясь по выбранному маршруту сети навстречу потоку и прибавляя потери напора на пройденном пути можно вычислить значения пьезометра в каждой точке сети, м:

$$\Pi_B = \Pi_a + h_{B-a} \quad \text{и} \quad \Pi_b = \Pi_B + h_{b-B}. \quad (3.6)$$

Отсюда видно, что дно бака (точка $б$) должно располагаться на высоте H_b , м. Эту высоту можно вычислить из равенства:

$$H_b + z_b = z_a + H_{CB}^a + h_{B-a} + h_{b-B}, \quad (3.7)$$

откуда

$$H_b = (z_a - z_b) + \sum h_T + H_{CB}^a, \quad (3.8)$$

где $\sum h_T$ – суммарные гидравлические потери на линии от башни до диктующей точки, м.

Требуемый напор насосов на НС2 определяется аналогично, м:

$$H_{\text{НС2}} + z_0 = H_{\text{б}} + z_{\text{б}} + h_y + h_{\text{о-б}}, \quad (3.9)$$

откуда

$$H_{\text{НС2}} = H_{\text{б}} + h_y + h_{\text{о-б}} + (z_{\text{б}} - z_0). \quad (3.10)$$

Здесь h_y – высота уровня воды в баке, м;

$h_{\text{о-б}}$ – потери напора в водоводе, м.

Из равенства (3.8) видно, что чем выше место расположения бака, тем меньше высота башни, тем она дешевле.

Необходимо отметить, что максимальные значения напоров в узлах подключения потребителей, согласно СНиПу [6], не должны превышать 60 м.

Требуемый напор насосов НС1 определяется подобным же способом:

$$H_{\text{НС1}} = (z_{\text{ос}} - z_{\text{ис}}) + h_{\text{н-о}}, \quad (3.11)$$

где

$z_{\text{ис}}$ – уровень воды в источнике, м;

$z_{\text{ос}}$ – высота ввода воды в очистные сооружения, м;

$h_{\text{н-о}}$ – потери напора на линии подачи воды от источника до очистных сооружений природной воды, м.

По известным значениям подачи и напора выбираются типоразмеры насосов, устанавливаемых на насосных станциях.

На насосной станции 2-го подъема обычно устанавливается также специальный пожарный насос. Он должен обеспечить подачу расчетного расхода воды на хозяйственно-питьевые нужды и одновременно на тушение пожаров на предприятии.

При выборе напора пожарного насоса необходимо учитывать, что через водоводы и водопроводы проходит повышенный расход воды и, поэтому, возрастают потери напора. Кроме того, перед горящим зданием необходимо обеспечить напор достаточный для подачи воды до конька крыши и создания дальнобойной струи воды из брандспойта. Рекомендуемую формулу для определения напора пожарного насоса можно найти в [1].

4. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ И ВОДОВОДОВ

4.1. Типы сетей. Основные требования к ним

Сеть должна быть запроектирована наиболее экономично, то есть с наименьшими приведенными затратами.

Основными факторами, влияющими на затраты, являются:

- а) конфигурация сети (трассировка);
- б) материал и диаметр труб;
- в) способ прокладки трубопроводов.

Конфигурация сети зависит от рельефа и формы территории предприятия, планировки, наличия препятствий, масштабов потребления воды отдельными потребителями.

На практике используют два вида сетей (см. рис.4.1).

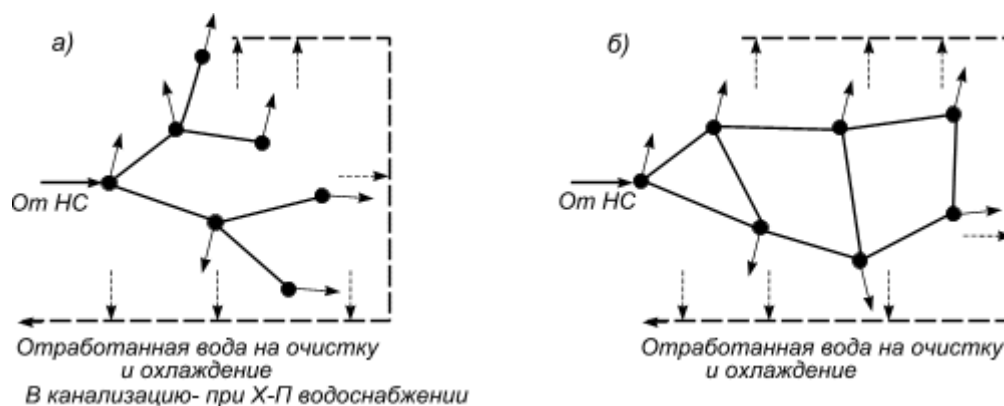


Рис.4.1. Схемы водопроводных сетей:

а) разветвленная (или тупиковая); б) кольцевая сеть

Обе схемы выполняют свою задачу, то есть подают воду в нужное место. Разветвленная дешевле, но имеет меньшую надежность, так как авария на любом участке ведет к прекращению подачи воды потребителям расположенным за ним.

Кольцевая сеть дороже из-за большей протяженности, но надежнее.

Для промышленных предприятий, в соответствии с требованиями надежности, устраивают кольцевые сети. В них выделяют магистральные линии, а между ними предусматривают перемычки. Они выравнивают нагрузку магистралей.

При проектировании городских водопроводов рассчитывают только магистрали. Наружные производственные водопроводы подлежат расчету полностью.

4.2. Принципы и методы определения диаметров водопроводных линий и потерь напора в них

Определение диаметров труб водопроводных линий – это одна из главных задач расчета и проектирования систем водоснабжения.

Основой для расчета диаметра служит заданный максимальный расход воды в трубе. Для водопроводной сети с водонапорным резервуаром – это наибольшее часовое потребление $Q_{\text{ч}}^{\text{макс.пот}}$, для водоводов и безбашенных водопроводов – это наибольшая часовая подача $Q_{\text{ч}}^{\text{макс.под}}$.

Из гидравлики известно соотношение для расхода $Q = F \cdot w$, м³/с, где для круглого трубопровода $F = \frac{\pi D^2}{4}$ – площадь проходного сечения, м², w – скорость воды в трубопроводе, м/с. Тогда

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} w. \quad (4.1)$$

Так как здесь известен только расход Q и неизвестны скорость w и диаметр D , то какой-то величиной необходимо задаться.

При постоянном значении расхода $Q = \text{const}$ можно задаваться:

скоростью w – в любых пределах;

диаметром D – в пределах выпускаемого промышленностью сортамента труб.

Рассмотрим влияние выбора этих параметров на приведенные затраты при сооружении систем водоснабжения.

Пусть нам необходимо подавать воду в количестве Q , м³/с, по напорному водоводу длиной l , м, на геометрическую высоту H_0 , м. Насос должен развивать напор необходимый для подъема воды и преодоления гидравлических сопротивлений в водоводе.

Общие потери напора в трубопроводе складываются:

а) из потерь на преодоление сил трения $h_{\text{тр}}$ – потери по длине;

б) из потерь сосредоточенных в отдельных местах $h_{\text{м}}$ – местные потери.

Эти потери могут быть вычислены по известным формулам Дарси-Вейсбаха:

$$h_{\text{тр}} = \zeta_{\text{тр}} \frac{w^2}{2g} = \lambda_{\text{тр}} \frac{l}{D} \cdot \frac{w^2}{2g}, \text{ м}; \quad (4.2)$$

$$h_{\text{м}} = \zeta_{\text{м}} \frac{w^2}{2g}, \text{ м}, \quad (4.3)$$

где $\zeta_{\text{тр}}$, $\zeta_{\text{м}}$ – коэффициенты сопротивления по длине и от местных препятствий; $\lambda_{\text{тр}}$ – коэффициент гидравлического трения.

Общие гидравлические потери в водоводе определяются суммой:

$$h_{\text{Г}} = h_{\text{тр}} + \sum h_{\text{м}} = \zeta_{\text{с}} \frac{w^2}{2g}, \text{ м.} \quad (4.4)$$

Необходимый напор насоса составит $H_{\text{Н}} = H_0 + h_{\text{Г}}$, м, то есть он прямо пропорционален квадрату скорости – $H_{\text{Н}} \sim w^2$.

Мощность насоса для подачи воды определяется соотношением

$$N_{\text{Н}} = \frac{Q \cdot P}{\eta_{\text{Н}}} = \frac{QH_{\text{Н}}\rho g}{\eta_{\text{Н}}}, \text{ кВт,} \quad (4.5)$$

то есть мощность, следовательно, и потребление энергии прямопропорциональны квадрату скорости потока воды в трубах – $N_{\text{Н}} \sim w^2$.

Например, изменение скорости с $w=1\text{ м/с}$ до $1,4\text{ м/с}$ увеличивает потребляемую мощность в 2 раза.

Обозначим:

$C_{\text{стр}}$ – стоимость строительства системы водоснабжения, которая напрямую зависит от выбранного диаметра трубопроводов;

$C_{\text{экс}}$ – стоимость эксплуатации системы за год, которая на 70-75% состоит из затрат на электроэнергию.

Так как приведенные затраты $Z_{\text{прив}}$ определяются суммой строительных и эксплуатационных затрат условно приведенных к одному году, то их взаимозависимость можно проиллюстрировать графически (см. рис.4.2).

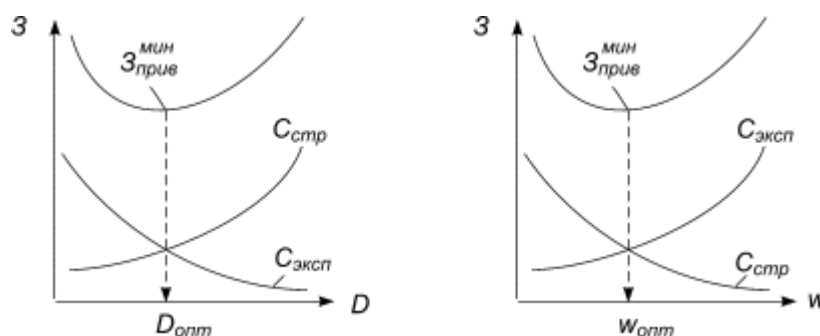


Рис.4.2. Зависимости затрат на систему водоснабжения при $Q=\text{const}$ и различных значениях диаметра труб и скорости воды

Чем больше диаметр трубопровода D , тем выше строительные затраты $C_{\text{стр}}$ и меньше затраты энергии на перекачку $C_{\text{экс}}$. Следовательно существует экономически наиболее выгодный (оптимальный) диаметр $D_{\text{опт}}$ для каждого значения расхода воды Q .

Аналогично, если увеличивать скорость воды в трубопроводе, то при $Q=const$ будет уменьшаться диаметр и, следовательно, уменьшаться затраты на строительство $C_{стр}$ и возрастать энергозатраты $C_{эксп}$. Это доказывает существование экономически оптимального значения скорости $w_{опт}$.

На основе обобщения опыта и многочисленных технико-экономических расчетов получена формула для расчета $D_{опт}$ в зависимости от расхода и экономического фактора $\Xi=0,5\div 1$, учитывающего стоимость труб, условия и способ их прокладки, стоимость энергии и т.п.[2, 3]. Там же приведены таблицы "пределных экономических расходов" с уже вычисленными стандартными значениями $D_{опт}$ для труб из различных материалов, которые значительно облегчают расчеты.

Эти же расчеты показали, что значения экономически оптимальной скорости обычно находятся в пределах $w_{опт}=0,7-1,5$ м/с. Меньшие значения скорости – для труб малых диаметров и, соответственно, большие – для больших труб. Задаваясь значением $w_{опт}$ по уравнению (4.1) вычисляется оптимальный внутренний диаметр трубы $D_{опт}^{вн}$, по значению которого затем подбираем ближайшую стандартную трубу. Этот метод удобно использовать при отсутствии таблиц "пределных экономических расходов".

После выбора диаметров определяются *потери напора в трубах*.

Для этих расчетов можно воспользоваться формулами Дарси-Вейсбаха (4.2) и (4.3). Необходимые коэффициенты находятся из справочников по гидравлическим расчетам.

Более точные расчеты проводятся по эмпирическим формулам. Наиболее известны формулы Ф.А.Шевелева (ВНИИ ВОДГЕО) [2]. Они получены из опытов (проливов) с натурными водопроводными трубами и учитывают материал труб, их состояние (б/у, новые), режимы течения.

Установлено, например, что в пластмассовых, стеклянных, новых стальных трубах при любых скоростях воды наблюдается переходный режим течения. В стальных б/у и чугунных:

при $w < 1,2$ м/с – переходный режим;

при $w > 1,2$ м/с – турбулентный (квадратичный) режим.

Для этих режимов получены разные расчетные формулы [2, 3]. Например, для не новых стальных и чугунных труб, работающих в квадратичной области ($w > 1,2$ м/с), удельные потери напора i , м/м, вычисляются по формуле:

$$i = \frac{0,001735}{d^{5,3}} q^2, \quad (4.6)$$

а при $w < 1,2$ м/с

$$i = \frac{0,00148}{d^{5,3}} \left(1 + \frac{0,867}{w} \right)^{0,3} q^2. \quad (4.7)$$

Эти формулы использованы при составлении номограмм и таблиц, которыми удобно пользоваться при расчетах. Есть формулы и других авторов: Андрияшева М.М., Абрамова Н.Н. и др.

Для облегчения расчетов потерь напора на участках сети используются упрощенные формулы Шевелева (полученные приближенной аппроксимацией), приведенные к виду [2]:

$$h = s_o \cdot l \cdot \delta \cdot q^2 = s\delta q^2, \quad (4.8)$$

где l – длина участка, м; q – расход воды на участке, м³/с (или л/с); δ – поправка на режим течения; s_o – удельное сопротивление трубопровода. Значения δ и s_o определяются по справочным таблицам в зависимости от диаметра трубы и скорости потока в ней.

4.3. Материалы и способы прокладки труб

Стоимость системы водоснабжения в значительной степени определяется стоимостью труб и работ по их укладке. Поэтому выбор материала трубы представляет исключительно ответственную задачу.

К трубопроводам предъявляется целый ряд требований. Они должны обладать:

- а) достаточной прочностью для сопротивления внешним и внутренним нагрузкам;
- б) герметичностью;
- в) гладкостью внутренней поверхности для уменьшения потерь напора;
- г) долговечностью;
- д) обладать высокими антикоррозионными свойствами по отношению к транспортируемой среде;
- е) возможностью легкого и надежного соединения, так как линии монтируют из отдельных труб.

Для систем хозяйственно-питьевого водоснабжения могут применяться трубы, материалы которых разрешены к использованию санитарно-эпидемиологическим управлением Минздрава РФ.

В современной практике широко применяются чугунные, стальные, железобетонные и пластмассовые трубы. На все типы труб имеются ГОСТы.

В пределах территории промышленных предприятий водопроводные сети выполняются, как правило, из стальных труб. Они обладают высокой

прочностью, относительно небольшой массой, пластичностью. Соединение сваркой обеспечивает герметичные и прочные стыки.

Недостатками стальных труб является подверженность коррозии и зарастанию, меньший срок службы, по сравнению с трубами из других материалов.

Применяют сварные и бесшовные трубы из различных сталей. Наиболее распространены трубы из углеродистой стали обыкновенного качества. Но могут быть в ответственных случаях использованы легированные высококачественные стали.

Внутренняя коррозия, помимо разрушений, приводит к резкому возрастанию шероховатости. Гидравлическое сопротивление может возрасти, по сравнению с расчетом, в 8-9 раз. Все это приводит к сокращению срока эксплуатации, дополнительным капитальным затратам на ремонт, перекладку и прокладку дополнительных линий, перерасходу энергозатрат. Необходима защита от коррозии, как внутренней, так и внешней.

Для защиты металлических труб от коррозии применяют пассивные и активные методы. К пассивным методам относятся изоляция наружной и внутренней поверхности труб или покрытие труб специальными оболочками. К активным методам относят электрическую защиту.

Антикоррозионную защиту стальных труб выполняют перед укладкой труб или в процессе их укладки. Для наружной изоляции используют битумно-минеральные, битумно-полимерные, полимерные, этиленовые и другие равноценные им покрытия. Вид покрытия выбирается в зависимости от коррозионной активности грунтов.

В мировой практике строительства водопроводов получили распространения внутренние покрытия на основе цемента. Длительный опыт применения доказал их экономичность и надежность. Внутренние покрытия могут наноситься как на новые трубы, так и на трубы, находящиеся в эксплуатации.

В мировой и отечественной практике все более широкое применение находят лакокрасочные покрытия, обеспечивающие простоту технологического процесса нанесения на поверхность, высокую индустриализацию, сравнительно низкую стоимость.

К активным методам защиты металлических трубопроводов от коррозии относится катодная защита, основанная на электрохимической теории коррозии. К электрохимическому методу относится также способ цинкового покрытия, замедляющего разрушение стальных труб. Защита внутренней по-

верхности тру может быть обеспечена и методами стабилизационной обработки воды.

Трубы из полимерных материалов обладают рядом свойств, выгодно отличающих их от труб из традиционных материалов. Они не подвержены электрохимической коррозии. Потери напора на трение в них приблизительно на 30% меньше, чем в металлических трубах. На внутренней поверхности этих труб практически не образуется отложений, а следовательно не происходит увеличения потерь напора во времени. Гидравлический удар, возникающий в пластмассовых трубах значительно слабее из-за более низкого модуля упругости материалов. Они легче других труб и вероятность их разрушения при замерзании воды минимальна.

Недостатками пластмассовых труб является невысокое сопротивление раздавливанию и большой коэффициент линейного расширения.

Для наружных и внутренних сетей водоснабжения применяют пластмассовые напорные трубы из полиэтилена низкой плотности (ПНП) и полиэтилена высокой плотности (ПВП) по ГОСТ 18599-83 с изменениями. Наиболее полный ряд наружных диаметров (10-1200 мм) представлен этим ГОСТом на трубы из полиэтилена высокой плотности (полиэтилен низкого давления). Выпуск труб из полиэтилена низкой плотности (полиэтилен высокого давления) предусматривается в диапазоне диаметров 10-160 мм.

Указанные трубы изготовляют четырех типов – Л, ЧЛ, Ч и Т на рабочие давления соответственно 0,25; 0,4; 0,6 и 1,0 МПа. Эти давления принимают из условия предполагаемого срока службы не менее 50 лет при температуре воды 20 °С.

Трубы напорные из непластифицированного поливинилхлорида (ПВХ) выпускают четырех классов: СП, С, Т, и ОТ на давление соответственно 0,4; 0,6; 1,0 и 1,6 МПа в диапазоне диаметров 10-315 мм. Могут применяться также напорные полипропиленовые трубы диаметром 32-200 мм на рабочие давления до 1,0 МПа.

Неразъемные соединения из полиэтилена и полипропилена выполняют с помощью сварки контактным нагревом, а из ПВХ – склеиванием или газовой прутковой сваркой.

Прокладка металлических труб может быть подземной (в траншеях, в каналах и туннелях) и надземной – в лотках или на эстакадах.

С целью замедления старения пластмассовый трубопровод должен быть защищен от попадания прямых солнечных лучей. В нем не предусматривается линейная компенсация температурных напряжений. Для снижения

этих напряжений при прокладке в летнее время укладку трубопроводов в траншею осуществляют "змейкой".

Так как водопроводные линии имеют подъемы и спуски, то в нижних точках сети делают выпуски для опорожнения трубопроводов. В верхних точках размещают воздушные вантузы для выпуска воздуха при заполнении.

5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

5.1. Свойства сетей различных типов

Как уже указывалось, сети могут быть разветвленными и кольцевыми. Кроме того, в зависимости от рельефа, генплана и других условий сети могут иметь различную конфигурацию. Но, тем не менее, все они обладают одинаковыми свойствами. Оказывается все сети подчиняются законам теории графов. Основные положения этой теории позволяют рассчитывать взаимоотношения между элементами сети, оценивать ее надежность и другие показатели.

По этой теории всю систему водоснабжения (со всеми водоводами и ответвлениями) можно представить как *конечный связный граф*. Это структура, состоящая из конечного числа узлов, связанных между собой участками (линиями, ребрами). Пример такой структуры приведен на рис.5.1.

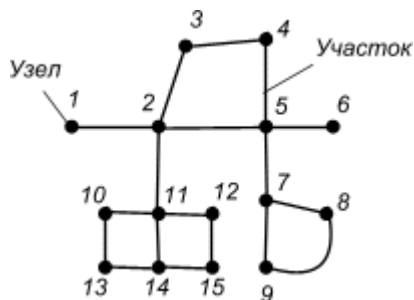


Рис.5.1. Схема смешанной сети:

$$\begin{array}{l}
 2-3-4-5-2 \\
 7-8-9-7 \\
 10-12-15-13-10
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} 2-3-4-5-2 \\ 7-8-9-7 \\ 10-12-15-13-10 \end{array}} \right\} \text{кольца (циклы)}$$

$$m=15; n=4; P=15+4-1=18$$

Цикл, который не пересекается участками, называется элементарным кольцом (циклом) – 10-11-14-13-10, 11-12-15-14-11, 2-3-4-5-2 и 7-8-9-7.

Примем обозначения:

P – число участков (ребер); m – число узлов; n – число элементарных колец.

В соответствии с теорией графов (следствие теоремы Эйлера о многогранниках) существует соотношения:

$P=m+n-1$ – для любых сетей;

$P=m-1$ – для разветвленных сетей ($n=0$).

5.2. Постановка задачи и расчет водопроводных сетей

Задачей расчета сети является определение:

- а) экономически выгоднейших диаметров труб на всех участках сети;
- б) потери напора в них;

в) свободных напоров во всех узлах.

Расчет проводится при работе всех потребителей и водопитателей (насосных станций) в режиме максимального водопотребления.

Основной принцип расчета сетей: для определения диаметра трубы на участке, необходимо знать расход воды на этом участке.

К началу расчета необходимо знать:

- а) конфигурацию сети (трассировку на ситуационном плане);
- б) длины всех участков, геометрические отметки потребителей;
- в) отборы воды в узлах.

Отборы могут быть действительными (фактическими) и фиктивными. Фиктивные отборы – это сосредоточенные в узлы небольшие расходы на участках.

Отборы могут быть также фиксированными и нефиксированными. При фиксированном отборе расход воды из узла постоянен и не зависит от колебания давления в сети (благодаря регулирующему устройству).

Если отбор зависит от напора в сети, то он является нефиксированным. В таком случае для расчетов надо иметь характеристику такого отбора, аналогичную характеристике насоса $Q = f(H)$.

Этапы расчета:

I. Составление расчетной схемы

Рисуются конфигурация сети. Нумеруются узлы, отборы, задаются направления потоков на участках (стрелками). Наносятся длины участков и величины отборов.

Направления потоков задаются произвольно, но как можно ближе к реальным направлениям течения. Примеры расчетных схем приведены на рис.5.2.

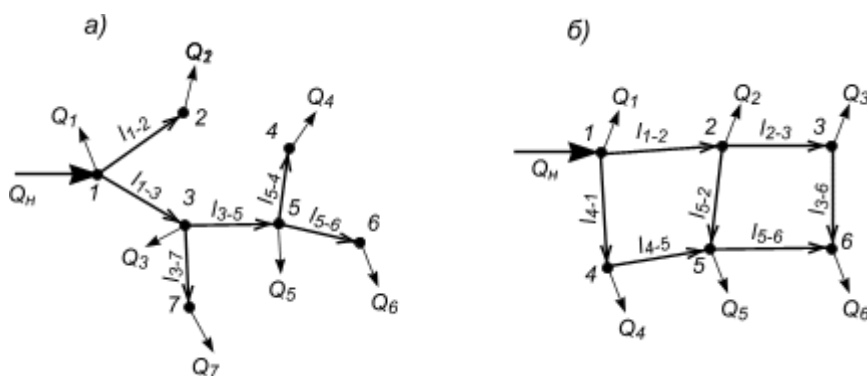


Рис.5.2.
Расчетные схемы сетей:
а) тупиковая;
б) кольцевая

II. Определение расхода на участках

Для нахождения P значений расходов q_{i-k} на P участках сети использу-

ются уравнения 1-го закона Кирхгофа. Они отражают баланс расходов в узлах. Это так называемые "узловые уравнения", которые можно записать в виде суммы:

$$\sum q_{i-k} + Q_i = 0. \quad (5.1)$$

Условно считают: расходы приходящие к узлу – положительные; уходящие – отрицательные. Например, для узла 2, схемы а): $q_{1-2} - Q_2 = 0$ ($q_{1-2} = Q_2$), для узла 2 схемы б): $q_{1-2} - q_{2-3} - q_{2-5} - Q_2 = 0$ и т.д.

Число таких уравнений для любой схемы будет $m-1$ (m – число узлов), т.к. одно уравнение превращается в тождество из-за равенства $Q_H = \sum Q_i$.

Для разветвленной сети – число неизвестных расходов q_{i-k} равно числу участков P . Но $P = m-1$, то есть число неизвестных равно числу уравнений. Система замкнута и имеет однозначное решение. По найденным расходам выбираются экономически оптимальные диаметры труб на всех участках D_{i-k} .

В кольцевых сетях число неизвестных – $P = m+n-1$, т.е. уравнений 1-го закона Кирхгофа недостаточно. В качестве недостающих используются n уравнений 2-го закона Кирхгофа.

Для гидравлических сетей эти уравнения выражают равенство нулю алгебраические суммы потерь напора на каждом из колец сети. Это так называемые "контурные уравнения":

$$\left(\sum s_{i-k} \cdot q_{i-k}^\beta \right)_j = 0, \quad (5.2)$$

где β – показатель влияния скорости потока на режим течения: $\beta=2$ – для квадратичной области течения; $\beta < 2$ – для переходной области режимов; s_{i-k} – сопротивление участка: $s_{i-k} = s_0 \cdot l_{i-k}$, где s_0 – удельное сопротивление трубопровода, которое зависит от диаметра и шероховатости трубы; l_{i-k} – длина участка.

Всего уравнений (5.2) будет n , т.е. равно числу элементарных колец, j – номер кольца. Общее число уравнений (5.1) и (5.2) будет $m+n-1$, то есть на P неизвестных будет P уравнений. Кажется бы, система замкнута и можно искать неизвестные q_{i-k} . Но заметим:

1) в схеме б) (рис.5.2) при неизменных отборах в узлах можно найти неограниченное число вариантов значений расходов q_{i-k} , которые удовлетворят уравнения (5.1) во всех узлах. То есть нет однозначного решения;

2) в уравнениях (5.2) сопротивления $s_{i-k} = f(D_{i-k})$. В то же время мы ищем значения q_{i-k} для того, чтобы найти эти диаметры, т.е. и $q_{i-k} = f(D_{i-k})$. Любое изменение диаметра D_{i-k} вызовет перераспределение расходов в кольцевой сети

на всех участках. И в то же время автоматически будут удовлетворяться уравнения (5.1) и (5.2).

Таким образом всего неизвестных q_{i-k} и $D_{i-k} - 2P$. То есть уравнений недостаточно. Какими-то величинами q_{i-k} или D_{i-k} необходимо предварительно задаваться. Вся сложность в том, как задаваться диаметром, если неизвестны расходы?

Возникает ответственная задача – обоснование выбора начального потокораспределения в кольцевых сетях. Его проводят с учетом требований надежности [2, 3].

Уже по выбранному потокораспределению, при полном удовлетворении уравнений (5.1), определяют расходы на участках, для которых и находят экономически наивыгоднейшие диаметры.

III. Гидравлический расчет:

а) для разветвленной (тупиковой) сети.

Так как уже известны точные расходы q_{i-k} и выбраны диаметры D_{i-k} на всех участках сети, то сразу проводится гидравлический расчет (см. подраздел 4.2), в результате которого определяются потери напора на участках h_{i-k} и пьезометрические напоры во всех узлах сети Π_i ;

б) для кольцевой сети.

При известных диаметрах на всех участках сети рассчитывается истинное распределение расходов по участкам. При этом добиваются удовлетворения не только уравнений (5.1), но и уравнений (5.2). Это по существу поверочный расчет сети. Он носит название *гидравлической увязки* кольцевой сети, так как одновременно вычисляются и расходы q_{i-k} и потери напора h_{i-k} на всех участках сети.

Гидравлическая увязка сводится к решению системы $m-1$ линейных уравнений и n – нелинейных. Число неизвестных $P=m+n-1$, т.е. система сходится.

Существуют различные методы решений. Наиболее часто используется метод последовательных приближений Ньютона и его модификации. Но есть и множество других методов. Наиболее известны решения В.Г. Лобачева и Х. Кросса (метод Лобачева-Кросса) и М.М. Андрияшева. Они пригодны как для ручного счета, так и для использования ЭВМ.

6. ОСНОВНЫЕ СООРУЖЕНИЯ СИСТЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Введение

Как уже указывалось в подразделе 2.1, в систему водоснабжения входит комплекс следующих сооружений:

- а) водоприемные сооружения (водозабор);
- б) водоподъемные сооружения (насосные станции);
- в) очистные сооружения (для природной и отработавшей воды);
- г) водоохлаждающие устройства;
- д) водоводы и водопроводные сети;
- е) башни и резервуары.

Наибольшее воздействие на эффективность системы водоснабжения оказывает работа водоохлаждающих устройств и насосных станций. Установлено, например, что в зимой предприятия работают на 10% эффективнее по сравнению с летним периодом только за счет разницы в температурах производственно-технической воды [2, 6].

6.1. Водоохлаждающие устройства

6.1.1. Общие сведения. Классификация

Задачей охлаждающих устройств является обеспечение охлаждения циркуляционной воды до расчетной температуры. Значение этой температуры определяется технико-экономическим расчетом. Охлаждение воды происходит за счет отдачи теплоты воздуху.

По способу передачи теплоты различают *испарительные* и *поверхностные* охладители.

В испарительных устройствах охлаждение воды происходит как при ее испарении с поверхности, так и при непосредственном контакте с воздухом. Расчет показывает, что испарение 1% воды вызывает ее охлаждение на 6°C. В среднем до 85% теплоты передается от воды воздуху массообменом, а остальное передается конвективным теплообменом. Оба процесса протекают одновременно и влияют один на другой, так как при охлаждении воды ее температура приближается к температуре воздуха и замедляется конвективный теплообмен.

В пределе температура воды может достичь температуры влажного термометра, то есть в испарительных охладителях температура воды может быть ниже температуры воздуха.

Испарительные охладители по способу подвода воздуха подразделяются на 4 группы: открытые; башенные; вентиляторные; эжекционные.

Для наглядности классификация водоохлаждающих устройств представлена в виде схемы на рис.6.1.

К *открытым* охладителям относятся:

- а) водохранилища-охладители (водоемы, пруды, бассейны и т.п.);
- б) брызгальные бассейны;
- в) открытые градирни.

В этих устройствах движение воздуха относительно поверхности охлаждаемой воды обусловлено ветром и естественной конвекцией.

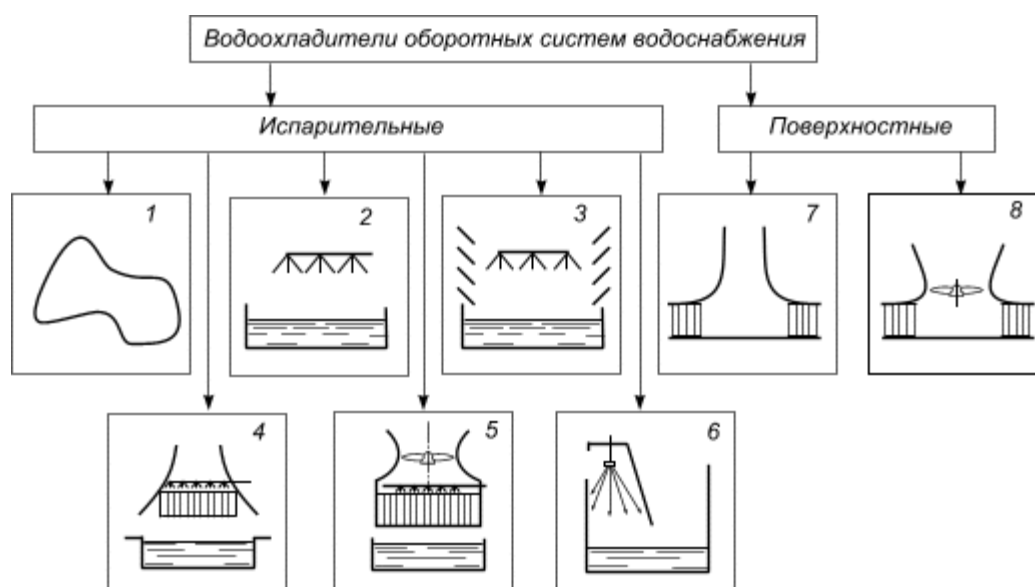


Рис. 6.1. Классификация водоохлаждающих устройств:

1 – водохранилища; 2 – брызгальные бассейны; 3 – открытые градирни; 4 – башенные градирни; 5 – вентиляторные градирни; 6 – эжекционные охладители; 7 – радиаторные башенные; 8 – радиаторные вентиляторные

В *башенных* охладителях (градирнях) воздух движется за счет организованной самотяги, создаваемой высотой вытяжной башни.

В *вентиляторных* охладителях (градирнях) осуществляется принудительное движение воздуха за счет нагнетающих либо отсасывающих вентиляторов.

Эжекционные охладители не нуждаются ни в вытяжной башне, ни в вентиляторе. Воздух поступает за счет эффекта эжекции, создаваемого потоком капель воды, распыленной с помощью специальных форсунок.

В *поверхностных* (радиаторных) аппаратах вода не имеет контакта с воздухом. Теплота передается через стенки трубок радиаторов. Это так назы-

ваемые сухие градирни. В них даже при противоточном движении воды и воздуха предельной (теоретически достижимой) температурой воды является температура наружного воздуха. То есть она зависит от климатических условий, времени года и всегда будет выше чем в испарительных охладителях.

Так как теплоемкость и влагоемкость воздуха мала, то его требуется для охлаждения воды много. Например, для охлаждения 1 м^3 воды с 40 до 30°C при температуре воздуха $t_{\text{в}}=25^\circ\text{C}$ и средней относительной влажности $\varphi=0,5-0,6$ необходимо подвести воздуха:

- при испарительном охлаждении примерно 1000 м^3 ;
- при радиаторном охлаждении – 5000 м^3 .

6.1.2. Краткие характеристики и области целесообразного применения водоохладителей

Водохранилища-охладители могут быть естественными и искусственными. Поверхностью тепло-массообмена является поверхность зеркала воды. Эффективность охлаждения воды зависит от гидравлической нагрузки (расхода воды) на 1 м^2 площади контакта. Обычно она составляет примерно $0,04 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 .

На циркуляцию воды не требуется высокий напор. Отработанная (теплая) вода в водохранилище может поступать самотеком. Таким образом энергозатраты будут минимальны. Однако требуются большие площади, большие капиталовложения и эксплуатационные издержки на борьбу с заиливанием и зарастанием.

Водохранилища-охладители целесообразны в централизованных системах водооборота на крупных предприятиях или в комплексах таких предприятий. Особенно это удобно при использовании естественных водоемов, выработанных карьеров и т.п.

Брызгальные бассейны представляют собой открытый прямоугольный бетонный или железобетонный резервуар из двух или более секций, над которыми через сопла разбрызгивается охлаждаемая вода. Вода к соплам поступает под напором по водораспределительным трубам. Поверхность капель и является поверхностью тепло-массообмена.

Нормальная гидравлическая нагрузка составляет $0,8-1,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади брызгального бассейна. Охлаждающая способность такого устройства неустойчива, зависит от направления и скорости ветра. Главный недостаток – большой унос воды и туманообразование. Поэтому бассейны сооружают в удалении от построек, что увеличивает длину и стоимость водоводов.

Открытые градирни – это те же брызгальные бассейны, с той же эффективностью, но для уменьшения уноса воды их окружают жалюзийным за-

граждением.

Более эффективны открытые градирни с насадкой под распылителями в виде ряда горизонтальных щитов из реек или досок.

Башенные градирни могут оснащаться пленочными или капельными оросительными устройствами. Скорость движения воздуха через них зависит от высоты башни. Гидравлическая нагрузка (плотность орошения) составляет 4-5 м³/ч на 1 м² поперечного сечения оросительного устройства – в капельных оросителях и 6-7 м³/(м²·ч) – в пленочных градирнях.

Тяга, а следовательно и удельный расход воздуха, существенно снижается с уменьшением габаритов башни. Уменьшается и охлаждающий эффект. Поэтому башенные градирни на большие расходы, примерно 3000 м³/ч и выше. Широко применяются на тепловых электростанциях и крупных централизованных системах оборотного водоснабжения предприятий.

Вентиляторные градирни отличаются от башенных только тем, что воздух подается вентилятором. Поэтому они более эффективны. Применяют их при расходах воды в диапазоне от 500 до 3000 м³/ч. Гидравлическая нагрузка (плотность орошения) достигает 8-10 м³/(м²·ч). Капитальные затраты у них меньше чем у башенных, но выше эксплуатационные издержки.

Оросительные устройства также могут быть капельные и пленочные.

Радиаторные охладители (сухие градирни) представляют собой систему радиаторов, выполненных из материалов с высоким коэффициентом теплопроводности (сплавы меди и алюминия). Снаружи трубки радиаторов оребряют. Для продувки радиаторов воздухом используются и башни и вентиляторы. Стоимость сухих градирен в 1,5-2 раза выше, чем испарительных. Основное преимущество – отсутствие потерь воды. Поэтому используют их в районах с ограниченными водными ресурсами.

Эжекционные охладители не нуждаются ни в вытяжной башне, ни в вентиляторе. В них отсутствует насадка (оросительное устройство). Воздух поступает за счет эффекта эжекции. Такие охладители очень эффективны, особенно при малых расходах воды. Более подробные сведения об эжекторных охладителях можно найти в [5].

6.1.3. Места размещения охладителей

Градирни размещают на промышленной площадке из условия беспрепятственного поступления и отвода охлаждающего воздуха. Охладители испарительного типа должны отстоять от соседних сооружений на определенных расстояниях. При этом учитывают направление господствующих ветров

зимой и летом, возможность туманообразования, а также вынос капель за пределы градирни, вызывающие обмерзание расположенных вблизи зданий.

Рекомендуемые минимальные расстояния между охладителями и соседними объектами приведены в табл.6.1.

Таблица 6.1

Сооружения	Брызгальные бассейны, м	Секционные вентиляторные градирни, м	Башенные и одновентиляторные градирни, м
1. Здания (кирпич, легкий бетон)	60	30	20
2. Открытые электр. подстанции	80-100	40-60	30-40
3. Открытые топливные склады	60-80	30-50	20-30
4. Ограждающий забор	15-20	15-20	10-15
5. Внешние жел. дор. пути	80	60-80	40
6. Внутренние жел. дор. пути	30	20-40	20
7. Автодороги общего пользования	60-80	40-60	20-30
8. Автодороги внутризаводские	30	20	10

На промышленной площадке могут быть десятки градирен. Правильный выбор схемы размещения градирен и расстояний между ними в значительной мере снижает неблагоприятное влияние их друг на друга. Большое число градирен в одном узле может привести к изменению микроклимата на площадке, что необходимо учитывать при проведении теплотехнических расчетов.

6.1.4. Теплофизические процессы охлаждения воды в испарительных охладителях

При испарительном охлаждении воды "движущей силой" процесса испарения является разность парциальных давлений

$$\Delta P_{\Pi} = P_{\Pi t}^H - P_{\Pi \theta}, \text{ Па} \quad (6.1)$$

где $P_{\Pi t}^H$ – парциальное давление паров воды в слое воздуха, расположенного

у поверхности воды. Оно равно давлению насыщения пара при температуре воды $t^{\circ}\text{C}$;

$P_{\text{пн}}$ – парциальное давление пара в основной массе воздушного потока при температуре воздуха $\theta^{\circ}\text{C}$.

При этом известна взаимосвязь этих парциальных давлений:

$$P_{\text{пн}} = \varphi \cdot P_{\text{пт}}^{\text{H}}, \text{ Па}, \quad (6.2)$$

где φ – относительная влажность воздуха.

Удельная теплота испарения (тепловой поток с единицы поверхности в единицу времени):

$$q_{\beta} = \beta \cdot \Delta P_{\text{п}}, \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}, \quad (6.3)$$

где β – коэффициент теплоотдачи испарением, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{Па}}$.

Удельное количество теплоты передаваемое контактом воды с воздухом:

$$q_{\alpha} = \alpha(t - \text{и}), \frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}}, \quad (6.4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи соприкосновения, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

Общая удельная теплота теплообмена между водой и воздухом составляет сумму:

$$q_0 = q_{\beta} + q_{\alpha}. \quad (6.5)$$

При $\theta > t$ (т.е. температура воздуха выше температуры воды) – $q_{\alpha} < 0$.

Охлаждение будет продолжаться, пока $q_0 = q_{\beta} + q_{\alpha} > 0$. При $q_0 = 0$ – прекращается. Поэтому в расчетах водохранилищ-охладителей необходимо учитывать радиационный поток, который нагревает воду.

Шириной зоны охлаждения (подохлаждением) воды называют разность температур воды на входе t_{w2} и выходе t_{w1} охлаждающего устройства:

$$\Delta t_w = t_{w2} - t_{w1}. \quad (6.6)$$

Обычно принимают:

$\Delta t_w = 4-5^{\circ}\text{C}$ – в вентиляторных градирнях;

$\Delta t_w = 8-12^{\circ}\text{C}$ – в крупных башенных градирнях.

Высотой (глубиной) зоны охлаждения воды называют разность между температурой охлажденной водой t_{w1} и температурой поступающего воздуха по влажному термометру $\theta_{\text{ввл}}$. Т.е. это недоохлаждение воды до температуры

влажного (мокрого) термометра (теоретического предела испарительного охлаждения):

$$\Delta t_{\text{в}} = t_{\text{в1}} - \theta_{\text{вл1}}. \quad (6.7)$$

Обычно достигается:

$\Delta t_{\text{в}} = 5-6^{\circ}\text{C}$ – в вентиляторных градирнях;

$\Delta t_{\text{в}} = 8-14^{\circ}\text{C}$ – в крупных башенных градирнях с большой шириной зоны охлаждения.

6.1.5. Конструкции градирен

Градирни используются в системах оборотного водоснабжения, требующих устойчивого и глубокого охлаждения воды.

Большинство испарительных градирен имеют ряд общих элементов. Это водораспределительные системы, оросительные устройства, водоуловители, резервуары для сбора воды. Конструктивная схема башенной градирни приведена на рис.6.2.

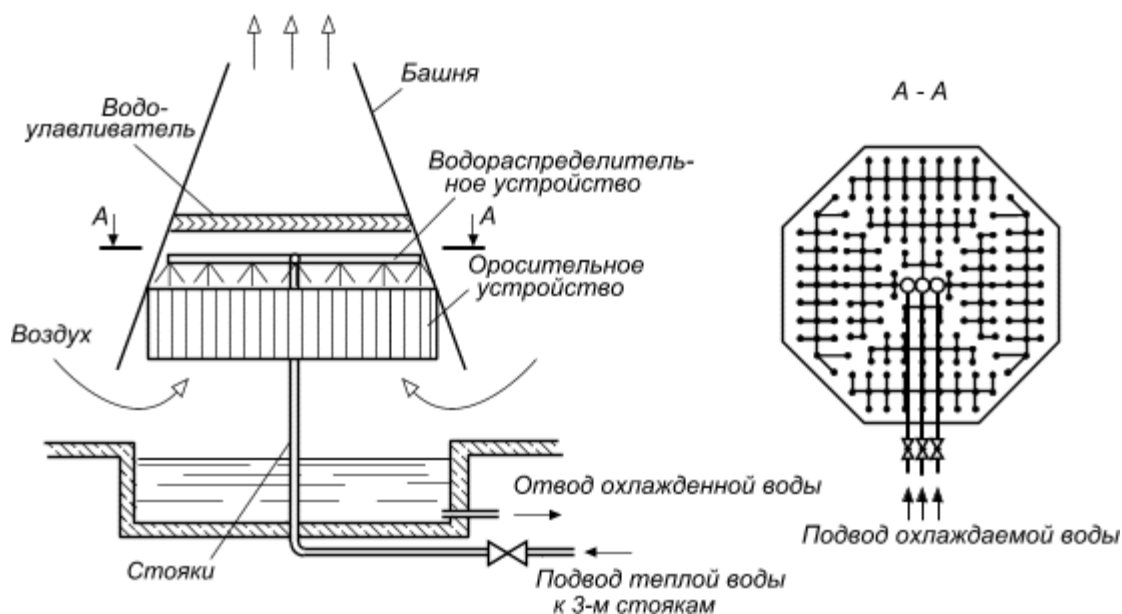


Рис.6.2. Конструктивная схема испарительной градирни

Водораспределители предназначены для равномерного распределения охлаждаемой воды по поверхности оросителя градирни. Вода может подаваться по напорной, так и по безнапорной схемам.

Напорная схема – это система трубопроводов оборудованная разбрызгивающими соплами. Имеется стояк, по которому подводится вода, коллекторы, распределительные трубопроводы. На них устанавливаются разбрызгивающие сопла. Сопла бывают разных конструкций. Наибольшее распро-

странение нашли эвольвентные сопла. Напор воды перед ними принимается 1-3,5 м.

Факелы распыла могут быть направлены и вниз и вверх. Главное – создать дождь, равномерный по поперечному сечению градирни (см. рис.6.3).

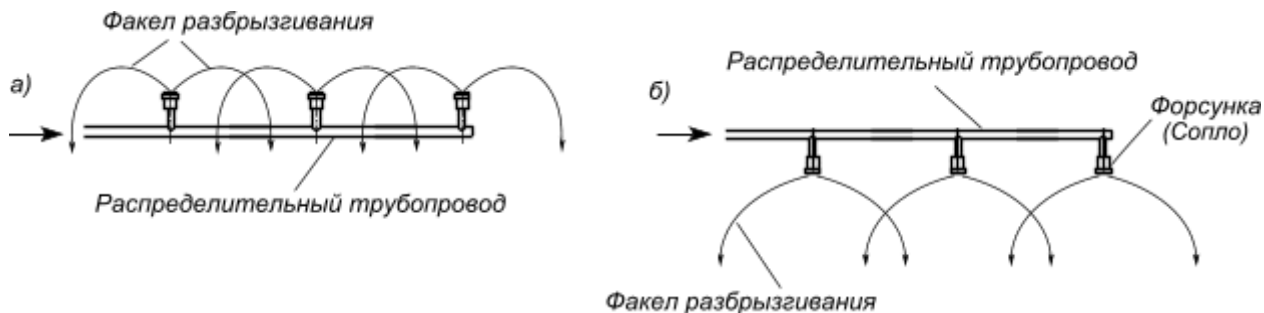


Рис. 6.3. Схема размещения разбрызгивающих сопел на трубопроводах водораспределителя

В безнапорной схеме вместо распределительных труб размещают лотки. На дне лотков выполняются отверстия с насадками.

Наиболее важным узлом градирни являются оросительные устройства. Они служат для создания необходимой поверхности охлаждения. Оросители бывают разных видов:

- пленочного типа. У этих оросителей испарение идет с поверхности пленки, которая образуется на орошаемых поверхностях;
- капельного типа. Здесь теплоотдача идет с поверхности капель;
- капельно-пленочного и комбинированного вида (типа "сэндвич").

Капельные оросители изготавливают из горизонтальных реек и брусков прямоугольного или треугольного сечений (см. рис.6.4а). Располагают их, как правило, в шахматном порядке. Цель – создать как можно больше брызг и капель. Эти оросители имеют хорошие показатели, но сложны в изготовлении.

Пленочные оросители выполняются из щитов, устанавливаемых вертикально или под небольшим углом к вертикали (примерно 85°). Щиты могут быть деревянные (см. рис.6.4 б), асбоцементные (плоские, волнистые, см. рис.6.4.в), пластмассовые. Деревянные насадки обладают высокой эффективностью, но быстро разрушаются, поэтому практически перестали применяться. Асбошиферные оросители одно время нашли широкое распространение, но из-за канцерогенности асбеста во многих странах их использование запрещено.

В последние годы широкое распространение получили пластмассовые оросители. Большое преимущество пластмассы в том, что изделиям из нее

можно придать любую форму. Однако у нее есть и большой недостаток – гидрофобность (несмачиваемость) поверхности, что затрудняет создание на ней устойчивой равномерной водяной пленки.

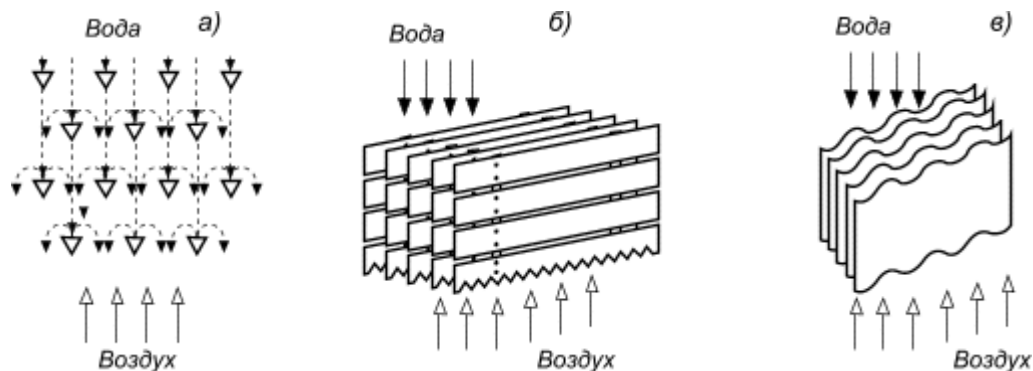


Рис. 6.4. Конструктивные схемы элементов насадки оросителей:
а) – капельный ороситель; б) – пленочный ороситель из деревянных щитов; в) – пленочный ороситель из асбоцементных волнистых плит

Именно этот недостаток заставляет конструкторов искать оптимальную форму поверхностей насадки, которая наряду с низким аэродинамическим сопротивлением обладала бы высокой охлаждающей эффективностью.

В настоящее время предлагается большое разнообразие насадочных элементов пленочных оросителей для промышленных градирен [7]. Это насадки сетчатые, решетчатые, трубчатые, гофро-трубчатые и других конфигураций, которые выполняются в виде отдельных блоков (кубов со стороной примерно 0,7-0,9 м). Требуемая высота оросителя обеспечивается необходимым числом ярусов блоков.

Как показывает опыт, гидрофобность пластмассовой насадки со временем эксплуатации снижается, из-за образования на поверхности карбонатной пленки.

Если на градирнях охлаждается чистая вода, то наиболее экономично применение оросителя пленочного типа. Они обеспечивают устойчивое и глубокое охлаждение воды. При наличии в воде взвесей и нефтепродуктов пленочные оросители не рекомендуются из-за возможности засорения промежутков между элементами. В таких случаях приходится применять капельные оросители, хотя они допускают гидравлическую нагрузку примерно в 1,5 раза меньше чем пленочные, при том же охлаждающем эффекте.

Капельно-пленочный ороситель – это комбинация из решеток и щитов. Они эффективнее капельных в 1,5-2 раза и дешевле пленочных.

Водоуловительные устройства служат для уменьшения уноса воды с

воздушным потоком. Унос влаги после них может составить меньше 0,02% от общего расхода оборотной воды (при общем уносе до 0,5%). Каплеуловители не только сокращают выброс воды в атмосферу, но и защищают вентилятор от эрозии.

Современные каплеуловители изготавливают преимущественно из пластмассы из-за сложной конструкции. Они должны обеспечивать максимальное снижение выноса капельной влаги при минимальном аэродинамическом сопротивлении прохождению воздуха.

Выпускаются каплеуловители трех типов: пластинчатые, ячеистые и сетчатые. Изготавливаются они в виде блоков, которые облегчают монтаж и ремонт градирни. Наилучшие из них – решетки из волнистого полиэтилена (см. рис.6.5)

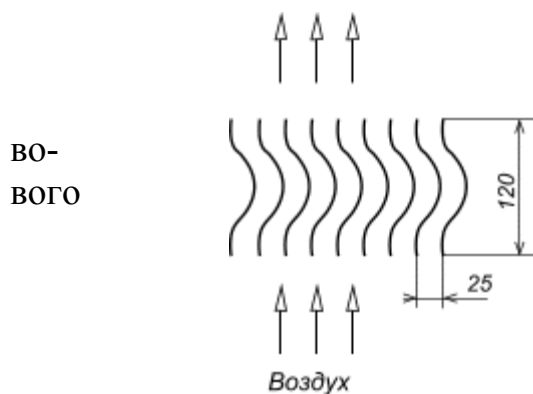


Рис.6.5. Вертикальный разрез доуловительной решетки из листового волнистого полиэтилена

Башни градирен могут быть различной формы: цилиндрической, конической и др., квадратного, шести- и восьмиугольного, кругового сечения в плане. Изготавливаются они из дерева, металла, бетона, пластмассы.

6.1.6. Эжекционные охладители

На рис.6.6. приведена схема такого охладителя воды.

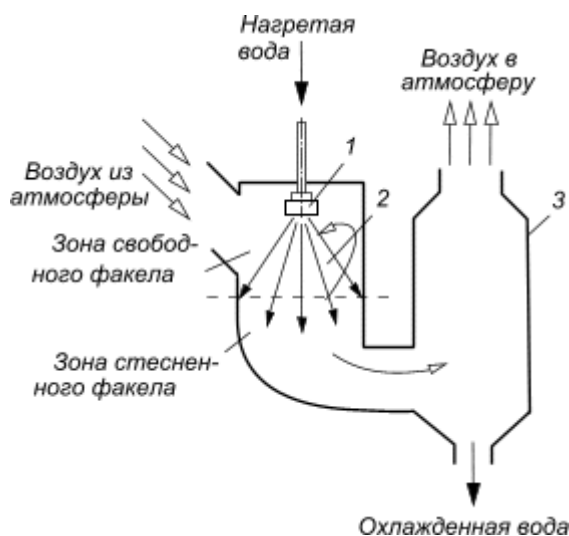


Рис.6.6. Функциональная схема эжекционного охладителя воды:
1 – распылитель (форсунка); 2 – зона контакта; 3 – зона сепарации

Вода подается в форсунку под избыточным давлением (0,1-0,4 МПа) и образует после нее капельный факел. Поток быстролетающих капель воздействует на окружающий воздух и передает ему часть импульса. Скорость капель падает, а у воздуха увеличивается.

Из-за стеснения потока образуется зона циркуляции воздуха, что позволяет полнее использовать его испарительный потенциал.

Процессы в таких испарителях имеют достаточно строгое аналитическое описание. Это позволяет создать довольно точную математическую модель процесса и дает возможность с помощью ЭВМ проводить математические эксперименты по выявлению оптимальных размеров и режимов работы эжекционных охладителей. Существует и упрощенная методика конструктивного расчета таких охладителей [5].

По конструктивному оформлению эжекторные охладители условно можно разбить на три группы: полые охладители; охладители с интенсифицирующими элементами; эжектирующие устройства для повышения эффективности действующих испарительных градирен.

Энергия может подводиться и к воздуху вентилятором. Это так называемые газэжекционные аппараты. Вода при этом является эжектируемой средой. Может подводиться энергия и к обеим фазам. Такие устройства называют газожидкостными (жидкостно-газовыми) аппаратами. Пока такие водоохладители применяются редко.

Конструкции эжекционных аппаратов довольно разнообразны. Они постоянно совершенствуются и расширяется область их применения.

Эжекционные охладители особенно перспективны в локальных системах водооборота с расходом воды до 500 м³/ч. В этом диапазоне они по эффективности превосходят все известные охладители. Техничко-экономические расчеты показывают, что и при больших расходах воды (1000 м³/ч) эти охладители имеют меньшие приведенные затраты, чем все другие водоохладители.

Как известно, распыл любых форсунок полидисперсный. Масса крупных капель может достигать 60-70% общего расхода, хотя число их относительно невелико. Крупные капли имеют меньшую относительную поверхность и для их охлаждения требуется большее время контакта с воздухом. В то же время они слабо тормозятся потоком воздуха. Поэтому разработаны (и продолжают разрабатываться) методы принудительного вторичного дробления капель.

Существенному повышению эффективности охлаждения способствует так называемый *эффект Шабалина*. Он заключается в многократном увели-

чении коэффициентов тепло-массопередачи при ударе капель о препятствие. Это обусловлено обновлением поверхности, интенсивным внутренним движением жидкости в капле, разрушением капель на более мелкие с большей удельной поверхностью.

Разработаны аппараты с различными типами капледробящих устройств: с неподвижными сетками и со свободно подвешенными нитями или лентами. Схемы таких водоохладителей приведены на рис. 6.7.

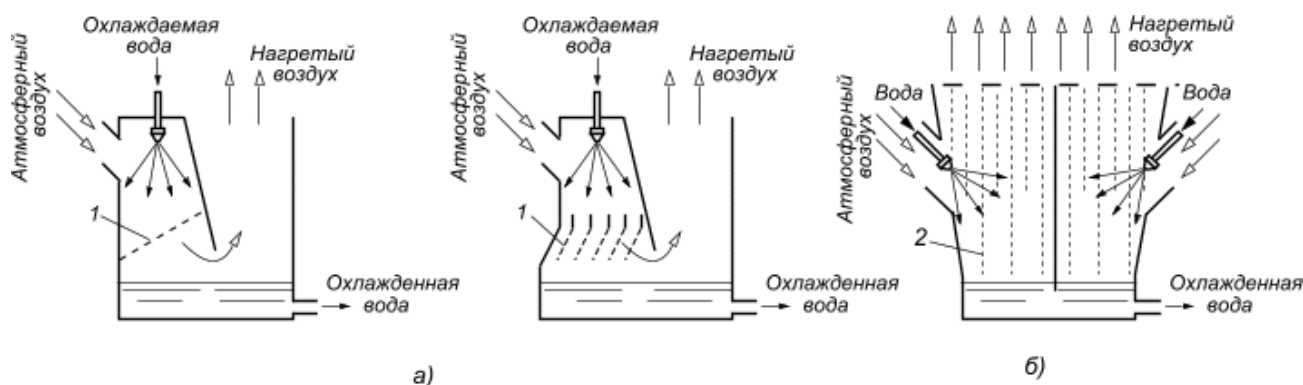


Рис.6.7. Эжекторные водоохладители с капледробильными устройствами: а – с неподвижными сетками (1); б – со свободно подвешенными нитями или лентами (2)

Используются и роторные сетчатые устройства для вторичного дробления капель.

В настоящее время разработан типоразмерный ряд охладителей воды эжекторного типа [5]: ОВ-5, ОВ-10, ОВ-20, ОВ-40, ОВ-80, ОВ-160, ОВ-480. Цифра в обозначении соответствует производительности охладителя по воде в м³/ч. Первые шесть выполняются по типу рис.6.7а. Это прямоугольные конструкции в плане, с несколькими форсунками в горизонтальной плоскости.

Корпус ОВ-480 представляет собой усеченную шестигранную пирамиду. Подводящий воду стояк – в центре. От него идут радиальные водоводы. Подвод воздуха осуществляется через окна на гранях.

Давление воды – 0,3 МПа (напор 30 м). Рабочая ширина зоны охлаждения достигает $\Delta t_w=15^\circ\text{C}$. Форсунки используются центробежно-струйные.

Эффективность и размеры эжекторных водоохладителей позволяет их монтировать и внутри зданий. Например, на компрессорной и холодильной станциях.

На существующих градирнях эжекторные устройства успешно используются для борьбы с обледенением.

6.2. Водный режим оборотных систем водоснабжения

При работе оборотной системы часть воды теряется: с испарением при охлаждении $Q_{\text{исп}}$; капельным уносом $Q_{\text{ун}}$; уносом части воды с продуктом производства $Q_{\text{п.п}}$; продувкой системы $Q_{\text{пр}}$; утечками через неплотности $Q_{\text{ут}}$; со сбросом части воды, которая не могла использоваться повторно $Q_{\text{сбр}}$.

В соответствии с материальным балансом эти потери возмещаются добавкой чистой воды из источника. В общем случае:

$$Q_{\text{доб}} = Q_{\text{исп}} + Q_{\text{ун}} + Q_{\text{сбр}} + Q_{\text{ут}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{п.п}}, \quad (6.8)$$

где $Q_{\text{п.п}}$ и $Q_{\text{сбр}}$ – зависят от технологического процесса, его совершенства;

$Q_{\text{ут}}$ – зависит от совершенства системы водоснабжения. Эти расходы нормируются;

$Q_{\text{исп}}$ и $Q_{\text{ун}}$ – потери в водо-охлаждающем устройстве зависят от его типа и конструкции. Существуют методики оценки этих расходов. Они приведены в СНиП 2.04.02-84 [6]. Например унос воды в градирнях:

$$Q_{\text{ун}} = (0,005-0,01)Q_{\text{об}} - \text{для башенных градирен, м}^3/\text{ч};$$

$$Q_{\text{ун}} = (0,002-0,005)Q_{\text{об}} - \text{для вентиляторных градирен, м}^3/\text{ч},$$

где $Q_{\text{об}}$ – количество охлаждаемой воды в системе оборотного водоснабжения, м³/ч.

Уносится вода вместе с солью, которая в ней содержится.

Потери воды с испарением определяются теплотехническим расчетом открытого охладителя. При отсутствии такого расчета потери оцениваются соотношением:

$$Q_{\text{исп}} = k_1 \cdot \Delta t_w \cdot Q_{\text{об}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (6.9)$$

где k_1 – коэффициент потерь воды при испарении, учитывающий долю теплоотдачи испарением в общем теплообмене при охлаждении воды в градирне. Значение его зависит от температуры наружного воздуха $t_{\text{н}}$ по сухому термометру [3]:

$t_{\text{н}}, \text{ }^\circ\text{C}$	-10	0	10	20	30	40
k_1	0,00075	0,001	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

$\Delta t_w = t_{w2} - t_{w1}$ – ширина зоны охлаждения воды в водоохлаждающем устройстве (см. п. 6.1.4);

t_{w2} – температура теплой воды, идущей с производства;

t_{w1} – температура охлажденной воды (после градирни).

При испарении воды все содержащиеся в ней примеси (соли, механиче-

ские взвеси и т.п.) остаются в оборотной воде. Свежая (добавочная) вода тоже несет с собой примеси. Т.о. в оборотной воде повышается концентрация примесей и, в первую очередь, соли временной жесткости (CaCO_3 , MgCO_3). Они, как известно, откладываются на греющих поверхностях в виде накипи.

Чтобы избежать этого, производится продувка оборотной системы водоснабжения. *Продувка* – это удаление части воды с повышенным содержанием из системы и замена ее добавочной (свежей) с пониженным содержанием.

Величина продувки $Q_{\text{пр}}$ определяется из солевого баланса оборотной воды. В системе водоснабжения карбонатная жесткость воды, используемой как хладоноситель, не должна превышать $ж_{\text{к}} \leq 2,8-3,0$ мг-экв/кг.¹

Обозначим концентрацию солей жесткости в оборотной воде – $C_{\text{об}}$, в добавочной – $C_{\text{доб}}$. Тогда:

$$C_{\text{доб}} \cdot Q_{\text{доб}} = C_{\text{об}} (Q_{\text{ун}}^{\Sigma} + Q_{\text{пр}}). \quad (6.10)$$

Здесь под $Q_{\text{ун}}^{\Sigma}$ подразумевается вся вода, теряемая оборотной системой, которая уходит вместе с солью, т.е.:

$$Q_{\text{ун}}^{\Sigma} = Q_{\text{ун}} + Q_{\text{ут}} + Q_{\text{сбр}} + Q_{\text{п.п}}; \quad (6.11)$$

$$Q_{\text{доб}} = Q_{\text{ун}}^{\Sigma} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{исп}}. \quad (6.12)$$

Тогда, подставив (6.12) в (6.10), получим

$$C_{\text{доб}} (Q_{\text{ун}}^{\Sigma} + Q_{\text{исп}}) + C_{\text{доб}} Q_{\text{пр}} = C_{\text{об}} Q_{\text{ун}}^{\Sigma} + C_{\text{об}} Q_{\text{пр}}, \quad (6.13)$$

$$Q_{\text{пр}} = \frac{C_{\text{доб}} (Q_{\text{ун}}^{\Sigma} + Q_{\text{исп}}) - C_{\text{об}} \cdot Q_{\text{ун}}^{\Sigma}}{C_{\text{об}} - C_{\text{доб}}}. \quad (6.14)$$

В расчетах необходимо полагать, что $C_{\text{об}}$ (концентрация солей в оборотной воде) должна быть не больше допустимой, т.е. $C_{\text{об}} \leq C_{\text{доп}}$.

Видно, величина продувки зависит от солевого содержания добавочной во-

¹ Общая жесткость воды оценивается общим содержанием в ней катионов Ca и Mg, выраженном в миллиграмм-эквивалентах на 1 кг воды. Принято, что 1мг-экв/кг соответствует 20,04 мг/кг Ca^{2+} или 12,16 мг/кг Mg^{2+} . Общая жесткость воды складывается из карбонатной и некарбонатной: $ж_{\text{о}} = ж_{\text{к}} + ж_{\text{н.к}}$.

Карбонатная жесткость $ж_{\text{к}}$ – определяется содержанием в воде бикарбонатов Ca и Mg, которые при нагреве (кипячении) переходят в карбонаты и выпадают в виде шлама и накипи, выделяя при этом CO_2 .

Некарбонатная жесткость $ж_{\text{н.к}}$ – характеризуется содержанием в воде хлористых соединений Ca и Mg (CaCl_2 , MgCl_2), сернокислых (CaSO_4 и MgSO_4), кремнекислых (CaSiO_3) и др. солей не выпадающих в осадок при кипячении.

ды, т.е. воды из источника. Обычно $Q_{пр} \cong 1-2\%$ от $Q_{об}$.

Необходимость продувки не позволяет систему оборотного водоснабжения с испарительными водоохладителями сделать полностью бессточной.

Чтобы сделать систему бессточной, необходимо, чтобы вся продувочная вода была использована полностью в технологическом процессе, или была бы обезврежена и уничтожена в специальных установках. Кроме того, надо использовать и воды (отходы) очистных устройств (шлам, осадки, растворы и т.п.).

6.3. Насосные станции систем водоснабжения предприятий

6.3.1. Назначение насосных станций. Основные требования к сооружениям и оборудованию насосных станций

В системе производственного водоснабжения используются следующие насосные станции: насосные станции 1-го подъема; станции 2-го подъема; станции оборотного водоснабжения (циркуляционные); повысительные; перекачивающие; шламовые и дренажные.

Насосные станции 1-го подъема (НС1) забирают воду из источника и подают ее на очистные сооружения, или, если очистка не требуется, непосредственно в резервуар или распределительную сеть – в зависимости от принятой схемы водоснабжения.

Они располагаются обычно вне территории предприятия на берегу водоема. НС1 должны располагаться на местах, которые не затапливаются в паводок, но и должны обеспечивать надежный забор воды при наименьшем ее уровне. Поэтому чаще всего строятся станции заглубленного типа, когда основание станции находится ниже уровня воды.

НС1 выполняют цилиндрической формы. Особое внимание обращают на компактность размещения оборудования и уменьшения диаметра здания. Поэтому широко используются насосы вертикального типа, у которых двигатель и арматура располагаются на втором этаже. Число насосов – минимально возможное.

На предприятиях, предъявляющих различные требования к качеству воды, на НС1 могут быть установлены насосы, подающие воду как на очистные сооружения, так и потребителям неочищенной воды. Таким образом объединяются насосные станции НС1 НС2.

Часто также, объединяются НС1 и водоприемные камеры в одно сооружение.

Насосные станции 2-го подъема служат для подачи воды потребителям, обычно из резервуаров чистой воды. Они, как правило, объединяются со

станциями оборотного водоснабжения. Такие объединенные станции носят название циркуляционных. Они обслуживают одну или несколько систем оборотного водоснабжения, поэтому могут иметь несколько групп соответствующих насосов.

Циркуляционные станции располагаются в зданиях прямоугольной формы с шириной пролета 6, 12, 18 м. Насосы этих станций забирают воду из резервуаров теплой и охлажденной отработавшей воды. Эти резервуары, как правило, заглублены ниже уровня земли. Поэтому и пол машинного зала насосной станции тоже заглублен, чтобы обеспечить необходимую высоту всасывания насосов.

При температуре воды выше 30°C насосы устанавливают так, чтобы они были под заливом при нижнем уровне воды в резервуаре. При температуре воды больше 60°C надо еще обеспечить достаточный подпор на входе в насосы.

Сами насосы располагаются в зале так, чтобы исключить лишние повороты трубопроводов. Прокладку трубопроводов выполняют в каналах или непосредственно по полу. Последнее предпочтительнее, так как дешевле. Над трубопроводами сооружают переходные мостики.

В заглубленных насосных станциях предусматривают защиту от затопления при авариях. Это либо слив в канализацию, либо установка дренажного насоса.

Повысительные насосные станции (станции подкачки) предназначены для повышения напора воды для отдельных объектов, цехов или агрегатов.

Перекачивающие станции служат для подъема использованной воды от отдельных низкорасположенных потребителей в общую систему отводящих трубопроводов.

Шламовые насосные станции предназначены для перекачки в отстойники или шламонакопители различных отходов производства (шламов, хвостов горных пород, шлаков и др.).

Дренажные насосные станции и установки служат для откачки грунтовых или случайных вод из различных заглубленных мест.

К каждой системе водоснабжения, а следовательно и ее насосной станции предъявляются определенные требования в отношении надежности. По уровню требований надежности системы водоснабжения и насосные станции делятся на три категории:

к *1-й категории надежности* относятся системы водоснабжения и насосные станции предприятий металлургической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности и электростанций. На этих

предприятиях не разрешаются перерывы в подаче воды. Снижение подачи допускается не более чем на 30% от расчетной подачи и не более чем на 3 суток. Допускается снижение расхода ниже этого предела не более 10 мин.

к *2-й категории* относятся системы предприятий угольной, горнорудной, нефтедобывающей, машиностроительной и др. видов промышленности, на которых допускается перерыв в подаче не более чем на 5 часов, а также снижение подачи на 30% до 15 суток;

к *3-й категории* относятся системы мелких промышленных предприятий, допускающие перерыв в подаче воды до одних суток, а также снижение подачи на 30% не более чем на месяц.

6.3.2. Резервирование в системах водоснабжения

Для обеспечения надежности подачи воды на насосной станции применяется структурное, нагрузочное, функциональное и временное резервирование.

При структурном резервировании устанавливается избыточное количество элементов: насосов, арматуры, трубопроводов, кабельных вводов и т.п.

Пример такого резервирования приведен на рис.6.8.

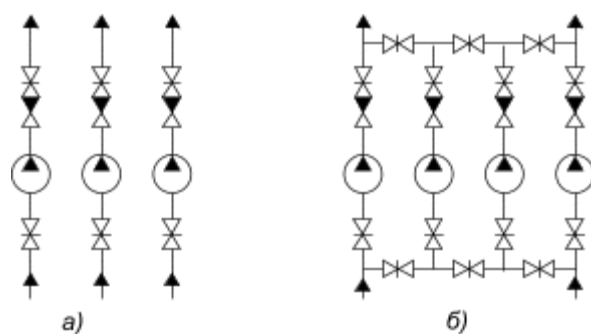


Рис.6.8. Виды структурного резервирования:
а) общее структурное резервирование;
б) раздельное структурное резервирование

Общее структурное резервирование характерно для станций с малым числом насосов. Каждый из них оборудуется самостоятельным всасывающим и напорным трубопроводами с арматурой.

Раздельное структурное резервирование применяют при более сложных схемах, когда число рабочих насосов более двух, а установка всасывающих и напорных трубопроводов более двух нерациональна.

Нагрузочный метод резервирования основан на способности рабочих насосов при отключении части из них увеличивать производительность и этим несколько компенсировать снижение общей подачи.

Функциональное резервирование основано на возможности взаимозаменяемости оборудования различного назначения. Например, есть две группы насосов разного назначения. В каждой группе есть свой резерв. Часть на-

сосов одной группы (чаще только резерв) используется для резервирования другой группы.

Временное резервирование – это использование резерва по продолжительности работы станции. Это возможно, когда у потребителей имеются регулирующие емкости, а на станции установлены насосы с подачей выше среднесуточной.

Выбор метода резервирования связан с оценкой их эффективности. Она оценивается при помощи вероятностных показателей работы станции (поток отказов оборудования, интенсивность ремонтов и т.п.). Математическая оценка эффективности вариантов возможна при наличии базы данных по отказам различных элементов насосных станций.

6.3.3. Схемы циркуляционных насосных станций

Эти схемы рассмотрим на примере систем водоснабжения тепловых электрических станций (ТЭС). На ТЭС используются две схемы циркуляционных насосных станций: централизованная и блочная схемы. Обе эти схемы приведены на рис.6.9.

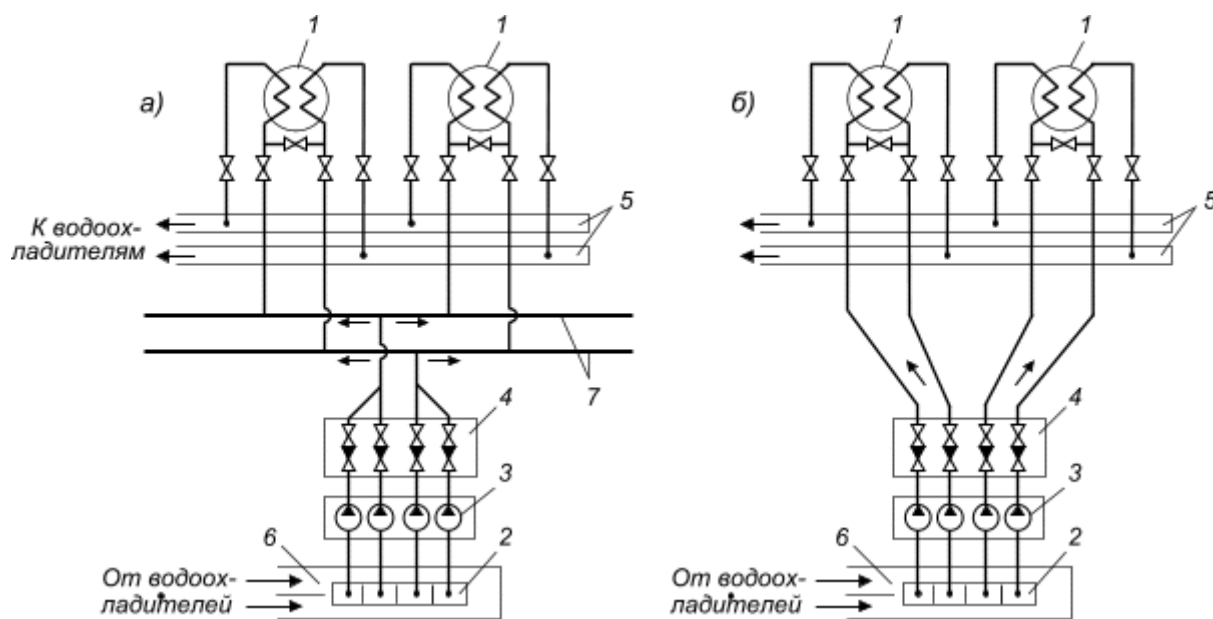


Рис.6.9. Схемы оборотного водоснабжения ТЭС: а – централизованная; б – блочная; 1 – конденсаторы паровых турбин; 2 – приемные колодцы; 3 – здание циркуляционной станции; 4 – помещение обратных клапанов и задвижек; 5 – закрытые самотечные отводящие каналы (к бассейнам) или сливные напорные трубопроводы (к градирням); 6 – приемные самотечные каналы (с приемными колодцами); 7 – напорные трубопроводы

При централизованной схеме вода насосами подается по двум магист-

ральным трубопроводам 7, проложенным вдоль турбинного цеха. От них уже она подводится к конденсаторам.

При блочной схеме магистральные трубопроводы отсутствуют. Каждый насос непосредственно подает воду на один конденсатор или на его секцию. В последнем случае на каждый конденсатор работают два насоса.

Иногда на циркуляционных станциях ставят еще насосы для подъема воды из отводящих каналов (или сборной емкости теплой воды) до форсунок градирен. Обычно это случается при реконструкции системы водоснабжения – при переводе ее с прямоточного водоснабжения на обратное.

6.3.4. Оборудование насосных станций

В состав насосных станций входит следующее оборудование:

а) основное энергетическое оборудование. Это насосы с приводными двигателями. Комплекс, состоящий из насоса и двигателя называют гидроагрегатом (или просто агрегатом) насосной станции. Число их различно. При больших подачах стремятся снизить их число за счет увеличения их единичной мощности;

б) механическое оборудование. Оно включает в себя сороудерживающие устройства, затворы и подъемно-транспортные механизмы;

в) вспомогательное оборудование включает в себя: систему технического водоснабжения НС (на сальники, подшипники, к теплообменникам компрессоров, масляной системы, электродвигателю и др.); дренажно-осушительную систему; систему маслоснабжения; систему пневматического хозяйства; вакуум-систему; контрольно-измерительные приборы (комплекс КИПиА); трубы и фасонные части;

г) электрические устройства (трансформаторы, распределительные устройства);

д) противопожарное и санитарно-технические устройства.

6.3.5. Выбор типа и числа насосов на насосной станции

Выбор типа и числа насосных агрегатов невозможен без учета совместной работы насосов, водоводов и сети. При этом необходимо руководствоваться следующими соображениями:

а) число рабочих агрегатов одной группы должно быть не менее двух;

б) устанавливать как можно меньше рабочих насосов, т.к. параллельная работа нескольких насосов экономически менее выгодна, чем крупных насосов с более высокими КПД. Подача одного насоса в группе нескольких параллельных агрегатов всегда меньше, чем каждого в отдельности, работающего на данную систему;

в) насосы должны работать длительное время в области наивысших КПД. Лишь кратковременные расходы могут подаваться с более низкими КПД;

г) желательны однотипные насосы, однако, для повышения КПД станции, насосы должны подбираться на разные расходы при максимальных значениях КПД с учетом требуемых напоров. Это приводит к необходимости установки разнотипных насосов;

д) рабочие насосы должны обеспечить максимальную подачу. Число резервных агрегатов выбирается в зависимости от категории надежности НС. Но в любом случае их следует принимать не менее двух. Это связано с тем, что при ремонте рабочего насоса станция останется без резерва и при аварийном останове другого рабочего насоса его нечем будет заменить.

Необходимо учитывать, что стоимость агрегата весьма мала по сравнению со стоимостью всей системы. Поэтому не стоит экономить на резерве. Особенно, если важна бесперебойность водоснабжения.

6.3.6. Удельные технико-экономические показатели насосной станции

Основными технико-экономическими показателями работы насосных станций являются: КПД насосных станций и удельный расход электроэнергии.

а) КПД – это отношение полезной энергии, полученной перекачиваемой жидкостью к затраченной электроэнергии на привод насоса (за один период времени):

$$\varepsilon_{н.с} = \frac{N_{пол}}{N_{зат}}. \quad (6.15)$$

Полезную энергию $N_{пол}$, кВт·ч, можно вычислить:

$$N_{пол} = Q \cdot P \cdot T, \quad (6.16)$$

где Q – подача, м³/с; P – развиваемое давление, Па (кДж/м³); T – время работы насосного агрегата, ч.

Потребляемую энергию $N_{зат}$, кВт·ч, определяют по счетчику. Если известен КПД насосной станции, то по формуле:

$$N_{зат} = \frac{Q \cdot P \cdot T}{\eta_{н.с}}. \quad (6.17)$$

КПД насосного агрегата определяется произведением:

$$\eta_{н.а} = \eta_{н} \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_{дв}, \quad (6.18)$$

где $\eta_{н}$ - КПД насоса; $\eta_{пр}$ - КПД привода; $\eta_{дв}$ - КПД двигателя.

Если насосы НС одноптипные и все работают равномерно, то $\eta_{н.с} = \eta_{н.а}$. Если насосы разные, то при установке на НС i насосов, КПД станции определяется соотношением:

$$\eta_{н.с} = \frac{Q}{\left(\frac{Q_1}{\eta_{н.а1}} + \frac{Q_2}{\eta_{н.а2}} + \dots + \frac{Q_i}{\eta_{н.аi}} \right)} \quad (6.19)$$

где Q_i – подачи насосных агрегатов; $\eta_{н.аi}$ – КПД этих агрегатов.

При ступенчатом графике работы необходимо учитывать еще и время работы;

б) удельный расход электроэнергии. Это наиболее важный экономический показатель работы НС. Он определяется отношением фактически израсходованного количества электрической энергии к полезной работе, совершаемой насосами за то же время:

$$\varepsilon_{уд} = \frac{Q \cdot P}{Q \cdot P \cdot \eta_{н.с}} = \frac{1}{\eta_{н.с}}. \quad (6.20)$$

Если расход электроэнергии определять в кВт·ч, и отнести его к подаче 1000 м^3 с напором 1 м и за то же время, то удельный расход электроэнергии можно вычислять по формуле:

$$N_{уд} = \frac{2,724}{\eta_{н.с}}, \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{1000 \text{ м}^3}. \quad (6.21)$$

Эту величина называется теоретической удельной нормой расхода электроэнергии.

Для одного агрегата

$$N_{уд} = \frac{2,724}{\eta_{н} \cdot \eta_{дв}}. \quad (6.22)$$

Принимая паспортные значения КПД $\eta_{н}$ и $\eta_{дв}$ можно получить теоретическую удельную норму расхода электроэнергии для агрегата. Сравнение с фактическим удельным расходом можно судить о эффективности работы агрегата.

Так как КПД электродвигателя практически не меняется, то все изменение падает на КПД насоса. По величине снижения КПД судят о причинах его изменения и о необходимых мерах.

На практике пользуются еще одним показателем – коэффициентом использования рабочей мощности. Это отношение фактически израсходованной электроэнергии в течение рассматриваемого периода к той энергии, которую могли бы израсходовать рабочие агрегаты, если бы они работали в течение 24 часов в оптимальном режиме.

7. ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

7.1. Основные процессы обработки природной воды

В задачу полной обработки природной воды перед подачей ее в систему хозяйственно-питьевого потребления входит:

- а) удаление из воды содержащихся в ней взвешенных частиц – осветление;
- б) устранение веществ, обуславливающих цветность воды – обесцвечивание;
- в) уничтожение содержащихся в воде бактерий – обеззараживание;
- г) удаление из воды катионов кальция и магния – умягчение воды.

Техническая вода, как правило, подвергается только осветлению.

Осветление воды обычно осуществляется путем:

- отстаивания воды в отстойниках;
- пропуска воды через слои ранее выпавшего осадка в осветлителях;
- пропуска воды через слой зернистого фильтрующего материала в фильтрах;
- комбинированного использования названных аппаратов и методов.

7.1.1. Отстойники

Для осветления воды используются отстойники трех типов: горизонтальные, вертикальные и радиальные.

Горизонтальный отстойник (см. рис.7.1) представляет собой в плане бассейн прямоугольной формы с длиной L , шириной B и глубиной H .

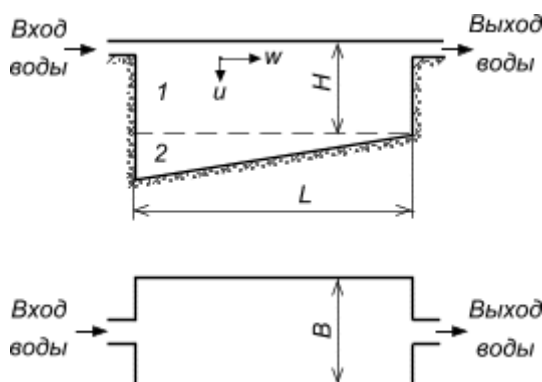


Рис.7.1. Горизонтальный отстойник: 1 – зона осаждения; 2 – зона накопления

Вода, подлежащая осветлению, подводится с одного торца бассейна, проходит вдоль зоны осаждения 1 отстойника и отводится с противоположного торца. Ниже глубины H в отстойнике расположена зона накопления 2, где собирается и уплотняется выпавший осадок. Дно отстойника имеет уклон, обратный ходу воды, не менее 0,02.

Скорость воды в таких отстойниках принимается обычно в пределах $w=5,0-10,0$ мм/с. Скорость выпадения частицы в воде u , м/с, определяется по формуле Стокса [6]:

$$u = \frac{g(\rho - \rho_0)}{18\mu} d^2, \quad (7.1)$$

где ρ и ρ_0 – соответственно плотности частицы и воды, кг/м³; μ – вязкость воды, кг/(м·с); d – эквивалентный диаметр частицы, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Для задержания всех частиц отстойник должен иметь длину L , м:

$$L = \frac{w}{u} H, \quad (7.2)$$

где H – высота зоны осаждения, м; u – вертикальная скорость выпадения частицы, м/с; w – горизонтальная скорость частицы, равная скорости воды.

Формула (7.2) получена при предположении, что скорость w постоянна по высоте и ширине отстойника. На практике это не так. Поэтому СНиП [6] рекомендует длину, ширину и объем отстойника определять по более сложной методике, в которой учитываются: влияние температуры на вязкость воды; гидравлическая крупность частиц взвеси; формы и размеры отстойника и др. факторы.

При значительном содержании взвешенных частиц в осветляемой воде, удаление осадка из отстойника должно быть механизировано. Кроме того значительны расходы воды на собственные нужды (промывка отстойников после их очистки).

Горизонтальные отстойники экономически оправдываются при общей производительности станции более 30 тыс. м³/сутки. Как правило, сооружают не менее двух параллельно работающих горизонтальных отстойников.

Вертикальные отстойники применяются при обработке воды на небольших станциях с общей производительностью до 3 тыс. м³/сут.

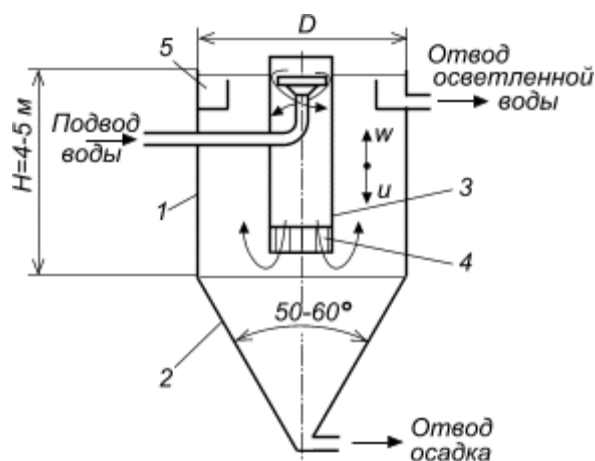


Рис.7.2. Вертикальный отстойник: 1 – корпус; 2 – накопитель; 3 – центральная цилиндрическая труба; 4 – гаситель завихрений; 5 – сборный желоб

Отстойник представляет собой цилиндрический корпус с коническим дном и центральной трубой (см. рис.7.2). Центральная труба 3 – это встроенная в отстойник камера хлопьеобразования водоворотного типа. Вода подается в ее верхнюю часть, проходит камеру сверху вниз и через гаситель 4 поступает в нижнюю часть зоны осаждения отстойника. Затем она разворачивается и по кольцевому сечению движется вверх со средней скоростью $w=0,5-0,6$ мм/с.

Задерживаться отстойником будут частицы, имеющие скорость $u>w$. Осветленная вода через кольцевой сборный желоб 5 выводится из отстойника. Осадок сползает вниз в накопитель и периодически удаляется, без остановки работы осветлителя.

Высота цилиндрической части корпуса принимается не более $H=4-5$ м. Диаметр корпуса D вычисляется по уравнению расхода. Обычно рекомендуют $D/H \leq 1,5$.

Диаметр центральной трубы определяется из расчета необходимого времени пребывания воды в ней – 900-1200 с, т.к. вертикальные отстойники обычно используют для осветления коагулированной воды. Применение коагуляции взвеси позволяет увеличить производительность вертикального отстойника и улучшает качество осветленной воды.

Радиальный отстойник представляет собой круглый железобетонный резервуар большого диаметра D и небольшой глубины H , т.е. это тот же вертикальный отстойник, но с соотношением $D/H > 3,5$. Конструктивная схема такого отстойника приведена на рис.7.3.

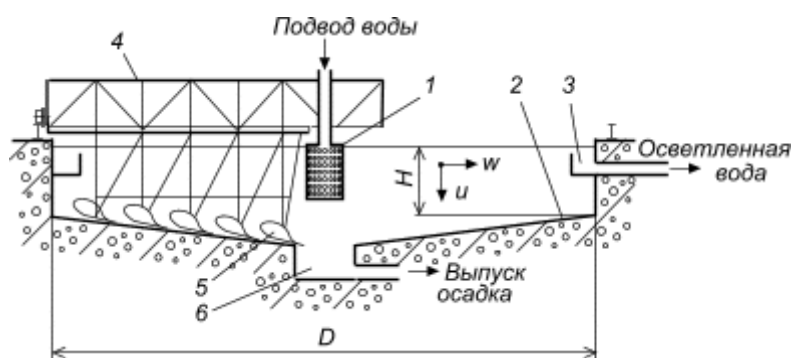


Рис.7.3. Радиальный отстойник: 1 – водораспределитель; 2 – коническое дно; 3 – круговой водосливной желоб; 4 – вращающаяся ферма; 5 – скребки; 6 – приямок

Отстойник с таким соотношением размеров имеет уже в основном радиальное направление движения воды, поэтому и носит соответствующее название. Особенностью работы радиального отстойника является изменение скорости движения воды от максимального значения в центре до минимального на периферии.

К преимуществам радиальных отстойников относится их незначитель-

ная глубина, даже при большой производительности. Глубину у стенки принимают в пределах $H=1,5-2,0$ м, уклон днища отстойника – 0,04.

В этих отстойниках вода подается в центральную часть, проходит через специальные распределительные устройства 1 в виде цилиндрического дырчатого успокоителя и движется в радиальном направлении к периферийному сборному желобу 3, из которого отводится по трубам. Осадок удаляется механически с помощью скребков 5, укрепленных на вращающейся ферме 4. Скребки сгребают осадок к приямку 6 в центре отстойника, откуда он удаляется по грязевой трубе.

Радиальные отстойники применяют при больших расходах воды $Q > 10-12$ м³/с. Особенно они удобны при большой загрязненности воды, так как осадок удаляется непрерывно. Это большое достоинство радиальных отстойников.

Осветление в таких отстойниках может осуществляться как с коагулянт-том так и без него. Применение коагулянта позволяет увеличить производительность отстойника.

Безнапорный гидроциклон представляет собой цилиндрический корпус с коническим днищем (см. рис.7.4).

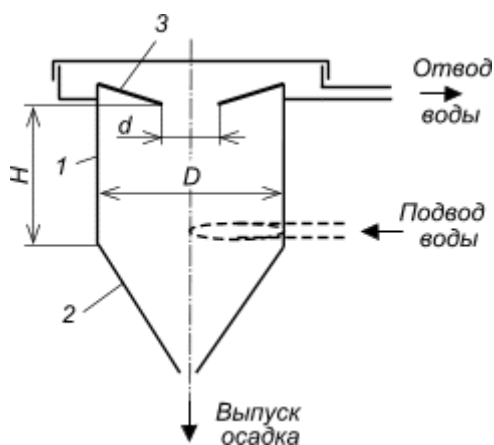


Рис. 7.4. Безнапорный гидроциклон: 1 – цилиндрический корпус; 2 – коническое днище; 3 – коническая диафрагма

Вода подводится тангенциально по 1-й 2-м трубам в нижней части корпуса. При вращении воды частицы взвеси отбрасываются к цилиндрической стенке корпуса и сползают по ней в конусное днище, из которого удаляются через выпуск. Осветленная вода проходит через диафрагму с отверстием $d=D/2$ и отводится через кольцевой желоб в верхней части циклона.

Вращательное движение воды снижает турбулентность потока, что улучшает качество осветления. Обычно $H \cong D$ и $D \leq 8$ м – в зависимости от производительности осветлителя. Применение коагулянта, как и в других осветлителях, увеличивает производительность и улучшает качество осветления.

При повышенных требованиях к воде, или при наличии большого количества мелкодисперсной взвеси, осветление в отстойниках может оказаться недостаточной. В таком случае требуется дополнительная стадия очистки.

Осветлители с пропуском воды через слой уже выпавшего осадка могут быть эффективно использованы вместо отстойников для предварительного осветления воды перед подачей ее в фильтры. Этот метод применим только при условии введения в воду коагулянта, т.е. при условии предварительной обработки воды, лишаящей частицы взвеси агрегативной устойчивости.

Принцип работы некоторых конструкций таких осветлителей показан на рис.7.5.

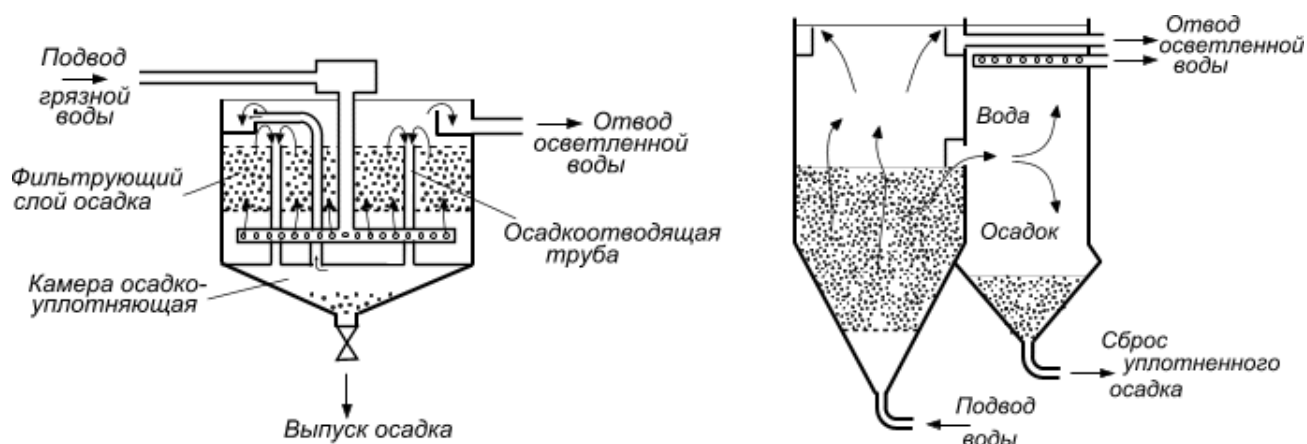


Рис.7.5. Осветлители с взвешенным осадком

Во всех конструкциях вода, после введения в нее коагулянта, подается в нижнюю часть осветлителя. Пройдя решетчатое днище она попадает в слой уже выпавшего ранее взвешенного осадка. В этом слое происходит процесс прилипания частиц взвеси к образовавшимся в воде хлопьям коагулянта, т.е. своеобразный процесс контактной коагуляции. При этом и совершается так называемое стесненное осаждение хлопьев и частиц мути.

Методика расчета процессов осветления в таких аппаратах довольно сложна. Подробно она изложена в СНиП [6].

Широко используются осветлители со слоем взвешенного осадка для осветления мутных вод, при обесцвечивании и при реагентном умягчении воды. Такие осветлители работают эффективно при условии относительно небольших колебаний часового расхода воды ($\pm 10\%$) и незначительных колебаний температуры – не более 1°C в течение 1 часа.

Фильтрация – важная стадия осветления воды. В этом процессе вода проходит через пористую среду, образованную слоем фильтрующего мате-

риала.

Существует большое разнообразие фильтров. Они различаются конструктивным оформлением, видом фильтрующих материалов, механизмом задержания взвешенных частиц.

В общем случае фильтр (см. рис.7.6) представляет собой железобетонный или металлический резервуар 1, в нижней части которого расположено дренажное устройство 4 для отвода профильтрованной воды (фильтрата).

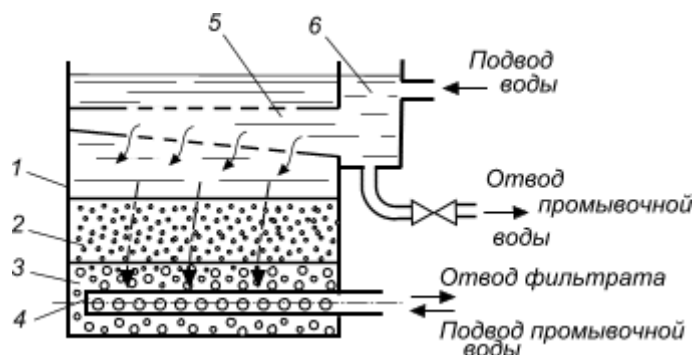


Рис.7.6. Схема работы скорого фильтра: 1 – резервуар; 2 – слой фильтрующего материала; 3 – слой поддерживающего материала; 4 – дренажное устройство; 5 – водоподводящий желоб; 6 – карман

На дренаж укладывается слой поддерживающего материала 3, а затем слой фильтрующего материала 2. Вода подается в фильтр через карман 6 и желоб 5, создает над фильтрующим материалом столб воды, которая, просачиваясь через фильтрующий слой, очищается от взвешенных частиц.

Через определенный промежуток времени фильтр должен очищаться. Очистка производится путем отключения фильтра и промывкой его обратным потоком воды со скоростью в несколько раз превышающей скорость фильтрации. А так как работа периодическая, то фильтров должно быть несколько. Промывка скорых фильтров длится 5-7 минут с периодичностью 1-2 раза в сутки.

Фильтры по виду фильтрующей среды делятся на зернистые (песок, антрацит, керамзит), сетчатые (сетки с разной крупностью ячеек), каркасные или намывные (диатомитовые), с плавающей загрузкой (вспененные гранулы пенополистирола).

По скорости фильтрования w_{ϕ} различают:

- медленные фильтры с $w_{\phi} \leq 0,3$ м/ч (открытые);
- скорые – $w_{\phi}=2-15$ м/ч (открытые и напорные);
- сверхскорые – $w_{\phi}>25$ м/с (напорные).

При проектировочных расчетах фильтров определяются толщина фильтрующего слоя, скорость фильтрования и оптимальная длительность периода работы фильтра между промывками. Правильный выбор этих параметров, находящихся во взаимосвязи, имеет большое экономическое значение.

7.2. Очистка промышленных сточных вод

а) *Очистка и использование шламовых вод* необходима в системах оборотного водоснабжения "грязных циклов". Наиболее часто используются схемы с механическим обезвоживанием шлама в вакуум-фильтрах или фильтр-прессах, в которых шламовая пульпа разделяется на твердую фазу (обезвоженный шлам) и жидкую (фильтрат). Один из вариантов таких схем приведен на рис.7.7.

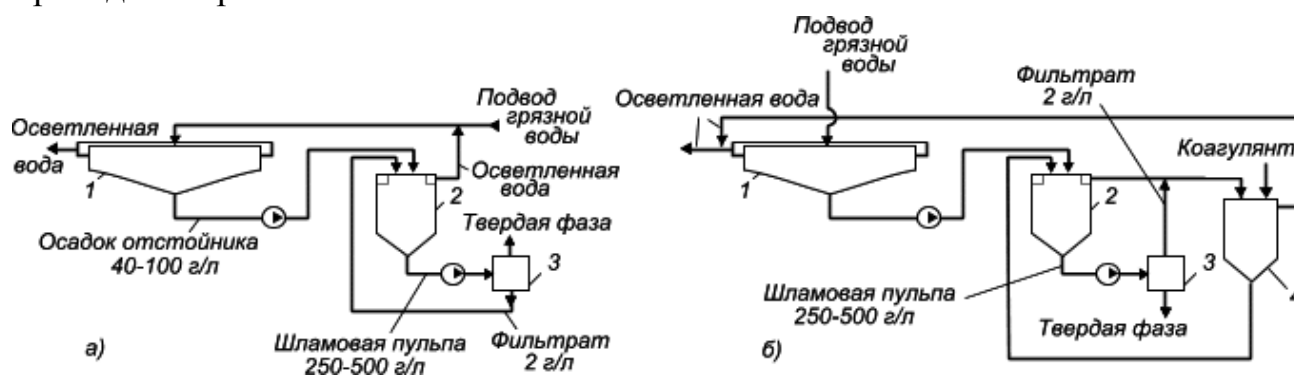


Рис.7.7. Схема установки для очистки шламовых вод: а) – очистка сливных вод без коагуляции; б) – очистка фильтрата с коагуляцией; 1 – радиальный отстойник; 2 – сгуститель (вертикальный отстойник); 3 – вакуум-фильтр; 4 – дополнительный осветлитель

Вакуум-фильтры дают оптимальную производительность при концентрации шламовой пульпы от 250 до 500 г/л, тогда как концентрация осадка отстойника 1 не превышает 100г/л. Поэтому этот осадок направляется в сгуститель 2, где и доводится до пульпы с требуемой концентрацией.

Обезвоженный шлам (твердая фаза) после вакуум-фильтров направляется для технологического использования, а фильтрат возвращается обратно в сгуститель.

Осветленная вода из сгустителя с содержанием взвеси 1,5-2,0 г/л подается на осветление в отстойник 1. Если в осветляемой воде много мелкодисперсных примесей, то добавка осветленной воды из сгустителя может существенно ухудшить качество очищенной воды. В таком случае осветленную воду из сгустителя 2 и фильтрат из вакуум-фильтра 3 дочищают отдельно в специальном осветлителе с применением коагулянта (см.рис.7.7 б).

б) *Очистка кислотосодержащих вод* необходима в производствах, связанных с травлением металлов кислотами или их смесями. При этом образуются *отработанные травильные растворы (ОТР)* и *слабоконцентрированные промывные воды (ПВ)*. Состав этих стоков эти очень разнообразен и за-

висит от марки травимого металла и от используемой кислоты.

Наиболее распространена очистка этих вод методом известковой нейтрализации ОТР и ПВ с последующим нагревом и аэрацией осадка ($10-12 \text{ м}^3$ воздуха на 1 м^3 осадка). При этом образуется кристаллический осадок – магнетит. Он может быть использован как коагулянт и как сырье для строительных материалов.

Если количество ПВ относительно невелико, то целесообразно их обрабатывать совместно с ОТР (рис. 7.8 а).

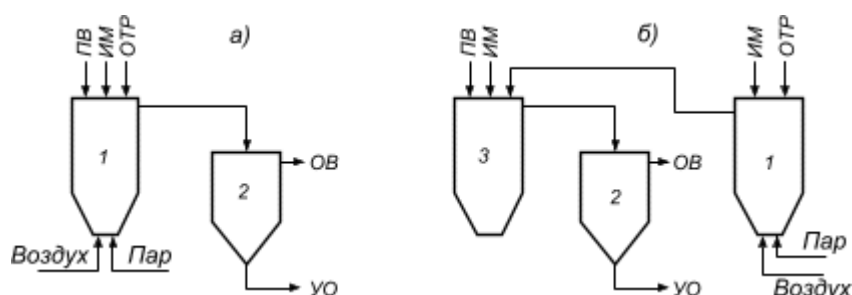


Рис.7.8. Схемы известковой нейтрализации ОТР и ПВ с получением очищенной воды и уплотненного осадка: а) – совместная обработка ОТР и ПВ; б) – раздельная обработка ОТР и ПВ; 1 – реактор; 2 – осветлитель; 3 – смеситель

ПВ и ОТР поступают в реактор 1, куда подается также известковое молоко (ИМ). Вся масса в реакторе подогревается паром, аэрируется воздухом, а затем подается в осветлитель 2. Уплотненный осадок (УО), состоящий из смеси магнетита и гипса, направляется в шламонаполнитель или на механическое обезвоживание и использование. Осветленная (ОВ) вода используется повторно.

Если количество ПВ велико, то ОТР перерабатывается на магнетит в реакторе 1 (рис.7.8 б) и подается как коагулянт для ПВ в смеситель 3. Коагулированные ПВ затем направляются в осветлитель 2 и далее, как в предыдущем случае.

в) *Очистка вод, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ).* ПАВы применяются во многих отраслях промышленности в качестве моющих и обезжиривающих средств, пенообразователей и т.п.

Сточные воды таких производств кроме ПАВов содержат масла, жир, щелочи, механические примеси и т.д. Сброс этих вод в природные водоемы наносит огромный вред окружающей среде.

Основным принципом очистки таких вод является удаление из них

всех загрязнений и такой доли ПАВ, которая допускает повторное использование очищенной воды в технологическом процессе.

Наибольшее распространение получил метод пенной сепарации. В этом методе слой загрязненной воды (2,5-3 м) продувается воздухом. Воздух подается через пористые перегородки с диаметром пор 10-20 мкм. Интенсивность барботажа 18-24 м³/(м²·ч), продолжительность – до 20 мин.

ПАВ и другие примеси концентрируются на стенках пузырьков воздуха, выносятся на поверхность и образуют грязную пену. Эта пена удаляется механическими приспособлениями или сдувается сжатым воздухом. Вода, содержание ПАВ в которой снизилось на 75-92 %, может использоваться повторно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Системы водоснабжения промпредприятий. Борисов Б.Г., Багров О.Н., Калинин Н.В./Ред. А.Г. Спиридонов. М.: Моск. энерг. ин-т, 1987.
2. Абрамов Н.Н. Водоснабжение: Учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1982.
3. Сомов М.А. Водопроводные системы и сооружения: Учеб. для вузов. М.: Стройиздат, 1988.
4. СанПиН 2.1.4.559-96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.
5. Беличенко Ю.П. Замкнутые системы водообеспечения химических производств. М.: Химия, 1990.
6. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения /Минстрой России. М.: ГП ЦПП, 1996.
7. Лаптев А.Г., Ведьгаева И.А. Устройство и расчет промышленных градирен: Монография. Казань: КГЭУ, 2004.