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.

КАРЛ и КЛАУСР. ИМХОФФ

СПРАВОЧНИК ПО ГОРОДСКИМ СТОЧНЫМ ВОДАМ

СПРАВОЧНИК ПО ГОРОДСКИМ СТОЧНЫМ ВОДАМ

Карл и Клаус Р. Имхофф

Первое русское издание

123 рисунка и 10 таблиц

Харьков
1997

Taschenbuch der Stadtentwaesserung
von Karl und Klaus R. Imhoff

Das Werk einschliesslich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. JedeVerwertung ausserhalb derGrenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulaessig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfaeltigungen, Uebersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen.

Gesamtherstellung: R. Oldenbourg Graphische Betriebe GmbH, München
ISBN 3-486-31887-X
©1990 R. Oldenbourg Verlag GmbH, München

Издание, включая все рисунки, защищено авторским правом. Всякое использование вне пределов закона об авторских правах без разрешения издательства недопустимо и наказуемо. Это относится, в частности, к размножению, переводу, микрофильмированию и записи и обработке в электронных системах.

Общее издание: R. Oldenbourg Graphische Betriebe GmbH, München
ISBN 3–486–31887–X

© Перевод на русский язык, изготовление оригинал-макета
— ООО "ЛОГОС-92 Лтд", 1997
Научное редактирование - Горбань Н. С., Скоков С. А.
Оригинал-макет - Юрченко Ю. Н.
Комментарии - к.т.н. Вычегжанина Г. В.

ПРЕДИСЛОВИЕ
к русскому изданию справочника по городским сточным водам

В результате индустриализации в начале века на реках Рейн и Рур возникли водохозяйственные проблемы. Это привело к созданию в 1904 году Эмшерского товарищества и в 1913 году - Рурского Союза. Вышеупомянутые организации выполняли задачи по планированию, строительству и эксплуатации требуемых сооружений на водосборных площадях рек Эмшер и Рур. Исходя из опыта их работы, был составлен немецкий справочник, который переиздавался с исправлениями и дополнениями 28 раз.

Река Рур обеспечивает питьевой водой около пяти миллионов человек населения. Большую роль в этом играют водохранилища, регулирующие расход воды в реке. Сточные воды проходят тщательную очистку в более, чем 100 очистных сооружениях, проточные водохранилища повышают способность малых рек к самоочищению. Достаточное внимание уделяется обработке смеси сточных и дождевых вод. Построено более 300 сооружений по обработке атмосферных вод.

Река Эмшер протекает через область с понижающимся рельефом. Поэтому первоочередной задачей было восстановление возможности стекания воды при естественном уклоне с помощью расширения участков реки и строительства насостных станций. Очистка поступающих стощных вод в настоящее время производится централизованно в устье реки перед впадением ее в Рейн. После прекращения горных работ можно ожидать постепенное восстановление естественного состояния реки Эмшер. Для этого запланирована децентрализованная система очистных сооружений. В общем можно сказать, что благодаря строгим водоохранным законам Западной Гер-

мании в целом достигнуто удовлетворительное качество воды II и II—III классов.

Объединение Западной и Восточний Германии выявило различие между двумя экономическими системами. В Восточной Германии на переднем плане в течение последних 30 лет стояло строительство плотин. Охрана воды была при этом запущена, в результате качество воды оценивается там преимущественно III и IV классами. Продолжительность жизни людей в Восточной Германии короче.

Несомненно, что и для стран СНГ необходима новая ориентация в этом направлении. Надеюсь, что перевод этого справочника на русский язык, обеспечиваемый доктором Львовым В. А. в столь трудное время будет полезен для этого переломного момента.

Профессор,
доктор-инженер Клаус Р. Имхофф

ПРЕДИСЛОВИЕ
к русскому изданию

Предлагаемый широкому кругу специалистов перевод 27-го немецкого издания справочника по городским сточным водам несомненно представляет собой всеобъемлющий источник информации по вопросам канализования населенных пунктов, промышленных предприятий, очистки и утилизации сточных вод и образующихся при этом отходов, в котором в доступной форме и на высоком научно-техническом уровне описывается накопленный за многие десятилетия опыт в проектировании, стрительстве и эксплуатации систем и сооружений канализации.

В справочнике приводится большое количество статистических данных, основанных на результатах научных исследований и практической эксплуатации самых разнообразных систем, предназначенных для сбора, очистки и последующего использования сточных вод и отлагающегося при этом ила. Сюда входят как физические размеры опробированных комплексов и устройств, материальные затраты на сооружение тех или иных объектов по обработке сточных вод, так и научно обоснованные формулы для расчета различных вариантов очистных сооружений. Приводимые в справочнике таблицы дают яркое представление о содержании вредных веществ в сточных водах, их концентрации для определения размеров очистных сооружений. Книга снабжена большим количеством рисунков, графиков и практических примеров расчета необходимых характеристик очистных сооружений в зависимости от численности населения, концентрации промышленности, наличия других источников загрязнений. Описаны установки для очистки сточных вод с указанием способов, вариантов, методов очистки, а также подсушивания, транспортировки и использования полученного ила. Достаточное внима-

ние уделено методам и способам расчета очистных сооружений для бытовых и промышленных нужд, приведены примеры планирования и расчета.

При создании справочника использовано большое количество немецкой и зарубежной научной литературы, периодических изданий, а также норм и стандартов в данной области.

По мнению коллектива специалистов, подготовивших первое русское издание данного справочника, подобной научно-практической литературы в СНГ еще не существует. Книга безусловно вызовет заслуженный интерес среди специалистов (в том числе студентов), занимающихся вопросами экологии, охраны водных ресурсов, отвода, очистки и утилизации сточных вод.

Профессор,
академик Украинской
Экологической Академии В. А. Львов

ПРЕДИСЛОВИЕ

Эта книга была написана в 1906 г, т.е. 84 года назад. Цель ее состояла в том, чтобы в краткой форме изложить сведения об отведении и очистке сточных вод густонаселенного промышленного района нескольким молодым инженерам образованного тогда "Эмского объединения" в Эссене. Основным требованием, предъявляемым к очистке этой категории сточных вод, было улучшение степени очистки, которое было тогда сравнительно новым понятием. С этой целью были созданы открытые коллекторы сточных вод и очистные станции, которые состояли из двухъярусных отстойников, метантенков и иловых площадок.

По проекту 1910 г в Эссене был основан "Рурский союз". Он взял на себя задачу поддерживать чистоту реки Рур, которая снабжала питьевой водой большой промышленный район. Следствием этих работ явилось создание книги, которая посвящена биологическим способам очистки, а также процессам самоочищения речной воды.

На иностранные языки книга была переведена впервые в 1929 г в Америке, в 1933 г в Польше, в 1934 г в Италии, в 1935 г во Франции и Аргентине, в 1950 г в Югославии, в 1957 г в Венгрии, в 1958 г в Болгарии, в 1967 г в Бразилии и Финляндии, в 1969 г в Испании (переиздание в 1979 г), в 1976 г в Японии и в 1982 г в Корее. В 1940 году в Нью-Йорке вышла книга Имхоффа и Фейра "Очистка сточных вод", в которой Гордон М. Фейр, Кэмбридж, переработал книгу применительно к американским условиям. Здесь особое внимание следует обратить на разработанные Фейром способы расчетов самоочищения вод. Эти способы позднее были включены и в немецкое издание.

В 1956 г появилось 2-е издание книги и одновременно британская книга Имхоффа—Миллера—Тристлетвайта "Обезвреживание сточных вод и отходов, содержащихся в воде". В 1970 г последовало 5-е французское издание, в 1971 г — 2-е издание книги Имхоффа—

Миллера—Тристлетвайта, в 1979 г — 2-е итальянское издание (переиздание в 1987 г), в 1982 г — 4-е польское издание, в 1986 г — 2-е бразильское и 2-е болгарское издание, а в 1987 г — 2-е японское издание. В 1989 г появилась книга Карла Имхоффа "Справочник по городской канализации и обезвреживанию сточных вод" в новой редакции, применительно к американским условиям (соавторы В. Новотный, К.Р. Имхофф и П.А. Кренкель).

Карл Имхофф, основной автор этой книги, умер 28 сентября 1965 г после редакции 21-го издания. С тех пор переработкой книги занимается его соавтор.

В 27-м издании книги, также как и в предыдущих, нет сложных формул и отнимающих много времени вычислений. Там, где это необходимо, приводятся лишь эмпирические численные данные, которые можно брать за основу. С достаточной точностью ответить на многие вопросы можно с помощью диаграмм. Более полутора тысяч ссылок на специальную литературу позволяют читателю разобраться там, где ему недостаточно текста.

В книге наряду с современными дорогостоящими способами очистки рассмотрены и некоторые упрощенные.

В 27-м издании изменения внесены на следующих страницах оригинала: 29...37, 60, 64...66, 90, 93, 116, 130, 158, 178, 184, 211, 214, 218, 220, 222...237, 245, 275, 298, 303, 307, 310, 332, 340, 351, 386, 396...402.

Следует обратить особое внимание на следующее:

— выбор размеров камер ливнеспуска (стр. 29);

— определение размеров коллекторов согласно отраслевой инструкции ATV-Arbeitsblatt A 110 "Объединения канализационных систем" (стр. 60);

— выбор размеров аэрируемых песколовок (стр. 163);

— новые предельно допустимые требования к коммунальным канализационным очистным сооружениям (стр. 90);

— кинетика разложения с применением активного ила (стр. 229);

— выбор размеров аэрационных установок (стр. 228) и вторичных отстойников (стр. 233);
— нитрификация/денитрификация (стр. 289);
— площадь для очистки вод способами, близкими к естественным (стр. 156);
— эффективность методов глубокой очистки сточных вод (стр. 226);
— способ очистки сточных вод в метантенках (стр. 320);
— новый закон о налоге за сброс сточных вод (стр. 298);
— адсорбируемые органически связанные галогены (стр. 116);
— новая таблица затрат (стр. 93);
— модели качества воды водоемов (стр. 503);
— стандарты и отраслевые инструкции "Объединения канализационных систем" (ATV) (стр. 511).

Эссен, июль 1989 г

Почетный профессор, доктор-инженер Клаус Р. Имхофф

ОГЛАВЛЕНИЕ

Часть I. Городская канализация

1.	Основы проектирования городской канализации	11
1.1.	Канализационная сеть	11
1.2.	Насосные станции	20
1.3.	Сооружения для сброса дождевых вод	23
1.3.1.	Общие положения	24
1.3.2.	Ливнеспуски	29
1.3.3.	Камеры ливнеспусков	36
1.4.	Регулирующие резервуары дождевых вод	49
1.5.	Отстойники для дождевых вод	56
1.6.	Отведение дождевой воды в водоемы	57
2.	Расчет канализационных сетей	60
2.1.	Сток загрязненных вод	60
2.2.	Сток дождевых вод	60
2.2.1.	Оценка по площади или длине	60
2.2.2.	Сокращенный расчет по длине, скорости и коэффициенту стока	62
2.2.3.	Простой расчет по таблице	62
	Расчетный дождь	62
	Коэффициент стока	65
2.2.4.	Подробный расчет по таблице	68
	Временной коэффициент	68
	Таблица простого расчета	69
	Таблица подробного расчета	70
2.2.5.	Графический способ	74
2.2.6.	Расчет с помощью электронной обработки данных	76
2.3.	Определение поперечных сечений	77
2.3.1.	Таблицы для расчета поперечного сечения трубопроводов	83

2.3.2.	Четыре таблицы по Прандтлю–Коулбруку	539
3.	Расчет запаса прочности коллекторов сточных вод	89
3.1.	Нагрузка от давления грунта на трубы, уложенные в траншеях	89
3.2.	Поверхностная нагрузка на траншею	92
3.3.	Нагрузки от транспорта	94
3.4.	Монтажные коэффициенты	96
3.5.	Проверка запаса прочности	98
3.6.	Трубопроводы в дамбах	100

Часть II. Обработка сточных вод

4.	Общие положения по обработке сточных вод	103
4.1.	Общее изложение задачи	103
4.2.	Процессы, происходящие при очистке сточных вод	105
4.3.	Способы очистки сточных вод и их эффективность	110
4.4.	Естественные или искусственные способы?	115
4.5.	Использование сточных вод	116
4.6.	Затраты на очистку сточных вод	117
4.7.	Твердые отходы, мусор	120
4.8.	Воздействие на окружающую среду	122
4.8.1.	Запахи	122
4.8.2.	Шумы	128
4.8.3.	Аэрозоли	131
5.	Расчет и проектирование очистных сооружений	132
5.1.	Свойства сточных вод	132
5.2.	Сита, решетки	152
5.3.	Флотация	156
5.4.	Очистка отстаиванием	159
5.4.1.	Площадь поверхности отстойника для зернистых взвешенных веществ	160
5.4.2.	Песколовка	163

5.4.3.	Хлопьевидные взвешенные вещества и время протекания	168
5.4.4.	Отстойник	170
5.4.5.	Виды резервуаров	175
5.4.6.	Коагулирование	180
5.5.	Химический способ осаждения	181
5.6.	Хлор	185
5.7.	Биологические способы	186
5.7.1.	Земледельческие поля орошения	192
5.7.2.	Коммунальные поля орошения (высоконагружаемые)	198
5.7.3.	Поля фильтрации	200
5.7.4.	Занимаемая площадь	203
5.7.5.	Капельные биофильтры	204
5.7.6.	Погружные биофильтры	226
5.7.7.	Аэрация	228
5.7.8.	Способ с активным илом	229
5.7.9.	Способ двухступенчатой биологической очистки	265
5.7.10.	Биологически пруды, водохранилища	267
5.7.11.	Нитратный способ	272
5.7.12.	Способ очистки сточных вод в перегнивателях (в септиках)	273
5.8.	Доочистка сточных вод	277
5.8.1.	Обзор	277
5.8.2.	Расчет аэрационных установок для нитрификации (денитрификации)	289
5.9.	Обработка ила	307
5.9.1.	Обзор	307
5.9.2.	Свойства активного ила	310
5.9.3.	Количество ила	313
5.9.4.	Сгущение	315
5.9.5.	Избыточная аэрация	318
5.9.6.	Сбраживание ила	320

5.9.7. Материал для образования газа при брожении 326
5.9.8. Типы камер сбраживания ила 328
5.9.9. Расчет камер сбраживания ила 342
5.9.10. Получение газа, нагрев и использование газа 344
5.9.11. Метан как газообразное моторное топливо 351
5.9.12. Иловые площадки 351
5.9.13. Иловые пруды 355
5.9.14. Вывоз сырого осадка 355
5.9.15. Кондиционирование ила 357
5.9.16. Искусственное обезвоживание ила 359
5.9.17. Сжигание ила 364
5.9.18. Использование ила 367
5.9.19. Устранение ила 371
5.10. Промышленные сточные воды 373
5.10.1. Общие положения 373
5.10.2. Разные сточные воды 388
5.11. Дождевая вода 409
5.12. Домовые отстойные установки 413
5.13. Малые очистные станции 420
5.14. Вспомогательные установки 426
5.15. Порядок проектирования очистных станций 430
5.16. Примеры расчета очистных станций 437

Часть III. Охрана водоемов от загрязнения

6. Сброс сточных вод в водоемы 450
6.1. Требования к сбросу в водоем 450
6.2. Выпуск сточных вод и забор воды 458
6.3. Мероприятия по оздоровлению водоемов 560
6.4. Круговорот воды 466
7. Самоочищение водоемов 472
7.1. Потребление кислорода 473

7.2.	Поступление кислорода	481
7.3.	Расчет кислородного баланса	485
7.3.1.	Потребление и поступление кислорода	485
7.3.2.	Способ оценки по Фейру	490
7.3.3.	Вычисление кислородной кривой по Фейру	493
7.3.4.	Допустимая нагрузка по Фейру	496
7.3.5.	Расчет искусственной аэрации водотоков	499
7.4.	Модели качества воды водоемов	503
7.4.1.	Нормирование сброса сточных вод	503
7.4.2.	Дальнейшие модели качества водоемов	509
8.	Стандарты и отраслевые инструкции в области канализации	511
8.1.	Стандартизация и стандарты	511
8.2.	Стандарты в области "Канализационная техника"	512
8.3.	Разрешение на применение материалов для устройства канализации	514
8.4.	ATV — правовое регулирование — сточные воды — удаление	516
9.	Английские и американские меры	524
10.	Журналы и серийные издания	527
	Комментарии научного редактора	531
	4 таблицы Прандтля–Коулбрука	539

Часть I

ГОРОДСКАЯ КАНАЛИЗАЦИЯ

1. Основы проектирования городской канализации

1.1. Канализационная сеть

Вопрос сточных вод гигиенически можно решить только посредством строительства канализации и очистных сооружений. Уборные промываются водой, т.е. нет бессточных выгребов или домовых очистных сооружений. Канализационную сеть можно построить *экономично*, если обеспечить инфильтрацию дождевой воды и для ее отведения использовать и развивать открытые водотоки.

Наряду с *планом застройки* нужно составлять также *схему канализации* (предварительный проект) (ATV-Arbeitsblatt A 101, проект 1987 г). Канализационную сеть целесообразно выполнять до строительства водопроводных сооружений.

Предварительный проект должен быть составлен в первую очередь. Ситуационный план 1 : 25000 или 1 : 5000 с канализуемыми территориями, магистральными коллекторами, ливнесбросами, дождевыми резервуарами, водоприемниками, водами, горизонталями, продольными профилями магистральных коллекторов, горизонтальный масштаб — как на ситуационном плане, вертикальный — 1 : 100.

Результаты бурения возле очистной станции, дождевых резервуаров ливневой канализации и нескольких важных точек коллекторов. Расчет коллекторов. Критический модуль дождевых вод или степень разбавления на ливнесбросе.

Основной проект. Ситуационный план 1 : 25000 ... 1 : 5000 с горизонталями. План трубопроводной сети 1 : 5000 ... 1 : 1000. Продольные разрезы, высоты 1 : 100. Глубины подвальных помещений, уровни грунтовых вод. Характер грунта и грунтовых вод. Стро-

ительный план с подключениями к канализации домов и выпусками 1 : 1000 ... 1 : 500. Строительный чертеж трубопроводов, колодцев, очистной станции и т.п., полные результаты буровых работ, полный расчет трубопроводной сети, описание. Проект только для основных улиц. Прилегающие районы только приблизительно. Главный принцип: *не допускать загнивания* сточных вод и предотвращать образование осадка. Это особенно затруднительно на начальных участках. Их нужно регулярно промывать или предусматривать промывные колодцы.

Как правило, предпочтительнее *смешанный способ отведения* (общесплавная система канализации). (ATV—Arbeitsblatt A 105, St. Augustin 1983). Где возможно обеспечивать инфильтрацию атмосферных сточных вод в почву (Grau, A., et al.., GWF 1986, 309; ATV—Berichte Bd. 39, 1988, 73; ATV—Arbeitsblatt A 138, 1988).

Раздельный способ отведения (раздельная система канализации, отдельные коллекторы для сточных вод) всегда более дорогой и трудоемкий, если существуют две независимые канализационные сети. Иногда выгоден на ровной местности и при канализовании низменных участковна улицах, расположенных на берегу вдоль водоприемника, в другом случае необходимы были бы канализационные насосные станции. При использовании уличных лотков (при уклоне улиц менее 1 : 200) экономичен также в загородных районах с высокой степенью застройки (Kehr, GI 1951, 355, Komm.wirtsch. 1955, 373, Veroff. d. Inst. f. Siedl.-Wasserwirtsch., Hannover, Heft 6, 1960). Об инфильтрации дождевой воды см. ATV—Arbeitsblatt A 138. К количеству сточных вод надбавка не менее 100 % на дождевые и грунтовые воды. Очистная станция при раздельном способе дешевле в случае, если дождевую воду не нужно очищать.

Вода из дождевых коллекторов при раздельном способе имеет в среднем биохимическое потребление кислорода порядка 30 мг/л, если нет ошибочных подключений. Для дождевых канализацион-

ных сетей при смешанном способе можно принять 150 мг ХПК/л и 80 мг $БПК_5$/л. Поскольку при смешанном способе в очистное сооружение подаются значительные количества дождевой воды, нагрузка водоприемника в обоих случаях примерно одинакова (Pecher, R., KA 1974, 113).

Трассировка коллекторов в зависимости от естественного уклона. Раздельные коллекторы для раположенных на возвышенных и пониженных участках, если только на возвышенных возможен самотечный отвод, а из пониженных должна производиться откачка. Отдельные, особенно глубокие подвалы, осушать с помощью насоса.

Увеличение численности населения (рис. 1.1) в год: малый город — 2 %, большой город — 1 %, промышленный город — 5 %. В районах горных разработок рассчитывать на 20 ... 25 лет, в остальных случаях — до 50 лет. Увеличение количества жителей в городах зачастую под вопросом, однако следует ожидать дальнейшего увеличения удельного стока. Если имеются планы очередей строитель-

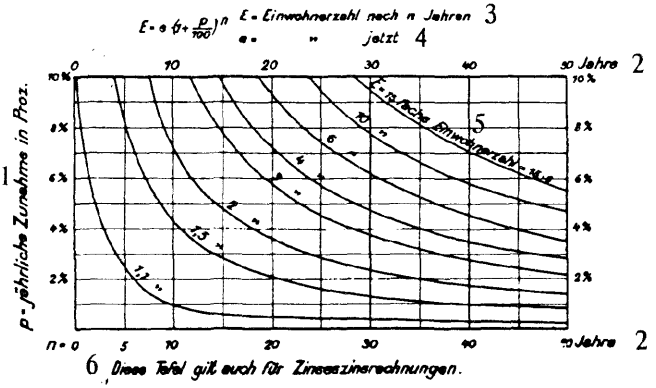


Рис. 1.1. Прирост населения

1 – p - ежегодное увеличение в %; 2 – ... лет; 3 – E = количество жителей через n лет; 4 – e = то же сейчас; 5 - E = 15-кратное количество жителей = 15 • e; 6 – эта таблица пригодна также для расчета сложных процентов

ства, то следует вычислить максимально возможное количество жителей, графически представить прежний прирост населения и по обоим параметрам оценить будущее развитие.

Классификация территории по виду застройки и плотности населения.

Запорные устройства (двойной затвор, предохраняющий от обратного течения при подпоре снизу) или откачивающие устройства на домовых выпусках, если подвальные помещения должны быть защищены от затопления из уличного канализационного коллектора. Возможна также ручная задвижка, которая открывается на время только в том случае, когда нужно выпустить воду (например, из прачечной). Однако трубы с верхних этажей и водосточные трубы должны иметь свободный сток, т.е. обходить затвор.

Дюкеры. Две трубы, одна для сухой погоды с минимальной скоростью в дневные часы 1 м/с. Ливневой водосброс перед водосточной трубой с плоским затвором или шандором для промывки. Промывочные заслонки перед обеими трубами. Восходящая ветвь не вертикальная, а с уклоном не более 1 : 2 (высота к длине), чтобы песок тоже поднимался. Для малых количеств воды — только одна труба, однако с регулярной промывкой. Для больших количеств воды возможно регулирование с помощью подушки сжатого воздуха (Bielecki, R., Wasser u. Boden 1979, H. 8).

Сифонов по возможности избегать. В остальном как дюкеры, но трубы с небольшим уклоном, чтобы пузырьки воздуха также могли двигаться. Стояки вертикальные и круто изогнутые, чтобы захватывался воздух.

Мостовые переходы трубопроводов см. Kittel, D. (GWF 1971, 137).

Напорные трубы насосных станций (Siefert, F., et al., KA 1988, 493 und 604). Расположение как у дюкеров. Удаление воздуха в явных повышенных точках. Расчет дюкера и напорной трубы точ-

но такой, как самотечного водовода по таблице 1 ... 3, но определяется не уклон трубопровода, а гидравлический уклон, т.е. отношение высоты подачи к длине трубы. Рекомендуется скорость 1 м/с. Не допускать загнивания сточных вод при изменении количества воды (максимальный суточный расход и расход ночью в сухую погоду, расход в сухую погоду и дождь) трудно. Для этого используется промывка с короткими временными интервалами, а также аэрация коллекторов (Arbeitsbericht ATV—AG 1.1.6, KA 1986, Helf 1).

Продольные профили [x]. Минимальная допустимая скорость течения при полном заполнении $v = 1$ м/с; 0,5 м/с — при частичном заполнении (в сухую погоду), в остальных случаях — регулярная промывка. Максимальная допустимая скорость $v = 6{,}0$ м/с для керамических труб и изготовленным по современным технологиям бетонных труб. В противном случае — перепадные колодцы. Для сточных вод, не содержащих песка, минимальная скорость может составлять 0,4 м/с, максимальная — 6,0 м/с, для труб из центрифугированного [x] бетона — 8,0 м/с. Затем вычислить напоры по таблицам 1 ... 9. Для труб круглого поперечного сечения см. рис. 1.2. Подробнее об этом см. Karakassonis, Die Bewegung der Schwerstoffe in flachgeneigten Rohren, Oldenbourg, München 1936, а также Dobrochotow, GI 1941, 646. По Карпу уклоны укрепленных бетонными плитами водотоков бассейна р. Эмс — 1 : 200 ... 1 : 1500.

На рис 1.2 показаны минимально допустимые скорости течения для труб диаметром до 1 м. При больших диаметрах можно применять формулу

$$J_{krit.} = 1{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot h^{-0{,}13}$$

$J_{krit.}$ = критический уклон [‰]

h = высота в свету [м]

(Schütz, M., KA 1985, 415. Ср. также Macke, E., KA 1983, 462)

---

[x] Здесь и далее см. комментарии научного редактора в конце книги

Пример. Какой минимальный уклон все еще допустим при трубе диаметром 0,4 м (d = 0,4 м) для содержащих песок сточных вод? — На рис 1.2, по второй слева кривой, $J = 0{,}004 = 1 : 250$. При полном заполнении (h = 1,0 d) скорость течения примерно v = 1,0 м/с и при чяастичном заполнении (h = 0,2 d) — около 0,5 м/с. Это проверяется по таблицам 1 и 5. При содержащих песок сточных водах допустимый уклон был бы по первой кривой 0,002 = 1 : 500, причем при частичном заполнении h = 0,25 d скорость была бы около 0,4 м/с.

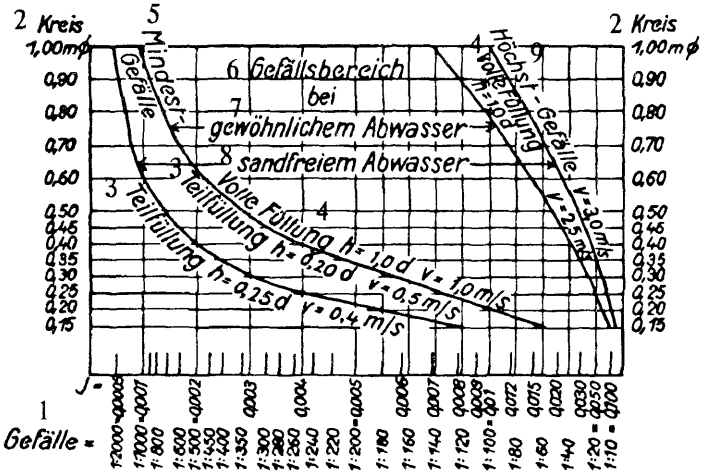


Рис. 1.2. Стандартный уклон каналов круглого сечения
1 — уклон; 2 — диаметр; 3 — частичное заполнение ...; 4 – полное заполнение ...; 5 – минимальный уклон; 6 — диапазон уклонов; 7 — при обычных сточных водах; 8 — при сточных водах, не содержащих песка; 9 — максимальный уклон ...

Уступы дна в случае ответвлений и изменения поперечного сечения, чтобы средний уровень воды оставался прежним или (при достаточном уклоне) опускался. Уровень дна на коротких участках

может также повышаться за счет оседания песка. При слабом уклоне заполнять дно заподлицо.

Поперечные сечения бетонных, керамических или асбестоцементных *коллекторов* обычно круглые диаметром 25 ... 60 см либо круглые бетонные и железобетонные. Иногда овоидальной формы.

Закрытые коллекторы. Тип перекрытия зависит от давления грунта и нагрузки наземного транспорта. Большей частью свод. Основание зависит от гидрологических условий и типа грунта. В случае малого стока в сухую погоду в большом поперечном сечении желоб для низких уровхей воды с вертикальными или наклонными стенками 1 : 1.

Колодцы располагаются в местах изменения уклонов, направления и поперечного сечения, в остальных случаях каждые 50 ... 60 м, в проходных коллекторах каждые 100 м и более [x)]. Непроходной трубопровод между колодцами обязательно прямой. Конструктивные формы ср. ATV—Arbeitsblatt A 241, Bauwerke der Ortsentwasserung, St. Augustin 1978. При трубах диаметром до 60 см [xx)] основание колодца поднимают до вершины трубы. Это дает меньшие гидравлические потери при переподпоре (Liebmann, Horst, Wasser und Abwasser, Bd. 2, 1970, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld).

Уличные дождеприемники. Сифон не рекомендуется. Это обеспечивает улучшенную вентиляцию каналов.

Эксплуатация каналов. Промывка, особенно при раздельном способе и при недостаточном уклоне на верхних участках. Затворы для создания подпора воды в колодцах. Автоматические промывные камеры (Steinwender, GI 1941, 514). Промывные устройства, шары, согласно Kickbusch (GI 1949, 193). Очистка водой под давлением, см. Frechen, B. Berichte der ATV 1963, H. 15, 156. Телекамеры для непроходных участков (Müller, Fr., Berichte der ATV Nr. 20, 1968, 157).

Вентиляция производится через уличные дождеприемники и выведенные через крышу домовые трубопроводы, т.е. на стояке сифон отсутствует. Однако сифоны располагаются под каждым санитарным прибором для приема сточной воды. В крышках колодцев предусматриваются отверстия, особенно при изменении уклонов, для высвобождения воздуха при внезапных ливнях. В случае очень длинных закрытых коллекторов необходимо производить искусственную вентиляцию (Müller, W., GI 1952, 164).

Материалы. Трубопроводы малого и среднего размера выполняются из бетонных или керамических труб. Используемые материалы обычно равноценны и при качественном выполнении водонепроницаемы. Они имеют одинаковые потери напора при трении, пока стенка не корродирована и их соединения в форме раструба в норме [x)]. При уплотнении асфальтом трубы должны быть сухие. Предпочтительнее накатные или скользящие кольца и полимерные уплотнения. Температура воды свыше 35 °С не допускается.

Керамические изделия дорогие, однако имеют больший срок службы и надежно противостоят химическому и механическому воздействию.

Бетонные трубы должны быть водонепроницаемы. Это достигается соответствующим составом бетона и надлежащей обработкой. С помощью стальной арматуры достигается устойчивость к любому внешнему и внутреннему давлению. Самое распространенное соединение труб — надвижная муфта с резиновым уплотнением. Раструбные трубы могут выпускаться большой длины. Грунт и грунтовые воды нужно исследовать на предмет того, не следует ли опасаться химических воздействий. Необходимо также учитывать воздействие изнутри промышленных сточных вод, выделяющихся в процессе брожения газов (сероводород) и песка. Средствами защиты являются: отведение грунтовых вод, уплотнение бетона, добавки к раствору, окраска, покрытие и облицовка керамическими плитка-

ми. При малом уклоне гниение сточных вод и отложений предотвращается промывкой и вентилацией (Thistlethwayte, D. K. B., The Control of Sulphides in Sewerage Systems, Butterworth, Sydney, 1972; Deutsche Ubersetzung, Beton-Verlag, Düsseldorf 1972. Auskleidung von Grossrohren Bielecki, R., Wasser u. Boden, 1979, Heft 8; Klose, N., Sulfidprobleme und deren Vermeidung, Beton-Verlag, Düsseldorf 1981; Lohse, M., KA 1987, 613; Stein, D., et al., KA 1987, 1016).

В особых случаях (высокий уровень грунтовых вод, напорные трубопроводы для сточных вод или осадка сточных вод) хорошо зарекомендовали себя асбестоцементные трубы (Hünerberg, K., u. Tessendorff, H., Handbuch für Asbestzementrohre, Springer-Verlag, Berlin 1977). Применяются также трубы из литой стали, полиэтилена высокого давления или других плстмасс, пригодность которых доказана.

Об опыте практического применения коллекторов из жесткого ПВХ для малых диаметров сообщает Schulte (KA 1970, 178). Трубы и фасонные части согласно отраслевой инструкции ATV–Arbeitsblatt A 114. Материалы для труб описывает Haendel, H., KA 1984, 592 и 701.

Выполнение строительных работ (ATV–Arbeitsblatt A 139) [x]. В основном применяется открытая траншея. При диаметре условного прохода трубы до 50 см ширина траншеи равна наружному диаметру трубы плюс 60 см. При больших наружных диаметрах ширина траншеи равна наружному диаметру трубы плюс 80 см (Müller, W. J., und Jakobitz, K., KA 1966, H. 6). Укладку начинают с самой нижней точки. Трубы укладывают на песчаную или бетонную подушку. Испытание уложенного трубопровода на плотность соединений производят в открытой траншее согласно DIN 4033 (Danielewski, G., GWF 1967, 1031). Траншеи заполняют грунтом осторожно. Под важными транспортными путями и при больших глубинах укладки трубопровода необходимо предварительное уплотнение (Pfützner, W., GWF 1967, 1079, Lenz, D., Beton- und Stahlbetonbau 1970, 183).

Различные методы строительства — Veit, W., GWF 1967, 418 и ATV–Arbeitsblatt A 125: Rohrvertrieb, Bonn 1975. Продавливание малых диаметров — Mohring, ATV–Ber. 1987, Nr. 37, 93. Ремонт и профилактическое обслуживание — ATV–Merkblatt M 143, Entwurf 1988.

Затраты на строительство коллекторной сети в среднем на 1 м длины труб составляют 800 DM/м или на одного жителя 1600 DM/чел. в крупных городах, 2400 DM/чел. в малых городах с неплотной застройкой. Длина каналов на одного жителя см. Mohle, K. A., Ber. der ATV, Nr. 23 (1969), 131; Gilles, J., KA 1987, 414.

1.2. Насосные станции [1)]

Размеры строительной части выбирать по пропускной способности канализационной сети, т.е. для полного развития. Электрическая часть (подключение к источнику тока и панели шкафа КРУ) также для полного развития. Насосы для промежуточных состояний. При проектировании следует не только решать задачу перекачки, но и учитывать воздействие на канализацию (коррозия) и очистные сооружения; обращать внимание на равномерность транспортируемого потока и недопущение загнивания сточных вод. Подача в канализационные сети производится большей частью с помощью лопастных насосов. В насосных станциях перед очистным сооружением зачастую с помощью шнекового подъемника. При транспортировке небольших количеств на значительные расстояния осуществляется пневматическая подача с помощью компрессоров.

В случае применения лопастных насосов выбор насосов и конструкции приемной камеры (зумпф насоса) производить для работы без сорозадерживающей решетки (Londong, D., et al., Wasser u. Boden, 1984, 484). Обычно используется "сухой" монтаж со свобод-

---

[1)] Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Bd. II; ATV–Arbeitsblatt A 134; Tuttahs, G., KA 1988, 998

ным притоком к насосу. Насосы горизонтальные или вертикальные монолитной конструкции. Предусматривается задвижка. Дну придается уклон, чтобы не задерживался ил. Выгоден боковой приток, насос для сухой погоды из-за промывки располагать последним. Регулирование осуществляется посредством *всасывающего патрубка*, а также путем изменения числа оборотов. Для выравнивания расхода можно использовать и канал, если не допускать отложения осадка (скорость течения не менее 0,8 м/с в сухую погоду) и обратный подпор. *Погружные насосы* с "мокрым" монтажом применяются большей частью в ограниченном пространстве и как насосы для опорожнения отстойников для дождевых вод, регулирующих резервуаров и камер ливнеспуска. Зазор рабочего колеса ≥ 100 мм.

Полезный объем приемной камеры V_N ($м^3$) зависит от производительности насоса Q_F (л/с) и частоты включений Z (1/ч). При нескольких насосах разного размера определяющим для полезного объема является самый крупный насос, при нескольких насосах одного размера — один насос, однако необходимо принимать во внимание долевые напоры для включения и выключения других насосов:

$$V_N\ (м^3) = \frac{0{,}9 \cdot Q_F(л/с)}{Z}$$

Ориентировочные значения частоты включений:

мощность электродвигателя до 7,5 кВт	$Z \leq 15$
до 30 кВт	$Z \leq 12$
свыше	$Z \leq 10$

При погружных насосах мощностью до 30 кВт с "мокрым" монтажом допускается удвоенная частота включений, так как происходит самопроизвольное охлаждение сточными водами. Дальнейшие расчеты, например, по Карпу (Wasserwirtschaft, 1951/52, 163). Камера для всасывающего патрубка не так велика, что предотвращает загнивание сточных вод и отложений.

Улитки[x)] адаптируются (без дополнительных мер) к изменяющемуся притоку. Особая приемная камера не нужна. По достижении наполнения происходит постоянная подача. Желоб шнека изготавливается из монолитного бетона, готовых бетонных деталей или стального листа (Handbuch der Wasserforderschnecken, Selbstverlag der Ritz OHG, Schwabisch-Gmünd 1968; Lewinsky-Kesslitz, H. P., Osterr. Wasserwirtschaft 1966, 261; Radlik, K. A., Abwasserpumpwerke, Abwassertechnik, 1984, 16).

Пневматическая транспортировка (при подаче до 50 л/с). Благоприятна для предупреждения загнивания сточных вод. Имеет преимущества даже при малых количествах воды и больших напорах, например, 100 м, и при подключении нескольких насосных установок к общему напорному трубопроводу. Гидравлических ударов нет. При расчетах экономической эффективности обращать внимание на то, чтобы повышенная стоимость строительства насосной станции могла быть компенсирована отсутствием вентиляционных трубопроводов, устройств для опорожнения, промывочных колодцев и что допускается укладка параллельно земной поверхности. Распределительные устройства монтировать в недоступных для затопления местах. Доступ к приемной камере вне насосного помещения. Вид защиты распределительных устройств и электроаппаратуры выбирается в соответствии с местными условиями. Подробности в соответствии с отраслевой инструкцией ATV–Arbeitsblatt A 134, St. Augustin 1982.

Мощность электродвигателя "K", подающего агрегата (для воды):

$$K = \frac{9{,}81 \cdot H \cdot QF}{hA} \text{ (кВт)},$$

где H = манометрический напор (м),

QF = производительность насоса (м3/с),

hA = к.п.д. установки (суммарный к.п.д. подающего агрегата и электродвигателя со всеми потерями).

Для лопастных насосов hA = 0,30 ... 0,80 в зависимости от сточных вод и конструкции рабочего колеса. Насосы выбирать таким образом, чтобы рабочие точки находились преимущественно а области максимального к.п.д., по возможности с пологим ходом кривой к.п.д. в этой области. У винтовых насосов максимум hA = 0,60 ... 0,70 в широком диапазоне производительности. При пневматической транспортировке к.п.д. hA = 0,20 ... 0,30.

Годовые расходы на электроэнергию K_E:

$$K_E = \frac{8760 \cdot H \cdot Qm}{102 \cdot hA} \cdot kE \text{ (DM)},$$

где H = манометрический напор (м),
Qm = средний приток (л/с),
kE = средняя цена за 1 кВт (DM/кВт),
DM = марок ФРГ.

Расходы на электроэнергию на 1 л/(с • 1 м) при среднем к.п.д. и kE = 0,30 DM/кВт•ч составляют около 50,00 DM/год. Расходы на электроэнергию на одного жителя в год при 150 л/(чел. • сут.) и H = 10 м — около 1,5 DM/год. Однако они сильно колеблются. Физически 1 кВт•ч соответствует 367 метрическим тоннам или $3{,}67 \cdot 10^5$ кГм [x)].

При тяжелых грунтовых условиях и малых количествах сточных вод возможна также *канализация под давлением* [xx)] (Zander, B., GWF 1972, 447, Cousin, B., Wasser u. Boden 1972, 295; Jedlitschka, J., et al., KA 1985, 118; KA 1987, 70) или *вакуумная канализация* (Winkelmair, G., Wasser u. Boden 1974, 229; Jedlitschka, J., et al., KA 1985, 123). При малых притоках допустимо применение насосов с разрыхлительной головкой.

1.3. Сооружения для сброса дождевых вод

Обработали: доктор-инженер Дитер Лондонг и строительный асессор Гильберт Виллемс

1.3.1. Общие положения

Поскольку очистные сооружения во время дождя могут принимать лишь двухкратный приток сухого периода, при смешанном способе избыток смеси дождевых и сточных вод должен отводиться непосредственно в водоемы. Однако нагрузку загрязнений на них нужно выдерживать в допустимых пределах. Воздействия залповых сбросов сточной воды из общесплавной системы удовлетворительной оценке не поддаются (Sperling et al., Ergebnis einer Anhorung von Fachleuten, KA 7/89, S. 755). Отраслевая инструкция ATV–Arbeitsblatt A 128, Richt-linien für die Bemessung von Regenentlastungen in Mischwasserkanalen, St. Augustin 1977, в качестве цели указывает, что без биологической обработки можно сбрасывать только 10 % загрязнений стока дождевых вод. Сегодня известно, что это плановое мероприятие едва ли выполнимо. При переработке A 128 исходят из того, что при общесплавной системе поступление в водоемы загрязнений со смесью сточных вод, сбрасываемых в водоемы и отводимых после сооружений биологической очистки, не должно быть больше, чем при раздельной системе.

Для достижения этой цели необходима *обработка дождевых вод*. Под этим понимается аккумулирование смеси сточных вод общесплавной системы в промежуточном бассейне с последующей обработкой на сооружениях биологической очистки или на отдельных сооружениях с применением отстойников, микросит или фильтров.

Водосбросными сооружениями являются ливнеспуски, через которые при сильном дожде часть смешанной воды сбрасывается в водоем, и камера ливнеспуска - дополнительно расположенный резервуар, служащий для регулирования и осветления стока. Общим термином *дождевой резервуар* (Londong, D., Stadtehygiene 1966, 199; DIN 4045) называют кроме камеры ливнеспуска также регулирующий резервуар и отстойник дождевых вод.

Камеры ливнеспуска имеют в качестве важных составных частей ливнеотвод в водоем и трубопровод, отводящий воду на очистную станцию. Ливнеотвод может находиться на отводящей стороне (перепуск в очистную станцию) или на подводящей стороне (водосброс перед камерой ливнеспуска). Они срабатывают лишь тогда, когда камера наполнена. Для предварительных проектов в общем случае можно принять их объем 20 ... 25 $м^3$/га водонепроницаемой площади или установить примерно 4 чел/$м^3$ резервуара. *Подпорные каналы* с верхним и нижним отводом являются частными случаями камер ливнеспуска. *Регулирующие резервуары для дождевой воды* при смешанном и раздельном способах располагаются на сети, чтобы разгрузить идущие далее коллекторы. Они накапливают воду при сильных ливнях и постепенно ее сбрасывают. У них только один аварийный водосброс в водоприемник. *Отстойники для дождевых вод* предназначены для загрязненных дождевых вод при раздельном способе.

Затраты на обработку дождевых вод примерно так же высоки, как затраты на очистной станции. Средства выгоднее вложить в расширение очистной станции, чем в сооружение отстойников (Pecher, R., GWF 1986, 374; Willems, G., GWF 1988, 269).

Расчет сооружений для сброса дождевых вод производить с помощью отраслевой инструкции ATV–Arbeitsblatt A 128 или инструкций земель. Всегда нужно рассматривать все сооружения, включая очистные. Определение абсолютных значений фактических загрязнений в настоящее время едва ли возможны. В обычных случаях применяются простые способы с графиками, в сложных случаях *— методы определения содержания загрязняющих веществ* (способы и модели). (Schweinfurth, H., KA 1976, 325; Arbeitsberichte der ATV–AG 1.9.3, KA 8/1985, 710, KA 3/1986, 241, KA 1/1988, 74; Gottle et al., Wasserwirtschaft 1983, 298; Euler, G., et al., KA 9/1983, 647; Geiger, W., Berichte TU München, Nr. 50,

1984; Willems, G., KA 9/1987, 939; Meissner, E., KA 11/1988, 1147; Sieker, F., KA 11/1988, 1195; Horler, A., KA 988, 1110).

Площадь водосбора. Площади расширения и увеличения застройки не выбирать слишком большими. Как правило, прогноз на 50 лет не оправдан. Для площадей расширения отдаленной перспективы предусмотреть собственный резервуар для дождевой воды, который можно построить позже.

Опись: ливнеспуски, камеры ливнеспуска, подпорные каналы, регулирующие резервуары для дождевой воды, максимальная пропускная способность ведущих далее каналов, расположение крупных сборников, подключаемый объем каналов, участки ремонта, важные точки, районы сосредоточения загрязнений, водоприемники.

Исходные данные: составляющие площади водосбора, со смешанным и раздельным отведением; площадь водосбора перед регулирующим резервуаром для дождевой воды; резервные районы застройки. Площади с усовершенствованными покрытиями A_{red} (и/или водонепроницаемые площади A_u) определять по возможности точно, соотношение общей площади и составляющих площадей между собой. Данные района: путь протекания, расположение, уклон, жители, стоки бытовые, производственные, промышленные. Определить приток воды с соседнего водосбора для современных условий и экстраполировать на прогнозируемый период. Добавки для повышения надежности, как это принято при выборе размеров сети каналов, при расчете содержания загрязняющих веществ не нужны. Следует собрать данные об очистной станции, относящиеся к обработке дождевой воды (действительное состояние). Из имеющихся результатов измерений можно вывести данные о Q_h, Q_g, Q_f. Минимальные ночные притоки — преимущественно воды соседнего водосбора. Данные экстраполировать реалистически. Определяющим для расчета водосбросных сооружений является дождевой сток как разность между пропускной способностью очистных сооружений и среднесуточным расходом сточных вод в сухую погоду (Q_{t24}).

Если очистная станция в последующие годы еще может биологически полностью переработать $2Q_s + Q_f$ или $2Q_t$, то размеры дождевых резервуаров в "действительном состоянии" подходят, в ином случае — принимаются по "прогнозируемому состоянию очистной станции". Перед пуском очистной станции настроить всю сеть, а не только дроссели перед станцией.

Метод расчета согласовать, собрать данные об атмосферных осадках (полосы дождей, неразрывность, продолжительности модели дождей, натуральные дожди). Справочными параметрами могут быть: частота сбросов стока, продолжительность сбросов, продолжительность подпора, частота возникновения подпора, продолжительность опорожнения, интенсивность сброса, теоретическое содержание загрязняющих веществ в сброшенной воде (БПК, ХПК и т.п.). Затем составление планов системы водоотведения, схем потоков, увязка элементов в зависимости от метода расчета, возможные места расположения, экономичность.

Последовательность строительных мероприятий зависит от загрузки имеющейся очистной станции. В результате обработки дождевых вод задерживаются, в основном, мусор, песок, взвешенные вещества (Kassner, KA 3/1983, 160). Кроме того, по мере увеличения объема резервуаров в значительной степени возрастает и время нагрузки от дождевой воды. Могут ли водоемы без вреда отводить сброшенную воду? Находятся ли вблизи водозаборы? Большие площади водосбора с большим количеством жителей имеют приоритет перед малыми. В первую очередь следует сооружать резервуары, расположенные ближе к очистной станции. Предпочтительнее строить резервуары без предварительного сброса нагрузки (промывочный удар), чем резервуары с предварительным сбросом.

Подводящий канал. Чтобы получить конструктивную высоту в камере ливнеспуска и тем самым уменьшить затраты на строительство, целесообразно, как правило, подводящий канал устраивать

с подпором, если позволяет высотное положение близлежащих подвалов и прилегающей территории (Koral, Saatci, Regenüberlauf- und Regenrückhaltebecken, WEMA– Fachverlag, Au/Zürich 1976). При всех формах камер ливнеспуска канал между ними и водосбросной камерой проектировать как минимум на расчетную величину подачи к водосбросной камере, чтобы предотвратить перелив из нее в водоприемник до наполнения камеры ливнеспуска.

Запорно-регулирующие устройства. Выбор зависит от вида сброса (на ливнеспуске или из камеры ливневыпуска), местоположения (вблизи очистной станции или в отдалении), размера резервуаров, расхода стока, сопряжения потоков, уклона в примыкающей коллекторной сети. В простых случаях обычно для ливнеспуска выбирают ливнеотвод, для камеры ливнеспуска (небольшой резервуар вдали от очистной станции, имеющий достаточный уклон для самотечного опорожнения) — надежное механическое регулирующее устройство (вихревой клапан, вихревой дроссель, гидрозатвор, затопленный клапан с поплавковым управлением или др.). Регулирование расхода менее 30 л/с проблематично (ATV—AG 1.9.1, KA 1988, 275).

Электрическое регулирование (задвижка с электроприводом в сочетании с измерением стока по Риттмейеру, Фоллмару, Бромбаху и др. допускает меньшие затраты лишь теоретически. Нерегулируемые затворы и диафрагмы в качестве единственного управляющего устройства непригодны. *Сбоку, примерно на 50 см выше подвода,* необходим аварийный обходной канал, который можно обслуживать даже при наполненном резервуаре. Из-за опасности засорения диаметр отводящего водовода должен быть > 400 мм. Регулирующее устройство при пропуске стока в сухую погоду не должно создавать подпора в подводящем канале. *В новых проектно-конструкторских* разработках следует предусматривать просторные измерительные колодцы.

Нужно обращать внимание на возможность работы устройств при различных сбросах. При приемке строительно–монтажных работ проверять пропускную способность всех регулирующих устройств. Для этого устройства закрыть, резервуар наполнить. Открыть выпуск и засечь время до опорожнения, вычислить пропускную способность регулирующего устройства и сопоставить с заданным значением. Проверку и очистку устройств производить регулярно.

1.3.2. Ливнеспуски

Ливнеспуски рассчитывались раньше по разбавлению на переливе. Большей частью оно 8–кратное (1 часть загрязненной воды, 7 частей дождевой), частично 10–кратное. Степень разбавления дифференцировалась в зависимости от требований к чистоте вод. Ливнеспуск или циркуляция на очистной станции были настроены на 5–кратное (1 + 4) разбавление.

В Федеративной Республике Германии ливнеспуски следует рассчитывать по *критическому модулю дождевых осадков*. Это модуль дождевых осадков в л/(с•га), при котором начинается переливание через водослив (Horler, A., Die Wirkung der Regenauslasse, Schweiz. Bauztg. 1941, H. 20, Munz, W., Entlastungskonzeption in Mischsystemen, GWF 1973, 525; Horler, A., Osterr. Wasserwirtschaft 1986, 54). Обычно "критический модуль дождевых осадков" в Швейцарии — 15 ... 30 л/(с•га), в Германии — 7 ... 15 л/(с•га).

Между критическим модулем дождевых осадков (r_{krit}) и степенью разбавления (m) существует зависимость:

$$r_{krit}\ (л/с•га) = (m - 1) \cdot \frac{Q(л/с)}{AE(га) \cdot ym}.$$

Здесь Q — сток в сухую погоду с водосбора площадью *AE*, *ym* — средний коэффициент стока дождевых вод [x)]. В зависимости от водопотребления, поступления воды соседнего водосбора и величины коэффициента стока $Q/(AE \cdot ym)$ колеблется между 0,2 и 3 л/(с•га). Дождевые осадки с модулем такой величины дают такой же сток,

как в сухую погоду. Решающим является максимально точный расчет. Если взять для примера 2 л/(с•га) и 5-кратное разбавление, то переливание через край начинается при $r_{krit} = (5-1) \cdot 2 = 8$ л/(с•га). В дальнейшем для анализа служит кривая обеспеченности модуля дождевых осадков (рис. 1.3). Ее ход приемлем для разных мест, если годовая продолжительность дождя берется равной 100 %. В Цюрихе в среднем продолжительность дождей 1048 часов, в Эссене — 750 часов. Для $r_{krit} = 8$ л/(с•га) в Эссене, таким образом, превышает 0,08 • 750 = 60 часов. Кривая b) показывает соответствующее суммар-

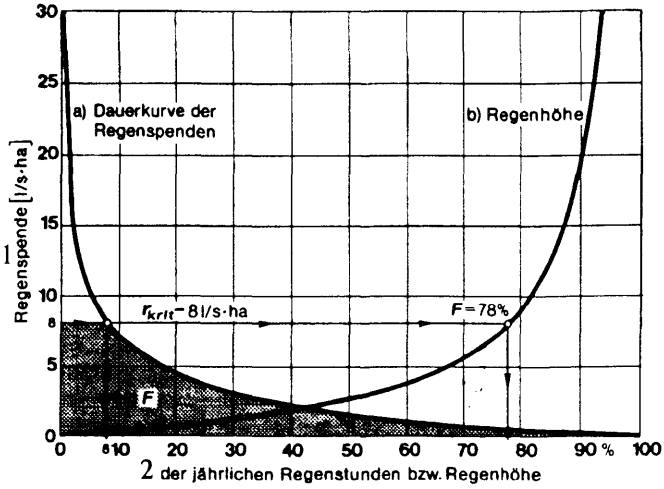


Рис. 1.3. Кривая обеспеченности дождевых осадков и взаимосвязь с высотой слоя дождевых осадков по Херлеру
а) кривая обеспеченности модулей дождевых осадков; b) высота слоя дождевых осадков; 1 — модуль дождевых осадков, л/(с•га); 2 — часов дождя в году или высота слоя дождевых осадков

ное значение высоты слоя дождевых осадков. При $r_{krit} = 8$ л/(с•га) в водоприемник сбрасывается 22 % годовой высоты дождевого стока,

а 78 % — нет. Удвоение r_{krit} охватило бы дополнительно только 11 % количества стока. Размер и аккумулирующая способность сети каналов оказывают существенное влияние на разгрузочный сброс воды из общесплавной системы.

Другим важным моментом является частота сброса воды (Hoerler, A., Schweiz. Bauztg. 1941, H. 20, v.d. Emde, W., GWF 1969, 321, Pecher, R., KA 1984, 359; KA 1988, 660 u. 1118; Horler, A., Gas–Wasser–Abwasser (Schweiz.) 1987, 712).

Отраслевая инструкция ATV–Arbeitsblatt A 128, 1977 предлагает для определения критического модуля дождевых осадков диаграмму, рис. 1.4. Он зависит от отношения среднего меженного стока

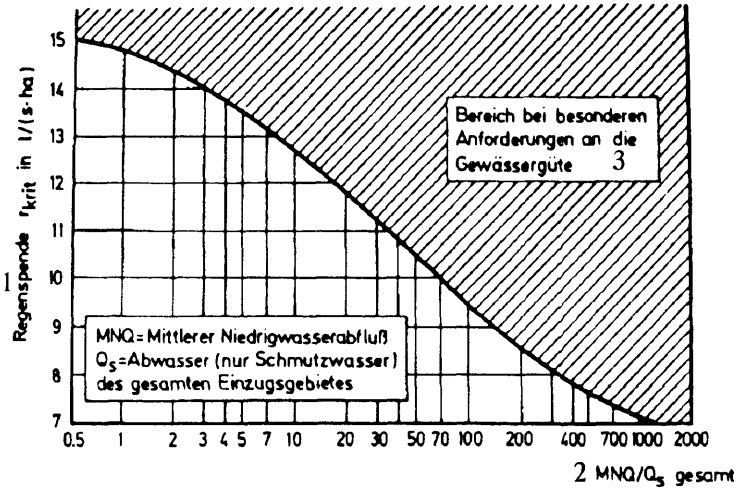


Рис. 1.4. Установление критического модуля дождевых осадков

1 — модуль дождевых осадков r_{krit} в л/(с•га); 2 — общее отношение MNQ/Q_S; 3 — область особых требований к качеству воды; MNQ = средний сток, соответствующий горизонту меженных вод; Q_S = сточные воды (загрязненная сточная вода) всей водосборной площади

водопроемника (MNQ) к стоку загрязненных сточных вод всего населенного пункта ($Q_{S\,ges}$). При площади водонепроницаемых поверхностей (крыши, улицы и т.д.) на водосборе A_{red} в га критический сток дождевых вод $Q_{r\,krit}$ составляет

$$Q_{r\,krit} = r_{krit} \cdot z \cdot A_{red} \quad \text{в л/с.}$$

$z = 1 - \frac{tf}{200}$ представляет собой понижающий коэффициент, который учитывает тот факт, что с увеличением времени добегания *tf* (в мин) частота водосбросов, объем водосброса и масса сброшенных загрязнений становятся меньше. Однако его значение должно быть не менее 0,5.

Тогда

$$Q_{krit} = Q_t + Q_{r\,krit} + Q'_{r\,krit} \quad \text{в л/с.}$$

При этом Q_t [x)] представляет собой сток в сухую погоду (загрязненная сточная вода Q_S + вода соседнего водосбора Q_f). $Q'_{r\,krit}$ при последовательно включенных ливнеспусках представляет собой остающийся в канализационной сети дождевой сток сверху.

В новой редакции отраслевой инструкции ATV–Arbeitsblatt A 128, желтое издание 1990 г, критический модуль дождевых осадков зависит только от времени добегания

$$r_{krit} = 120/(tf + 120) \cdot 15 \quad \text{в л/(с•га).}$$

Уменьшать значение модуля ниже 7,5 л/(с•га) не рекомндуется.

Критический сток смешанной воды Q_{krit} в новой редакции составляет

$$Q_{krit} = Q_{tx} + Q_{r\,krit} + \sum Q_d \quad \text{в л/с.}$$

При этом Q_{tx} представляет собой средний сток в сухую погоду за *x* дневных часов; $Q_{r\,krit}$ — критический дождевой сток ближайшего вышерасположенного водосборного бассейна, а $\sum Q_d$ - в данных условиях притекающий к этому бассейну сток, остающийся в канализационной сети после всех вышерасположенных ливнеспусков и камер ливнеспусков. Если расположенные выше по потоку ливне-

спуски должны быть подключены с большим критическим модулем дождевых осадков, то тогда при определении $\sum Q_d$ этот модуль можно уменьшить до необходимого значения в определяющем водосбросе.

Если получается степень разбавления $m = (Q_d - Q_{tx})/Q_{tx} > 4$, то в основу расчета ливнеспуска следует включать степень разбавления $m = 4$. Если средняя концентрация по ХПК в стоке в сухую погоду c_t составляет свыше 600 мг/л, то величину m следует увеличить для достижения более сильного разбавления

$$m \geq (c_t - 200)/100 .$$

Переливы по возможности следует осуществлять с поднятым затвором (рис. 1.5). Диаметр отводящей трубы $d_u \geq 0{,}2$ м. Использование ливнеспуска с донным сливом (гидравлический прыжок) целесообразно при бурном потоке с глубиной меньше критической. Различные формы использования рассмотрены в работе "Combined Sewer Regulator Overflow Facilities" (Am. Pub. Works Ass. Washington 1970, FWQA Pub. No. 11022 DMU 07/70).

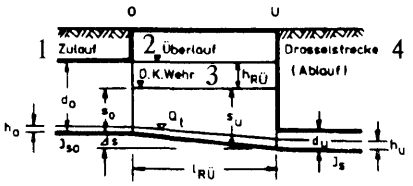


Рис. 1.5. Высотное положение верхней кромки затвора
1 — приток; 2 — перелив; 3 — верхняя кромка затвора; 4 — водоотводящий участок (сток)

При поднятом затворе ливнеспуска верхняя кромка находится выше, чем нормальный уровень воды в притоке при Q_{krit}. При Q_t со скоростью течения > 0,5 м/с в подводящем канале верхняя кромка затвора должна быть установлена высоко, насколько позволяет

уровень обратного подпора, однако она должна находиться как минимум вблизи 0,6 d_0 и выше расчетного высокого горизонта водоприемника (рис. 1.5). При бурном истечении через перелив можно пропустить поток через успокоительный участок с умеренным уклоном дна или поднять затвор до уровня вершины подводящей трубы. Боковых впадений в ливнеотводных сооружениях следует избегать.

Водоотводящий участок должен пропускатьть Q_t без обратного подпора в подводящем канале. Необходимая разность высот дна, Δs, вдоль затвора следует из условия, что при стоке в сухую погоду напор на отводящем участке (h_{Eu}) должен быть ниже, чем на подводящем (h_{E0}). Δs должна составлять не менее 3 ... 5 см. Верхнюю кромку дроссельного затвора следует располагать горизонтально и как минимум на 0,05 м выше вершины отводящего трубопровода.

Для гидравлического расчета сначала принимаются верхняя кромка затвора (расстояние между уровнями дна s_o и s_u) и уклон дна, J_s, отводящего трубопровода (по возможности не более 3 ‰) [x]. Его диаметр, d_u, выбирается немного меньше, чем это было бы необходимо для свободного стока Q_{krit}. При Q_t скорость течения должна быть $\geq 0{,}5$ м/с. Необходимая длина водослива с тонкой стенкой вычисляется:

$$l_D = s_u - m \cdot d_u - 0{,}07 \cdot v_u^2 / J_E - J_s \quad \text{в м},$$

причем v_u — скорость течения и J_E — уклон напорной линии при Q_{krit}. m можно принять за 1. m будет меньше, если $v_u/\sqrt{g \cdot d_u} > 1$. Когда это отношение достигает 2,5, m еще 0,5. Диаграмма приводится в отраслевой инструкции ATV-Arbeitsblatt A 128, 1977.

В частных случаях поперечное сечение водоотвода заполняется не полностью. Тогда водосброс срабатывает преждевременно. Опыт может показать, следует ли опасаться этого при выбранных размерах.

Длина затвора, l_{RU}, при полном использовании для водослива в первом приближении выбирается равной

$$l_{RU} = 4 \cdot Q_{max}/1000\, d_0 \quad \text{в м}.$$

Тогда напор на водосливе

$$h_{RU} = (3 \cdot Q_{RU}/2 \cdot c \cdot 1000 \cdot l_{RU} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g})^{2/3} \quad \text{в м,}$$

где $Q_{RU} = Q_{max} - Q_{krit}$. При полном использовании для водослива ширини затвора $c = 1,0$, при неполном — меньше. m для одностороннего водослива принять за 0,6, а для двухстороннего - за 0,5.

h_{RU} должен быть как можно больше — от 0,10 до 0,20 — во избежание слишком длинных порогов затвора и больших затрат на строительство.

Пример:

Водосброс имеет водосборную площадь $A_{red} = 16,5$ га; $Q_t = 20$ л/с; $Q_{max} = 1650$ л/с и $t_f = 13$ мин. Для водоприемника действительно $r_{krit} = 15$ л/(с•га). Подводящий канал имеет $d_o = 1,20$ м; $J_s = 2$ ‰; $k_b = 1,5$ мм; $Q_v = 1700$ л/с и $v_v = 1,50$ м/с.

При Q_{max} устанавливается спокойный поток с $h_o = 1,06$ м; $v_o = 1,56$ м/с (таблица 5). При Q_t $h_o = 0,09$ м, $v_o = 0,54$ м/с (таблица 5) и $h_{Eo} = 0,09 + 0,54^2/2g = 0,10$ м.

Высота порога $s_o \geq 0,6 \cdot 1,20 = 0,72$ м. Выбрано: $s_o = 0,75$ м (возможно, т.к. v_0 при $Qt \geq 0,5$ м/с).

$$Q_{r\,krit} = 15 \cdot (1 - 13/200) \cdot 16,5 = 231 \text{ л/с}$$

$$Q_{krit} = 231 + 20 = 251 \text{ л/с.}$$

Отводящий трубопровод: выбран $d_u = 0,4$ м; $J_s = 2$ ‰. При $k_b = 0,25$ мм $Q_v = 114$ л/с и $v_v = 0,91$ м/с. При Q_t $h_u = 0,11$ м, $v_u = 0,69$ м/с (таблица 5) и

$$h_{Eu} = 0,11 + 0,69^2/2g = 0,13 \text{ м.}$$

$$\Delta s \geq h_{Eu} - h_{Eo} = 0,13 - 0,10 = 0,03 \text{ м, выбрано } 0,05 \text{ м}$$

$$s_u = s_o + \Delta s = 0,75 + 0,05 = 0,80 \text{ м.}$$

При Q_{krit} $v_u = 2,0$ м/с и $J_{Eu} = 9$ ‰.

При $v_u/\sqrt{g \cdot d_u} = 2,0/\sqrt{g \cdot 0,4} = 1,0$ вместо m можно подставить 1.

Для водослива с тонкой стенкой

$$l_D = 0,80 - 1 \cdot 0,40 - 0,07 \cdot 2,02/0,009 - 0,002 = 17,15 \text{ м.}$$

Затвор водослива

$$l_{RU} = 4 \cdot 1650/1000 \cdot 1,2 = 5,50 \text{ м.}$$

$$Q_{RU} = Q_{max} - Q_{krit} = 1650 - 251 = 1399 \text{ л/с}$$

$$h_{RU} = (3 \cdot 1399/2 \cdot 1000 \cdot 5{,}5 \cdot 0{,}6\sqrt{2g})^{2/3} = 0{,}27 \text{ м}.$$

Однако не всегда выбор значения высоты гребня и размеров водослива приводит к достижению цели. В подобных случаях выбор размеров нужно повторить, используя другие значения. Указания по выбору подходящих величин дает Meier, K.H., KA 1978, 241. Программу для карманных калькуляторов дает Schmitt, L., KA 1983, 62.

1.3.3. Камеры ливнеспуска

В зависимости от местных условий камеры ливнеспуска располагаются непосредственно на подводящем коллекторе (прямолинейное подключение) (рис. 1.6 и 1.7) или рядом (боковое подключение). Уловители должны аккумулировать сильно загрязненный сток с промывным ударом при кратковременном дожде. При продолжительном дожде после наполнения срабатывает водосброс из камеры ливнеспуска, который расположен выше по потоку относительно камеры, и подает дальнейший приток в водоприемник:

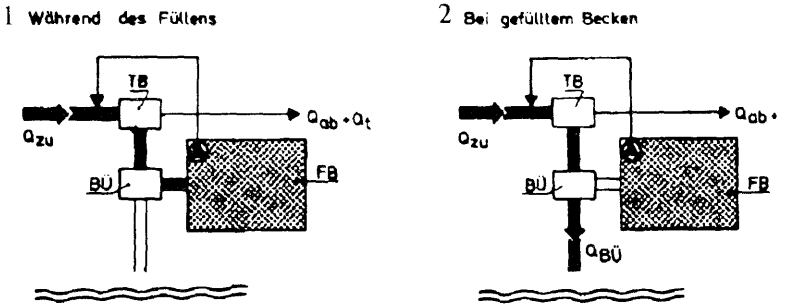


Рис. 1.6. Уловитель с боковым подключением
1 — во время наполнения; 2 — при наполненной камере

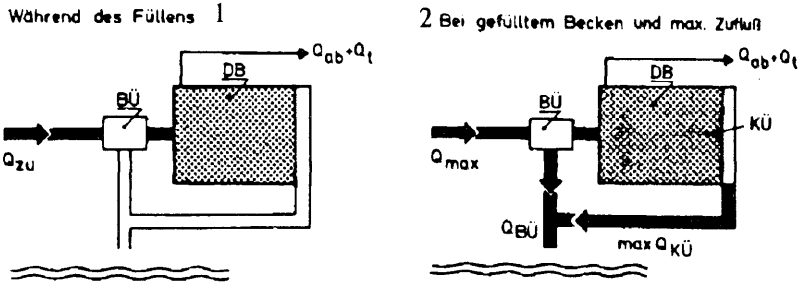


Рис. 1.7. Проточный резервуар с прямолинейным подключением 1 — во время наполнения; 2 — при наполненной камере и максимальном притоке

Проточные резервуары дополнительно имеют водосброс осветленной воды (KU), который после наполнения камеры подает предварительно механически очищенную смешанную воду в водоем. Только в случае последующих сильных притоков, значительно превышающих Q_{krit}, срабатывает расположенный выше камеры водосброс (BU).

Проток через резервуары с прямолинейным подключением происходит даже в сухую погоду. При боковом подключении отвод сточных вод общесплавной системы в направлении очистной станции происходит мимо резервуара. Поэтому необходимо разделительное сооружение (TB). В зависимости от соотношения уклонов резервуары опорожняются в очистную станцию самотеком или насосом.

В случае проточных резервуаров следует соблюдать принципы сооружения первичных отстойников. Дополнительные указания дают: Engberding, Techn. Gemeindeblatt 1915, No. 20 u. 21; Schimrigk, F., Uber das Regenbecken von Mannes, GI 1947, 113; ATV–Arbeitsblatt A128; Koral, J., und Saatci, C., Regenüberlaufbecken, Verlag Saatci, St. Gallen, 1973; Pfeiff, Berichte der ATV Nr. 29, 127 und Nr. 31; Berichte der ATV Nr. 33, 1981 die Arbeiten Kaufhold, W., 21,

Brombach, H., 51, Hailer, W., 81, und Ohnmacht, Ch., 91; Krauth, K. H., Berichte der ATV Nr. 35, 1983, 15, und KA 1984, 545; Gerhardt, G., Heberwehre, KA 1986, 422; Pecher, R., Spüleinrichtungen in Regenbecken, Eigenverlag Erkrath 1986; Kalinka, G., Vertrieb G. Kalinka, Herzogenrath; Schweizer, V., Gewasserschutz–Wasser–Abwasser (GWA) (10. Essener Tagung 1977) Bd. 25, 1978, S. 631; Krauth, Kh., GWA Bd. 25, 1978, S. 579; Baum, F. J., 37 – 38. Kolloquium, Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, 1977, S. 108; Bay. Landesamt für Wasserwirtschaft, Planungshilfen für die Gestaltung von Regenüberlaufbecken, München 1978; Schweinfurth, H., et al., Grundlagen der Abwasser– und Abfallpraxis (GAAP). 5–RB, GAAP–Verlag, Karlsruhe, 1974–1982; Renscher, H., et al., KA 5/81, S. 282; Willems, G., Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen, TU München, Heft 75, 1987, S. 19.

По возможности камера водосброса (BU) и разделительное сооружение должны быть объединены в одной конструкции. Канал между камерой водосброса и резервуаром не должен действовать как водоотвод. Чтобы перелив в камере водосброса не зависел от каналов с разными уровнями, подводящие трубы всегда должны объединяться перед камерой водосброса. О высотном положении камеры водосброса см. главу 1.6. Целесообразной может быть установка разделительных перегородок (в том числе плавающих). Исполнение дна дождевого резервуара зависит от способа очистки резервуара. Необходимо обращать внимание на гладкость поверхности, прежде всего в области дна. Резервуары должны обладать способностью выдерживать подпор грунтовых вод, в них должно предусматриваться автоматическое опорожнение.

Если выбирается закрытый способ строительства, то уже при проектировании следует определить, будет ли перекрытие проезжим. Свободная высота резервуара в поверхности по меньшей мере такая, чтобы везде был проход. Перекрытие по возможности не загромождать. Вход в резервуар выполнять таким образом, чтобы вода по-

ступала плавно и осевший осадок не поднимался. Круглые резервуары следует на случай засорения центрального выпуска обязательно оборудовать вторым выпуском на стенке, пригодным для обслуживания при наполненном резервуаре. Расположенный посередине отводящий трубопровод для загрязненной сточной воды должен быть достаточно заглублен. Переход к отводящему трубопроводу должен быть ровный и плавный.

Устройства для очистки и промывки

В значительной степени самоочищающиеся резервуары со спиральным лотком или резервуары над уровнем земли экономичны только там, где дно резервуара из-за предполагаемого подпора грунтовых вод должно быть более массивным. Применяются как резервуары с прямолинейным подключением при низкорасположенной насосной станции для полезной емкости до 500 $м^3$ при достаточном притоке вод в сухую погоду, а также при благоприятных высотных соотношениях. Учитывать потерю высоты 1 ... 2 см на поворотах. Как показывает опыт, из-за неизбежных неровностей дна резервуара иловые скребки могут без остатка убирать донный осадок только одновременно с работой автоматического промывного устройства.

Промывное устройство проектировать в зависимости от сочетания с конструкцией сооружения. Необходимые работы по очистке следует проводить непосредственно после опорожнения резервуара, так как к этому времени дно еще мокрое. Если в резервуарах не происходит самоочищение, необходима автоматика. Подвод воды облегчает дополнительные работы по очистке.

Применение опрокидывающегося промывного устройства экономично в прямоугольных резервуарах. Идеальный уклон дна в направлении промывки около 3 ... 4 %. Поперечный уклон снижает действие. Хорошее промывающее действие — при высотах опрокидывания 3 ... 4 м. Возможна работа на сточной воде, если подающий насос расположен не слишком близко ко дну. Длина промывного устройства при односторонней промывке — до 40 м. На стороне мон-

тажа выполняют закругленные углы "стенка — дно" с r = 2,0 м. Зумпф в конце резервуара должен быть в состоянии принять все количество промывочной воды. Применение опрокидывающегося промывного устройства непосредственно перед очистной установкой или создающими опасность отложений участками канала проблематично.

Водосбросный промывной лоток (Annen, G. W., Hinweise für den Betrieb von Regenbecken, KA 3/86, 204; Willems, G., Einheitliche Grundlagen für Genehmigungsverfahren von Regenentlastungen aus der Sicht des Planers, 17. Abwassertechnisches Seminar, TU, München 1987) экономичен и пригоден для применения в случае резервуаров с плоским дном, имеющим поперечный уклон, его размеры могут варьироваться в широких пределах. Боковые водосливные лотки автоматически наполняются к концу опорожнения резервуара и своим равномерным водосбросом смывают отложения на дне в центральный лоток. Как и в случае опрокидывающегося промывного устройства, для промывки может использоваться циркуляционная, родниковая, загрязненная сточная вода или вода любого другого источника. Условием для такого способа промывки является отсутствие крупнодисперсных частиц. Это достигается с помощью установки для предварительного отделения крупнодисперсных частиц (резервуара дождевой воды циклонного типа), в котором подвод осуществляется тангенциально, а отвод — по центру.

Струйные циркуляционные агрегаты инжекторного действия (EMU, KSB, Vollmar) путем нагнетания воздуха в сочетании с инжекторным насосом создают в резервуаре высокую турбулентность. Тем самым находящиеся в резервуаре вещества поддерживаются во взвешенном состоянии, и в очистную установку подается однородная смесь шлама и воды. Однако при последующем дожде в водоприемник через водосброс очистной установки может попасть повышенное количество загрязняющих веществ. При правильном подключении этот недостаток не окажет заметного влияния.

Каналы с подпором

Подпертые каналы с вышерасположенным сбросом воды выполняются с целью достижения хорошего эффекта очистки резервуара от отложений. В то время как они при прямолинейном подключении резервуаров, вследствие постоянно протекающих сточных вод, показывают (при соответствующем исполнении) рабочую характеристику от хорошей до удовлетворительной, при размещении с боковым подключением самоочищение, независимо от конструкции, не происходит. Расчетная скорость протекания при $Q_{tсейчас}$ должна составлять > 0,80 м/с, минимальная высота наполнения > 5 см и механическое напряжение [x)], вызываемое течением, не менее 2 ... 3 Н/м^2 (бетон) или 1 ... 1,5 Н/м^2 (гладкая труба). В ином случае следует размещать лоток для стока в сухую погоду. Приток и отвод [xx)] подпертого канала должны быть гидравлически благоприятными. По меньшей мере один смотровой колодец должен иметь технологическое отверстие 1 ... 2 м^2.

Водосброс осветленного стока (KU)

Водосброс осветленного стока должен быть выполнен таким образом, чтобы поток воды не надо было регулировать. Регулирование должно происходить либо через водосбросную камеру (BU), либо за водосбросом осветленного стока. Водосброс осветленного стока должен располагаться по всей ширине резервуара, чтобы обеспечить равномерный отток из резервуара. Перед водосбросом осветленного стока должна быть установлена разделительная перегородка [x)]. Скорость протекания сточной воды между ней и водосбросом осветленного стока должна составлять < 0,30 м/с. При более высоких скоростях возникают потери давления.

Опорожнение резервуара

При опорожнении и чистке резервуара следует следить за тем, чтобы эффект очистки на соответствующей очистной станции не опускался ниже допустимого уровня. У резервуаров с опорожнением

посредством насосов время опорожнения, как правило, получается более продолжительным, чем у резервуаров с опорожнением самотеком. Напорный трубопровод откачивающего насоса должен отводиться в канал перед разделительным сооружением. Минимальный проход насоса — 150 мм, в исключительных случаях — 100 мм. Аварийный водоотвод снабдить ручной задвижкой. Отводной трубопровод рассчитывать на довольно большой Q (резерв, управление), однако не настолько большой, чтобы образовывались отложения.

Перекрытия и смотровые люки

Закрытые резервуары для дождевой воды следует снабжать достаточным количеством люков для очистки и ухода, которые одновременно могут служить для подвода и отвода воздуха. Они должны находиться вне площадей, по которым движутся транспорт и пешеходы, и обеспечивать наблюдение за притоком и оттоком даже без проникновения внутрь. Подача и отвод воздуха должны особо учитываться при конструировании резервуаров для дождевой воды. Во–первых, должна обеспечиваться возможность вывода легких газов (поперечное и диагональное течение), во–вторых, при заполнении резервуаров должны предотвращаться воздушные пробки. Принудительная вентиляция необходима только в исключительных случаях. В крупных резервуарах целесообразны входы по лестницам и т.п. На практике хорошо зарекомендовали себя большие колосниковые решетки, которые должны быть защищены от движущегося наземного транспорта. Решетки при необходимости выполнять откидными и защищать от доступа посторонних. В часто используемых для прохода люках устраивать наименьшие входы — 0,7 х 1,0 м и D > 0,80 м. Если в закрытых резервуарах ожидается появление крупных предметов, то тогда отверстия следует устраивать размером примерно 1,0 х 2,0 м. Вместо ходовых скоб или стальных лестниц из скоб наиболее предпочтителцны стационарные стремянки (откидные или вынимаемые) или лестничные пролеты (лучше бетонные, чем колосниковые решетки).

Измерительные устройства

В целях контроля со стороны обслуживающего персонала целесообразна и важна телепередача важных рабочих параметров на следующую очистную установку. Сообщения о неисправностях должны передаваться автоматически, например, по почтовым линиям (TEMEX и др.). Непрерывные замеры следует пока рассматривать критически, так как нет единого объяснения явлений или необходим большой объем работ по обслуживанию. Определение стока на длинных водосливах путем замера уровня воды на переливе может давать большие погрешности. Проверка на точность чрезвычайно важна. Выбирать следует простые, требующие минимального обслуживания, прочные и надежные в работе приборы.

Выбор размеров [x)]

По принятому в настоящее время способу (A128, 1977) сначала определяют

$$r_{ab} = \frac{Qab}{Ared} \quad \text{в л/(с•га)}.$$

Здесь Qab — сток дождевых вод (без Qt), отводимый из резервуара в расположенную ниже сеть или в очистную станцию, вычисление как при регулирующих резервуарах. $Ared$ — усовершенствованная поверхность водосборной площади. С помощью r_{ab} и r_{krit} по рис. 1.8 (значения $r_{krit} < 10$ увеличиваются) находят удельный объем V_{SR}. Необходимый полезный объем составляет тогда

$$V = V_{SR} \bullet a \bullet Ared \quad \text{в м}^3.$$

Временной коэффициент a берется из таблицы в зависимости от расчетного времени добегания t_f до резервуара. Отраслевая инструкция ATV–Arbeitsblatt A 128, которая будет переработана, как предполагается, в 1990 г, предусматривает новый способ расчетов, применимый даже для уже канализированных территорий, с учетом

местных данных о количест осадков, отложениях в каналах и обычного анализа концентрации примесей. При этом прежде всего собираются данные для определения допустимой нормы сброса воды (e_0).

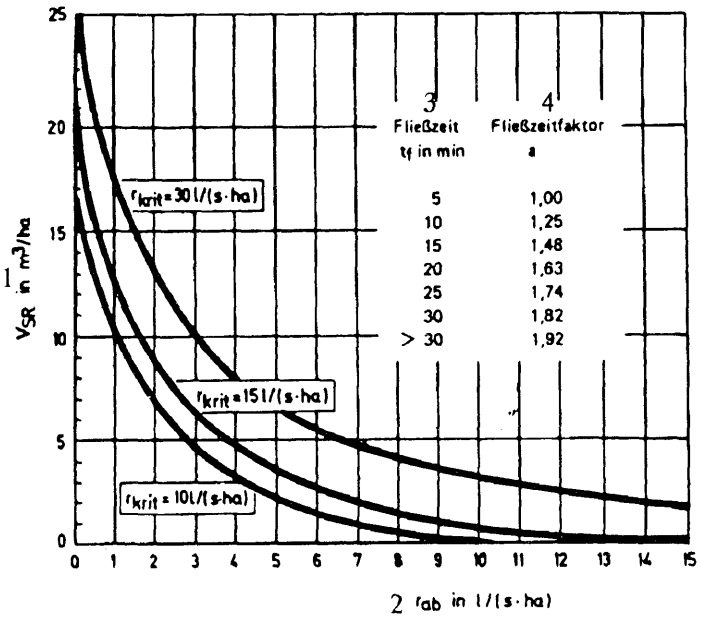


Рис. 1.8. Диаграмма для выбора размеров камер ливнеспуска без предварительного сброса воды на всей водосборной площади
1 – V_{SR} в м^3/га; 2 – r_{ab} в л/(с•га); 3 – время добегания t_f в мин; 4 – коэффициент времени добегания a

После их вычисления (см. рис. 1.9 и пример расчета, стр. 48) для каждого водосбора можно определить необходимую емкость резервуаров с учетом вышерасположенной водосборной площади. Сначала в примере определяется объем 1625 м^3 для камеры ливнеспуска RUB 1. Затем для всей водосборной площади, находящейся выше камеры ливнеспуска RUB 2, вычисляется общая требуемая емкость аккумулирования. Если из общей емкости аккумулирования

вычесть объем выше расположенной камеры ливнеспуска RUB 1, то объем камеры ливнеспуска RUB 2 получается равным (4400 – 1625) = 2775 м^3.

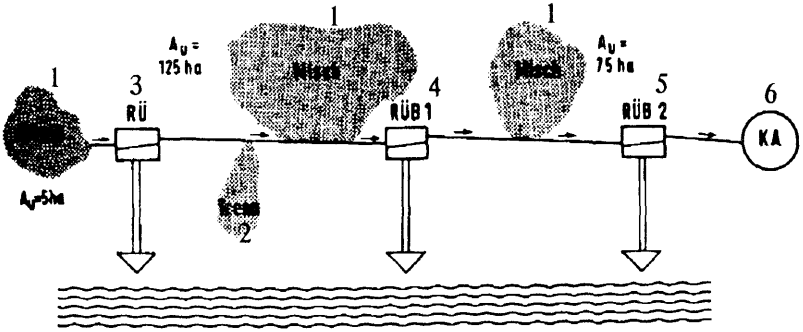


Рис. 1.9. Схематический чертеж к примеру расчета
1 – водосбор общесплавной системы; 2 – водосбор раздельной системы; 3 – ливнеспуск; 4 – камера ливнеспуска 1; 5 – камера ливнеспуска 2; 6 – очистная станция

Область применения этого способа:

— доля дождевой воды в регулирующем отводящем патрубке на камере ливнеспуска не более 1,2 q_r для вышерасположенной общей водосборной площади;

— не более 5 последовательно включенных камер ливнеспуска;

— не более 5 ливнеспусков на водосборной площади камеры ливнеспуска, выбор размеров регулирующего отводящего патрубка согласно А 128.

Учитываемые аккумулирующие резервуары представляют собой камеры ливнеспуска, модуль стока которых соответствует модулю стока последнего водосбросного сооружения или превышает его максимум на 20 %. Кроме того, объем предварительно расположенных

каналов ниже горизонтали на высоте самого нижнего порога водосброса уменьшен в полтора раза.

Подпертые каналы с расположенным внизу водоотводом из-за сравнительно плохого осаждающего действия должны иметь увеличенный на 50 % объем.

Регулирующие резервуары для дождевых вод при выборе размеров камер ливнеспуска остаются неучтенными, если их регулируемый модуль стока больше $q_r = 5$ л/(с•га). Меньшие регулируемые модули стока существенно влияют на последующие водосбросные сооружения. Если это так, то необходимо провести анализ содержания загрязняющих веществ.

Поверхностная нагрузка не должна превышать 10 м/ч (при r_{krit} = 15 л/(с•га)), максимальная горизонтальная скорость течения в прямоугольных резервуарах — 5 см/с и продолжительность опорожнения — 10 ... 15 ч.

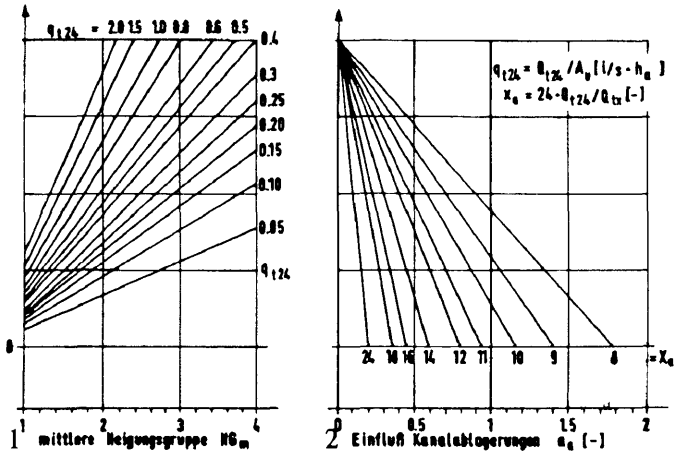


Рис. 1.10. Влияние отложений в каналах
1 – средние значения уклонов NG_m; 2 – влияние отложений в каналах a_a [–]

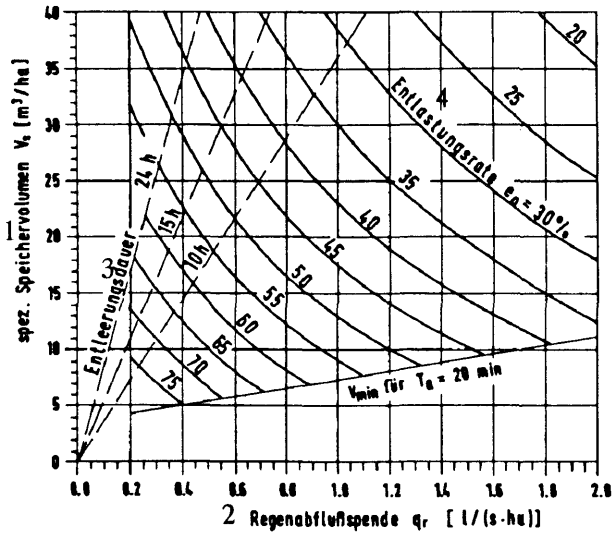


Рис. 1.11. Удельный объем аккумулирования в зависимости от модуля дождевого стока и допустимая норма сброса нагрузки
1 – удельный объем аккумулирования V_S (м^3/га); 2 – модуль дождевого стока q_r (л/(с•га)); 3 – продолжительность опорожнения, ч; 4 – норма сброса нагрузки

Проект: пример Очистная установка: город А Водоприемник: ручей В

			Подво-досбор	Общий водосбор	
Среднегодовые атмосферные осадки	Немецкая метеорологическая служба	*hNa*	900	900	мм
Общая непроницаемая площадь	85—100 % увлажняемой поверхности	A_u	125	200	га
Наибольшее время добегания для водосбора	Только существенные площади	t_f	10	35	мин
Среднее значение уклонов местности	Sum(NGi•AEi)/Sum(AEi)	*NGm*	3,5	3,3	–
Концентрация по ХПК в стоке в сухую погоду	Среднегодовое значение, включая Q_f	c_t	560	560	мг/л
Среднечасовое дневное значение	Из районов общесплавн. и разд. систем	Q_{tx}	80	130	л/с
Сток в сухую погоду, среднесуточное значение	Из районов общесплавн. и разд. систем	Q_{t24}	45	85	л/с
Дожд. сток с водосборов раздельной системы	100 % Q_{s24} из районов пазд. систем	Q_{rT24}	2	2	л/с
Сток общесплавной системы на очистку, долевой из подводосборов Приток в дождь на биологическую очистку		Q_m	172	260	л/с
Дождевой сток в среднесуточном значении	$Q_m - Q_{t24} - Q_{rT24}$	Q_{r24}	125	173	л/с
Модуль дождевого стока	Q_{r24} / A_u	q_r	1,0	0,86	л/(с•га)
Модуль стока в сухую погоду со всей области	Q_{t24} / A_u	q_{t24}	0,36	0,42	л/(с•га)
Уменьшение времени добегания	$0{,}5 + 50 / (t_f + 100)$; $\geq 0{,}885$	a_f	0,95	0,885	–
Средний приток водосброса	$a_f \cdot (3 + 3{,}2 q_r) \cdot A_u$	Q_{re}	736	1018	л/с
Среднее значение коэффициента разбавления	$(Q_{re} + Q_{rT24}) / Q_{t24}$; $m \geq 7$	*m*	16,4	12,0	–
Величина *x* среднечасового дневного значения	$24 \cdot Q_{t24} / Q_{tx}$	*xa*	13,5	15,7	–
Параметр концентрации в сухую погоду	c_t / 600; не менее 1,0	a_c	1,0	1,0	–
Параметр годовых атмосферных осадков	hNa / 800 – 1; от -0,25 до +0,25	a_h	0,13	0,13	–
Параметр отложений в каналах	По рис. 1.10	a_a	0,10	0,10	–
Концентрация для выбора размеров	$600 \cdot (a_c + a_h + a_a)$	c_b	738	738	мг/л
Расчетная концентрация при водосбросе	$(m \cdot 107 + c_b) / (m + 1)$	c_e	143	155	мг/л
Допустимая норма сброса	$3700 / (c_e - 70)$	e_o	50,7	43,3	%
Удельный объем	По рис. 1.11	V_s	13	22	$м^3$/га
Общий объем	$V_s \cdot A_u$	*V*	V_1=1625	4400	$м^3$
				V_2=2775	$м^3$

1.4. Регулирующие резервуары дождевых вод

Обработал др.-инж. Дитер Лондонг

Регулирующие резервуары дождевых вод предотвращают при сильном дожде слишком большие пики стока в сети канализации. Достигается это тем, что часть стока дождевых вод сначала накапливается в резервуаре и лишь потом медленно перетекает в примыкающий канал или в последовательно подключенную насосную станцию. Пик стока срезается, таким образом, за счет увеличения продолжительности стока, а не путем сброса в водоем, как при ливнеспуске. Регулирующие резервуары следует отличать от камер ливнеспуска, которые находят применение только при общесплавной системе.

Для *применения* регулирующего резервуара дождевых вод в канализации определяющими являются большей частью экономические соображения. Затраты на строительство и эксплуатацию резервуара должны быть меньше, чем экономия средств на расположенных ниже по течению следующих канализационных сооружениях, которые при проектировании могут приниматься меньшими, а существующие - *не расширяться*. Это часто имеет место:

- при строительстве новых канализационных сетей, в которых дождевые стоки с большим расходом должны отводиться по довольно длинным коллекторам;
- при подключении новых районов застройки к имеющейся и почти полностью загруженной канализации;
- при ремонте перегруженных сетей;
- при отведении значительных объемов дождевых стоков в малые водоемы. Посредством регулирующего резервуара дождевых вод можно предовратить или уменьшить расширение русла водоприемникка наряду с экономическими, а также экологическими преимуществами.

Для выбора размеров регулирующего резервуара дождевых вод (см. ATV–Arbeitsblatt A 117, 1977) определяющими являются величина и характеристика притока в резервуар и оттока из него во времени.

Размеры гидроаккумуляторов обычно определяются по гидрографам или интегральным кривым стока. Однако, в случае регулирующих резервуаров дождевых вод не известно, какой дождь даст наибольшее значение по интенсивности и продолжительности для необходимой вместимости резервуара. Это значение получается большей частью не из максимального притока канализации, а чаще из притоков, которые меньше, но дольше длятся. Поэтому выбор размеров следовало бы производить на основе обработки данных об интенсивности и ходе различных дождей. Сегодня это выполняется с помощью моделей осадков и стока. При этом все большее распространение получает моделирование на основе многолетних данных наблюдений (см. "Сооружение для сброса дождевых вод").

В большинстве случаев заданная цель достигается расчетным приближенным методом, который является достаточно точным и надежным. Способ, разработанный авторами Г.Аннен и Д.Лондонг (Techn. Wissenschaftl. Mitteilungen der Emschergenessenschaft und des Lippeverbandes 1960, H. 3) базируется на математически сформулированной зависимости объема резервуара от расхода стока, продолжительности дождя, времени добегания и коэффициента для различных по форме водосборных площадей и расчете максимума путем дифференцирования этой функции. Выбор размеров происходит с помощью диаграммы (рис. 1.12) следующими этапами:

С помощью величин

A_{red} = площадь покрытий бассейна водосброса в га;

t_f = расчетное время добегания в канализационной сети до регулирующего резервуара в мин;

r_{15} = модуль дождевых осадков 15–минутного дождя с выбранной частотой (n) в л/(с•га);

Q_{ab} = принятый для расчета расход стока из регулирующего резервуара (при системе общесплавной канализации без составляющей для сухой погоды). Q_{ab} получается как среднее арифметическое стока в начале аккумулирования при min Q_{ab} (расход стока в отво-

щем трубопроводе при полном заполнении и безнапорном режиме) и стока при максимальном подпоре max Q_{ab}.

$$Q_{ab} = 1/2\ (\min Q_{ab} + \max Q_{ab})$$

получаем: $$Q_{r15} = r_{15} \cdot A_{red}$$

и: $$\eta = Q_{ab} : Q_{r15}.$$

Из t_f и η получается коэффициент пересчета B (рис. 1.12). Тогда объем резервуара:

$$V = B \cdot Q_{r15} / 1000 \quad \text{в м}^3.$$

По рис. 1.12 можно найти также продолжительность расчетного дождя (T).

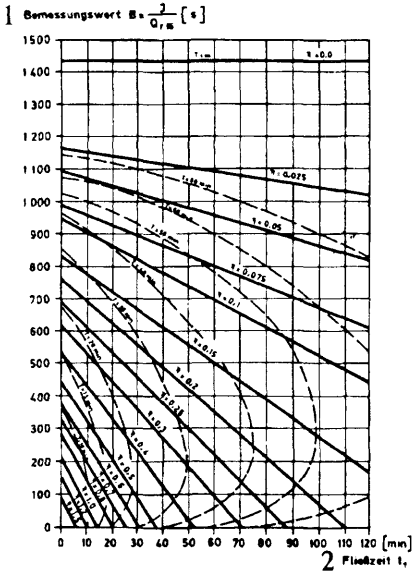


Рис. 1.12. Таблица для выбора размеров регулирующего резервуара дождевых вод

1 – коэффициент пересчета; 2 – время добегания

При выборе повторяемости n следует обращать внимание на то, что при одинаковой положенной в основу статистической повторяемости дождей повторяемости подпора в канализационной сети и регулирующем резервуаре дождевых вод различны. Поэтому для выбора размеров регулирующих резервуаров дождевых вод нужно брать меньшую повторяемость дождя, чем для размеров каналов. Рекомендуется при закрытых резервуарах и подводящих трубопроводах $n = 0{,}5 \ldots 0{,}2$, при открытых — $n = 0{,}1$, если местные условия не требуют более высокой надежности (Pecher, R., GWF 1974, H. 3).

При сложных конфигурациях бассейнов водосбора требуемый объем резервуара может быть больше, если – как при выборе размеров каналов по способу временных коэффициентов – узкие участки поверхности отбрасывают и расчеты проводят с более коротким временем добегания (см. рис. 2.6).

Если выше запланированного регулирующего резервуара дождевая вода уже отводится в водоприемник и отводимый сток мал по сравнению с максимальным притоком резервуара, расчеты допустимо проводить приближенным методом. В таком случае результат надежнее. Приближенный метод применим также, если в запроектированный резервуар из вышерасположенного регулирующего резеревуара или ливнеспуска поступает лишь относительно малый приток. Размеры этого резервуара определяются в данном случае по описанному способу только для его непосредственной водосборной площади, и приток от вышележащего резервуара или водосбора рассматривается как постоянный сток в сухую погоду. В других случаях при канализационных сетях с предварительным водосбросом следует проводить более подробные вычисления.

Пример 1: Территория размером 25 га с 35 % усовершенствованной площади и временем добегания в главном канале $t_f = 20$ мин канализуется по общесплавной системе. Сток в сухую погоду составляет максимально 10 л/с. Территорию следует подключить к соответствующей сети, которая может принять не более 340 л/с. Размеры

резервуара должны быть выбраны для $n = 0,5$. Соответствующий этой повторяемости 15–минутный дождь имеет $r_{15} = 130$ л/(с•га) (рис. 2.4). Тогда: $Q_{ab} = 340 - 10 = 330$ л/с, $Qr_{15} = 130 \cdot 25 \cdot 0,35 = 1138$ л/с и $\eta = 330 : 1138 = 0,29$. Согласно рис. 1.12 $B = 460$ с. Таким образом, емкость резервуара должна быть не менее: $V = 460 \cdot 1138 : 1000 = 523$ м^3.

Пример 2 : Дождевой коллектор x принимает сток с территории в 20 га усовершенствованных покрытий и $t_f = 15$ мин. Непосредственно ниже данной территории к этому коллектору должен быть подключен новый дождевой коллектор y с $A_{red} = 12$ га, $t_f = 20$ мин. Коллектор x может отвести всего максимум 2200 л/с. Для выбранной повторяемости $n = 0,5$ $r_{15} = 125$ л/(с•га).

Возникает вопрос, где экономичнее помещать регулирующий резервуар - на коллекторе x непосредственно ниже устья нового коллектора y или же на коллекторе y до впадения. Объем вычисляется для обоих случаев.

Для точки на коллекторе x непосредственно ниже устья коллектора y : $Q_{15} = 125\ (20 + 12) = 4000$ л/с и $\eta = 2200 : 4000 = 0,55$. При самом большом времени добегания (25 мин) $B = 110$ с и $J = 110 \cdot 4,000 = 440$ м^3.

Без регулирования в коллекторе x протекает max $125 \cdot 20 \cdot 0,71$ (временной коэффициент см рис. 2.4) = 1175 л/с. Таким образом, из коллектора y могут быть приняты только $2200 - 1775 = 425$ л/с. Для этого коллектора $Q_{15} = 125 \cdot 30 \cdot 0,4 = 1500$ л/с и $\eta = 425 : 1500 = 0,28$. При $t_f = 20$ мин $B = 460$ с и $J = 460 \cdot 1,500 = 690$ м^3. Таким образом, экономичнее размещать резервуар ниже точки соединения коллекторов.

Разработанный автором Пехером приближенный метод (Berichte Inst. f. Wasserw. TH München 1970 H. 3) по принципу и ходу расчета размеров соответствует методу авторов Г. Аннен и Д. Лондонг. Однако он построен на гидрографах стока со строго прямоугольных

водосборных площадей и потому дает большей частью заниженные значения.

По *конструированию* даются следующие указания (см. также конструирование камер ливнеспуска): При размещении регулирующих резервуаров в канализационной сети важны соотношения уклонов, так как аккумулирование, как правило, обусловливает подпор. Резервуары выполнять таким образом, чтобы вследствие подпора в сети и изменения уровня не возникали подтопления подвалов и отложения осадков в канализационных коллекторах. При достаточном уклоне дождевой резервуар выполнять с перепадом согласно рис. 1.13 и располагать таким образом, чтобы он самостоятельно опорожнялся. При очень высоких перепадах преимущества

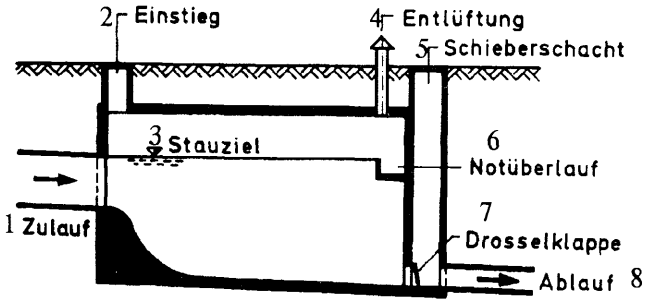


Рис. 1.13. Схема регулирующего резервуара дождевой воды с перепадом дна

1 – приток; 2 – смотровой лаз; 3 – проектный подпор; 4 – отвод газов; 5 – колодец с затвором; 6 – аварийный водосброс; 7 – дроссельный затвор; 8 – отвод воды

имеют резервуары с малой площадью дна. При малой занимаемой площади иловые отложения по окончании дождя лучше вымываются. Предусмотреть гашение кинетической энергии при свободном падении в первоначально пустой резервуар.

При малом уклоне или подпоре в канализационной сети (если приемлем) использовать разность уровней воды при стоке в сухую погоду и максимальном дождевом стоке. Значительная потребность в площадях. Иначе при малом перепаде необходимо использование насосов. Насосы применять на стоке резервуара, так как сток меньше, чем приток в резервуар.

В принципе существуют две возможности разместить регулирующий резервуар дождевых вод — с прямолинейным подключением (рис. 1.7) и боковым подключением (рис. 1.6) к канализационной сети. Резервуары с боковым подключением зачастую выгоднее. Песок и крупные предметы передаются по канализационной сети дальше и в резервуар не попадают.

На случай выпадения более сильного дождя меньшей повторяемости n, чем было выбрано, следует предусмотреть аварийный водосброс. Проверить, как затопление резервуара скажется на сети и на местности, прилегающей к резервуару.

На основании анализа местных условий обосновывается использование закрытого или открытого резервуара. При раздельной канализации возможно выполнение в виде пруда. Из-за колебания уровня воды следует обращать внимание на укрепление берега. При общесплавной канализации открытые резервуары допускаются, как правило, только в загородных местностях; прилегающую территорию полагается озеленять.

Резервуары выполнять таким образом, чтобы уход был по возможности простым и вероятность повреждения при эксплуатации была мала. В случае крупных резервуаров рекомендуется разделение на несколько секций, которые при дожде последовательно заполняются.

Наряду с отверстиями для впуска и выпуска большое значение имеет выполнение дна. При опорожнении отложения должны в значительной степени смываться. При небольших резервуарах дно в виде воронки или желоба с уклоном не менее 1,5 : 1. Продольный уклон

лотков по возможности круче 1 : 50. Вследствие перепада дна на выходе при выпуске сточных вод повышенная скорость течения. Обслуживающий персонал должен иметь доступ для выполнения работ по очистке дна. Экономичность дорогого, имеющего большую площадь желобчатого дна [x)] очень спорна. В предпочтительных на сегодняшний день плоских днищах резервуаров системы механического удаления ила нужно выполнять как можно проще. В особых случаях целесообразно применение механизированных иловых скребков. Опрокидывающиеся промывные устройства по Фарнеру, X., GWF 1984, 206. В резервуарах с постоянным протоком разместить лоток для стока в сухую погоду.

Ср. также Malpricht, E., Bau u. Betrieb von Regenrückhaltebecken in KA 1973, 115, und Berichter der ATV, Nr. 29, 147; Dalton, F. E., JWPCF 1985, 1114.

Управление регулирующими резервуарами дождевых вод см. Papageorgiou, M., et al. KA 1984, 672; Voigt, D., KA 1985, 429, und KA 1987, 678; Schilling, W., GWF 1986, 324.

1.5. Отстойники для дождевых вод

Отстойники для дождевых вод – это осадительные бассейны для загрязненной дождевой воды (не для смеси бытовых, производственных и дождевых сточных вод). Они находят применение только в ливнеотводных каналах раздельной системы канализации (ATV–AG 1.3.2, Behandlung des Regenabflusses beim Trennverfahren, KA 1980, 49). Различают "загрязненные территории с правильным подключением" (как правило, никакой обработки не требуется), "загрязненные территории с ошибочными или несанкционированным подключением" (устранить подключение загрязненных сточных вод в дождевой сети или обработать как в общесплавной системе) и "территории с сильным загрязнением" (требуется обработка дождевой воды). Отстойники для дождевых вод имеют, как правило, водосбросную камеру (BU), отвод осветленной боды (KU) и отвод ила.

Различают два вида отстойников: заполняемые постоянно и периодически. Периодические отстойники заполняются в том случае, если в подводящем коллекторе нет постоянного притока или он мал. По окончании дождя содержимое резервуара следует по возможности подать на очистную станцию.

Расчетный приток Q_{bem} определяется суммой критического дождевого стока Qr_{krit} и постоянного или временного притока воды от соседнего водосбора Q_f. Объем резервуара определяется как

$$V = 3{,}6 \cdot (r_{krit} \cdot A_{red} + Q_f) \cdot h_B / q_A \quad \text{в м}^3.$$

Поверхностная нагрузка q_A не должна превышать 10 м/ч. Полезная глубина резервуара h_B должна составлять около 2,0 м. При таких значениях и при r_{krit} = 15 л/(с•га) объем резервуара составляет примерно 10 $м^3$/га водосборной площади с усовершенствованными покрытиями.

1.6. Отведение дождевой воды в водоемы

Положение верхней кромки по высоте перелива из камеры ливнеспуска или перелива в очистную камеру (рис. 1.14) должно учитывать уровень высоких вод водосборника. Следует стремиться к тому, чтобы высокий уровень воды не приводил к подпору. Если достичь этого нельзя, то отведение без подпора должно происходить хотя бы при среднем уровне высоких вод. Следует исследовать воздействия более высоких уровней воды на очистную станцию. Чтобы уровень зеркала в водосбросном канале оставался низким, целесообразны широкие и низкие профили канала. Водосбросной канал следует проектировать не только на расчетный дождь, но и на максимально возможный сток сети с подпором. В случае довольно крупных водотоков отведение максимально возможного стока в водоем не всегда должно обеспечиваться при наивысшем уровне воды в нем, так как вероятность одновременной высокой воды в водоприемнике и ливня чрезвычайно мала. Согласно инструкциям для Боденского озера

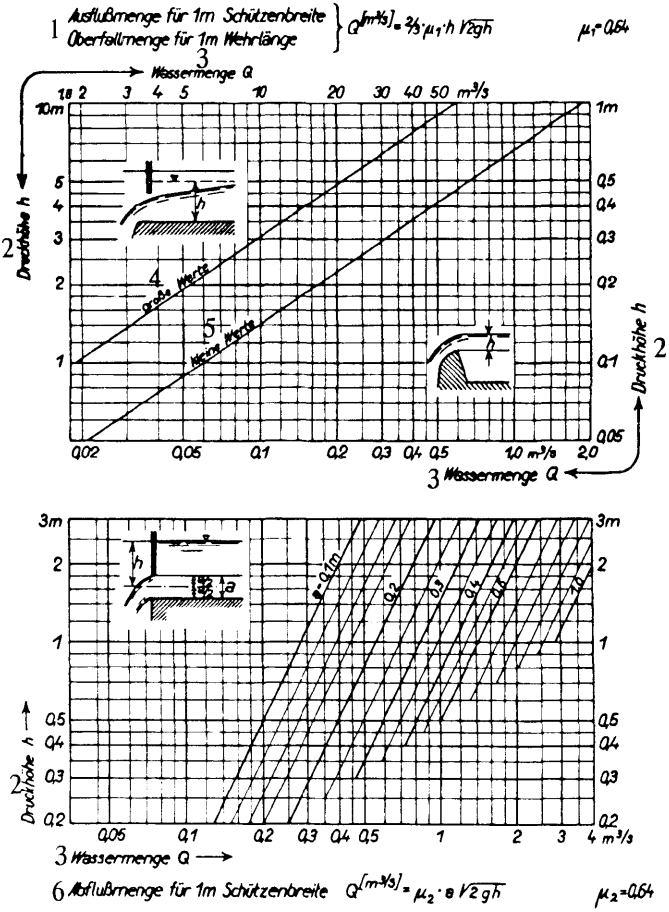


Рис. 1.14. Напор на затворах водосливных плотин и плоских затворах

1 – расход на 1 м ширины плоского затвора, расход водослива на 1 м длины водосливной плотины; 2 – высота напора, м; 3 – расход воды, $м^3/с$; 4 – большие значения; 5 – малые значения; 6 – расход на 1 м ширины плоского затвора

достаточно, если при наивысшем уровне воды назначается только 1/3 Q_{max} или же Q_{max} только при среднем уровне воды. Однако, в озерах должен обеспечиваться отвод максимально возможного стока в водосбросном канале даже при наивысшем уровне воды.

Выпуски водостоков на водоприемнике должны быть выполнены заподлицо с откосом и защищены от входа посторонних лиц, детей. Необходимое на этом участке укрепление откоса должно ограничиваться требуемым объемом. При сбросе дождевых вод целесообразно применять не сосредоточенный выпуск (единичный), а рассеивающий с несколькими выпускными отверстиями, что обеспечивает более интенсивное перемешивание с водой водотока. Влияние выпуска дождевой воды на водоемы в настоящее время интенсивно обсуждается инженерами–строителями и гидробиологами (Sperling et al., Beeinflussung der Beschaffenheit von Fliessgewassern durch Mischwassereinleitungen, KA 7/89, S. 755).

2. Расчет канализационных сетей

2.1. Сток загрязненных вод

Если сеть при *раздельной системе канализации* должна принимать только бытовые и промышленные загрязненные воды (т.е. не дождевую воду), то расчет расхода воды прост. Предполагают, например, что норма водоотведения бытовых сточных вод составляет 200[x)] л/(чел•сут) и что наибольший часовой расход составляет одну четырнадцатую часть 24-часового стока (рис. 5.1). Тогда количество сточных вод для 1000 жителей = 1000 • 200 : (14 • 60 • 60) = 4,0 л/с. Если речь идет о застроенной территории, на которой проживает, например, 100 жителей на 1 га, то этому соответствует 0,4 л/(с•га) (см. столбец 4, стр. 66). Для промышленно-складских территорий берется сток 1 л/(с•га)[xx)].

На дождевые и грунтовые воды делается, кроме того, надбавка 100 %[xxx)]. Если загрязненные сточные воды отводятся по укрепленным руслам ручьев, сюда добавляется еще естественный средний сток ручья порядка 5 ... 15 л/с на 1 км^2 (100 га) водосборной площади (см. столбец 5, стр. 66).

2.2. Сток дождевых вод

Если загрязненные сточные воды отводятся при общесплавной системе канализации вместе с дождевой водой по общей канализационной сети, сток загрязненных сточных вод почти не оказывает влияния на размер трубопровода. Он имеет значение только при расчете частичного заполнения и скорости течения в сухую погоду.

Для расчета стока дождевых вод имеются следующие способы (Wottke, H., Bauamt und Gemeindebau 1954, 273):

2.2.1. Оценка по площади или длине

По рис. 2.1 максимальный сток воды, который должен отводиться при дожде, можно просто определить в л/(с•га) по площади водосбора или длине водостоков. Кривые построены из множества получен-

ных на практике значений. Они особенно пригодны для простых проектов, предварительных оценок и контроля проектов. Неточность оценочных значений по сравнению с подробными методами расчета меньше, чем кажется.

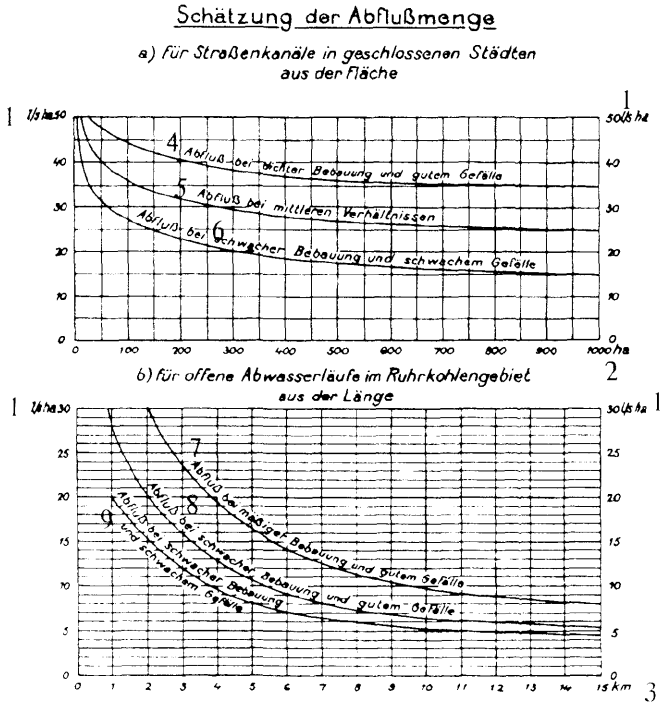


Рис. 2.1. Оценка расхода

a) для закрытых уличных коллекторов по площади

b) для открытых водосточных систем в Рурском угольном бассейне по длине

1 - л/(с•га); 2 - га; 3 - км; 4 - сток при плотной застройке и хорошем уклоне; 5 - сток при средних условиях; 6 - сток при неплотной застройке и малом уклоне; 7 - сток при умеренной застройке и хорошем уклоне; 8 - сток при неплотной застройке и хорошем уклоне; 9 - сток при неплотной застройке и малом уклоне

2.2.2. Упрощенный расчет по длине, скорости и коэффициенту стока

На рис. 2.2 показан еще один очень удобный упрощенный расчет. Для этого достаточно выбрать коэффициент стока и скорость течения применительно к местным условиям. А по длине потока можно определить максимальный сток воды в л/(с•га).

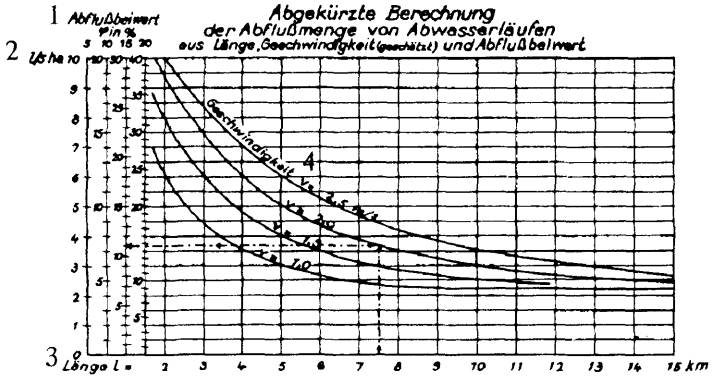


Рис. 2.2. Упрощенный расчет расхода для открытых водостоков по длине, скорости (оценочной) и коэффициенту стока
1 - коэффициент стока, %; 2 - л/(с•га); 3 - длина, км;
4 - скорость, м/с

Пример 1. Если l = 7,5 км, v = 2,0 м/с и ψ = 15 %, то модуль стока равен 11 л/(с•га) (рис. 2.2).

2.2.3. Простой расчет по таблице

Берется определенный "расчетный дождь", дождь определенной продолжительности и интенсивности, сток от которого канализационная сеть закрытого типа может отвести без перегрузки, например, продолжительностью 15 мин, с модулем осадков 100 л/(с•га). Величина 100 л/(с•га) соответствует интенсивности дождя 0,6 мм за 1 мин или 9 мм за 15 мин. Для таких условий размеры закрытых кол-

лекторов можно ограничить экономически приемлемой величиной и согласиться с обратным подпором в сети и затоплениями при очень сильных ливнях (подвалы должны в таком случае иметь двийные затворы, предохраняющие от обратного течения при подпоре снизу, или насосы). При *открытых* водостоках (таблицы 8 и 9) ограничения менее важны, так как затраты на их строительство при увеличении поперечного сечения возрастают не в такой степени. Для них уместен расчетный дождь с модулем 200 л/(с•га) или 18 мм за 15 мин. Если охватывать более продолжительные и сильные ливни, то для расчета следует брать еще большие значения параметров, которые можно опередепить путем использования временных коэффициентов (рис. 2.4) (Annen, G., GWF 1969, 317) или использовать способ изохронх). Однако даже при расчетном дожде с модулем 100 л/(с•га) или 200 л/(с•га) надежность высока, ср. Spahr, R., Wasser u. Boden 1970, 320. Если имеются данные многолетних наблюдений, то их обработка дает более надежные результаты (Hommel, H., Hochwasserstatistik für die Emscher, Wasserwirtschaft 1989, 274).

В Швейцарии учитываются дожди, которые выпадают один раз в 5 ... 20 лет.

Принято:

Интенсивность дождя (мм/мин) $i = N : T$ = высота слоя осадков: продолжительность дождя.

Модуль дождевых осадков (л/(с•га)) $r = 166{,}7 \cdot N : T$.

Повторяемость дождя n = количество выпадений дождя определенной продолжительности в год с превышением определенной интенсивности.

Reinhold использовал из архива водного хозяйства 1940 года № 56 (GI 1941, 231, 246) рисунки 2.3 и 2.4 и к ним данные об однократно превышаемых модулях дождевых осадков различной продолжительности для n = 1 (стр. 65).

По ним можно выбрать подходящие средние значения расчетных дождей. Однако, в зависимости от местных условий возможны зна-

чительные колебания (Stalmann, V., Starkregenhaufigkeit im Emscher-und Lippergebiet, Wasser u. Boden, 1976, 3).ч

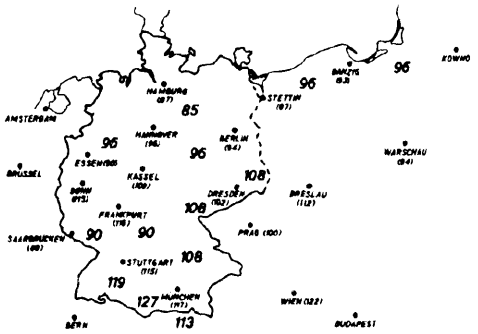


Рис. 2.3. Модули дождевых осадков (л/(с•га)), превышенные один раз в год для продолжительности дождя T = 15 мин по Рейнхольду

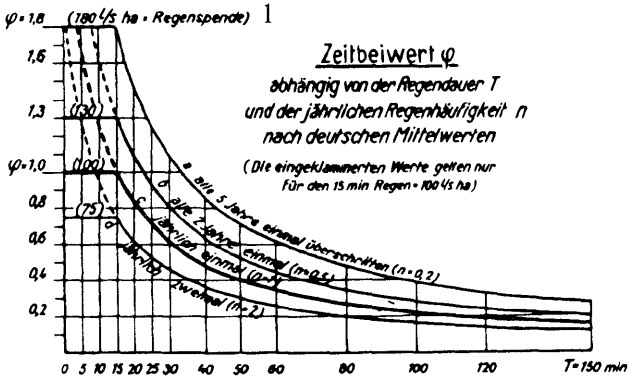


Рис. 2.4. Временной коэффициент φ в зависимости от продолжительности дождя T и годовой повторяемости дождя n по средним значениям длв Германии (значения в скобках действительны только для 15-минутного дождя = 100 л/(с•га) при n = 1

1 - 180 л/(с•га) = модуль дождевых осадков; a - превышается один раз каждые 5 лет (n = 0,2); b - превышается один раз каждые два года (n = 0,5); c - один раз в год (n = 1); d - дважды в год (n = 2)

Данные о дождях:

T =	5	10	15	30	60	90	150	мин
Северо-западная Германия	154	110	85	53	32	23	15	л/с•га
Северо-восточная и центральная Германия	162	121	94,5	59	34	24	15,5	л/с•га
Западная Германия	162	124	96	57	32	23	15	л/с•га
Саксония - Силезия	174	132,5	106	67	39,5	28,5	18,5	л/с•га
Юго-западная Германия	212	150	119	74	43	27,5	-	л/с•га

На рис. 2.5 показана зависимость между скоростью течения, временем стока и длиной водостока.

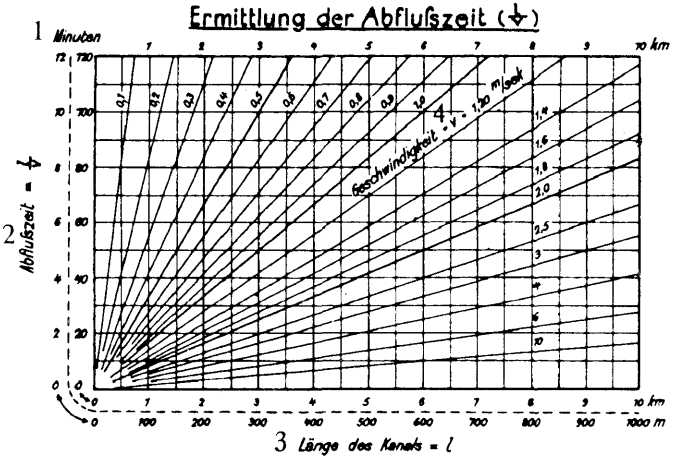


Рис. 2.5. Определение времени водостока (l/v)
1 - минуты; 2 - время водостока = l/v; 3 - длина канала = l;
4 - скорость = v, м/с

Количество стекшей дождевой воды зависит от свойств поверхности земли. На орошенной дождем площади часть дождевой воды вследствие инфильтрации и испарения теряется или же задерживается в углублениях, которые препятствуют стеканию. *Коэффициент* ψ,

который отражает долю стекающей дождевой воды от выпавшей, зависит, главным образом, от вида застройки. Однако, φ зависит также от уклона местности, уклона улиц и крыш, продолжительности и повторяемости дождя. Расчеты ведутся упрощенно с постоянным коэффициентом стока[x)]:

$\varphi = 0{,}7 \ldots 0{,}9$ для очень плотной застройки,

$\varphi = 0{,}5 \ldots 0{,}7$ для рядовой застройки,

$\varphi = 0{,}3 \ldots 0{,}5$ для неплотной застройки,

$\varphi = 0{,}2 \ldots 0{,}3$ для пригородных кварталов с большим количеством садов,

$\varphi = 0{,}1 \ldots 0{,}2$ для незастроенной территории (спортплощадки),

$\varphi = 0{,}0 \ldots 0{,}1$ для парков.

Пример классификации застройки показан в следующей сопоставительной таблице. Здесь показан также соответствующий виду застройки сток в сухую погоду. Он вычислен для нормы водоотведения 200 л/(чел•сут) и часового расхода, равного 1/14 суточного.

Сброс сточных вод в зависимости от застройки

1	2	3	4	5	6	7	8
Класс	Вид застройки	Количество жителей на 1 га	Сток в сухую погоду		Сток дождевых вод		
			Сток загрязненных вод, л/(с•га)	Грунтовые воды, л/(с•га)	Коэффициент стока, φ	Уличная канализация, л/(с•га)	Открытые водостоки, л/(с•га)
I	очень плотная	350	1,40	0,05 до 0,15 (СУВ)*	0,8	80	160
II	плотная	250	1,00		0,6	60	120
III	рядовая	150	0,60		0,4	40	80
IV	редкая	100	0,40		0,25	25	50
V	незастроено	0	0		0,05	5	10

*Средний уровень воды

Если известно, какая доля в общей площади водосбора А приходится на крыши, улицы, сады (составляющие площади А1, А2 ...), то из коэффициентов стока составляющих площадей ($\varphi_1, \varphi_2 \ldots$) можно вычислить средний коэффициент стока φ для площади А.

$$\varphi = (A_1 \cdot \varphi_1 + A_2 \cdot \varphi_2 + \ldots) : (A_1 + A_2 + \ldots)$$

При этом нужно подставлять следующие приблизительные значения *коэффициентов стока:*

Металлические и шиферные крыши - 0,95

Плоские крыши - 0,5 ... 0,7

Асфальтированные и бетонные улицы - 0,85 ... 0,90

Гравийные дорожки - 0,15 ... 0,30

Площади парков и садов - 0 ... 0,1

Правильный выбор коэффициента стока - *самое важное во всем расчете.* Это заметно по большим различиям указанных чисел. Небольшое изменение в коэффициенте стока больше влияет, пожалуй, на конечный результат, чем все прочие тонкости расчета.

Сегодня обычно принимают более высокие коэффициенты стока, чем это было принято несколько десятилетий назад, так как покрытия дорог и площадей постоянно усовершенствуются. (Krauel, A., GWF 1962, 77, Gruhler, F., Wasserwirtsch.-Wt. 1962, 119, Annen, G., u. Wack, H.P., Techn. Wiss. Mitt. der Emschergen. 1964, H. 6, 13).

Значения φ на стр. 66 приведены для относительно ровной застроенной территории. Для большего поверхностного уклона могут понадобиться большие коэффициенты стока. Руководство по расчетам дано в ATV-Arbeitsblatt A 118. Кроме того, коэффициенты стока даны для лета. Для зимних дождей они могут иметь намного большее значение. Однако, их применять не обязательно, так как здесь учитываются летние дожди (v. Bülow, GI 1924, 465). По крайней мере это справедливо для водосборов площадью до 800 км^2. Только при еще больших площадях зимние дожди могут играть существенную роль.

Все эти данные относятся к так называемому "*пиковому коэффициенту стока*" (φ_S), отношению наибольшего моментального расхода к соответствующему ему наибольшему количеству осадков. Пиковый коэффициент стока применяется только для расчета городских канализационных сетей. Для насосных станций, которые не имеют

водосброса и включают резервуар с подпором, из-за расхода электроэнергии иногда требуется знать "*общий коэффициент стока*" (φ_m). При плотной застройке он такой же по величине, как и пиковый коэффициент стока, однако, в пригородных районах значительно больше. В области реки Эмс, например, для вышеуказанных пяти классов застройки берут:

Класс застройки	I	II	III	IV	V
Общий коэффициент стока φ_m .....=	0,8	0,65	0,52	0,46	0,35

Для небольших территорий с длиной водостока примерно до 1...2 км, в зависимости от уклона, большей частью достаточно простого расчета с обычным дождем и постоянным коэффициентом стока (стр. 66). Это видно из заголовка таблицы на стр. 69. Таблица может быть, при необходимости, дополнена отдельными колонками из большой таблицы на стр. 70.

2.2.4. Подробный расчет по таблице

Как следует из заголовка таблицы на стр. 70, эту таблицу помимо дополнений, обусловленных увеличением масштаба расчетов, добавлен *временной коэффициент* дождевого стока (столбец 24). Этот временной коэффициент обосновал и ввел в 1922 году в 3-е издание этой книги Карл Имхофф. Основанием для этого послужило то, что интенсивность дождя с течением времени, т.е. по мере продолжительности дождя, ослабевает в определенной степени. Например, на рис. 2.4 это показано кривой "c". Для "средних" условий, применительно к Германии, она представляет серию дождей, которые превышаются раз в год, т.е. серию дождей с годовой повторяемостью n = 1. При длительности 15 мин модуль дождевых осадков составляет 100 л/(с•га). Из рисунка видно, что линии интенсивности дождей разной повторяемости подобны. Сравнение результатов наблюдений в разных областях Германии также показало, что, несмотря на разнообразие дождей (рис. 2.3), уменьшение интенсивности дождя

по мере его продолжительности везде происходит примерно одинаково. Это позволяет сделать вывод, что с помощью линии "с" можно установить значения временного коэффициента φ для всего диапазона выпадающих осадков, если ее ординате при T = 15 мин придать значение $\varphi = 1$. Это сделано на рис. 2.4. Таким образом, линия "с" временного коэффициента представляет собой не что иное, как линию интенсивности осадков, которая на 15 минутах проходит через значение 100 л/(с•га). Приведенные на рис. 2.4 значения интенсивности взяты в скобки, так как они действительны только для регионов, где интенсивность дождя 100 л/(с•га) при 15-минутной продолжительности превышается один раз в год. Указанные слева временные коэффициенты φ действительны для всех случаев.

Таблица простого расчета по Кееру

1	2	3	4	5	6	7	8
Порядковый номер бассейна	Название улицы	Участок		Длина канала, L	Размер площади водосбора		Модуль стока загрязненных вод, qs
		от	до		Составляющая площадь, FEZ	Суммарная площадь, $\sum FEZ$	
		Колодец					
		вверху	внизу				
№		№	№	м	га	га	л/(с•га)

9	10	11	12	13	14	15
Модуль дождевых осадков rx = ... л/(с•га) n =	Модуль стока дождевых вод $qr = \varphi \cdot rx$	Сток				
		Загрязн. воды		Дождевая вода		Всего
Коэфф. стока φ		$FEZ \cdot qs$	Qs	$FEZ \cdot qr$	Qr	Q=Qs+Qr
	л/(с•га)	л/с	л/с	л/с	л/с	л/с

16	17	18	19	20
Уклон дна Js	Поперечное сечение канала Форма Размер	Пропускная способность Qo	Vo	Примечания
1 :	см	л/с	м/с	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Порядковый номер бассейна	Название улицы	Участок от Колодец вверху	Участок до Колодец внизу	Длина канала одного L	Длина канала суммарная ΣL	Площадь водосбора составляющая F_{EZ}	Площадь водосбора суммарная ΣF_{EZ}	Количество жителей составляющей площади		Количество жителей площади водосбора	Модуль стока загр. вод q_s	Модуль дождевых осадков r_x=... л/с•га (1) n = ... Коэфф. стока, φ
№	№	№	№	м	м	га	га	чел/га	чел	чел	л/с•га	

14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Модуль стока дождевых вод $q_r=\psi \cdot r_x$	Сток: Приток участка	Загрязн. воды $F_{EZ} \cdot q_s$	Загрязн. воды Q_s	Произв. сточн. воды в данный момент	Произв. сточн. воды по оценке на будущее	Произв. сточн. воды Q_g	Дождевая вода $F_{EZ} \cdot q_r$	Дождевая вода Q_r	Дождевая вода Расчетное время добегания T(2)	Дождевая вода Временной коэффициент φ	$Q=Q_s+Q_g+\varphi Q_r$	Перемещен в участок	Уклон дна J_s
л/с•га	№	л/с	л/с	л/с	л/с	л/с	л/с	л/с	с		л/с	№	1 :

28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
	В дождливую погоду							В сухую погоду		Примечания
Поперечное сечение канала Форма Размер	Пропускная способность Q_o	Пропускная способность v_o	Гидравлический уклон J(3)	Скорость течения v(4)	Время добегания единичное $t_f=l/v$	Время добегания Суммарное Σt_f	Σt_f	Q_s+Q_g Скорость течения v	Q_s+Q_g Наполнение h	(1) - длительность самого короткого заданного расчетного дождя в мин (2) – Продолжительность дождя (3) $J=J_s$ при частичном заполнении (4) $v=v_o$ при $1/2Q_o<Q<Q_o$
см	л/с	м/с	1 :	м/с	с	с	мин	м/с	м	

Линии a, b и d дают временной коэффициент для других повторяемостей дождя также относительно интенсивности 15-минутного дождя, превышаемой один раз в год. Однако, эти линии использовать не обязательно, достаточно работать только с линией "c". Значения интенсивности для дождей другой повторяемости (n) находят путем умножения величины интенсивности при n = 1 на соответствующее для 15 мин значение φ. Согласно рис. 2.4, например, при 15 мин:

φ = 1,8 для n = 0,2 (линия "a")

φ = 1,3 для n = 0,5 (линия "b")

φ = 1,0 для n = 1 (линия "c")

φ = 0,75 для n = 2 (линия "d")

Формулу для временного коэффициента дает Рейнхольд в (Taschenbuch für Bauing, Springer-Verlag 1955, Bd. 2, 1013).

Линию "c" временного коэффициента φ можно откорректировать еще по другим зависящим от времени воздействиям, например, по изменению коэффициента стока ψ по мере продолжительности дождя. Бюлов доказал, что коэффициент стока становится тем больше, чем дольше продолжается дождь (Bautechnik 1939, 569). Но поскольку получены и противоположные данные наблюдений, это воздействие не включено в линию "c" временного коэффициента.

Линии интенсивности дождя дают для коротких дождей очень высокие значения. Однако, короткие дожди продолжительностью несколько минут не могут привести к значительному сбросу, так как в начале дождя много воды поглощается сухой поверхностью и еще свободной емкостью коллекторов, скапливается перед дождеприемниками на улицах и во дворах, и эта вода не может полностью или частично быстро стекать. Поэтому для продолжительности расчетного дождя берут нижний предел от 5 до 15 мин. В крутой гористой местности может быть достаточно 5 мин. Большей частью ограничиваются временем 15 мин. Это отражено на рис. 2.4. Для более короткого предельного времени соответствующее значение можно прочесть по пунктирным продолжениям линий "b", "c" и "d".

Пример 2. В одном из городов Саксонии не проводятся наблюдения за атмосферными осадками. Необходимо принять интенсивность расчетного дождя продолжительностью 10 мин, которая может быть превышена только раз в два года (n = 0,5).

Согласно рис. 2.3 15-минутный дождь, который превышается раз в год, составляет для Саксонии 108 л/(с•га). На рис. 2.4 для линии "b" (n = 0,5) при T = 10 мин временной коэффициент составляет φ = 1,6. Он помещается в стлбце 24 таблицы на стр. 70. φ остается неизменным для времени добегания до 10 мин и затем убывает по линии "b".

Пример 3. Каков модуль дождевых осадков превышаемого раз в два года дождя продолжительностью 60 мин в Бранденбурге?

— На рис. 2.3 модуль дождевых осадков 15-минутного дождя составляет 96 л/(с•га). Согласно линии "b" (n = 0,5) на рис. 2.4 временной коэффициент для 60 мин — φ = 0,46. Искомый модуль дождевых осадков составляет 0,46 • 96 = 44 л/(с•га).

Для каждой точки канализационной сети приблизительно самый сильный сток дает именно тот дождь, *продолжительность которого равна времени добегания*, т.е. равна времени, которое необходимо воде, чтобы стечь от верхней границы водосбора до этой точки.

Если бы продолжительность дождя была больше времени добегания, то тогда дождь, согласно рис. 2.4, был бы слабее. Елси бы дождь был менее продолжительным и более интенсивным, то вода нижней границы стекла бы раньше, чем поступила бы вода верхней границы. Таким образом, по линии "c" для каждой точки канализационной сети можно определить временной коэффициент и соответствующий модуль дождевых осадков, если известно время добегания воды в коллекторе.

Пример 4. Канализационная сеть рассчитана на 15-минутный дождь с 80 л/(с•га). Каков будет временной коэффициент и дождевой сток в точке главного коллектора, которая, если измерить по канализационной трубе, удалена на l = 3000 м от верхнего края бассейна водосбора?

— Скорость течения принимается равной v = 1 м/с. Время добегания $l : v = 50$ мин. Продолжительность дождя Т равна времени добегания = 50 мин. Временной коэффициент $\varphi = 0{,}4$ (согласно линии "с"). Дождевой сток = 0,4 • 80 = 32 л/(с•га).

Для практического расчета сначала нужно задаться скоростью движения воды и затем по длине коллектора вычислить или прочесть время добегания (рис. 2.5). Скорость на равнине при закрытых коллекторах около 1 м/с, холмистой местности выше. В случае открытых водостоков бассейна реки Эмс она составляет в среднем 2,5 м/с. При необходимости после предварительного расчета скорость корректируется. При расчете по таблице берут скорость, которая получается из известного расхода предшествующего участка коллектора. Если расход воды уменьшается с учетом временного коэффициента и скорость воды существенно отличается от первоначально принятой, время добегания и расход воды должны быть скорректированы. Эту корректировку постоянно производят для последовательно расположенных участков коллектора.

Таким образом, нет необходимости еще раз просчитывать все участки с новыми допущениями.

Длина потока, соответствующая при скорости 1 м/с продолжительности дождя 15 мин, при которой, таким образом, временной коэффициент составляет $\varphi = 1$, равна 900 м; при 2,5 м/с она равна 2250 м. Временной коэффициент начинает проявляться только при довольно большой протяженности. Для относительно коротких участков временной коэффициент совсем отбрасывают и оставляют простой расчет по таблице. За всеми этими расчетами скрыта, по опыту Эмского товарищества (Carp, Wasserwirtsch. 1951/52, 163), большая достоверность, которая, вероятно, основана на том, что проходит очень много времени пока дождевая капля достигнет канализационной трубы или коллектора, к которым относится расчет. Опыт учит, что водостоки, которые рассчитаны на дождь с 200 л/(с•га), могут отводить дождевые воды со значительно большими модулями дождевых стоков.

При значительных различиях отдельных частей площади по уклону и коэффициенту стока правило "продолжительность дождя равна времени добегания" не всегда можно применить ко всей площади, иногда с помощью предварительного расчета нужно выяснить, как возникает наибольшая нагрузка для определенной точки. Это особенно справедливо при очень сложной форме водосборного бассейна. На территории согласно рис. 2.6 наибольшую нагрузку получают, если отбрасывают коллектор l_2 с его узкой территорией и подставляют только участок l_1 с относящейся к нему соответствующей площадью. Тогда общая площадь, которую учитывают, несколько меньше, однако, сток становится больше, так как вследствие короткого времени добегания в расчет нужно подставлять более высокий временной коэффициент.

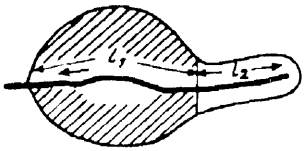


Рис. 2.6

В качестве "временных коэффициентов" можно использовать восходящие еще к Бюркли (1880) значения параметра, определяемого по ормуле и приведенного на рис. 2.7. Они до сих пор важны, поскольку большинство старых канализационных сетей крупных городов рассчитаны с их помощью. Помимо первоначальных формул для площади на рис. 2.7 представлена также формула, которая исходит из длины коллектора.

2.2.5. Графический способ

Способ интегральных кривых (называвшийся ранее планируемым замедлением) точнее, чем расчет по таблице с временным коэффициентом, но очень трудоемкий. Поэтому его следует применять

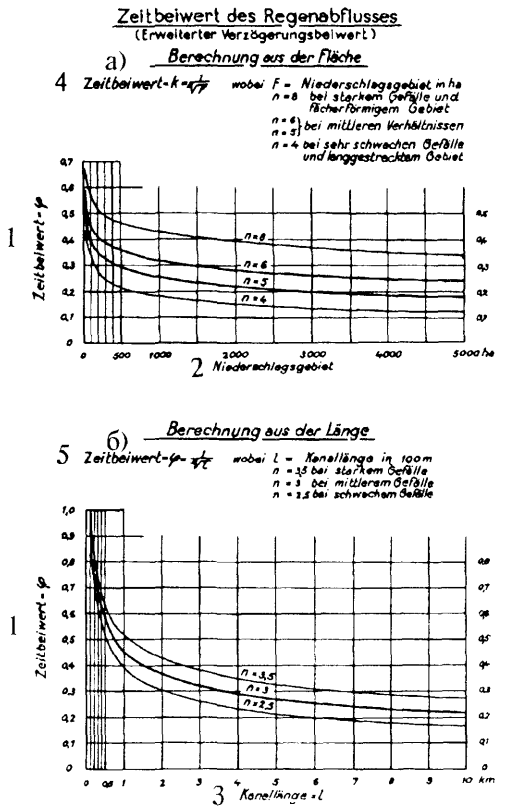


Рис. 2.7. Временной коэфициент дождевого стока

а) Расчет по площади; б) Расчет по длине; 1 - временной коэффициент = φ ; 2 - бассейн поверхностного водосбора, га; 3 - длина канала = l ; 4 - временной коэффициент k = $1/\sqrt[n]{F}$, причем F = бассейн поверхностного водосбора в га, n = 8 при сильном уклоне и веерообразной территории, n = 6, n = 5 при средних условиях, n = 4 при очень слабом уклоне и протяженной территории; 5 - временной коэфициент j = $1/\sqrt[n]{l}$, причем l = длина канала в 100 м; n = 3,5 при сильном уклоне, n = 3 при среднем уклоне, n = 2,5 при слабом уклоне

только как вспомогательный способ в ответственных случаях (Kehr, GI 1942, 338). Влияние формы территории и сильно меняющегося уклона коллекторов на величину наводочной волны в градфическом способе интегральных линий, в отличие от расчета по таблице, учитывается полностью. Способ описан в третьем томе Hütte (обработал Stecher), в справочнике Schleicher (обработал Marquardt) и в книге Kehr, "Die Berechnung von Regenwasserabflüssen), R. Oldenburg, 1933.

Отраслевая инструкция ATV-Arbeitsblatt A 118 (указания по гидравлическому расчету коллекторов для загрязненных дождевых и смешанных сточных вод, St. Augustin 1977) [x)] дополнительно приводит сведения о способе *с временным коэффициентом стока.* Здесь особое значение имеет средний уклон площади в направлении стока и продолжительность его пребывания на поверхности. Кроме того рассматривается способ расчета для *сети аккумулирующих каналов.*

2.2.6. Расчет с помощью электронной обработки данных

Рассмотренные способы с временем добегания пригодны также для *электронного расчета канализационной сети.* Программы имеются. Их применение служит ценным вспомогательным средством при обширных расчетах. Были разработаны также нестационарные способы, которые нельзя просчитать вручную. Их проверка связана с большими трудностями (Klym. H., Ber. Inst. Wasserw. TU München 1974, Nr. 7, S. 61; Haendel, H., Kanalnetzberechnungen mit EDV-Anlagen, KA 1977, 300, KA 1982, 750, und KA 1984, 779; KWK, Vergleichende Untersuchungen von elektronischen Kanalnetzberechnungen, Heft 31, 1977; KWK-ATV-Arbeitsblatter A 119 und A 120; Gasser, M., et al., KA 1978, 319; Lengnick, H., KA 1982, 840).

2.3. Определение поперечных сечений

Для расчета коллекторов сточных вод ранее в течение 100 лет использовалась формула Куттера [xx)].

Скорость (м/с) $v = [100\sqrt{r_{hy}} : (b + \sqrt{r_{hy}})] \cdot \sqrt{r_{hy} J_E}$ (1)

r_{hy} = гидравлический радиус (м)

J_E = гидравлический уклон

$b = 0{,}35$ = коэффициент шероховатости

Расход воды $Q = A$ [x)] $\cdot v$

$r_{hy} = A : l_u$ = живое сечение : смоченный периметр ($м^2/м$).

При равномерном движении гидравлический уклон равен уклону свободной поверхности воды и равен уклону дна.

Формула Куттера имеет простую структуру. Однако, она имеет и слабые стороны. Поэтому Объединение по очистке сточных вод рекомендует применять формулу Дарси с более сложным, физически обоснованным коэффициентом трения по Прандтлю-Коулбруку для полностью заполненных труб (ATV-Arbeitsblatt A 110, St. Augustin 1988). Формула Дарси имеет вид:

$$J_E = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \qquad (2)$$

J_E = гидравлический уклон

λ = коэффициент трения

d = диаметр (м)

v = средняя скорость течения жидкости (м/с)

g = ускорение силы тяжести = 9,81 (м/с2)

Определяющую формулу для коэффициента трения дали Прандтль-Коулбрук:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2log\left[(2{,}51 : R_e \cdot \sqrt{\lambda}) + \frac{k_b}{d} \cdot \frac{1}{3{,}71}\right] \qquad (3)$$

λ = коэффициент трения

R_e = число Рейнольдса = $\upsilon \cdot d/\nu$

υ = скорость течения (м/с)

d = диаметр (м)

ν = коэффициент кинематической вязкости ($м^2/с$)

k_b = коэффициент шероховатости (м).

Для расчета коллекторов сточных вод подставляется ν = 1,33 • 10-6 $м^2/с$, соответствует вязкости чистой воды при 10 °С.

Значение коэффициента k_b наряду с шероховатостью трубы должно учитывать также влияние стыков труб, изменений направления, боковых притоков и колодцев, а также определенных отложений.

Принимается:

k_b = 0,25 [мм] Дроссельные участки, напорные трубопроводы, дюкеры соответственно без колодцев.

k_b = 0,50 [мм] Транспортные каналы с гыдравлически благоприятно выполненными колодцами согласно ATV-A. A 241, 1.1.5.

k_b = 0,75 [мм] Сборные коллекторы с гыдравлически благоприятно выполненными колодцами согласно ATV-A. A 241, 1.1.5.

k_b = 1,5 [мм] Коллекторы, бетонируемые на месте; коллекторы без специального определения шероховатости стенок.

Соответствующий сборник таблиц опубликован (Unger, P., Tabellen zur hydraulischen Dimensionierung von Abwasserkanalen, INGWIS-Verlag, 6302 Lich, 1988).

В *таблицах* 1, 2 и 3 дано наглядное изображение зависимостей для частовстречающейся производственной шероховатости k_b = 0,75 [мм] и 1,5 [мм].

Таблица 4 составлена для каналов овоидального сечения. Для труб некруглого сечения вместо диаметра трубы в формулах (2) и (3) подставляется значение четырехкратного гыдравлического радиуса. Сокращенная формула Куттера (b=0,35) и расчет по Прандтлю-Коулбруку (k_b = 1,5) дают для трубопроводов ∅ 1,20 м примерно одинаковые значения. С уменьшением диаметра определенная по Прандтлю-Коулбруку пропускная способность оказывается больше. Однако при диаметрах свыше 1,20 м новый способ расчета дает меньшую пропускную способность, чем Куттер.

Для открытого канала предпочтительнее применять формулу Гауклера-Штриклера, называемую также формулой Маннинга-Штриклера:

$$v = k_{St} \cdot r_{hy}^{2/3} \cdot J_E^{1/2} \qquad (4)$$

v = скорость (м/с)

k_{St} = коэффициент шероховатости ($м^{1/3} \cdot с^{-1}$)

r_{hy} = гидравлический радиус (м)

J_E = гидравлический уклон.

Коэффициент шероховатости $k_{St} = 80$ соответствует $b = 0{,}35$ формулы Куттера и $k_b = 1{,}5$ по Прандтлю-Коулбруку.

Пример 5. Сколько воды и с какой скоростью отводит труба круглого поперечного сечения диаметром 1 м при уклоне 1: 140 или при 7,15 ‰ ? — Прочесть по таблице 2: $Q = 2$ м^3/с и $v = 2{,}5$ м/с или по таблице 1: $Q = 2{,}2$ м^3/с и $v = 2{,}8$ м/с. (Для самотечного водовода имеется в виду гидравлический уклон. При равномерном движении он совпадает с уклоном свободной поверхности воды и уклоном дна. При напорной трубе следует брать не уклон водовода, а гидравлический уклон (потеря напора на единицу длины), т.е. отношение высоты подачи к длине трубы). При поступлении воды в водовод к высоте подъема следует еще добавить скоростной напор $h = v^2 : (2 \cdot 9{,}81)$.

Пример 6. Какая ширина (d) необходома при обычном овоидальном поперечном сечении ($h = 1{,}5\ d$), если оно при уклоне J = 1 : 500 должно обеспечивать расход $Q = 1{,}2$ м^3/с при полном наполнении ? — В таблице 4 точка пересечения горизонтали 1,2 и вертикали 1 : 500 лежит чуть ниже кривой поперечного сечения 0,90/1,35. Таким образом, ширина равна 0,90 м.

Таблицы 5 ... 7 содержат кривые изменения скорости движения и расхода воды для коллекторов различного по форме поперечного сечения в зависимости от степени их наполнения. Значения скоростей и расходов приведены в долях от скоростей и расходов при полном наполнении.

Пример 7. То же, что и в примере 6. Однако, коллектор должен быть наполнен до 0,7 высоты. — По кривой (таблица 6) видно, что расход (Q) при 0,7 наполнения составляет 0,75 расхода при полном наполнении. Поэтому расход при полном наполнении берут не $Q = 1{,}28$ м^3/с (табл. 4), а $Q = 1{,}28 : 0{,}75 = 1{,}7$ м^3/с. Необходимое поперечное сечение составляет тогда 1,00 • 1,50 м. — Скорость для такого сечения по таблице 4 составляет $v = 1{,}5$ м/с. Однако, по кривой наполнения для v (таблица 6) видно, что скорость при 0,7 наполнения составляет 1,07 скорости при полном наполнении. Действительная скорость составляет, таком образом, 1,07 • 1,5 = 1,60 м/с.

Пример 8. Каковы при овоидальном сечении 0,90/1,35 высота наполнения и скорость, если протекает 0,2 м^3/с при уклоне 1 : 500 ? — Поперечное сечение при полном наполнении (таблица 4) несет 1,28 м^3/с со скоростью 1,4 м/с. Отношение 0,2 : 1,28 равно 0,16. Согласно кривой наполнения (таблица 6) высота наполнения при таком значении отношения расходов равна 0,27 высоты, то есть 0,27 • 1,35 = 0,36 м, а скорость (таблица 6) при высоте наполнения 0,27 равна 0,75 полного наполнения или 0,75 • 1,4 = 1,05 м/с.

В дальнейшем для каждого конкретного поперечного сечения в этих таблицах приведены коэффициенты, которые выражают отношение к *диаметру той же ширины (d). Таким образом можно вычислить поперечное сечение по таблицам для диаметра (1, 2, 3).* При этом коэффициуент шероховатости всегда такой, как указано вверху каждой из таблиц.

Пример 9. Лотковое поперечное сечение при 1 : 500 должно обеспечивать расход $Q = 2$ м^3/с. Каковы ширина (d) и скорость (v) ? — Согласно таблице 7 $Q = 0{,}678\ Q_1$ (круг). Таким образом, расход лоткового сечения составляет 0,678 расхода круглого поперечного сечения той же ширины d. Тогда в таблице 3 ищут d для $Q = 2 : 0{,}678 = 2{,}95$ м^3/с и находят $d = 1{,}50$ м. Далее здесь находят: $v = 1{,}7$ м/с. Но поскольку (табл. 7) $v = 0{,}896\ v_1$ (круглое сечение), то $v = 0{,}896 \cdot 1{,}7 = 1{,}52$ м/с.

Для обоснования такого, разработанного еще в первом издании этой книги 1907 г, простого способа вычислений достаточно сравнить ормулу Гауклера-Штриклера для любого поперечного сечения и круглого поперечного сечения, в результате чего станет видно, что при равной шероховатости и равном уклоне скорости зависят от отношения гидравлических радиусов в степени 2/3. Если сформулировать гидравлический радиус специального поперечного сечения (например, лоткового) в зависимости от диаметра и соотнести с круглым поперечным сечением того же диаметра, то получается постоянное отношение

$$v_{лоток} = (0{,}212/0{,}25)^{2/3} \cdot v_{круглое\ сечение} = 0{,}896 \cdot v_{круг.сеч.}$$

Если известен коэффициент 0,896, то по таблицам 1 ... 3 для круглых сечений можно найти точные значения даже для лоткового профиля, умножив или разделив на значение коэффициента.

Открытые коллекторы согласно рис. 2.8 были введены до первой мировой войны (Imhoff, Offene Abwasserkanaele, Wasser und Abwasser 1909, 401). В основе лежит треугольное сечение, которое превосходно зарекомендовало себя для отведения сточных вод (v. Bülow, Bautechnik 1939, H. 17). Треугольник по сравнению с другими поперечными сечениями имеет повышенную пропускную способность (Carp, D., Wasserwirtschaft 1936, H. 8, GI 1951, 302). Монтаж из готовых деталей можно осуществлять даже при текущей воде (Annen, G., GWF 1969, 1274).

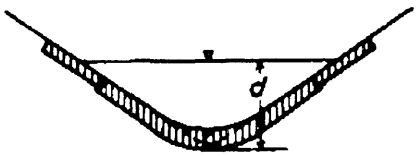


Рис. 2.8. Открытый коллектор сточных вод

В таблицах 8 и 9 содержатся значения для принятых сегодня поперечных сечений *B* и *C*. Таблицы заново пересчитаны и составлены авторами Анненом и Штальманном по формуле Гауклера-Штриклера (GWF 1966, 735). Пример считывания указан в таблицах. Для треугольного лотка с бетонными плитами выбирается $k_{St} = 65$, для откосов с дерном $k_{St} = 40$.

При очень сильных уклонах чрезмерные скорости высокой воды можно уменьшить посредством *"гидравлических тормозов"* по Рамсхорну. Это поперечные балки, которые сверху погружаются в высокую воду (Bautechnik 1932, 139).

Таблица 10 позволяет производить перерасчет пропускной способности по Прандтлю-Коулбруку для разных шероховатостей.

Пример 10. Труба круглого сечения диаметром 1 м при $k = 1{,}0$ мм и $J = 1 : 1000$ имеет по таблице 3 пропускную способность $Q = 780$ л/с. Каков ее сток, если можно ожидать $k = 0{,}4$ мм ?

$\Delta k/k = (0{,}4 - 1{,}0) : 1{,}0 = -0{,}60 = -60$ %. $D/k = 1$ м/мм. Эти значения дают в таблице 10 отношение $\Delta Q/Q$, равное +10 %. Сток для $k = 0{,}4$ мм составляет $(1 + 0{,}10) \cdot 780 = 860$ л/с.

Если хотят рассчитать *поперечные сечения, которые здесь не указаны*, то в большинстве случаев достаточно привести его к открытому или закрытому прямоугольнику равной площади. Если хотят точно рассчитать новое поперечное сечение, то вычисляют коэффициенты для v и Q, представляя $J = 1$ и $d = 1$, затем вычисляют несколько точек кривых наполнения. Дается также ссылка на нестандартизованные формы поперечных сечений в ATV-Arbeitsblatt A 110.

2.3.1. Таблицы для расчета поперечного сечения трубопроводов

Различные поперечные сечения с любым наполнением относительно окружности одинакового диаметра d

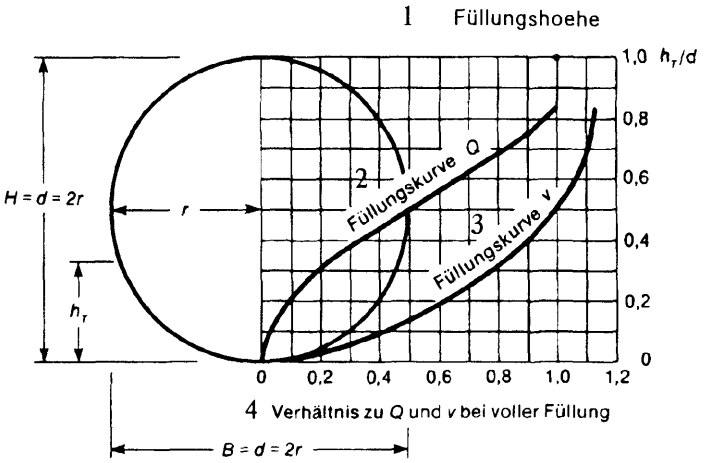


Таблица 5 (таблицы 1 ... 4 в конце книги):
круглое поперечное сечение $B : d = 2 : 2$
1 - наполнение; 2 - кривая наполнения Q; 3 - кривая наполнения v ; 4 - отношение к Q и v при полном наполнении

Площадь $A = 0{,}785 \cdot d^2$

Смоченный периметр $l_u = 3{,}142 \cdot d$

Гидравлический радиус $r_{hy} = 0{,}25 \cdot d$

Средняя скорость движения v_1 = Таблицы 1 ... 3

Расход Q_1 = Таблицы 1 ... 3

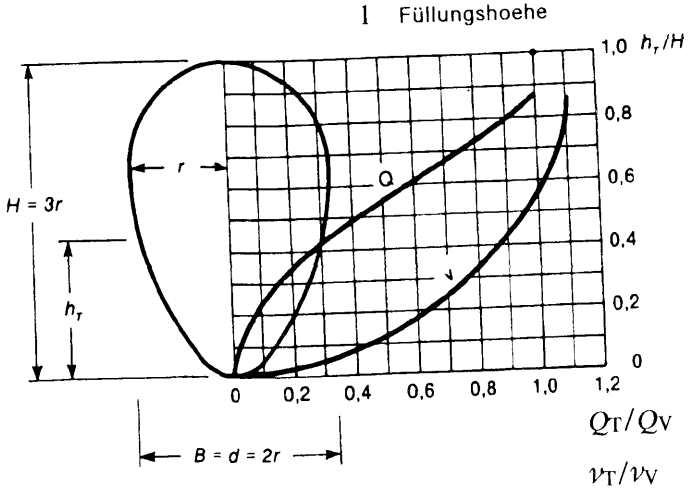


Таблица 6. Нормальное овоидальное поперечное сечение

$B : H = 2 : 3$

1 - наполнение

$A = 1{,}149 \cdot d^2$

$l_u = 3{,}965 \cdot d$

$r_{hy} = 0{,}29 \cdot d$

$v = 1{,}1 \cdot v_1$ (круглое сечение)

$Q = 1{,}61 \cdot Q_1$ (круглое сечение)

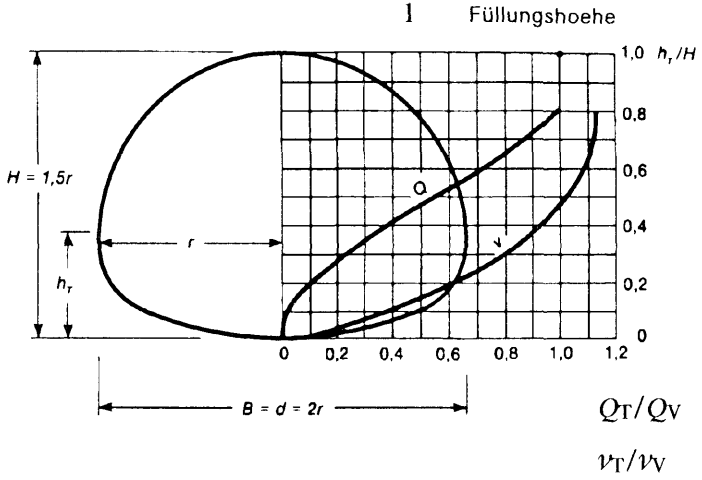


Таблица 6. Нормальное лотковое поперечное сечение

$B : H = 2 : 1{,}5$

1 - наполнение

$A = 0{,}594 \cdot d^2$

$l_u = 2{,}802 \cdot d$

$r_{hy} = 0{,}212 \cdot d$

$v = 0{,}896 \cdot v_1$ (круглое сечение)

$Q = 0{,}678 \cdot Q_1$ (круглое сечение)

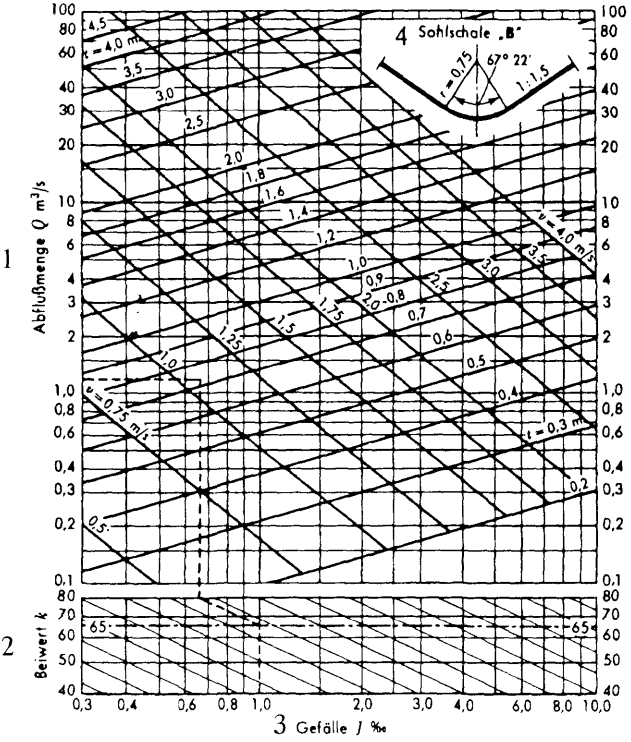


Таблица 8. Таблица стока для треугольного профиля
Расчет по Гауклеру-Штриклеру $Q = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \cdot F$
1 - расход Q (м^3/с); 2 - коэффициент k;
3 - уклон J (‰); 4 - профиль русла "В"

Пример считывания : $J = 1{,}0$ ‰; $k = 65$; $Q = 1{,}19$ м^3/с;
$t = 0{,}73$ м; $v = 1{,}06$ м/с

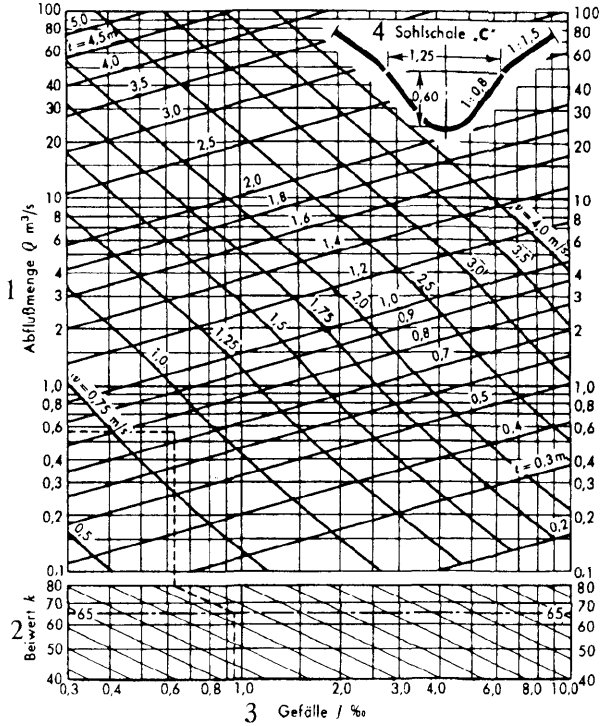


Таблица 9. Таблица стока для треугольного профиля
Расчет по Гауклеру-Штриклеру $Q = k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \cdot F$
1 - расход Q (м^3/с); 2 - коэффициент k;
3 - уклон J (‰); 4 - профиль русла "С"

Пример считывания : $J = 0{,}95$ ‰; $k = 65$; $Q = 0{,}57$ м^3/с;
$t = 0{,}73$ м; $\nu = 0{,}89$ м/с

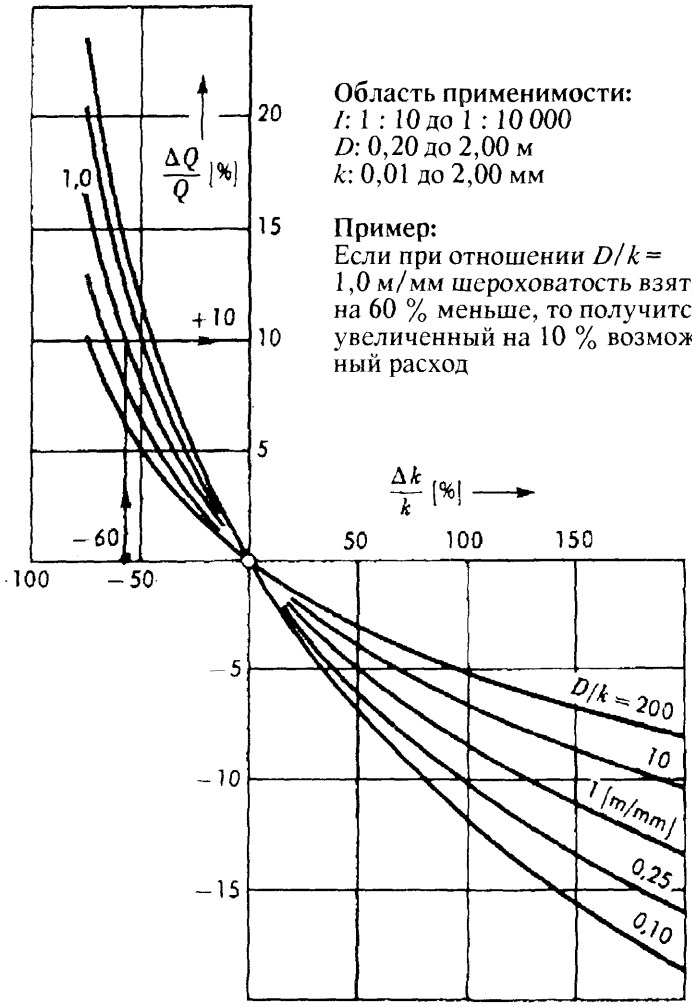


Таблица 10. Влияние изменения шероховатости на результат стока формулы Прандтля-Коулбрука по Киршмеру

3. Расчет запаса прочности коллекторов сточных вод

Обработали: профессор, доктор-инженер Дитрих Кер и
доктор-инженер Манфред Ветцорке, Ганновер

В случае коллекторов сточных вод из жестких труб заводского изготовления, особенно керамических и бетонных, определение запаса прочности может происходить простым образом посредством того, что предписанная разрушающая нагрузка труб при испытании на сжатие в вершине сравнивается с нагрузкой на трубу в грунте. О более точных расчетах жестких и деформируемых труб см. ATV-Arbeitsblatt A 127.

3.1. Нагрузка от давления грунта на трубы, уложенные в траншеях

В случае уложенных в грунте труб наружная нагрузка на трубы состоит из нагрузки от давления грунта и нагрузки от транспорта. Нагрузку от давления грунта P, действующую в плоскости вершины трубы по всей ширине траншеи, можно вычислить по рис. 3.1 следующим образом (ср. Wetzorke: "Uber die Bruchsicherheit von Rohrleitungen in parallelwandigen Graeben", Veroeffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Hochschule Hannover, Heft 5, 1960, Eigenverlag):

$$P_E = x \cdot \gamma \cdot b \cdot h = x \cdot G \quad (\text{кН/м}),$$

где x = понижающий коэффициент вследствие сил трения на стенках траншеи,

G = кН/м вес насыпного грунта над вершиной трубы на погонный метр длины траншеи,

γ = кН/м^3 объемный вес насыпного грунта,

b = м ширина траншеи на вершине трубы,

h = м глубина заложения трубы,

d_a = м наружный диаметр трубы.

При креплении котлована опалубочными щитами или плитами и удалении крепления после засыпки траншей снимающие нагрузку силы трения в значительной мере исчезают, и получается $x = 1$.

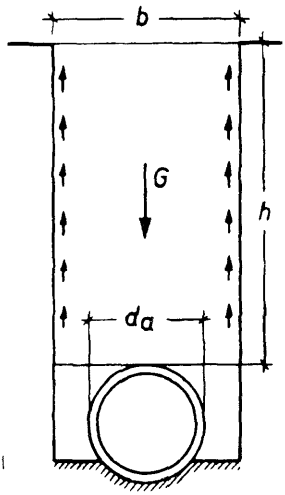


Рис. 3.1.

Значения понижающего коэффициента x зависят от отношения h/b, а также от типа грунта. При укладке с контролируемым уплотнением грунта их значения можно взять из рис. 3.2. Канализационные трубы в большинстве случаев обладают большей жесткостью, чем окружающий грунт. Если грунт вокруг труб не уплотняется или непригоден для уплотнения, например, имеется плотный грунт, то вся имеющаяся в плоскости вершины трубы нагрузка траншеи P_E передается на трубу. Нагрузка на трубу составляет
$P'_E = P_E$ (кН/м).
При надлежащем уплотнении грунта в зоне трубопровода (согласно DIN 4033) грунт вокруг трубы участвует в снятии нагрузки, и нагрузка на трубу P' сокращается до

$$P'_E = \frac{d_a + b}{2b} \cdot P_E \text{ (кН/м)},$$

где d_a — наружный диаметр трубы.

На трубы, например, из пластмассы, которые деформируются сильнее, чем окружающий грунт, нагрузка уменьшается до

$$P' \leq \frac{d_a}{b} \cdot P \text{ (кН/м)}.$$

P' (кН/м) — доля нагрузки на трубу в нагрузке от давления грунта P_E и поверхностной нагрузке P_0. Необходимые для выбора размеров определяющие деформации трубы можно вычислить по ATV-Arbeitsblatt A 127.

Пример 1: В коллекторе для загрязненных сточных вод с внутренним диаметром 400 мм:

наружный диаметр трубы — $d_a = 0{,}49$ м

ширина котлована — $b = 1{,}49$ м

глубина заложения трубопровода — $h = 4{,}60$ м

объемный вес насыпного грунта (песок) — $\gamma = 18$ кН/м^3.

Для $h/b = 3{,}1$ по рис. 3.2 в случае с песчаным грунтом $x = 0{,}46$ и для нагрузки от давления грунта по всей ширине траншеи получается

$$P_E = x \cdot \gamma \cdot b \cdot h$$

$$P_E = 0{,}46 \cdot 18 \cdot 1{,}49 \cdot 4{,}60 = 56{,}75 \text{ кН/м}.$$

В случае уплотненного грунта в зоне трубопровода и при укладке по DIN 4033 на канал приходится

$$P'_E = \frac{d_a + b}{2b} \cdot P_E$$

$$P'_E = \frac{0{,}49 + 1{,}49}{2 \cdot 1{,}49} \cdot 56{,}75 = 37{,}71 \text{ кН/м}.$$

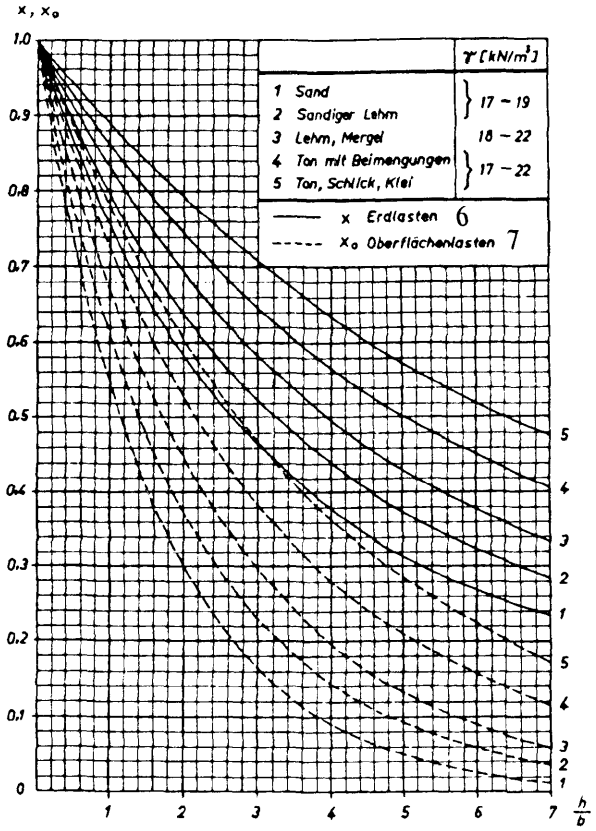


Рис. 3.2.
1 - песок; 2 - супесь; 3 - тощая глина, мергель;
4 - глина с примесями; 5 - глина, глинистый ил, ил;
6 - нагрузки от давления грунта; 7 - поверхностные нагрузки

3.2. Поверхностная нагрузка на траншею

Если на поверхности траншеи имеются дополнительные нагрузки, например, хранящийся на складе груз или нагрузка от фундамента, то влияние этих распределенных поверхностных нагрузок на

нагрузку траншеи на уровне вершины трубы можно вычислить по зависимости:

$$P_0 = x_0 \cdot p_0 \text{ (кН/м)}.$$

p_0 = кН/м — поверхностная нагрузка на метр длины траншеи,

P_0 = кН/м — вызванная посредством p_0 нагрузка в плоскости вершины трубы,

x_0 = понижающий коэффициент вследствие сил трения на стенках траншеи по рис. 3.2.

Пример 2 : По складской площадке нужно проложить ливнеотводной канал с внутренним диаметром 500 мм. При этом :

наружный диаметр трубы — $d_a = 0{,}64$ м

ширина котлована — $b = 1{,}64$ м

глубина заложения трубопровода — $h = 2{,}60$ м

объемный вес насыпного грунта (тощая глина) — $\gamma = 20$ кН/м^3

поверхностная нагрузка на траншею

вследствие хранящегося на складе груза — $p_0 = 40$ кН/м.

Для $h/b = 1{,}59$ в случае тощей глины по рис. 3.2 $x = 0{,}75$ и $x_0 = 0{,}53$, так что

$$P_E = x \cdot \gamma \cdot b \cdot h$$

$$P_E = 0{,}75 \cdot 20 \cdot 1{,}64 \cdot 2{,}60 = 64 \text{ кН/м},$$

$$P_0 = x_0 \cdot p_0$$

$$P_0 = 0{,}53 \cdot 40 = 21{,}2 \text{ кН/м}.$$

В сумме нагрузка на траншею в плоскости вершины трубы составляет, таким образом, $P_E + P_0 = 64 + 21{,}2 = 85{,}2$ кН/м. Если нет пригодного к достаточному уплотнению грунта, то вся нагрузка передается на трубу, поэтому нагрузка на трубу составляет

$$P' = P_E + P_0 = 85{,}2 \text{ кН/м}.$$

Если же, напротив, в зоне трубопровода засыпается и уплотняется пригодный к уплотнению грунт, то нагрузка на трубу уменьшается

$$P' = \frac{d_a + b}{2 \cdot b} (P_E + P_0)$$

$$P' = \frac{0{,}64 + 1{,}64}{3{,}28} \cdot 85{,}2 = 59{,}2 \text{ кН/м}.$$

3.3. Нагрузки от транспорта

Коллекторы сточных вод, проложенные на территориях, где происходит движение транспорта, подвержены статическим и динамическим нагрузкам от транспорта. Во избежание повреждений дорожных покрытий вследствие оседания грунта котлованы необходимо засыпать и уплотнять в соответствии с инструкциями по строительству дорог. Расчет распространения давления в грунте можно производить тогда по теории упругости. В связи с этим для нагрузки на трубу вследствие движения транспорта справедлива зависимость:

$P_V = \varphi \cdot p_v \cdot d_a$ (кН/м),

где P_V (кН/м) — нагрузка на трубу от движения транспорта,

φ — ударный коэффициент,

p_v (кН/м^2) — нагрузка от транспорта на вершине трубы относительно плоскости горизонтальной проекции трубы: для типовых автомобилей можно взять из рис. 3.3,

d_a (м) — наружный диаметр трубы,

$p_v \cdot d_a$ (кН/м) — статическая нагрузка от транспорта.

При этом неучтенными остаются уменьшающее нагрузку действие усиления дорожного покрытия и влияние жесткости трубы. Вне территорий, по которым движется транспорт, в качестве минимальной нагрузки следует учитывать грузовой автомобиль с полной массой 12 тонн (LKW 12). Согласно DIN 4033 и A 127 для типовых автомобилей следует подставлять следующие ударные коэффициенты:

	φ
LKW 12 (грузовой автомобиль с полной массой 12 т)	1,5
SLW 30 (грузовой автомобиль большой грузоподъемности с полной массой 30 т)	1,4
SLW 60 (грузовой автомобиль большой грузоподъемности с полной массой 60 т)	1,2

При малых глубинах заложения трубопровода (рис. 3.3) значения статической нагрузки от транспорта слишком высокие, так как максимальное значение нагрузки принимается по всей плоскости гори-

ризонтальной проекции трубы длиной 1 м. Если глубина заложения трубы составляет менее 1 м, то следует принимать в расчет как максимум нагрузку на одно колесо типового автомобиля.

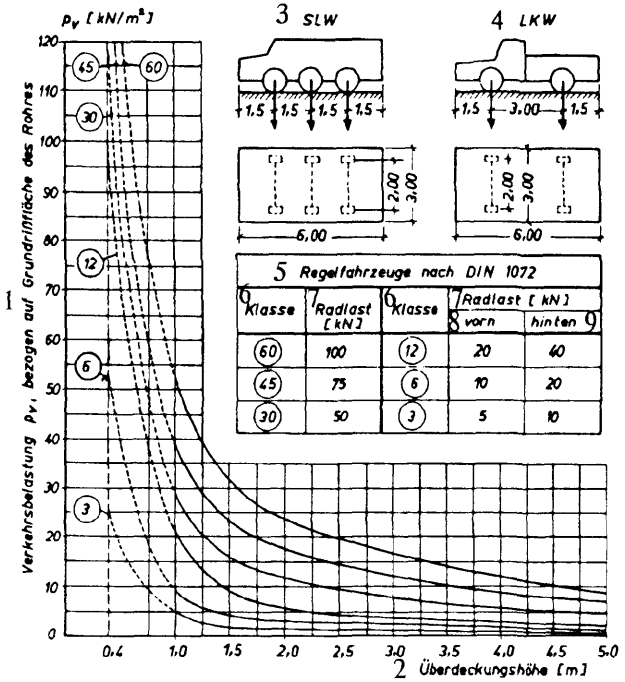


Рис. 3.3

1 - нагрузка от транспорта pv относительно плоскости горизонтальной проекции трубы; 2 - глубина заложения трубопровода, м; 3 - грузовой автомобиль большой грузоподъемности (SLW); 4 - грузовой автомобиль (LKW); 5 - типовые автомобили по DIN 1072; 6 - класс; 7 - нагрузка на колесо, кН; 8 - спереди; 9 - сзади

Пример 3 : Под дорогой нужно проложить ливнеотводной канал с внутренним диаметром 800 мм в свету. Нужно рассчитать нагрузку

на трубу от грузового автомобиля большой грузоподъемности с полной массой 60 т (SLW 60) для минимальной глубины заложения $h = 0{,}80$ м. При $\varphi = 1{,}2$; $p_V = 77$ кН/м^2 по рис. 3.3 и $d_a = 1{,}03$ м получается

$$P_V = 1{,}2 \cdot 77 \cdot 1{,}03 = 95{,}2 \text{ кН/м}.$$

Показанная на рис. 3.3 статическая нагрузка на трубу, равная $p_V \cdot d_a = 77 \cdot 1{,}03 = 79{,}3$ кН/м, составляет менее 1 нагрузки на колесо типового автомобиля (100 кН) и потому является определяющей для расчета. При очень малых глубинах заложения $\leq 0{,}5$ м или трубах большого размера $d_a \geq 1{,}50$ м необходимы более точные статические проверки с учетом различного распределения нагрузки.

3.4. Монтажные коэффициенты

Чем лучше уложены трубы, тем меньшие напряжения они испытывают при равной нагрузке. Учет различных принятых при строительстве коллекторов условий монтажа в расчете производится посредством представленных на рис. 3.4 монтажных коэффициентов EZ, которые определены эмпирически. Они показывают, во сколько раз несущая способность установленных труб выше, чем при испытании на сжатие /в вершине составляет F_N (кН/м)/; для их допустимой нагрузки в грунте справедливо условие:

$$P_B = EZ \cdot F_N \quad (\text{кН/м}).$$

Случай 1 — Труба уложена на дне траншеи, причем выполнены только углубления под муфты. Такая установка неблагоприятна и не соответствует DIN 4033. Еще более неблагоприятные нагрузки возникают при $EZ < 1$, тогда трубы опираются только на муфты. Опоры в виде точек или линий часто ведут к повреждениям и являются недопустимыми.

В случае подходящего строительного грунта под сооружение дно котлована следует предварительно сформировать на 90 ° (случай 2) или утрамбовать вокруг трубы зернистый материал (случай 4 только до внутреннего диаметра 600). Случаи 5 и 6 установки на предвари-

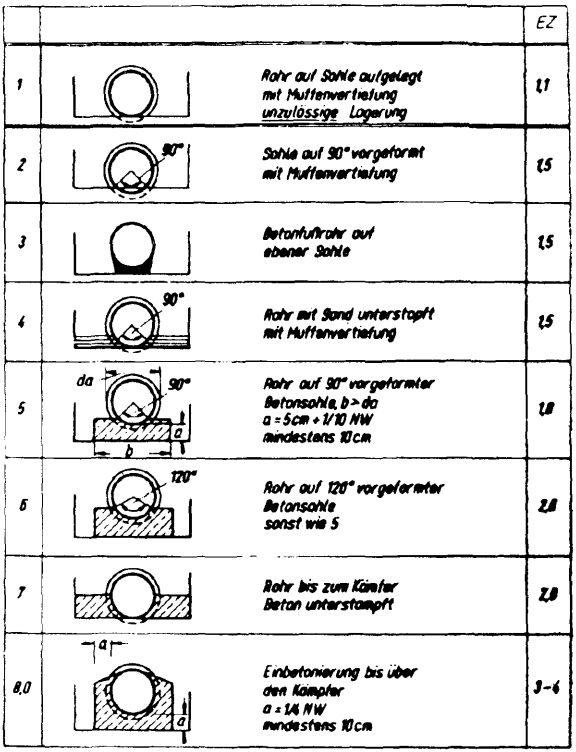


Рис. 3.4

1 - труба уложена на дно с углублением для муфт, *недопустимая* установка; 2 - дно предварительно сформировать на 90 °x) с углублением для муфт; 3 - труба с подошвой на ровном дне; 4 - вокруг трубы утрамбовать песок с углублением для муфт; 5 - труба на предварительно сформированном на 90 ° бетонном основании, $b > d_a$, a = 5 см + 1/10 внутреннего диаметра, не менее 10 см; 6 - труба на предварительно сформированном на 120 ° бетонном дне, остальное как в п. 5; 7 - труба с утрамбованным до пяты свода бетоном; 8 - бетонирование выше пяты свода, a = 1/4 внутреннего диаметра, не менее 10 см

тельно выполненном бетонном дне (с прослойкой раствора) особенно следует применять при просадочном грунте под сооружение во избежание оседания труб. При таком способе установки необходимо следить за тем, чтобы трубы плотно прилегали к подкладываемому металлическому уголку и не опирались на муфты.

В случае грунта, не обладающего достаточной несущей способностью, например, глинистый ил или болото, при малой толщине слои грунта следует заменить насыпным гринтом. В ином случае фундамент для труб следует сооружать из свай.

Простым и легко контролируемым методом улучшвния установки труб является бетонирование труб в соответствии со способом 7, при котором не требуется углубление котлована и возникает равномерное распределение нагрузки на опоры.

Если вышеперечисленных мер недостаточно, то трубы можно забетонировать выше пяты свода. Решающим для повышения несущей способности трубы является при этом качество бетонной облицовки. Следует избегать толщины облицовки менее 10 см, так как тогда бетон нельзя достаточно утрамбовать. Для $EZ = 4$ следует применять бетон марки В 25, для $EZ = 3$ — В 15. Монтажные коэффициенты для случая 8 действительны для бетонных труб по DIN 4032 и керамических труб со стандартными стенками по DIN 1230. Как правило, вместо заделки в бетоне бывает экономичнее повысить сопротивляемость трубы разрушающей нагрузке в вершине. При полной заделке в бетоне облицовка должна быть статически рассчитана независимо от трубы. Для всех трубопроводов следует производить проверку уплотнения грунта.

3.5. Проверка запаса прочности

Если в основу положена нагрузка при испытании на сжатие F_N как мера запаса прочности труб в грунте, то должно быть выполнено условие

$$EZ \cdot F_N \geq \nu \cdot (P' + P_V) \quad (\text{кН/м})$$

или

$$F_N \geq \frac{\nu (P' + P_V)}{EZ}$$

ν = коэффициент безопасности относительно предельного состояния несущей способности, для которого в А 147, в зависимости от материала, для стандартного случая указаны следующие значения:
асбестоцемент — 2,2
бетон — 2,2
керамика — 2,2
железобетон — 1,75
полиэтилен высокого давления — 2,5 [1)]
ПВХ — 2,5 [1)]
сталь, чугун — 1,5 [1)].
Неучтенной остается более низкая динамическая прочность при нагрузках от транспорта.

Если вышеприведенное условие не выполнено, то следует использовать трубы с повышенной сопротивляемостью разрушающей нагрузке в вершине F_N или улучшить условия монтажа.

Пример 4 : Какую разрушающую нагрузку необходимо предусмотреть в вершине бетонной трубы внутреннего диаметра 1000 при укладке ее на глубину 3 м как главного коллектора магистральной дороги ? Вынутый грунт состоит из песка и суглинка в послойном залегании; в качестве нагрузки следует предусматривать нагрузку грузового автомобиля большой грузоподъемности с полной массой 60 т (SLW 60). Параметры:
наружный диаметр трубы — $d_a = 1{,}29$ м
ширина котлована — $b = 2{,}29$ м

[1)] Дополнительно следует проверить деформации и надежность при нестабильности нагрузки

глубина заложения — h = 3 м

объемный вес насыпного грунта (в среднем) — γ = 19 кН/м3.

Для h/b = 1,3 согласно кривой 2 на рис. 3.2 x = 0,74, так что

$$P_E = x \cdot \gamma \cdot b \cdot h$$

$$P_E = 0{,}74 \cdot 19 \cdot 2{,}29 \cdot 3 = 96{,}6 \text{ кН/м}.$$

При монтаже по DIN 4033 на трубу приходится

$$P'_E = \frac{1{,}29 + 2{,}29}{2 \cdot 2{,}29} \cdot 96{,}6 = 75{,}5 \text{ кН/м}.$$

Для нагрузки грузового автомобиля большой грузоподъемности с полной массой 60 т (SLW 60) в случае глубины заложения 3 м получается p_V = 17 кН/м^2, так что на трубу с учетом ударного коэффициента φ = 1,2 приходится нагрузка от транспорта

$$P_V = \varphi \cdot p_V \cdot d_a$$

$$P_V = 1{,}2 \cdot 17 \cdot 1{,}29 = 26{,}3 \text{ кН/м}.$$

Монтаж труб происходит согласно рис. 3.4, случай 3 (трубы с подошвой установлены на ровное дно трншеи), так что в расчет следует подставить монтажный коэффициент EZ = 1,5. При ν = 2,2 минимальная разрушающая нагрузка в вершине труб

$$F_N = \frac{2{,}2 \cdot (75{,}5 + 24{,}1)}{1{,}5} = 146{,}1 \text{ кН/м}.$$

Минимальные значения для сил сжатия в вершине для керамических труб приведены в DIN 1230, для бетонных труб — в DIN 4032 [x)].

3.6. Трубопроводы в дамбах

Условия нагрузок для трубопровода в дамбах следуют из рис. 3.5. При этом предполагается, что по обеим сторонам наружного диаметра образуются вертикальные или наклонные поверхности скольжения. Только если труба оседает так же, как грунт по обеим сторонам трубы, поверхности скольжения не образуются, и нагрузка на трубу равна массе G' возвышающейся над трубой призмы грунта (вариант нагрузки *a*).

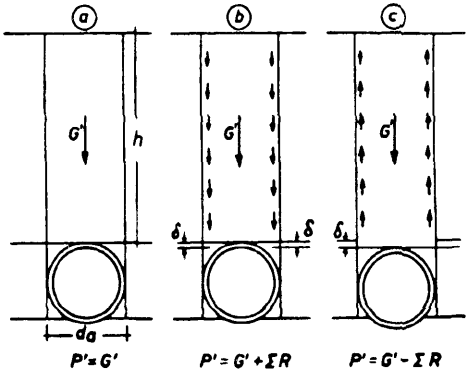


Рис. 3.5

При жестких трубах оседание δ грунта по бокам трубы больше, чем над вершиной трубы. В этом случае возникающие на поверхностях скольжения силы трения дополнительно нагружают трубу (вариант нагрузки *b*). Если же труба более податлива, чем окружающий грунт, или труба оседаетс сильнее, то возникает вариант нагрузки *c*, при котором нагрузка распределяется на траншею и возникающие на поверхностях скольжения силы трения разрушающе действуют на трубу.

Путем расположения узкого рыхлого слоя выше вершины трубы можно компенсировать довольно большую жесткость трубы. Возникает вариант нагрузки *a*. Тем самым предотвращаются неравномерные оседания на поверхности. Вместо рыхлого грунтового слоя может применяться и другой податливый материал, например, измельченный торф. В качестве нагрузки от давления грунта в условиях дамбы можно подставить в расчет

$$G' = \gamma \cdot d_a \cdot h \text{ (кН/м)}.$$

Нагрузка на трубы вследствие размещения тонкого рыхлого слоя выше вершины трубы может быть уменьшена и для трубопроводов в траншеях.

Способ расчета нагрузок на жесткие трубопроводы в дамбах, исходящий из модельного представления жесткой на сдвиг балки как нагрузки на трубу с упругой подушкой в плоскости вершины трубы предложил Леонхардт (Mitteilungen des Lehrstuhls für Grundbau der TU Hannover, Heft 4, 1973). Этот способ расчета был применен также для труб различной жесткости в траншеях с параллельными или наклонными стенками и включен в отраслевую инструкцию А 127. Результаты зависят от определения параметров, связанных с механикой грунта области засыпки труб. Точный расчет с соответствующими исследованиями механики грунта целесообразен особенно для труб больших внутренних диаметров и деформируемых труб, а также для сложных склучаев монтажа и нагрузки.

Часть II

ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД

4. Общие положения по обработке сточных вод [1)]

4.1. Общее изложение задачи

Все городские сточные воды в конечном счете поступают в общественные водоемы. При этом может быть нанесен ущерб, например, запах, привкус в питьевой воде, гибель рыб. Может возникнуть угроза для здоровья населения вследствие заражения питьевой воды, мест для купания или пищевых продуктов. Водным путем распространяются холера, тиф, дезинтерия и вирусная желтуха [x)].

[1)] Dunbar. Leitfaden für die Abwasserreinigungsfrage. Oldenbourg, München, 3. Auflage 1954. Metcalf u. Eddy. American Sewerage Practice. Bd. 3. Disposal of Sewage, 3. Aufl. 1935, und Wastewater Engineering 1972, beide McHraw-Hill Book Company, New York und London. Imhoff. Die biol. Abwasserreinigung in Deutschl. 7. Heft d. Mitt. d. Landesanstalt 1906, 2. Aufl. 1909. Imhoff. Fortschritte der Abwasserreinigung. Carl Heymanns, Berlin 1933. Brix, Imhoff, Weldert. Die Stadtenwasserung in Deutschland. Gustav Fischer, Jena 1934. Hogson, Sewage and Trade Wastes Treatment. Drank Trigg. Adelaide 1938. Imhoff u. Fair. Sewage Treatment. John Wiley, New York 1940, 2. Aufl. 1956. Keefer, C. E., Sewage Treatment Works, McGraw-Hill Book Co. New York 1940. Babbitt, H. E., Sewerage and Sewage Treatment, John Wiley, New York 1958. Meyer, A. F.,Langbein, F., Moehle, H., Trinkwasser und Abwasser in Stichworten. Springer Verlag, Berlin 1949. Husmann, W., Praxis der Abwasserreinigung, Springer Verlag, Berlin 1969. Escritt, L. B., Sewage Treatment, Design and Specification, The Contractors Record and Municipal Engineering, London 1950. Fair and Geyer, Water Supply and Waste Water Disposal. John Wiley, New York 1954 (Wasserversorgung u. Abwasserbeseitigung, Oldenbourg, München 1957/58). Imhoff, Müller, Thistlethwayte. Disposal of Sewage, Butterworths, London 1971. Eckenfelder, W. W., O'Connor, D. I., Biological Waste Treat-

Пригодность речной воды для сельского хозяйства и промышленности может быть поставлено под угрозу. *Задача* очистки сточных вод заключается в предупреждении загрязнения и охране водоемов. Эта задача решается *не только* посредством очистки сточной воды от загрязняющих веществ. Наряду с очисткой сточных вод имеется большое количество технических средств, выполняющих функцию очистки, например, отведение сточных вод.

Канализационное сооружение представляет собой только составную часть в большом взаимозвязанном водном хозяйстве. Это должны учитывать все организации, обязанные заниматься вопросом сточных вод целых бассейнов рек. Особенно это касается *союзов канализационных сетей* [2], которые должны быть основаны именно тогда, когда от них ожидают возведение запланированных сооружений, производительность которых превосходит суммарное действие отдельных очистных установок.

---

ment, New York 1961. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Wilhelm Ernst & Sohn 1978/82. Eckenfelder, W. W., Water Quality Engineering, Barnes & Noble, New York 1970. Eckenfelder u. Ford, Water Pollution Control - Experimental Procedures for Process Design, The Pemberton Press, Austin and New York, 1970. Benefield, L. D., et al., Biological Process Design for Wastewater Treatment, Prentice-Hall Inc. 1980; Grady, C. P. L., et al., Biological Wastewater Treatment, Marcel Dekker Inc., New York 1980; Ramalho, R. C., Introduction to Wastewater Treatment Processes, Academic Press, New York 1982; Stier, E., Klaerwaerteraschenbuch, 7. Auflage. Hirthammer Verlag, München 1983. Imhoff, K. R., Die Entwicklung der Abwasserreinigung und des Gewaesserschutzes seit 1868, GWF 1979, 563. Boenke, B., et al., Abwassertechnologie, Springer Verlag, Berlin 1984. Mudrack, K., et al., Biologie der Abwasserreinigung, Gustaw Fischer Verlag, Stuttgart 1985.

[2] Imhoff, Die deutschen Abwassergenossenschaften, Gesundheits-Ingenieur 1934, 649. Imhoff, Die Arbeiten des Ruhrverbandes in Brix, Imhoff, Weldert. Die Stadtenwaesserung in Deutschland. Gustav Fischer, Jena 1934 Band 2, 455. Toennesmann, Wasserverbandsverordnung. C. H. Becksche Verlagsbuchhandlung, München 1941.

Тем, кто занимается вопросом сточных вод, рекомендуется просмотреть раздел 6 данной работы и определить возможности очистки применительно к местным условиям. Инженер — не только образованный проектировщик отдельных элементов, но прежде всего экономист и ученый, который должен свободно находить решение каждой задачи. Но при этом не должен ориентироваться на исключительные, демонстрационные проекты, патенты, дорогостоящие сооружения.

При выборе способов очистки прежде чем переходить к проектированию сначала следует произвести анализ разделов 4.3 ... 4.6 и 6. Необходимо знать, что дают отдельные способы, каковы затраты на них, а также определить, какие требования предъявляются к сбросу в водоем и учитывается ли использование сточных вод.

4.2. Процессы, происходящие при очистке сточных вод

Речь идет о механических (физических), Химических и боилогических процессах.

Механическими являются процессы процеживания через сита,

Dornheim, C., Wasserwirtsch. 1953/54, 35, 1956/57, 53. Ramshorn, 50 Jahre Emschergenossenschaft 1957. Schmitz-Lenders, Kommunalwirtsch. 1957, 377. Boettcher, G., Wasserwirtsch. 1957, 56. Imhoff, K., Zur Geschichte der Abwasserreinigung im Rhein.-Westf. Industriegebiet, GWF 1956, 757. Dorheim, Das Recht der Wasser- u. Bodenverbaende, Erich-Schnmidt-Verlag, Berlin. Fair, Gordon M., Pollution Abatement in Ruhr District. JWPCF 1962, 749-766. Knop, VDI-Mitteilungen 1963, 83. Cleary, E., ORSANCO Story, Johns Hopkins Press, Baltimore 1967. Kneese, A. V., The Economics of Regional Water Quality Management, Johns Hopkins Press, Baltimore 1964. Imhoff, K. R., Water Quality and Water Quality Management in the Ruhr Valley, JWPCF 1974, 1663. Krenkel, P. A., and Novotny, V., Water Quality Management, Academic Press, New York 1980. Salzwedel, J., Grundzüge des Umweltrechtes, Erich Schmidt Verlag 1982. Cleary, E. J., Managing Water Resources, JWPCF 1983, 1034. Annen, G., DVWK-Schriften, 69, 1984, 147. Imhoff, K. R., 75 Jahre Ruhrwasserwirtschaft, GWF 1988, 235.

фильтрования, осаждения и флотации. Все механические процессы относятся только к *нерастворимым* взвешенным веществам. Растворенные вещества при механических процессах очистки могут быть удалены за счет сорбции на взвешенных частицах или же реакций разложения и соединения с образованием других веществ — безвредных или газообразных.

Между растворимыми и нерастворимыми веществами находятся вещества с промежуточной степенью дисперсности, коллоиды (от kolla, греч. = клей). Путем воздействий физического, химического или электрохимического характера они могут быть превращены в нерастворимые вещества, т.е. "коагулированы", или, наоборот, переведены в растворенное состояние. Коагулированным коллоидом является, например, сваренный белок куриного яйца. Он может быть растворен вжелудке с помощью пищеварительных ферментов. Точно так же коллоиды сточных вод могут быть как коагулированы, так и растворены бактериальными ферментами (энзимами). Согласно Viehl (Ztschr. f. Hyd. 1937, 383) коагуляция коллоидов сточных вод ускоряется жизнедеятельностью простейших, т.е. биологически.

Минеральными называют вещества, в которых углерода нет вообще или он находится в окисленной форме, как, например, двуокись углерода (CO_2). Каменный уголь, применяемый для очистки сточных вод, относится к минеральному сырью.

Органические вещества представляют собой соединения углерода с другими элементами. Однако вещества в сточной воде большей частью являются не чистыми соединениями в химическом смысле, а состоящими из множества компонентов, являющихся остатками процессов жизнедеятельности людей, животных и растений. Среди этих веществ особенно важны мочевина и белок. Наряду с углеродом они содержат и азот. Белок всегда содержит также серу, из которой образуется имеющий неприятный запах сероводород. О преобразованиях азота см. Viel, K., GI 1949, 365.

Почти все содержащиеся в сточной воде вещества очень нестойки и быстро распадаются. Такие процессы, как взаимная нейтрализация кислот и щелочей с образованием солей являются *химическими* и протекают в незначительной степени. Однако химические процессы очистки все же имеют определенное значение. Так, в воду добавляют коагулянт, например, хлорид железа, который за счет диссоциации и взаимодействия с другими ионами образует крупные хлопья. Они обволакивают на дно при оседании мелкие взвешенные вещества и часть коллоидных частиц. Химическим процессом является также подготовка ила к обезвоживанию путем обработки коагулянтами, например, хлоридом железа. При этом происходит коагуляция коллоидов, и вода легче отделяется на фильтровальном полотне. Помимо этих чисто химических процессов множество процессов при очистке сточных вод связано с жизнедеятельностью микроорганизмов. Эти процессы называют *биологическими* (*биохимическими*).

Решающим является отношение всех веществ в сточной воде к *кислороду*. С точки зрения химии процессы жизнедеятельности идут по одному из двух противоположных направлений: связывание кислорода (*окисление*) или высвобождение кислорода (*восстановление*). Биологическая очистка сточных вод является окислением (влажным горением), сбраживание ила является восстановлением.

Органические вещества сточных вод предтавляют собой большей частью продукты восстановления веществ растительного и животного происхождения, которые являются неустойчивыми и подвергаются окислению кислородом. Основную роль в этом процессе играют *бактерии*. Пока свободный кислород поступает из воздуха или воды, действуют аэробные бактерии (нуждающиеся в воздухе). В бескислородной среде развиваются анаэробные бактерии, в том числе переходная группа анаэробных микроорганизмов, способных использовать не только свободный кислород, но и связанный, например, из нитратов или сульфатов.

Бактерии состоят из микроскопически мелких клеток с высоким со-

держанием воды и снаружи часто покрыты слизистым слоем. Они размножаются делением. При этом они образуют скопления (колонии), которые становятся видны невооруженным глазом. В очистке сточных вод они известны, например, как плавающие хлопья (при способе с активным илом), как пленки на загрузке капельных биофильтров или частицах ороишаемого грунта. При этом они внедрены в слизистую основу. С ними неразрывно связаны простейшие и, особенно при свободном доступе воздуха, другие низшие организмы. Бактерии чувствительны как к кислотам, так и к щелочам. Поэтому водородный показатель воды (pH) не должен намного отклоняться от 7,0. Колебаний следует избегать. Бактерии требуют также определенной температуры среды. Вследствие высыхания они погибают. Дезинфекционные средства, такие как хлор, парализуют или убивают их. Обмен веществ происходит у них через клеточную оболочку. Она может пропускать только воду, газ и полностью растворенные вещества. Твердые вещества, а также коллоиды, сначала должны стать водорастворимыми. Это достигается посредством *ферментов*, которые выделяются через клеточную оболочку. Продукты метаболизма выделяются также через клеточную оболочку в виде жидких или газообразных веществ. Если окружающая жидкость менее плотная, чем клеточное вещество, то оболочка клетки упругая. Если же наружная жидскость становится более вязкой, например, вследствие добавки соли или сахара, то клеточная оболочка сжимается и жизнедеятельность затормаживается. В морской воде затормаживающая концентрация соли не достигается (Reinmann, Wasser- und Abwasserforschung 1968, H. 4).

Обмен веществ бактерий идет беспрерывно. Он происходит лучше всего, если питание поступает постоянно, например, в капельном биофильтре, метантенке и лабораторных колбах.

Почти все, что называют "биологической очисткой воды", относятся к "аэробным" процессам, т.е. к процессам, проходящим в воде, *содержащей кислород*. При этом собственно очистку, т.е. извлечение

органических загрязняющих веществ из сточной воды, следует относить не только на счет бактерий. По учению Дунбара, этот процесс следует рассматривать скорее как "сорбцию", т.е. поглощение на поверхности слизистых хлопьев и пленок, где обитают бактерии. Однако процесс быстро прекратился бы, если бы поглощенные вещества постоянно не использовались бактериями в качестве источника питания. Таким образом, бактерии своей жизнедеятельностью влияют на поглощающую способность. Для окисления ("влажного горения") веществ им постоянно нужен кислород, который должен вовремя подаваться с воздухом и растворяться в воде. Важнейшими продуктами окисления бактериями являются двуокись углерода (CO_2), а также нитрат- (NO_3), сульфат- (SO_4) и фосфат-ионы (PO_4). Поскольку сточная вода обычно содержит достаточно щелочных веществ, анионы при образовании связываются в водорастворимые соли (карбонаты, нитраты, сульфаты, фосфаты), за исключением части двуокиси углерода, которая как газ остается в растворе или улетучивается. Так разложение загрязняющих веществ в воде, содержащей кислород, заканчивается.

Работа анаэробных бактерий, т.е. работа *без доступа воздуха*, применяется при очистке сточных вод только в особых случаях. Однако она очень важна при разложении ила сточных вод в *метантенке*. При этом следует различать кислое и щелочное брожение. И то, и другое вызывается бактериями. Если не происходит искусственного вмешательства, то сначала устанавливается кислое брожение, а по истечении продолжительного времени — щелочное брожение (Winter, J., GWF 1985, 51).

При *кислом брожении* бактерии "сжигают" углерод до углекислоты (CO_2). Необходимый для работы кислород они отщепляют от соединений, а, при необходимости, и от молекул воды (H_2O). Так высвобождается водород. В виде газов образуются углекислый газ, водород и ограниченное количество метана (CH_4) и сероводорода (H_2S). Сюда добавляются образовавшиеся вследствие расщепления *жира*

органические кислоты, такие как уксусная и масляная, что оправдывает название "кислое брожение". Поскольку на данном этапе разложение относится, по существу, к углероду, а не к азоту, существует некоторое сходство с разложением в содержащей кислород воде и с кривой снижения БПК.

На следующем этапе — *анаэробном брожении* — затрагивается и азот, причем сначала образуется аммиак (NH_3). Поскольку свободные жирные кислоты разлагаются, весь процесс с этого момента идет в щелочной среде. Количество метана увеличивается, так как жирные кислоты разлагаются на углекислый газ и метан. Отщепленный водород с углекислотой превращается в метан. Выделяющийся газ содержит главным образом метан и углекислый газ.

Конечные продукты метанового сбраживания имеют столько преимуществ по сравнению с кислым сбраживанием, что при эксплуатации метантенков стремятся к тому, чтобы кислое и метановое брожение шли параллельно.

При дальнейшей обработке ила, обезвоженного механически или на иловых площадках, еще раз происходит анаэробная работа бактерий. Сохранившийся влажным и хорошо вентилируемый ил в результате компостирования становится ценным комплексным органо-минеральным удобрением. При этом образуется тепло.

4.3. Способы очистки сточных вод и их эффективность

Загрязняющие примеси сточной воды состоят из минеральных и органических веществ, которые поступают в нее частично как нерастворенные вещества (осаждающиеся, взвешенные, всплывающие), и частично более или менее растворенные в ней. Сюда добавляются мельчайшие живые существа, а именно, бактерии, которые питаются органическими веществами. Бактерии могут приводить к выделению дурнопахнущих веществ, а также быть источником инфекционных заболеваний.

Для извлечения различных загрязняющих веществ из сточной воды

существует целый ряд *устройств*:

1) для крупнодисперсных взвешенных веществ — сита и сороудерживающие решетки;

2) для крупнодисперсных осаждающихся веществ — песколовки;

3) для жира, масла и подобных всплывающих веществ — жироловки, флотационные резервуары, отстойники со скребковыми устройствами;

4) для мелкодисперсных взвешенных веществ — отстойники, флотационные резервуары, отстойники для химического осаждения, микросита, песчаные фильтры;

5) для органических веществ — растворенных и находящихся в промежуточном состоянии (между растворимыми и нерастворимыми) — "биологические" сооружения, а именно: земледельческие поля орошения, коммунальные поля орошения с сельскохозяйственным использованием, поля фильтрации, капельные биофильтры, погружные биофильтры, очистные пруды, установки с активным илом, септиктенки;

6) для избежания опасности заражения инфекциями и предупреждения запаха — хлор и другие химические средства, в ограниченной степени биологические установки;

7) для удаления питательных веществ — способы доочистки сточных вод.

Указанные средства можно разделить по следующим *способам очистки*:

1) *механические способы*:

а) *способы очистки на ситах.* Вследствие своего физического размера вещества улавливаются на ситах или сороудерживающих решетках. Так действуют преимущественно и *песчаные фильтры.*

б) *способ очистки за счет всплывания.* Вещества вследствие своей способности всплывать поднимаются на поверхность воды, например, в жироловках или флотационных резервуарах.

в) *способ очистки отстаиванием.* Вещества под действием своего

веса опускаются на дно отстойников.

2) *химические способы:* химические средства в качестве коагулянтов усиливают осаждаемость или уничтожают болезнетворные микробы.

3) *биологические способы*: жизненные процессы природы включаются в очистку сточных вод:

а) *естественным образом* — на почве или в прудах и озерах,

б) *искусственным образом* — в капельных биофильтрах, в погружных биофильтраф, в установках с активным илом или септиктенках.

Отдельные очистные установки можно по эффективности сравнить между собой, если указывать в процентном отношении, на сколько содержание загрязняющих веществ в очищенной воде уменьшается по сравнению с неочищенной водой. В качестве меры содержания загрязняющих веществ может служить биохимическое потребление кислорода (БПК) либо содержание взвешенных веществ или бактерий. Эти сравнительные данные приведены на стр. 113. Если при каком-либо способе оценивают степень очистки, то наряду с теоретически возможным результатом следует также учитывать неизбежное снижение эффективности при практической эксплуатации. Малоэффективны, например, установки недостаточной мощности, на которых часть сточных вод приходится пускать в обход, или установки с неудовлетворительным удалением ила, где ил попадает в сток. Следует обращать также внимание на иловую воду, которая образуется при сгущении ила, его тепловом кондиционировании, обезвоживании ила в иловых прудах.

В ФРГ разрешение на сброс сточных вод может быть получено лишь в том случае, если содержание вредных веществ в сточных водах настолько незначительно, что может, по мере необходимости, учитывать будущие требования. Федеральное правительство издает общие административные инструкции *о минимальных требованиях*, соответствующих техническим возможностям. Если сточная вода определенного происхождения содержит *опасные вещества*, то в

этом отношении требования в общих административных предписаниях должны соответствовать норме (§ 7а Закона о регулировании водного режима, Федеральный вестник законов, 1986, 1529).

Эффективность способов очистки

Способы очистки	Снижение в %		
	БПК	Взвешенные вещества	Бактерии
1. Мелкие сита	5 - 10	5 - 20	10 - 20
2. Хлорирование неочищенной или отстоявшейся воды	15 - 30	—	90 - 95
3. Отстойники	25 - 40	40 - 70	25 - 75
4. Резервуары для коагулирования	40 - 50	50 - 70	—
5. Отстойники для химического осаждения	50 - 85	70 - 90	40 - 80
6. Высоконагружаемые капельные биофильтры	65 - 90	65 - 92	70 - 90
7. Слабонагружаемые капельные биофильтры	80 - 95	70 - 92	90 - 95
8. Высоконагружаемый способ с активным илом	50 - 75	80	70 - 90
9. Слабонагружаемый способ с активным илом	85 - 95	85 - 95	90 - 98
10. Почвенный фильтр	90 - 95	85 - 95	95 - 98
11. Хлорирование биологически очищенных сточных вод	—	—	98 - 99

Соответствующее типовое административное распоряжение по сточным водам (приложение 1) касается сбросов бытовых, промышленных и сельскохозяйственных сточных вод, поскольку вредность этих сточных вод может быть снижена посредством биологических способов с таким же успехом, как и в случае бытовых сточных вод (Gem. Ministerialblatt 1989, 518).

Все параметры определяются в перемешанной пробе. При определении $БПК_5$ нитрификацию тормозят. Если в случае прудовых устройств проба явно окрашена водорослями, следует определить ХПК и $БПК_5$ пробы, не содержащей водорослей. В таком случае минимальные требования понижаются для ХПК на 15 мг/л и для $БПК_5$ — на 5 мг/л.

В следующей таблице приведены требования к коммунальным очистным сооружениям по показателям очищенной воды. Они считаются выполненными, если результаты последних пяти проверок, проведенных в рамках государственного водного надзора в четырех случаях не превышают требуемых значений и ни один результат не превышает их более, чем на 100 %. В таком случае следует платить только 25 % налога за право сброса сточных вод (проект по изменению закона о праве на сброс сточных вод от 11.07.1989 г). За несоблюдение требований закона о водном праве виновные несут ответственность в соответствии жс § 324 Уголовного кодекса.

Минимальные требования к очищенным коммунальным водам

Испытываемая установка по обработке сточных вод согласно классификации	Химическое потребление кислорода (ХПК), мг/л	Биохимическое потребление кислорода за 5 суток ($БПК_5$), мг/л	Аммиачный азот [x)] (NH_4 - N), мг/л	Общий фосфор ($Р_{общ}$), мг/л
	Представительная разовая проба или усредненная за 2 часа			
1	2	3	4	5
Класс 1, менее 60 кг/сут $БПК_5$ (неочищенной)	150	40	—	—
Класс 2, от 60 до менее 300 кг/сут $БПК_5$ (неочищенной)	110	25	—	—

1	2	3	4	5
Класс 3, от 300 до менее 1200 кг/сут БПК5 (неочищенной)	90	20	10	—
Класс 4, от 1200 до менее 6000 кг/сут БПК5 (неочищенной)	90	20	10	2
Класс 5, 6000 кг/сут БПК5 (неочищенной) и более	75	15	10	1

[x] Это требование действительно при температуре сточной воды 12 °С и выше в стоке биологического реактора установки по обработке сточных вод. Вместо 12 °С может также быть временное ограничение с 1 мая по 31 октября. Воду из установок по обработке сточных вод классов 3, 4 и 5 можно сбрасывать, только если установка эксплуатируется с целенаправленной денитрификацией.

4.4. Естественные или искусственные способы ?

Различают два способа очистки, один из которых является естественным, а второй разработан в большей степени технически, т.е. является искусственным. В приведенном ниже списке соответствующие естественные и искусственные способы сопоставлены и разделены по степени очистки на четыре группы.

Естественные способы:

1. Земляные резервуары в качестве септиков, земляные резервуары в качестве шламонакопителей
2. Орошаемые луга

Искусственные способы:

1. Отстойники со скребками и расположенной рядом камерой перегнивания
2. Отстойники с химическим осаждением

3. Поля фильтрации, поля орошения	3. Биологические капельные фильтры
4. Очистные пруды, пруды-отстойники	4. Аэротенки

Искусственные способы требуют намного меньше площадей, чем естественные. Среди биологических способов, например, для капельных биоильтров и аэротенков нужна лишь одна сотая площади их естественных предшественников — полей орошения и очистных прудов.

На сооружениях естественной очистки не всегда отсутствует запах. Поэтому их следует размещать вдали от жилой зоны, а это требует для подачи сточных вод более длинных трубопроводов. Однако на практике их эксплуатация надежнее искусственных, так как почти не зависит от обслуживания техникой и персоналом. Поэтому они более предпочтительны в развивающихся странах. Кроме того, они используются как дополнительная ступень очистки после обработки в капельных биофильтрах или аэротенках. Искусственные способы широко применяются в крупных городах и густонаселенных промышленных районах. Искусственные способы отличаются отсутствием запаха, длинные трубопроводы для подачи сточных вод не нужны.

4.5. Использование сточных вод

На городских очистных сооружениях при сбраживании в метантенках образуется газ, который используется в хозяйстве. Кроме того, сточные воды и ил представляют ценность для сельского хозяйства. Наконец, важное значение может иметь отвод очищенных сточных вод в водоток, если их использование там необходимо. *Газ* может применяться для нагрева метантенков и получения энергии. Энергии хватает для полной эксплуатации биологической очистной станции. Газ можно также продавать в качестве топлива. *Ил* используется вместо навоза. Однако расходы по перевозке должна брать на

себя очистная станция. Если из ила производятся удобрения, имеющие низкое содержание воды и пригодные для разбрасывания, то возможна перевозка их на большие расстояния. Технологически благоприятна одновременная переработка ила и мусора в комплексные органо-минеральные удобрения.

Ценность сточных вод для сельского хозяйства состоит в содержащихся удобрительных веществах в растворенном или почти растворенном виде и находящемся в них иле, который снова может добавляться в перегнившей форме. К тому же главным является значение воды для орошения земель. Однако строить орошаемые поля или орошать земли только ради получения прибыли невыгодно, так как доходы от этого не так высоки. Существующие городские орошаемые поля были построены лишь потому, что требовался хороший способ очистки сточных вод и орошаемые поля в этом случае были дешевле, чем известные тогда искусственные способы. Сегодня сопоставлвние затрат на равноценные искусственные биологические способы очистки не в пользу орошаемых полей. Тем не менее развитие сельскохозяйственного производства может быть настолько важным, что по понятным причинам выберут наиболее совершенное использование сточных вод — очистку сточных вод на земледельческих полях орошения, даже если это потребует больших субсидий. В справочнике приводятся данные о повторном использовании сточных вод.

4.6. Затраты на очистку сточных вод

Первый обзор по затратам на очистку сточных вод в Германии приведен в заключении, представленном в 1961 году Кеером и Тайхманном (Veroeffentlichungen des Instituts für Siedlungwasserwirtschaft derTechnischen Nochschule Hannover 1961, Heft 8, und Erster Nachtrag dazu, GWF 1962, 971). Позднее исследованием занимались 130 биологических очистных станций, поэтому имеются расчеты по затратам для разных видов установок (Schmidt, U., Veroeff. des Inst. f. Siedlungswasserwirtschaft, TH Hannover 1964, H. 13).

С тех пор затраты существенно возросли (Bucksteeg, K., GWF 1971, 163; Sickert, E., GWF 1972, 274; Moennich, K.-H., Veroeff. des Inst. Siedlungsw., TU Hannover, 1979, H. 43; Schoenenberg, H., GWF 1988, 289).

Средние значения для расчетного эквивалентного числа жителей (EW) и количества воды при уровне цен 1988 года и для 90 %-ного снижения БПК составляют:

Затраты на очистку сточных вод в ценах 1988 г

Количество жителей	Затраты на строительство		Годовые затраты DM/чел•год			Общие затраты
EW	DM/EW	DM/(м^3/сут)	Эксплуатация	Платежи по нетоварным операциям	Всего	DM/м^3
1 000	1 600	8 000	60	160	220	3,01
5 000	1 000	5 000	33	100	133	1,82
10 000	800	4 000	28	80	108	1,48
25 000	575	2 875	23	57,5	80,5	1,10
50 000	480	2 400	20	48	68	0,93
100 000	400	2 000	18	40	58	0,79

Если учесть требования по устранению P и N, то независимо от повышения индекса стоимости строительства в будущем можно ожидать примерно 25 %-ного повышения расходов.

В *стоимость строительства* входят все расходы, необходимые для финансирования, в том числе на приобретение земельного участка. В качестве средних значений размера земельного участка было установлено:

при 1 000 ... 10 000 жителей — 1,30 м^2/чел
10 000 ... 50 000 жителей — 0,65 м^2/чел
50 000 ... 100 000 жителей — 0,50 м^2/чел.

Если регионы отказываются от иловых прудов или иловых площадок, то они обходятся меньшими площадями. Годовые затраты включают также 10 % платежей по нетоварным операциям.

Численность жителей и количество воды рассчитаны на прирост. В настоящее время для жителей, которые должны платить налоги, все указанные затраты примерно на 30 % выше в зависимости от допущений, которые были сделаны при планировании. Если без биологической очистки можно обойтись, т.е. ограничиться отстаиванием и обработкой осадка, затраты снижаются наполовину.

Расчетное число жителей оказалось простейшим параметром для определения количества загрязнений, содержащихся в сточных водах. Промышленные сточные воды добавляются по эквивалентному [x)] числу жителей. Затраты на иловые камеры, обработку ила и биологическую очистку зависят от количества загрязняющих веществ, т.е. от расчетного числа жителей. Затраты же на отстойники, насосы и трубопроводы зависят от количества воды. Если количество воды сильно отклоняется от средней нормы 200 л/(чел•сут), то в отдельности не пригодны ни значения численности жителей (графы 2, 5), ни значения количества воды (графы 3, 7). Тогда лучше вычислить те и другие значения и в качестве затрат определить среднее значение.

Стоимость станции при общесплавной системе без доджевых резервуаров такая же, как при раздельной системе. Однако она возрастает примерно на 25 %, если добавить необходимые дождевые резервуары и связанное с этим увеличение иловых камер и сооружений биологической очистки.

Для эксплуатации биоочистной станции на 10 000 жителей нужен примерно один рабочий. Более точные данные приводят Schoenenberg, H., et al., KA 1980, 632. *Эксплуатационные затраты* примерно на 40 % состоят из расходов на содержание персонала и примерно на 25 % — на электроэнергию. Остальные затраты приходятся на удаление ила, ремонт и производственные материалы. В ФРГ дополнительно следует учитывать расходы на налог за право сброса сточных вод. Они составляют около 10 % всех годовых затрат.

4.7. Твердые отходы, мусор

Служба вывоза мусора предназначена для того, чтобы транспортировать твердые отбросы, т.е. кухонные, бытовые отходы и уличный мусор из жилых районов. Смываются только отходы в санузлах и вещества, которые через сита и решетки кухонных, дворовых и уличных стоков попадают в сеть. Граница между смываемыми и вывозимыми отходами жестко не установлена. Через широкие стоки санузлов, через колодцы и открытые участки канализационной сети в сточные воды могут попасть многие вещества, предназначенные для вывоза с мусором. Этим объясняются существенные отклонения в количествах быртового мусора, удаляемого с решеток и шлама очистных станций.

После того, как был найден способ дробления задержанных решеткой отходов, он распространен и на твердые кухонные отходы. *Измельчители кухонных отходов* находят частичное распространение в США. В Германии их применяют ограниченно с несколькими способами (Haseltine, T. R., Water and Sewage Works, 1950, 467, Hoerler, A., Schweiz. Ztschr. f. Hydrol. 1955, 348, Poepel, F., Taschenbuch für kommunale Abfallwirtschaft, Baden-Baden 1960, 52). Количество кухонных отходов в Германии составляет 0,25 кг/чел в сутки при содержании влаги 72 %. Это соответствует количеству твердых веществ 0,25 • 0,28 • 1 000 = 70 г/(чел•сут). Можно предположить, что смытые отходы содержат 55 г/(чел•сут) нерастворенных веществ. Неосаждаемые вещества имеют БПК 16 г/(чел•сут). Если и кухонные отходы измельчают и смывают, то капельные биофильтры и аэротенки следует строить наполовину больше. Расходы на очистную установку увеличиваются, вследствие этого, на 30 % (Bucksteeg, W., und Imhoff, K. R., GWF 1964, 1226).

В Германии отходы, как правило, не собирают раздельно. Однако сучествует тенденция к изменению этого положения. Наряду с предотвращением образования отходов основная возможность их сокращения состоит в их использовании. Тогда для средних значений

количества мусора можно предположить: 2,8 л/(чел•сут) или 0,84 кг/(чел•сут) [x)] при удельной плотности 0,3 кг/л. Содержание влаги составляет 30 %. Сухие вещества составляют 0,7 • 0,84 • 1 000 = 590 г/(чел•сут). Органические сухие вещества — 160 г/(чел•сут). Более точные значения и обширные данные приводят Kumpf, Maas, Straub, Müll- und Abfallbeseitigung, Erich Schmidt Verlag.

Как правило, мусор устраняют путем упорядоченного захоронения за пределами жилых районов. Однако тем самым могут загрязняться грунтовые воды, если не будут приниматься специальные меры (Merkblatt G 7 der Arbeitsgemeinschaft für industr. und gewerbl. Abfallfragen, Ehrig, H. J., Quantitativer und qualitativer Wasserhaushalt einer Mülldeponie, Veroeff. Inst. Stadtbauwesen, TU Braunschweig 1980, H. 26, Hoins, H., Wasser u. Boden 1982, 490). Поэтому последний ход событий ведет к компостированию или, в больших городах, сжиганию мусора частично с осадком сточных вод (Suess, M. J., Solid Waste Management, WHO Kopenhagen 1985).

Мусор на *полигонах с компостированием* может перегнивать в комплексное органо-минеральное удобрение. Для этого необходимы воздух и влага, а в качестве пищи для бактерий — некоторое количество азота (в камерах сбраживания) (Straub, GWF 1951, 323, 1954, 382; Westrate, W.A.G., Staedtehygiene 1955, 86; Seifert, A., Der Kompost, H. G. Müller Verlag, Krailling bei München, 1957; Rossberg, Kommunalwirtschaft 1960, H. 4; Frechen, B., Kommunalwirtschaft 1965, 356; Spohn, E., Compost Science, March 1977, 25; Schumacher, Th. J., Phoenix International 1984, 36; Kuchenrither, R. D., et al., JWPCF 1985, 213; Loll, U., KA 1989, 190). В городском мусоре имеется необходимое содержание азота. Однако компостированную солому, например, можно изготовить только если добавить до 1,4 % азота с навозной жижей или в виде аммиачной воды (Bucher, Bodenkunde und Pflanzeneraehrung 1943, 63, Hering, Mitt. f. d. Landw. 5.1.1945).

Вследствие жизнедеятельности бактерий образуется тепло. На больших площадках компостирования можно насыпать мусор высотой 2 ... 3 м. Бродящая масса мусора сбрызгивается водой из дренажного дна. Компост созревает через 6 месяцев. Затем производится просеивание, сортировка и измельчение. Компост составляет 40 % первоначального количества, т.е. 0,4 • 2,8 = 1,12 л/(чел•сут).

4.8. Воздействие на окружающую среду (эмиссии)

4.8.1. Запахи [1)]

Эмиссии хорошо спроектированных и эксплуатируемых канализационных сооружений обычно не дают повода для претензий. Но поскольку иногда возникают чрезвычайные режимы и поскольку в условиях очистных сооружений запахов мало (Kraemer, H. J., et al., KA 1977, 44), задача контроля эмиссии в значительной степени облегчается, если между очистной установкой и жилой застройкой выдерживается расстояние около 300 м, а между иловой площадкой и жилой застройкой — около 800 м [x)]. Если эти расстояния существенно уменьшаются и если речь идет о довольно крупных установках, то тогда следует доказать в соответствии с рекомендациями для нефтеперерабатывающих заводов, что в районе Северный Рейн-Вестфалия на протяжение преобладающей части года (> 97 %) выделение дурных запахов не происходит (Ministerialblatt Nordrhein-Westfalen 1975, 965). Это производится путем взятия "*одориметрических проб*" в критических местах сопоставимых установок. По результатам обработки этих проб устанавливается, сколько объемов чистого (не имеющего запаха) воздуха нужно добавить, чтобы органы обоняния перестали ощущать запах (Teichmann, H., KA 1982, 821; VDI—Richtlinie 3881, Mai 1986, Olfaktometrie (Ольфактометрия) [x)], Geruchsschwellenbestim-mungen, Grundlagen). В зависимо-

---

[1)] ATV-Merkblatt M 255, St. Augustin 1988; Schoenenberg, H., GWA 1985, Bd. 75, 97; Frechen, F.-B., Dissertation, GWA 1988, Bd. 108.

сти от данных измерения повторяемости ветров и определенных органолептическим способом коэффициентов разбавления мобно вычислить, в течение какого времени (%) в экспонированных жилых районах ожидается восприятие запахов.

Задача инженера состоит, прежде всего, в том, чтобы по возможности не допускать распространение запахов. Последствия промышленных аварий следует предотвращать посредством предварительной обработки сточных вод на предприятиях, осуществляющих их сброс. Сточные воды с особо сильным запахом, такие как конденсат мокрого пара утилизационных установок для туш животных или фекальные шламы, следует спускать не в канализацию, а непосредственно в аэротенк или в камеры сбраживания очистной станции. Нельзя допускать загнивания сточной воды в подводящем к очистной станции коллекторе или канализационной сети. Если есть возможность подавать сточную воду по открытым гладким лоткам с хорошим уклоном, то предупреждать загнивание удается легко, так как тогда вода постоянно поглощает воздух с поверхности и не образуется сероводород.

Труднее обстоит дело в закрытых коллекторах. Образование сероводорода начинается на внутренних стенках канализационного коллектора (Viehl, GI 1947, 41, und Pomeroy, R., et al., Sew. W. J. 1946, 597). Кроме того свою долю вносят гниющие илистые отложения, если они допускаются вопреки требованиям. Зловоние усиливается вследствие высокой температуры, высокого содержания органических веществ, серы в сточной воде и большого времени добегания. Выделение запахов меньше при наличии в коллекторах свободного пространства, устройстве общесплавной системы (Müller, W., GI 1952, 164, GWF 1961, 986) и хорошая вентиляции коллекторов. Особенно подвержены опасности напорные трубы без воздушного зазора в том случае, если они имеют неравномерный проток, т.е. илистые отложения. Бетон выше линии свободной поверхности потока под воздействием газообразного сероводорода разрушается.

Это можно предотвратить посредством того, что бетон смачивают путем регулярного подпора уровня (Parker, C. D., Sew. a. Ind. W. 1951, 1477).

Как средства против повреждений сероводородом хорошо себя зарекомендовали нагнетение сжатого воздуха в напорные канализационные водоводы и хлорирование самотечных водоводов (Taylor, F. S., Sew. W. J. 1948, 917, und GI 1949, 388, Kennedy, D. R., Sew. W. J. 1948, 104, Lemcke, E. M., Sew. W. J. 1948, 11), а также добавление газообразного кислорода.

Если сточная вода поступает на очистную станцию загнившей, существует два способа устранения запахов. В небольших установках решетки, песколовку и предварительное осветление обходят, и сточную воду подают по закрытым водоводам в слабонагруженную ступень аэрации, которая должна быть спроектирована как циркуляционный резервуар. Здесь загнившая сточная вода за короткое время освежается, а дурнопахнущие вещества разлагаются активным илом (Gast, M. K. H., Prog. Wat. Techn. Vol. 11, № 3, 223). Второй способ заключается в том, что посредством предварительного аэрирования или предварительного хлорирования удаляют сероводород. Это должно производиться в имеющих перекрытие частях установки, из которых воздух откачивается и дезодорируется. Хороший результат дает и смешивание неочищенной воды с аэрированной циркуляционной водой из капельных биофильтров или аэрационных установок. Для разложения 1 кг сероводорода требуется, по расчету, 2,06 кг хлора или 0,47 кг кислорода, или 1,6 кг нитратов (N_2O_5), или 1 кг азотокислого натрия ($NaNo_3$). Обработанная таким образом сточная вода равнозначна свежей сточной воде. Однако правильнее предотвращать его образование. Хойкелекиан вычислил, что для разложения сероводорода нужно израсходовать в 10 раз больше хлора, чем потребовалось бы для предотвращения образования этого продукта гниения (Water and Sew. W. 1948, 179). Отсюда видно, как важно *не допускать загнивания* сточных вод.

При протекании через очистную станцию сточной воде по-прежнему нельзя дать загнивать. Водоводы на территории очистной станции или имеют достаточную скорость, или продуваются сжатым воздухом. Септики нежелательны. В отстойниках время протекания ограничивается несколькими часами, ил выгружается из них непрерывно или с короткими интервалами, пока не начнут выделяться пузырьки газа. *Высоконагружаемые капельные биофильтры* с объемной нагрузкой более 900 г $БПК_5$/ ($м^3$•сут) выполняются закрытыми. Выходящий из них воздух следует дезодорировать. Если при очистке промышленных сточных вод активным илом необходимо добиваться удаления запахов, то нужно выбирать способы, дающие мало отходящего воздуха. К ним относятся пропускание кислорода или аэрация мелкими пузырьками в глубоких резервуарах. При использовании механической поверхностной аэрации сточная вода приводится в соприкосновение с большими количествами воздуха, которые распространяют запахи (Schlegel, S., GWF 1979, 276). Если учитывать вышеизложенные соображения, то все сооружения очистной станции, через которые протекает сточная вода, почти не дают запаха, даже нормально нагружаемые капельные биофилтры. Таким образом эту задачу для сточных вод решить нетрудно.

С *илом* сложнее. Свежие иловые частицы не имеют запаха до тех пор, пока они окружены сточной водой, содержащей воздух. Выделенный из воды ил в процессе обработки теряет сильный запах лишь тогда, когда он перебродил в камере сбраживания или полностью высох и хранится в сухом состоянии. Во всех промежуточных состояниях ил выделяет дурнопахнущие вещества. Свежий ил уже через несколько часов разлагается с отвратительным запахом. Везде, где свежие или полуразложившиеся иловые частицы некоторое время находятся на воздухе, возникает этот запах, т.е. при чистке решеток и песколовок, из плавающего слоя отстойников, на загрязненных частях очистной станции, где колеблется уровень воды, в траншеях и на поверхностях подпора полей орошения, на иловых площадках,

куда поступает плохо перегнивший ил. Чтобы предотвратить запах ила, на очистной станции надо соблюдать чистоту. Мусор с решетки подавать непосредственно в контейнер и регулярно вывозить. Из песколовки можно извлекать только промытый песок. Всплывающие в отстойниках вещества следует удалять. Все осадки из отстойных сооружений должны откачиваться своевременно и сразу подвергаться обработке. Следует избегать хранилищ свежего ила, а также термообработки ила. Для стабилизации особенно пригодны закрытые камеры сбраживания. Запахи из них не выходят. Их можно эксплуатировать без шума и вредных выделений. На иловые площадки подают только стабилизированный ил. Если нужно обезвоживать свежий ил, например, для получения удобрения, то это должно происходить не на иловых площадках, а быстрым способом, например, в центрифугах. При горячей сушке отходящий воздух нужно пропускать через топочную камеры. При сжигании ила температура должна превышать 800 °С.

В соответствии с этими *профилактическими* правилами очистную станцию можно эксплуатировать почти без запаха. Если возникает опасность выделения запаха при ограниченных пространствах, то решение задачи упрощают за счет перекачки ила для переработки в более подходящее место.

Если из-за неисправности установки или ошибок в эксплуатации дурной запах уже возник, то полность устранить его нельзя. Иловые площадки, загруженные лишь частично перегнившим илом, опрыскивают хлорной водой или посыпают хлорной известью. Перекрытие целых установок или их частей имеет то преимущество, что экранируются согревающие солнечные лучи. Впрочем, пользы от этого немного, так как воздух где-то должен иметь выход. Следовательно, нужно устраивать искусственную вентилацию для всего закрытого пространства и устранять из отходящего воздуха запах с помощью активированного угля и озона (W. Donaldson, Sew. W. J. 1939, 106; Gould, R. H., GI 1954, 2). Отходящий воздух теряет запах

в том случае, если его нагнетают в аэрационную установку, работающую на сжатом воздухе (Wilson, H., Surveyor 1935, 223), или через капельный биофильтр (Flint, Mich. Min. San. 1938, 456), или когда отходящий воздух промывают возвратным илом аэрационной установки. Кроме того хорошо зарекомендовали себя *компостные фильтры* (Carlson, D. A., et al., JWPCF 1966, 829; Helmer, R., Stuttgarter Ber., Bd. 49, 1971, Müll u. Abfall 1974, 140; Eitner, D., GWA, 1984, Bd. 71; Grünebaum, T., et al., KA 1988, 900). Находят применение также способы самостоятельной химической промывки или в сочетании с биологическими способами и активированным углем (Weissenberger, F., VSA-Verbandsbericht Nr. 244, 1983).

В следующей таблице сопоставляются расчетные данные трех биологических способов десодорации (Imhoff, K. R., Institut WAR, Darmstadt 1982, H. 9, S. 7).

Видно, что наиболее приемлемым является аэрирование мелкими пузырьками вследствие малой скорости фильтрования и очень высокой возможности контакта воздуха с активным илом. Сравнительно большое количество электроэнергии должно затрачиваться на снабжение кислородом.

Сопоставление трех биологических способов дезодорации

	Компостный фильтр	Аэротенк (с мелкими пузырьками)	Промывка с активным илом
Размеры	0,8 м глубина	3 м глубина продувки	6 м трубная батарея
Скорость прохождения, м/ч	50	3	Воздух: 2400 Ил: 100
Объемное отношение, [$м^3$ отходящего воздуха / ($м^3$•ч)]	62,5	1	24
Расход электроэнергии, [Вт•ч/$м^3$ отход. воздуха]	2	(20)	2

О возникновении запаха из соединений серы и об измерении запаха см. Bach, GI 1923, 370, und 1937, 222, Geruchsbekaempfung in Klaeranlagen, Hartmann, H., KA 1976, 275. В разделе 6.3 справочника приводится информация по борьбе с запахом в воде.

4.8.2. Шумы

Современные очистные установки достигли высокого уровня механизации. От разных машин, а также от падающей воды исходят значительные шумы. Обзор дан в таблице, которую приводят Порада В. и др. (GWF 1982, S. 594).

Уровень звука механических источников

Источник звука	Уровень звука в дБ(А) на расстоянии 1 м
Электродвигатели	75 — 90
Понижающие редукторы	75 — 85
Компрессоры	85 — 95
Газовые двигатели	95 — 100
Воздуходувки	100 — 105
Транспортеры	95 — 100
Насосы	80 — 85
Аэраторы	80 — 90

Физической величиной для измерения шумов является уровень звука L. Он представляет собой логарифмическое отношение силы I рассматриваемого звука к силе звука I_0 на пороге слышимости человеческого уха. Эта логарифмическая величина получила название Бел по имени изобретателя телефона Грехема Белла. По причинам практичности используется десятая доля этой единицы, децибел (дБ). Поскольку сила звука пропорциональна квадрату звукового давления p, справедливы следующие зависимости:

$$L \text{ в дБ} = 10lg\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10lg\left(\frac{p^2}{p_0^2}\right) = 20lg\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

p_0 — звуковое давление на пороге слышимости звука частотой 1000 Гц.

При обращении с величинами уровня звука следует учитывать их логарифмическую зависимость. Удвоение силы звука с помощью двух источников звука одинаковой громкости ведет к повышению значения уровня шума на 3 дБ. Только десять источников звука одинаковой громкости повышают уровень шума на 10 дБ. Из медико-физиологических исследований известно, что повышение шума на 10 дБ воспринимается как удвоение впечатления шума. Далее следует иметь в виду, что человеческое ухо не ко всем частотам одинаково чувствительно. Стандартизованный взвешивающий фильтр "А" учитывает эту зависимость. Он понижает уровень шума на низких и высоких частотах. Уровень шума, скорректированный по человеческому слуху, обозначается как дБ(А).

При оценке вопросов шума работа ведется с уровнями звуковой мощности, которые можно вычислить по измеренным уровням звука. При этом излучатели звука весьма крупных размеров, например, аэротенки, заменяются точечным источником звука. Уровни звуковой мощности для большинства очистных устройств можно найти в брошюре "Защита от шума на очистных станциях", изданной министром труда, здравоохранения и социальных вопросов земли Северный Рейн-Вестфалия, 1978 г. Для расчетов по распространению звука следует использовать, кроме того, указания Союза немецких инженеров VDI-Richtlinien 2571 (Излучение звука промышленными сооружениями на открытом воздухе) и VDI 2714 E (Распространение звука на открытом воздухе). Разрешенные уровни шума следуют из "Технического руководства по защите от шума", приложение к "Bundesanzeiger" № 137 от 26.07.1968 г и указаний Союза немецких инженеров № 2058, лист 1.

Для предварительных проектов эмиссию шума всеми частями установки можно выразить величиной, которая как уровень звуковой эмиссии имеется примерно в центре установки. Эта величина по мере увеличения установки возрастает. При использовании способов, благоприятных в отношении эмиссии шума, можно принять следующие уровни звуковой мощности (Saelzer, E., Berichte der ATV, Nr. 33, 1982, 345).

Уровень звуковой мощности в зависимости от размера очистной установки

Эквивалентное число жителей	Уровень звуковой мощности, дБ(А)
10 000	95
100 000	100
1 000 000	105

С помощью рис. 4.1, который приводит также Зельцер, можно оценить эмиссию шума для прилегающей жилой застройки.

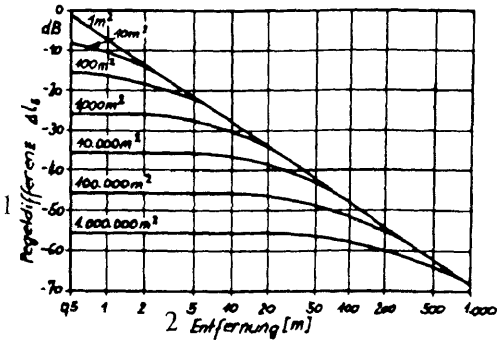


Рис. 4.1. Различие между уровнем звуковой мощности и уровнем звука в зависимости от размера и удаления излучающей поверхности
1 - разность уровней; 2 - удаление, м

Если в качестве примера взять очистную станцию для эквивалентного числа жителей 100 000 с уровнем звуковой мощности 100 дБ(А) и с площадью 100 000 • 0,5 = 50 000 м^2, то тогда разность уровней на расстоянии 300 м составляет 57 дБ(А), а уровень звука достигает 43 дБ(А). Согласно указаниям Союза немецких инженеров № 2058 для общих жилых районов в качестве ориентировочных значений вредных воздействий на окружающую среду указывается для дневного времени 55 дБ(А) и для ночного — 40 дБ(А).

Если полученное значение по сравнению с допустимым ориентировочным значением вредного воздействия все еще слишком велико, то следует принять меры по снижению. Они тем эффективнее, чем непосредственнее воздействуют на источник звука. Если снизить звук нельзя, то нужно воздействовать на его распространение. Согласно Бренделю Г. простые стены и густые живые изгороди снижают уровень шума на величину до 7 дБ(А) (KA, Informationen für das Betriebspersonal 1982, Folge 3). Свукоизолирующие стены и насыпи, которые нечасто применяются на очистных установках, снижают уровень шума на 15 дБ(А), а звукоизолирующий кожух — примерно на 20 дБ(А).

4.8.3. Аэрозоли

На третьем месте в этой главе следует назвать аэрозоли (Rudolph, K. U., KA 1983, 38; Schroeder, S., GWA 1985, Bd. 82). Они возникают при сильной поверхностной турболентности в форме тумана из сточной воды и разносятся ветром. На уровне изученности вопроса опасность для здоровья вследствие влияния аэрозолей вблизи канализационных сооружений можно, в принципе, отрицать [x)] (Malz, F., GWA 1983, Bd. 59, 113). Однако, при работах вблизи аэротенка высокотурбулентные аэраторы рекомендуется отключать. Целесообразна установка брызгозащитных устройств. В капельных биофильтрах ограничительные стенки поднимаются выше разбрызгивающих устройств.

5. Расчет и проектирование очистных станций

5.1. Свойства сточных вод

Для типичных *сточных вод* немецкого города, не имеющих промышленного загрязнения, принимаются следующие среднесуточные значения показателей загрязнения в мг/л = г/м^3:

Состав бытовых сточных вод

	Минеральные	Органические	Всего	$БПК_5$	
Осаждающиеся вещества	100	150	250	100	
Неосаждающиеся взвешенные вещества	25	50	75	50	200
Растворенные вещества	375	250	625	150	
Итого:	500	450	950	300 г/м^3	

Под "органическими" понимаются вещества, улетучивающиеся при прокаливании, под "минеральными" — зольный остаток. "Потребление кислорода" (БПК) происходит органическими ве-ществами, оно объясняется далее. Норма водопотребления составляет 200 л/(чел. • сут.). Это средняя величина для европейских городов. Она включает в себя смытые фекалии. Кал и моча составляют по Фиелю (Viehl, GI 1941, 55) 45 %, по Цункеру (Zunker, GI 1941, 95) 83 %, по Сирпу, на основании американских данных, — 64 % органических веществ сточных вод. Сточные воды без смывных клозетов содержат, видимо, около трети органических загрязняющих веществ.

Если *водопотребление* отклоняется от нормы ежедневного потребления (200 л/чел.), то сточные воды становятся соответственно менее или более концентрированными, так как поступающее от жителей количество загрязнений по мере увеличения водопотребления возрастает незначительно. Разжижение увеличивает большей

частью неосаждающиеся и растворенные вещества относительно осаждающихся. В случае растворенных веществ следует иметь в виду, что часть их, особенно минеральных, уже находилась в водопроводной воде.

В Северной Америке и Швейцарии расходуется 450 ... 600 л/(чел•сут). Крупные города Германии с учетом доли от промышленности достигают 200 ... 350 л/(чел•сут). В конкретном случае необходимы точные исследования. В качестве приближенного значения для проектирования очистных сооружений часто берется 4 л/с на 1000 жителей.

Дождевая вода с городских улиц в первые 10 ... 15 мин так же загрязнена, как разжиженная сточная вода, и способна к загниванию (Heilmann, GI 1926, 101; Weibel, S.R., et al., Journal WPCF 1964, 914; Imhoff, K.R., GWF 1967, H. 2, Brunner, P.G., ATV–Tagung Kassel 1971).

Суточные количества загрязнений в перерасчете на одного жителя различны в зависимости от жизненного уровня населения. Для ФРГ и европейских условий пригодны следующие средние значения:

Количества загрязнений от одного жителя [x)]

	Минеральные	Органические	Всего	$БПК_5$	
Осаждающиеся вещества	20	30	50	20	
Неосаждающиеся взвешенные вещества	5	10	15	10	40
Растворенные вещества	75	50	125	30	
Итого:	100	90	190	60 г/(чел•сут)	

В Северной Америке числа выше. Там значение 60 г/чел однодневного загрязнения для расчета потребности в кислороде действительно только в случае раздельного способа. Если же коллекторная сеть должна принимать и дождевую воду с уличными смывами,

берут 75 г/(чел.•сут.). Так же обстоят дела в Швеции и Швейцарии. В Германии действительно среднее значение $БПК_5$ = 60 г/(чел•сут), если учитывают эквивалентные числа жителей для промышленности в городе и содержание скота в сельских общинах (Bucksteeg, W., Wlb 1968, Nr. 8, Leschber u. Niemitz, G.I. 1969, 229, Biffl, W., OEWW 1969, H. 11/12). Значения в таблице действительны также для Англии и Австрии (Imhoff, K.R., GWF 1967, 1021, KA 1983, 907).

Данные обеих таблиц для использования в конкретном случае всегда нужно тщательно проанализировать, так как от них зависят все последующие расчеты.

В зависимости от различных условий в течение 24 часов суток изменяются количество воды и загрязнения, содержащиеся в каждом кубометре сточных вод. Количество воды в большинстве случаев максимально около полудня. В этот период наблюдается и наибольшее содержание загрязнений. Один из примеров показан на рис. 5.1.

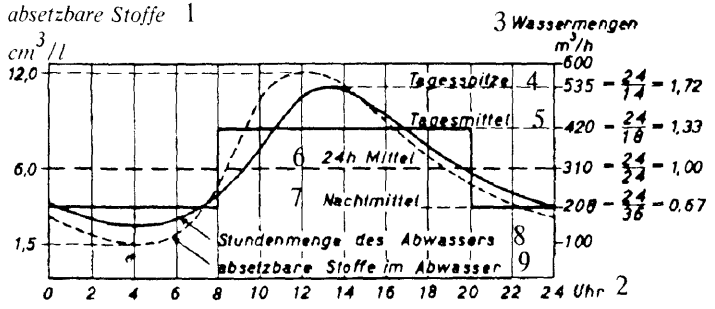


Рис. 5.1. Суточные колебания количества сточных вод и содержащихся в них осаждающихся веществ города с 50 тысячами жителей на протяжение 24 часов

1 – осаждающиеся вещества, $см^3/л$; 2 – часы; 3 – количество воды, $м^3/ч$; 4 – дневной пик; 5 – среднее за день; 6 – среднее за 24 ч; 7 – среднее за ночь; 8 – количество сточной воды в час; 9 – осаждающиеся вещества в сточной воде

Для *исследования* сточных вод существуют физические, химические, биологические и бактериологические способы. Они используются, во-первых, для того, чтобы изучить сточные воды, которые необходимо очистить, во-вторых, чтобы проверить способность водотока принять сточные воды, и, в-третьих, для контроля за производственными установками. Способы здесь описываются таким образом, чтобы инженер мог иметь о них правильное представление и видел границы возможного применения данных. Для более детального ознакомления дается ссылка на следующие источники:

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Herausgegeben von der Fachgruppe Wasserchemie des Vereins Dtsch. Chem. Verlag Chemie, Weinheim.

Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, New York, 15. Auflage 1980.

Leithe, W., Die Analyse der organischen Verunreinigungen in Trink-, Brauch- und Abwaessern, Wiss. Verlagsgesellschaft, Stuttgart 1972.

Liebmann, H., Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie, R. Oldenbourg, München, Bd. 1, 1962, Bd. 2, 1960.

Liebmann, H., Methodik der Untersuchung von Abwasser und Vorfluter, Münchener Beitraege Bd. 19, R. Oldenbourg 1971.

Rüffer, H., und Mudrack, K., Anleitung zur Durchführung und Auswertung einfacher Untersuchungen auf Klaeranlagen, Veoeff. des Inst. f. Siedl. TH Hannover 1987, Heft 17.

Burchard, C. H., und Groche, D., Handbuch einfacher Messungen und Untersuchungen auf Klaeranlagen, Hirthammer–Verlag, München 1976.

Schlegel, H. G., Allgemeine Mikrobiologie, 5. Auflage, Verlag Thieme, Stuttgart 1981.

Mudrack, K., und Kunst, S., Biologie der Abwasserreinigung, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1985.

Koppe, P., u. Stozek, A., Kommunales Abwasser, Vulkan-Verlag, Essen 1990.

Поскольку качество воды постоянно изменяется, разовые (выборочные) *пробы воды* дают только случайный результат. Когда проводят регулярные исследования, время отбора разовых проб планируют так, чтобы постепенно охватить все время суток, и таким образом получить достоверное среднее значение. Однако можно также брать средние пробы или с помощью простых приборов отбирать их автоматически, чтобы взятые в небольшие сосуды с равномерными интервалами времени пробы накапливались в большом сосуде. Поскольку сточная вода быстро разлагается и изменяется, пробы необходимо исследовать немедленно или до исследования консервировать или замораживать.

Введены разные способы автоматического контроля качества воды (Cleary, E. J., Wasserwirtschaft 1961, 85, Knop, E., Wasserwirtschaft 1961, 94, Husmann, W., Wasserwirtschaft 1961, 97, Husmann, W., et al., Wass.-Luft u. Betr. 1962, 176, 244).

Имеет значение *температура* сточной воды, так как существует ее влияние на физические и биохимические процессы очистки сточных вод (Dreschmann, P., GWA 1988, Bd. 104). Высокая температура ускоряет разложение в водотоке. На первом этапе она действует как загрязнение.

Состояние сточной воды должно быть по возможности *свежим*. Свежая вода лишена неприятного запаха, загрязняющие вещества не разложились, цвет желто-серый или бело-серый.

Химически обнаруживается содержание растворенного кислорода. Загнившая сточная вода имеет запах тухлых яиц (сероводород), цвет черно-серый.

Если свежую сточную воду профильтровать через фильтровальную бумагу, то можно заметить, что она в большинстве случаев имеет высокую *степень прозрачности*, например, 10 см над стандартным шрифтовым образцом DIN Nr. 2, 5 [x)], так как слабо разложившиеся частицы загрязнений остаются на фильтре. Профильтрованная заг-

нившая сточная вода остается малопрозрачной (лишь 2 ... 5 см над шрифтовым образцом 2,5). Прозрачность проверяется над шрифтовым образцом в цилиндрах с сантиметровой шкалой. В желобах или резервуарах для сточных вод для этой цели в воду погружают белый диск с черным крестом и определяют глубину, при которой он становится не виден.

Мера *мутности* — обратное значение прозрачности.

Важным является определение нерастворенных веществ, так как они образуют осадок сточных вод. Различают поддающиеся отсеиванию, способные осаждаться и неспособные осаждаться взвешенные вещества. *Поддающиеся отсеиванию взвешенные вещества* определяют в сточных водах, если нужно проверить ситовую сортировальную установку. Тогда применяют металлические сита, проходные отверстия которых соответствуют отверстиям производственной установки. В случае паводковых вод поддающиеся отсеиванию вещества имеют особое значение. По Колквицу применяют медное сито или лучше шелковую ткань с размером ячеек 1/15 мм. Через сетку пропускают 50 л воды.

Способные осаждаться вещества обычно определяют в цилиндрах высотой 40 см и емкостью 1 л по истечении 2 часов. Склянки могут иметь коническую форму и шкалу в миллилитрах (рис. 5.2). За 15 мин до снятия показаний склянку поворачивают вокруг оси в одну и другую стороны, чтобы осели прилипшие к стенкам частицы. По показаниям, снятым через разные промежутки времени можно построить кривую осаждения. При этом следует принимать во внимание неравномерное распределение уже осевшего ила. Кривую неравномерного оседания составляют по ван дер Зеею и полученные значения корректируют (GI 1929, 243). Процент удаления способных осаждаться веществ в очистной установке вычисляют по формуле: $100 \cdot (a - b) : a$, где a — донный осадок неочищенной воды, b — донный осадок стока очистной установки. Из 1 л городских сточных вод осаждается 3 ... 9 мл ила.

Производительность отстойника считается достаточной, если из сточной воды в цилиндре за 2 часа оседает не более 0,2 мг осадка.

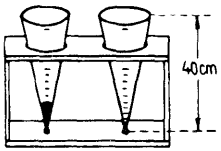


Рис. 5.2. Отстойные склянки по Имхоффу

Рис. 5.3 

Если донный осадок необходимо взвесить, используются склянки, имеющие спуск на дне. Тогда получают более точные значения.

Неспособные осаждаться взвешенные вещества получают, вычитая из остатка на фильтре от всей пробы осажденные вещеества. С этой целью профильтровывают около 0,5 л сточных вод, остаток на фильтре высушивают и взвешивают. То же проделывают с отстоянной водой, находящейся над донным осадком. Разность этих значений составляют способные осаждаться вещества.

В качестве фильтров применяют перфорированные, выложенные асбестом фарфоровые тигли. В них сухой остаток можно прокаливать. То, что остается в виде золы, называют "*минеральными веществами*". То, что теряется при прокаливании сухого остатка, т.е. *потери при прокаливании*, называют "летучими веществами" или "*органическими веществами*" (хотя это неточно, так как существуют минеральные вещества, которые при прокаливании сгорают). Органические вещества представляют интерес, так как они легко разлагаются и наносят вред водоему.

Визуально степень загрязнения воды можно зафиксировать на листках фильтровальной бумаги. По Сирпу круглый лист фильтровальной бумаги диаметром 7 см кладется на ситчатую тарелку небольшой воронки, которая вставлена в склянку с отсосом (рис. 5.3). Затем с помощью водоструйного насоса пропускается определенное количество воды (например, 250 или 500 мл для очистных станций, 1000 мл для речной воды). Фильтр сушится, покрывается цапонла-

ком и снова сушится. По цвету судят о степени зягрязнения. Листки могут быть включены "в архив" (ежегодник "О воде" 1932, 252).

Если из воды удалены взвешенные вещества в виде частиц, то в ней еще остаются *полурастворенные* (коллоидные) и полностью растворенные вещества. Здесь нет возможности рассматривать определение коллоидов. Для упрощения все, что не осталось на фильтре, относят к растворенным веществам. Итак, профильтрованную воду выпаривают в жаростойкой чашке. Сухой остаток называют "растворенными веществами". Путем прокаливания их разделяют на органические и минеральные вещества.

Для *пробы на загнивание* колбу заполняют водой на 3/4, в воздушном пространстве подвешивают пропитанную уксуснокислым свинцом полоску фильтровальной бумаги, колбу закрывают пробкой и оставляют в темноте при комнатной температуре. Свинцовая бумага приобретает коричневую окраску, если образуются даже небольшие количества газа брожения — сероводорода, которые едва заметны для обоняния. Данные о том, на какой день произошло загнивание, и интенсивность окраски или запаха являются мерой содержания поддающихся гниению веществ.

Более точной и быстрой является проба с метиленовым синим по Шпитта–Вельдерту. При этом обесцвечивание указывает на начало загнивания. Пробу называют "неподдающейся загниванию" или "стойкой", если она не обесцветилась в течение 5 суток при 20 °C [x)]. Проба с метиленовым синим – это простой способ контроля стока очистной установки оператором. В случае различных сточных вод проба дает несопоставимые значения.

"*Реакция*" на лакмусовой бумаге показывает красным цветом, что жидкость кислая, синим цветом – щелочная. *Кислотность* указывается концентрацией ионов водорода (показатель *pH*). Значение 7,0 считается нулевой точкой. Значения ниже 7,0 означают кислую, выше 7,0 – щелочную реакцию. Последовательность значений является логарифмической, т. е., например, 5,0 означает в 10 раз боль–

шую крепость кислоты, чем 6,0. Для определений показателя pH на очистных станциях в большинстве случаев достаточно способов, при которых кислотность оценивается по окраске "индикаторов". Электроизмерительные приборы точнее.

Содержание кислорода в сточной воде, т.е. содержание растворенного кислорода, определяется химическим путем по способу Винклера, при котором соединение марганца с низкой степенью окисления поглощает растворенный в воде кислород. При взятии и исследовании проб нужно следить за тем, чтобы вода впоследствии не поглотила кислород из воздуха. Непрерывные определения кислорода можно производить электрохимическим способом. О применении полярографических и парамагнитных измерений кислорода сообщают Гусманн и его сотрудники (GWF 1964, 90 und 654). Надежные данные измерений в течение длительного времени без калибровки дают *покрытые мембранами* электроды. Полимерное покрытие проницаемо только для газов и задерживает загрязнения (Malz, F., Münchener Beitraege Bd. 12, 1965, 241). Переносные приборы с батареей превосходно подходят для практического применения.

Содержание в воде растворенного *кислорода* обычно не может превышать *значения насыщения*. Это значение зависит от температуры и в небольшой степени от барометрического давления. Оно составляет:

	0	5	10	15	20	25	30 °C
Вода без солей	14,6	12,8	11,3	10,1	9,1	8,3	7,6 мг/л
Морская вода	11,3	10,0	9,0	8,1	7,4	6,7	6,1 мг/л

Первая строка действительна для воды без солей и нормального давления по DIN 38408, часть 22. Вторая – для морской воды с содержанием хлоридов 20 г/л (соответствует примерно 3 % содержания солей). В среднем вода содержит только 10 мг/л = 0,001 % кислорода.

Дефицит кислорода представляет собой разницу между концентрацией насыщения и найденной. Чем больше дефицит, тем сильнее "воздушный голод" в воде, тем быстрее вода поглощает кислород из воздуха (см. гл. 7.2).

Содержание органических веществ в сточной воде лучше всего оценивать по расходу кислорода на их окисление. При этом различают химическое и биохимическое потребление кислорода.
Химическое потребление кислорода (ХПК) определяется по реакции с сильным окислителем. Раньше в большинстве случаев использовали *перманганат калия* ($KMnO_4$) в кислом растворе. Этот способ можно осуществлять быстро и легко. В Германии пробу кипятят 10 минут. В Англии принято четырехчасовое выдерживание пробы при 27 °С. Оно дает более низкие значения. Органическое вещество окисляется посредством $KMnO_4$ лишь частично. Значение полученных показателей зависит от химического состава пробы. Так, фенолы определяются довольно полно, продукты разложения белка – лишь в малой степени, а моющие средства не определяются вообще. Поэтому для сравнения различных видов сточных вод этот способ непригоден. Однако он обеспечивает простой контроль однотипных сточных вод. Израсходованный при химическом окислении кислород составляет четверть расхода перманганата в мг/л, определенного по немецкому способу.

Посредством *бихромата калия* ($K_2Cr_2O_7$) в сернокислом растворе органические вещества окисляются намного полнее. Поэтому полученое значение ХПК сравнимо с потреблением кислорода для полного окисления углеродных соединений. Необходимое время кипячения составляет 2 часа. Этот способ получил распространение как стандартный способ определения ХПК. По-английски: COD (chemical oxygen demand).
Биохимическое потребление кислорода (БПК, англ. BOD) – это ко-

личество элементарного кислорода, которое потребляется микроорганизмами при окислении органических веществ. БПК зависит не только от вида и концентрации органического вещества, но также от количества и активности микроорганизмов, температуры, турбулентности и других факторов. Поэтому для сопоставимости результатов условия окисления должны быть стандартными. Поддерживается температура 20 °С. Микроорганизмы должны быть приспособлены к сточной воде. Вначале они должны быть в таком малом количестве, чтобы происходило заметное размножение.

В таких условиях биохимическое окисление органических веществ в присутствии кислорода происходит в два этапа. Первый этап охватывает главным образом соединения углерода, второй – соединения азота. Первый этап начинается сразу и при 20 ° оканчивается примерно через 20 суток, второй – при 20 ° начинается лишь через 10 суток и продолжается очень длительное время. По экспериментам Териаульта это показано на рис. 5.4 для температур 9 °, 20 °, 30 °. При этом разлагался также ил сточных вод. Более поздние эксперименты Х. Б. Готааса (Gotaas, H. B., Sewage Works J. 1948, 441) привели к другим результатам.

В очищенной воде слабо нагружаемых биологических очистных установок и в пробах из водотоков второй этап начинается в течение первых пяти суток. Тем самым определение $БПК_5$ первого этапа искажается. Для *торможения нитрификации* в пробу добавляют 0,5 мг/л аллилтиомочевины (АТМ) (Montgomery, H. A. C., et al., Jour. Inst. Sew. Purif. 1966, 357). Определенное таким образом биохимическое потребление кислорода для ясности обозначают как $БПК_{5С}$. На рис. 5.38, 5.48 и 5.49 содержатся эксплуатационные данные без добавки АТМ.

Если эти условия соблюдаются, то БПК первого этапа соответсвует реакции I-го порядка. Действует закон, что за каждый равный промежуток времени оставшееся БПК уменьшается на постоянную долю, или формула

$$y = L \cdot (1 - 10^{-k \cdot t}) \qquad (5)$$

Здесь:

y — потребление кислорода за период t,

L — полное потребление кислорода первого этапа,

k — коэффициент, зависящий от температуры и других воздействий.

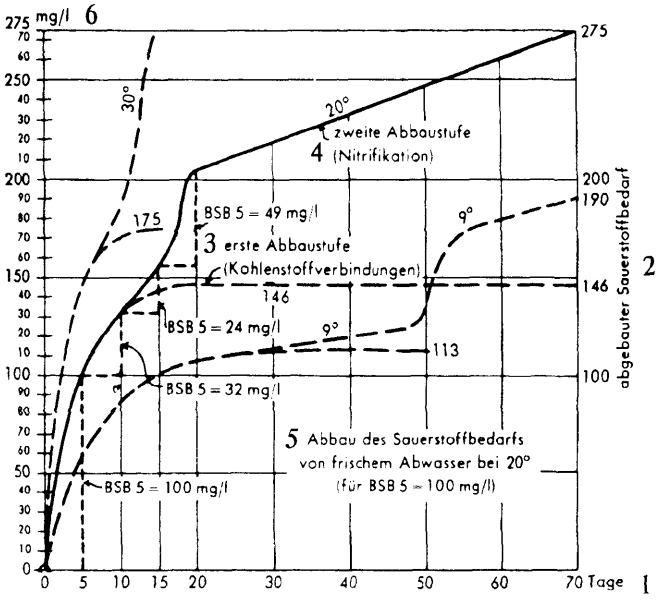


Рис. 5.4. Снижение потребления кислорода свежей сточной водой по Териаульту (U.S. Publ. Health Service, Bull. No. 173, 1927)

1 – сутки; 2 – сниженное потребление кислорода; 3 – первый этап снижения (углеродные соединения); 4 – второй этап снижения (нитрификация); 5 – снижение потребления кислорода свежей сточной водой при 20 ° (для $БПК_5 = 100$ мг/л); 6 – мг/л

Половина потребления кислорода происходит через период полураспада $t = 0.301 \cdot k^{-1}$.

Приведенная ниже таблица была рассчитана для следующего температурного воздействия:

$$k_T = k_{20^\circ} \cdot 1{,}047^{(T-20)} \qquad (6)$$

При этом *постоянное снижение* на каждый 1 °С повышения температуры увеличивается на 4,7 %. В общем в основе лежат следующие данные:

Температура, °С	5	10	15	20	25	30
Суточная доля снижения, %	10,9	13,5	16,7	20,6	25,2	30,5
k, 1/сут	0,050	0,063	0,079	0,100	0,126	0,158
L, % относительно L при 20 °	70	80	90	100	110	120

Далее на рис. 5.5 наглядно представлено *потребление кислорода* на первом этапе. К этому относится и следующая таблица (пятисуточное БПК). Снижение на первом этапе при 20 ° за первые сутки составляет, например, 1,46 • 20,6 = 30 % = 0,30 БПК$_5$.

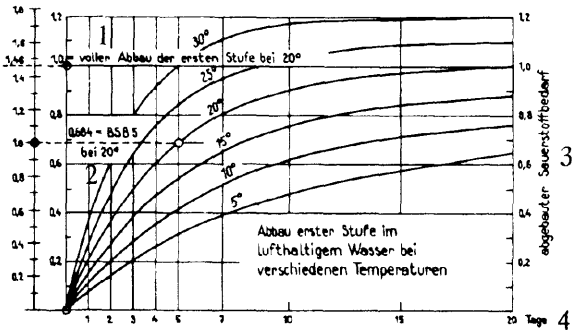


Рис. 5.5. Снижение потребления кислорода в воде, содержащей кислород, при различных температурах

1 – полное снижение на первом этапе при 20 °; 2 – ... при 20 °; 3 – снижение потребления кислорода; 4 – сутки

При отклонении от температуры 20 ° $БПК_5$ как аналитическое значение для органического вещества в воде не меняется. Его, согласно определению, всегда следует устанавливать при 20 °. При изменении температуры органическое вещество по-разному влияет на кислородный баланс. Это находит свое выражение в кривых потребления для различных температур.

На рис. 5.5 и в приведенной ниже таблице даны правильные значения для неинфицированной загрязненной бытовыми отходами воды при умеренном движении. В естественных водотоках бактерии приспосабливаются к изменениям температуры. Тогда по Виелю влияние температуры намного меньше. Для промышленных загрязнений могут быть справедливы другие темпы снижения.

Пример 1. $БПК_5$ при 20 ° сточной воды составляет 240 мг/л. Тогда полное потребление кислорода на первом этапе при 20 ° составляет 1,46 • 240 = 350 мг/л. Потребление кислорода в первые сутки составляет 0,30 • 240 = 72 мг/л, десятисуточное — 1,32 • 240 = 320 мг/л. Если бы эта проба воды выдерживалась при 30 °, то в качестве полного потребления кислорода было бы найдено 1,76 • 240 = 420 мг/л и в качестве пятисуточного — 1,47 • 240 = 350 мг/л.

Пример 2. В случае речной воды определение $БПК_5$ отсутствует. Однако указано потребление кислорода за 24 часа, составляющее 2,5 мг/л. Каково значение $БПК_5$ и каково поглощение за 48 часов? — Односуточное БПК при 20 ° составляет 0,30 суточного. Стало быть, $БПК_5$ = 2,5 : 0,30 = 8,3 мг/л. Двухсуточное БПК составляет 0,54 пятисуточного. Стало быть, потребление за 48 часов равно 0,54 • 8,3 = 4,5 мг/л.

Пример 3. Загрязненная речная вода содержит 15 мг/л кислорода. (Вода перенасыщена вследствие дыхания растений на солнечном свете). Проба метиленовым синим показала, что гниение началось через три дня. Снижение кислорода в первые трое суток составляло, таким образом, 15 мг/л. Тогда $БПК_5$, т.е. снижение за пять суток при 20 °, следует считать, согласно таблице, 15 : 0,73 = 20,6 мг/л.

Снижение потребления кислорода на первом этапе в воде, содержащей кислород, при разных температурах относительно пятисуточного потребления кислорода (БПК$_5$) при 20 ° по Феиру

Сутки	5 °	10 °	15 °	20 °	25 °	30 °
1	0,11	0,16	0,22	0,30	0,40	0,54
2	0,21	0,30	0,40	0,54	0,71	0,91
3	0,31	0,41	0,56	0,73	0.93	1,17
4	0,38	0,52	0,68	0,88	1,11	1,35
5	0,45	0,60	0,79	1,00	1,23	1,47
6	0,51	0,68	0,88	1,10	1,31	1,56
7	0,57	0,75	0,95	1,17	1,40	1,62
8	0,62	0,80	1,01	1,23	1,45	1,66
9	0,66	0,85	1,06	1,28	1,49	1,69
10	0,70	0,90	1,10	1,32	1,52	1,71
12	0,77	0,97	1,17	1,37	1,56	1,73
14	0,82	1,02	1,21	1,40	1,58	1,74
16	0,85	1,06	1,24	1,43	1,59	1,75
18	0,90	1,08	1,27	1,44	1,60	1,76
20	0,92	1,10	1,28	1,45	1,61	—
25	0,97	1,14	1,30	1,46	—	—
Полное потребление кислорода на первом этапе	1,02 (= 0,7 • • 1,46)	1,17 (= 0,8 • • 1,46)	1,32 (= 0,9 • • 1,46)	1,46 $(=\frac{1}{0,684})$	1,61 (= 1,1 • • 1,46)	1,76 (= 1,2 • • 1,46)

Определение потребления кислорода производят таким образом, что в одной пробе определяют содержание кислорода сразу, а во второй, закрытой и хранившейся при 20 ° пробе — содержание кислорода через пять суток. Различие в содержании кислорода представляет собой БПК$_5$. Но поскольку вода редко бывает такой чистой, чтобы через пять суток она вообще содержала растворенный кислород, во вторую пробу необходимо добавлять такое количество насыщенной кислородом чистой воды, чтобы через пять суток кислород присутствовал обязательно. В таком случае говорят о "способе разбавления".

Сиерп-Френземайер рекомендовали прямой способ, при котором газообразный кислород подается в неразбавленную сточную воду

(Techn. Gemeindebl. 1927, 179, und 1931, 233 bis 313). О дальнейшем усовершенствовании этого способа сообщает Виель (GI 1953, 123). Следует назвать аппарат Варбурга (Jaegers, K., et al., Staedtehygiene 1952, 246) и штутгартский циркуляционный аппарат для аэрирования (Poepel, F., et al., GWF 1958, 897). Различные способы сравнивает Штайнике в GWF 1976, 454. Для простых целей определяют $БПК_1$ или $БПК_2$ и по нему вычисляют $БПК_5$ (Oxford, H. E., et al., Sew a I. W. 1959, 259, Sturz, O., Dtsch. Gewaesserkundl. Mitt. 1957, 84, 1959, 53). Для контроля на очистных сооружениях используется прибор Ведева (Sprenger, F. J., Vom Wasser 1969, 319).

До сих пор были названы три способа, которые выражают в числах количество загнивающих органических веществ: потери при прокаливании, биохимическое потребление кислорода и химическое потребление кислорода. Все три способа основаны на окислении органических веществ, т.е. реакции их с кислородом. Первый способ связан с горением, второй — с бактериями, третий — с химическим средством. Между результатами всех трех определений нет жестких взаимосвязей. Для каждой воды они разные. Понятно, что вещества, которые поддаются прокаливанию, не все могут потребляться бактериями, а потребляемые бактериями отличаются от химически окисляемых.

Четвертым способом для оценки содержания органических веществ в сточной воде является определение *органически связанного углерода* (англ. TOC) путем влажного или сухого сжигания. Влажные химические методы, к сожалению, очень трудоемки и занимают много времени. Поэтому в последние годы разработано много автоматических аналитических приборов (к сожалению, дорогостоящих). Полученные результаты не могут сравниваться между собой. Однако для сточной воды конкретной установки прибор дает значения TOC, которые можно сравнить с $БПК_5$. Поэтому при попытках управления процессом крупных установок исходят из экспериментально установленного отношения TOC к $БПК_5$. Для поступающих

сточных вод коэфициент пропорциональности может быть равен 1,8, а для полностью очищенного — 1,0. Данные о содержании органического углерода не позволяют рассчитать необходимое количество кислорода для полного окисления. Однако из отношения ТОС к ХПК можно сделать выводы о виде органического вещества (Ford, D. L., Public Works 1968, 89). Такой анализ иногда используется для оценки токсичности промышленных сточных вод.

Эта таблица содержит химические и биохимические параметры некоторых веществ, содержащихся в сточных водах:

	Теоретическое потребление кислорода	Расход кислорода, определенный			Органический углерод
		с помощью $KMnO_4$	с помощью $K_2Cr_2O_7$	как $БПК_5$	
	мг/г	мг/г	мг/г	мг/г	мг/г
Молочная кислота	1067	260	970	540	400
Глюкоза	1067	600	990	580	400
Лактоза	1122	390	920	580	421
Декстрин	1185	220	950	520	444
Крахмал	1185	120	990	680	444
Фенол	2383	2360	2340	1700	766
Казеин	1410 *	150	1150	580	560

* Без окисления азота

Под *потреблением хлора* понимается такое количество хлора, которое нужно ввести в сточную воду, чтобы через 10 минут еще был его избыток 0,3 мг/л. Для свежих бытовых сточных вод потребление хлора составляет около 2 ... 3 г/(чел•сут). В загнивших сточных водах оно выше.

Адсорбируемые на активированном угле *органические галогенные соединения* (АОХ) считаются высокотоксичными веществами. Поэтому они включены как вредные вещества в закон о налоге на право сброса сточных вод. Поступление АОХ в коммунальные сточные воды должно быть уменьшено. Их определение проводят по

DIN 38409, часть 14. При этом содержащиеся в воде органические вещества из подкисленной азотной кислотой пробы воды адсорбируются на активированном угле. Путем добавления в пробу воды нитрата натрия и следующей за этапом адсорбции обработки активированного угля раствором $NaNO_3$, не содержащим галогенов, из угля вытесняются неорганические галогенные соединения. Затем активированный уголь с сорбированными органическими веществами сжигается в струе кислорода, причем галогены, входящие в состав органических соединений, превращаются в галогеноводороды. Их масса определяется тогда микрокулонометрически.

Коммунальные сточные воды содержат AOX в количестве от 100 до 300 μг/л (Niemitz, W., et al., Halogenorganische Verbindungen in Waessern, Fachgruppe Wasserchemie, Integra–Services, Berlin 1988). От 10 до 30 % AOX удаляются при обработке сточных вод. Кроме того AOX адсорбируются хлопьями активного ила. Поэтому степень удаления их в очистных установках, включающих сооружения механической и биологической очистки, составляет около 50 %. Среднее содержание AOX в стоке после очистных установок составляло в 1988 году в Рурском союзе 45 μг/л, после отстойников — 80 μг/л.

Редокс–потенциал (окислительно–восстановительный потенциал $r - H$) характеризует окислительно-восстановительное состояние воды или ила. Во введенной В. М. Кларком редокс–шкале $r - H$ представляет собой отрицательный логарифм давления водорода [x)]. Шкала содержит значения от 0 до 42. Значения ниже 15 относятся к восстановительной среде, т.е. к зоне гниения. Значения выше 25 относятся к среде с окислительными свойствами, примером служит активный ил. При проверке проб воды на стойкость при хранении метиленовый синий обесцвечивается при значении $r - H$ 13,5 ... 15,0 (Sierp, F., GI 1949, 170 nach Hood, I. W., Sew. W. J. 1948, 640).

Бактериологические исследования выявляют количество, вид и условия роста бактерий в сточной или речной воде. Эти исследования особенно важны тогда, когда нужно предупредить распространение

инфекционных заболеваний и с этой целью проверить эффективность очистной станции или качество воды в водотоке. Чрезвычайную важность при этом представляет определение бактерии *Escherichia coli* (E. coli), живущей в кишечнике. Данные о том, сколько E. coli насчитывается в 100 мл воды, служат показателем степени фекальной нагрузки и, косвенно, возможного присутствия болезнетворных (патогенных) микробов. В Германии большей частью определяют коли-титр, т.е. минимальное количество воды, из которого еще можно вырастить культуру E. coli. Если наименьшее количество воды было, например, 0,1 мл, то коли-титр равен 0,1. При методе подсчета это соответствует 10 E. coli в 1 мл.

В случае отрытых водоотоков имеют значение *биологические способы исследований*, их основателями считаются Марссон и Колквиц. При этом из взаимосвязи растений и животных в водотоке делают соответствующие выводы о составе сточных вод за длительный период. (Whipple, G. C., et al., The Microscopy of Drinking Water. John Wiley, New York 1927, Liebmann, H., Handbuch der Frischwasser- und Abwasser-Biologie, R. Oldenbourg, München 1960, Wuhrmann, K., GI 1951, 253, Knoepp, H. /Main/ Wasserwirtsch. 1954/55, 9, 1955/56, 57, /Rhein/ D. Gewaeesserkundul. Mitt. 1957, 56, Pantle, R., Wasserwirtsch. 1955/56, 206). Жизнь рыб служит хорошим показателем чистоты водотока (Czensny, R., Vom Wasser 17 /1949/ 16).

Наряду с определением заселения водотока необходимы исследования динамики обмена веществ. Сюда относятся измерения поглощения кислорода растениями и определение дополнительного поглощения. Биологическое состояние водотока проявляется в пропорции указанных величин (Knoepp, H., Limnologie der Donau, Stuttgart 1966, S. 97). Либманн и другие оценивают качество воды водотока по содержанию кислорода и БПК (Die Wasserwirtschaft 1965, S. 308, Münchner Beitraege, Bd. 15, 1969).

Для оценки токсичности сточных вод можно проводить различные *биотесты*. Тесты на водорослях, бактериях или дафниях должны

показать, могут ли сточные воды оказать влияние на микробиологические процессы разложения в очистной установке или в водоприемнике. Эксперимент с рыбами выявляет подавляющее количество веществ, токсичных для человека. Он считается подходящим для определения качества питьевой воды. Уже стандартизованы тест на дафниях и тест на рыбах [x)] (DIN 38412). Готовится стандартизация теста на водорослях и теста на бактериях.

Тест на рыбах, в зависимости от поставленной задачи, может проводиться с использованием разных видов рыб различных размеров. Важным для проведения эксперимента является то, какую воду берут: проточную или стоячую. В качестве показателя токсичности можно использовать снижение интенсивности движения рыб. Большей частью оценивают смерть подопытных рыб. Сравнение результатов возможно только при стандартизованных условиях эксперимента, как это установлено для теста с язями (Leuciscus idus melanotus) (DIN 38412, Teil 15, Mann, H., Wasser- u. Abwasserforchung 1976, 103). Длина рыб — 5 ... 7 см. Продолжительность эксперимента составляет 48 часов. Исследуемая сточная вода разбавляется в разных пропорциях. Биологическое вредное воздействие оценивается по следующим критериям:

LC_0 — максимальная проверенная концентрация, при которой все рыбы в проводимом тесте выживают (соответствует значению G_F закона о налоге за право сброса сточных вод),

LC_{50} — концентрация, когда в тесте выживают 50 % всех рыб,

LC_{100} — минимальная проверенная концентрация, при которой в проводимом тесте все рыбы погибают.

Для расчета налога за право сброса сточных вод проводятся упрощенные исследования по DIN 38412, Teil 31 и 33.

К сожалению, рассчитать *новую очистную станцию* по заранее заданным свойствам сточной воды можно не всегда. Сточная вода обычно сильно изменяется, когда установка уже находится в эксплуатации. В расчетах инженер в большинстве случаев должен

исходить из других параметров, а именно расход воды, расчетное число жителей и особенности промышленных сточных вод.
Однако даже в случаях, где имеется сточная вода для исследования, различные определения применимы лишь тогда, когда они дают правильные средние значения. При этом трудно поддается учету дождевая вода и промышленные сточные воды, сбрасываемые залпом, часто ночью. Нельзя не учитывать и отложения, накапливающиеся в донной части коллекторов.
При проверке *производственных установок* измерение и изучение действительно полученных количеств осадка и газа надежнее, чем выводы из случайных проверочных исследований сточных вод.
О свойствах и исследовании ила см. раздел 5.9.2 .

5.2. Сита, решетки

Ситовые установки еще иногда выполняются как самостоятельные очистные станции при очень сильном разбавлении на больших реках или у моря. Требуется, чтобы удерживались загрязняющие вещества размером до 3 мм. Действие слабое. Сита имеют примерно одну пятую производительности установок для отстоя (Glanzmann, GI 1938, 427).
Различают улавливающие сита и промывочные сита. В случае улавливающих сит загрязняющие вещества извлекаются из сточной воды и отбрасываются в транспортные контейнеры (Schüssler, H., GWF 1984, 266). В случае промывочных сит вещества частью сточной воды или специальной промывочной водой смываются в отстойник или в перегниватель.
Количество задержанных на сите загрязнений составляет около 35 литров на жителя в год. Содержание воды — 85 ... 90 %, органических веществ — 85 %.
В качестве ступени предварительной очистки в отстойниках рекомендуются *грубые решетки* с прозорами 40 ... 50 мм [x)]. Большое расстояние между прутьями имеет то преимущество, что фекалии и

бумага проходят, т.е. поступают в осадок отстойников, а сравнительно безвредные громоздкие предметы удерживаются и подлежат удалению. При ручной чистке стержни решетки устанавливаются в воде наискось и с наклоном не менее 1 (высота) к 3 (длина). Водяной лоток под решеткой лишь немного расширяется, чтобы сохранялась скорость воды 0,6 м/с, которая необходима для предупреждения отложений песка. Для паводковой волны установливается запасной обвод, который также имеет грубую решетку с прозорами между прутьями около 100 мм (рис. 5.6). Количество мусора с решетки для грубой очистки можно брать равным 2 ... 5 литров на жителя в год.

С тех пор, как отстойники стали оборудоваться очистительными механизмами, возникла потребность в более мелких решетках с прозором 20 мм для защиты чувствительных механизмов и насосов. Для очистки таких решеток применяются скребковые устройства. Стержни тогда могут стоять с весьма небольшим наклоном. Скребковые устройства настраиваются на периодическую работу. Они включаются, когда на решетке возникает определенный обратный подпор, и снова выключаются, как только решетка становится чистой. Недостаток *мелких решеток* в том, что мусор на решетке увеличивается до 5 ... 15 л [x)] на жителя в год, т.е. трехкратно, и что он содержит больше фекалий и других масс, издающих дурной запах. Путем применения пресса для мусора с решетки указанное количество можно уменьшить вдвое и облегчить удаление (Doedens, H., et al., Wasserwirtschaft 1984, 62). Мусор с решеток и сит обычно вывозится на свалку вместе с бытовым мусором или сжигается. Мусор с решеток можно сжигать и отдельно (Wachter et al., Staedtehygiene 1967, 187).

В небольших установках применяется *механизированная дуговая решетка* (рис. 5.7), в которой мусор выбрасывается немного выше уровня воды. При больших масштабах подходит *грабельная решетка* с канатным или цепным приводом (рис. 5.8). В случае решетки такого типа резервуар для мусора с решетки может быть установ-

лен на такой высоте, чтобы он выгружался непосредственно в транспортное средство. Решетка другого типа имеет масляный гидравлический привод. Она действует в противотоке сточной воды и имеет сравнительно малую конструктивную высоту (рис. 5.9). Это дает экономию при строительстве здания для решетки. При сильном морозе рекомендуется обогрев. Скорость течения между стержнями решетки не должна превышать 1,0 м/с, чтобы вода не уносила слишком много мусора с решетки.

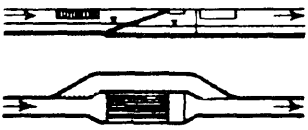


Рис. 5.6. Грубая решетка

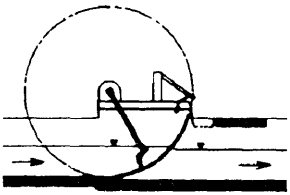


Рис. 5.7. Дуговая решетка

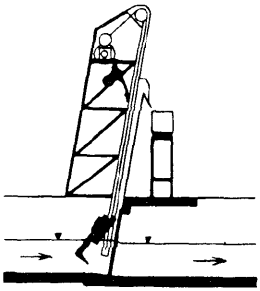


Рис. 5.8. Грабельная решетка

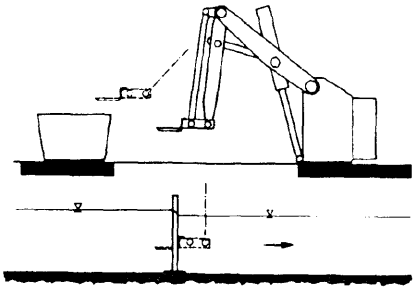


Рис. 5.9. Противоточная решетка

Специальную обработку мусора с решетки можно исключить, если его *измельчать* и затем добавлять в сточную воду, т.е. подавать на общую обработку осадка. Для этого имеются быстродействующие *режущие валки*, ножи которых заходят в отверстия изогнутых решеток. Мусор загружается сверху и возвращается обратно в сточную воду измельченным (рис. 5.10). В небольших установках мусор собирают в резервуар и измельчают в один прием. Проще совсем не улавливать мусор на решетках, а пропускать всю сточную воду через дробильные машины. Эти машины работают как лопастные насосы, лопатки которых снабжены регулируемыми ножами (рис. 5.11). Дробилки, как показано на рис. 5.11, могут быть соединены со стержневой решеткой. Решеткоочиститель и насос работают периодически. Они включаются автоматически, когда перед решеткой достигнут определенный подпор. Мусор с решетки сбрасывается в воду перед дробилкой и с частью сточной воды проходит через нее. Известен также вертикально установленный щелевой барабан с подводом воды снаружи (рис. 5.12). При вращении барабана вещества дробятся в воде об неподвижный нож. Перед дробильными механизмами должны устанавливаться песколовки (Imhoff, Die Zerkleinerung der groben Stoffe im Abwasser, GI 1937, 599).

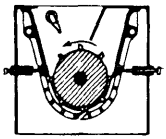


Рис. 5.10
Режущий валик

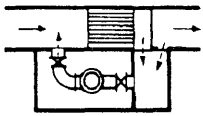


Рис. 5.11
Дробильный насос

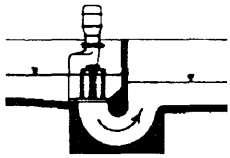


Рис. 5.12
Щелевой барабан

Если (как в промышленных странах) со сточной водой поступает много ветоши и другого текстиля, *дробилки мусора с решетки* не действуют. Правильнее тогда удалять эти материалы как мусор с решетки.

Песчаные фильтры тоже действуют преимущественно механически по принципу сита.

5.3. Флотации

Некоторые из загрязняющих веществ сточных вод можно отделить посредством того, что им дают всплыть, а затем собирают. В особенности это касается жира и масла, удельный вес которых меньше, чем удельный вес воды.

Как *жироловка* или *маслоуловитель* действует всякий резервуар, в котором снижается скорость течения и отсутствует турбулентность. Это наблюдается в каждом отстойнике. Поэтому отстойники должны быть снабжены полупогружными щитками для плавающих веществ. В то время, как тяжелые вещества оседают на дне в виде осадка, легкие вещества поднимаются и образуют плавающий слой. При этом крупные жировые частицы поднимаются на поверхность быстро, а мелкие — медленно. Этот процесс сходен с процессом оседания зернистого осадка, только идет в противоположном направлении. Эффект процесса зависит от площади поверхности по отношению к протекающему количеству воды. Время протекания действует на агломерацию частиц. Необходимая площадь поверхности жироловки составляет

$$\text{площадь поверхности } (м^2) = \frac{\text{расход воды } (м^3/ч)}{\text{наим. скорость подъема } (м/ч)}.$$

При этом под наименьшей скоростью подъема понимается скорость самых мелких жировых частиц, которые еще должны быть отделены, для достижения определенного эффекта. Ее можно определить в стеклянном цилиндре, если установить время, необходимое для того, чтобы определенную часть всего содержания жира перенести в плавающий слой. Тогда

$$\text{наим. скорость подъема } (м/ч) = \frac{\text{высота ст. цилиндра } (м)}{\text{время } (ч)}.$$

Пример 4. Цункер обнаружил в эксперименте, что при 15 ° в жироловке отделялось 95 % размешанного в воде льняного масла, если наименьшая скорость подъема составляла 4 мм/с ≈ 14,4 м/ч. Необходимая для протекания 1 л/с = 3,6 $м^3$/ч площадь поверхности была 3,6 : 14,4 = 0,25 $м^2$ (GI 1938, 454).

Флотация может быть распространена и на такие вещества, которые тяжелее воды, если в воду подают сжатый воздух. Тогда воздушные пузырьки увлекают вещества на поверхность и там удерживают их в пене. Флотация как "способ очистки всплыванием" широко применяется при переработке руд и угля. Однако она применяется также для предварительной очистки определенных сточных вод и иногда для сгущения избыточного активного ила (Schranz, Berl und Schmitt, "Schwimmaufbereitung" Bd. 3 der Chemischen Ingenieurtechnik, Springer, Berlin, Müller–Neuhaus, Vom Wasser, Bd. 12, 1955, 340, Hanisch, B., Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, H. 8, 1960, Born, R., ATV–Berichte zur Abwasser– u. Abfalltechnik, Bd. 6, 1977, Roediger, H., KA 1976, 267, Brecht, W., et al., Wochenblatt für Papierfabrikation 1973, 113, Reinhardt, M., Veroeff. Inst. Siedlungswasserw., TU Hannover, H. 53, 1984; Hepcke, H., Veroeff. Inst. Siedlungswasserw., TU Hannover, H. 57, 1984, Krofta, M., Stuttgarter Berichte, Bd. 87, 1985).

К веществам, противодействующим пенообразованию, относятся, например, соли металлов и кислоты. В маслоотделителях эффект флотации уменьшается из–за детергентов, так как они способствуют диспергированию масел и образованию мелких частичек, которые поднимаются медленнее. Если масло попадает в воду в виде эмульсии, то эмульсию необходимо разложить путем добавления сульфата железа. В случае смазочно–охлаждающих эмульсий берется 3 ... 5 г/л (Bosernick, G., Industrie–abwaesser 1966, 12).

При очень высоком содержании жира в сточных водах *жироловку* можно устанавливать перед очистной установкой. Преимущество состоит в том, что задержанные здесь жирные вещества не будут ос-

ложнять работу отстойников. Жироловку можно выполнить по рис. 5.13. Резервуар продолговатый, в форме лотка с возможно большей площадью поверхности и дном с наклонными стенками. Расчетное время протекания равно 3 мин. Оседание ила предупреждается нагнетанием через углубленный донный желоб сжатого воздуха. Вертикальные разделительные стенки имеют лишь узкие прорези, которые позволяют перемещаться жирам с водой в успокоительные камеры. Поступивший вместе с ним ил скользит по наклонному дну обратно в продуваемый донный желоб. Отводной трубопровод идет наклонно вверх и настолько узок, что песок постоянно или, по крайней мере, периодически уносится. Скопившийся на поверхности успокоительных камер жир с водой спускаются и перекачиваются в резервуар, где избыточная вода снова отделяется. Плавающие вещества с жиром перекачиваются в метантенк. Расход воздуха такой жироловки около 0,2 м^3 воздуха на 1 м^3 протекающей сточной воды с временем протекания 3 мин. Жиро- и песколовка уже выполнялись также комбинированными.

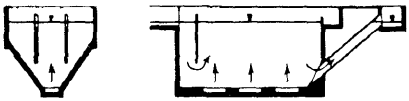


Рис. 5.13
Жироловка с продувкой

В Америке обнаружили, что эффективность жироловки в случае городских сточных вод усиливается посредством того, что в сжатый воздух добавляют газообразный хлор. Расход хлора составляет от 1 до 1,5 мг/л, в пересчете на протекающее количество сточной воды. (Faber, H. A., Water W. and Sew. 1937, 171; 1941, 322; Sew. W. J. 1947, 248; Bach, Staedterein. 1937, 411; Eliassen, R., et al., Sew. W. J. 1944, 287 und 296).

Жироловки такого типа оказывают в городских очистных станциях важное побочное действие как аэраторы. Продолжительность аэрации может быть увеличена до 30 мин. Действие ее может быть усилено путем рециркуляции осевшего ила.

Осадки из городских жироловок в большинстве случаев непригодны для использования, так как они слишком загрязнены. Если преобладает минеральное масло, осадки лучше всего сжигать (Pelzer, H., GWF 1963, 42). Органический жир идет в метантенки, так как там он усиливает газообразование.

Хорошо утилизируются осадки из *небольших жироотделителей*, которые устанавливаются на больших кухнях, в ресторанах и на бойнях, прежде чем эти сточные воды попадают в городскую канализационную сеть. При этом следует обращать внимание на достаточную площадь поверхности и время протекания согласно стр. 156. Донный ил нужно регулярно удалять или смывать, нельзя допускать попадания крупных предметов (Heilmann, GI 1940, 234; Ausführungs–bestimmungen zur Verordnung über Fettabscheider vom 26.1.1943 mit Zeichungen. Kleine Mitt. d. V. W. B. L. 1943, 360, DIN 4040 bis 4043). Жир в больших количествах поступает с боен и шерстомоек.

Бензиноотделители предписываются для больших гаражей в целях защиты уличной сети. Они должны регулярно опорожняться городским управлением (Mauch, E., GWF 1973, 90). *Маслоотделительные* резервуары для защиты дорог дальнего сообщения см. в Annen, G. W., Krauel, A., und Imhoff, K. R., GWF 1967, H. 2.

5.4. Очистка отстаиванием

Большинство взвешенных веществ городских сточных вод настолько мелкие, что не задерживаются решетками или ситами. Для них не подходит и флотационный способ, так как они тяжелее сточной воды. Эти вещества должны отделяться путем осаждения на дне отстойников. Течение сточной воды в резервуарах может быть при этом горизонтальным (рис. 5.17) или восходящим (рис. 5.18).

Процесс отстаивания для определенной сточной воды можно наблюдать в *отстойной склянке* (рис. 5.2). Отстаивание продолжают до тех пор, пока не будет достигнут желаемый эффект очистки. Процесс в отстойнике с горизонтальным течением аналогичен, только

вода при этом не находится в покое, а медленно течет. При этом нужно представить себе, что наполненная отстойная склянка вместе с течением плывет в резервуаре. Задача состоит в том, чтобы найти взаимосвязь между наблюдением в склянке и процессом в проточном резервуаре.

При изучении отстаивания следует иметь в виду, что взвешенные вещества делятся на зернистые, частицы которых опускаются независимо друг от друга с постоянной скоростью, и хлопьевидные, которые в процессе оседания объединяются в более крупные частицы, за счет чего скорость оседания их возрастает (Imhoff, Die Berechnung der Absetzbecken, GI 1925, 316). К зернистым взвешенным веществам относятся, например, песок, угольный шлам, грязь, отмытая с сахарной свеклы. К хлопьевидным взвешенным веществам относятся, например, гидроокись железа, активированный ил. Городской осадок занимает промежуточное положение. По Кнопу (GI 1951, 144, 1952, 157, Wasserwirtschaft 1950/51, 117) даже мелкодисперсный угольный шлам имеет свойства хлопьевидного ила.

5.4.1. Площадь поверхности отстойника для зернистых взвешенных веществ

Для чисто зернистых взвешенных веществ действительны законы, которые установили Штокс, Гацен и Шульц (Прага): глубина отстойника не имеет значения. Определяющим параметром является только *площадь поверхности* относительно протекающего количества воды, которую, как в случае жироловки, определяют по формуле:

$$\textit{площадь поверхности}\ (м^2) = \frac{\textit{количество воды}\ (м^3/ч)}{\textit{наим. скорость оседания}\ (м/ч)}.$$

При этом под наименьшей скоростью оседания понимается скорость, которую имеют последние, т.е. самые мелкие и легкие взвешенные вещества, достигающие дна за установленное необходимое время отстаивания. Таким образом

$$\textit{наим. скорость оседания}\ (м/ч) = \frac{\textit{высота склянки}\ (м)}{\textit{время осаждения}\ (ч)}.$$

Допустимая нагрузка осветлителя выражается поданным количеством воды, которое за единицу времени приходится на единицу площади поверхности. Это – допустимая *нагрузка на единицу площади.* Ее очень легко найти путем перестановки в первом уравнении:

нагрузка на единицу площади ($м^3/(м^2 \cdot ч)$) = наименьшая скорость оседания (м/ч).

Нагрузку на единицу поверхности можно также представить как высоту поставленной на поверхность водяной призмы, которая за час проходит через отстойник, т.е. в м/ч, как скорость оседания.

Пример 5. Для моечной циркуляционной воды углеобогатительной фабрики, т.е. сточной воды с зернистым взвешенным веществом, в стеклянном цилиндре высотой 0,4 м по прозрачности и количеству донного осадка установлено, что для необходимого осветлительного эффекта требуется 4 часа. Таким образом, в осветлителе будут отделяться вещества, имеющие скорость оседания 0,4 : 4 = 0,1 м/ч. Допустимая нагрузка на единицу площади, стало быть, тоже 0,1 м/ч = 0,1 ($м^3/(м^2 \cdot ч)$). В случае притока 36 $м^3/ч$ осветлитель должен иметь площадь поверхности 36 : 0,1 = 360 $м^2$.

В случае с зернистыми взвешенными веществами отстойные камеры с *восходящим* движением воды (рис. 5.18 и 5.22) рассчитываются также только по площади поверхности. Скорость восходящего потока воды в них не должна превышать расчетной скорости оседания наименьших частиц, т.е. 0,1 м/ч в примере 5, так как иначе они будут уноситься с потоком. Большая глубина таких сооружений не имеет смысла, а вместе с ней теряет смысл направленное вертикально вверх движение воды, так как оно применимо только для глубоких камер. При равном объеме наиболее подходящими остаются мелкие резервуары с максимально большой поверхностью, например, бассейны инфильтрации (см. раздел 5.14). Достаточная глубина необходима не столько для осветлительного эффекта, сколько для того, чтобы придать уклон дну для сползания осадка или чтобы было пространство для илового скребка или для осевшего осадка.

В случае зернистых частиц различного диаметра при температуре сточной воды 10 ° можно, по Фейру, принять следующие *скорости оседания:*

Диаметр	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,01	0,005	мм
Кварцевый песок	502	258	82	24	6,1	0,3	0,06	м/ч
Уголь	152	76	26	7,6	1,5	0,08	0.015	м/ч
Взвешенные вещества бытовых сточных вод менее	122	61	18	3	0,76	0,03	0,008	м/ч

При этом объемный вес кварцевого песка 2,65 кг/л, угля 1,5 и веществ в сточных водах – около 1,2. В примере 5, где наименьшая скорость оседания была 0,1 м/ч, согласно таблице, осаждаются частицы угля диаметром не менее 0,01 мм.

Скорость протекания для осветлительного эффекта при горизонтальном течении не имеет значения до тех пор, пока не превышена некоторая *предельная скорость*, при которой осевшие иловые частицы не остаются на дне, а уносятся. Но эта допустимая предельная скорость настолько высока, что при обычных параметрах никогда не достигается. Она составляет примерно 50 мм/с = 180 м/ч. Это та предельная скорость, выше которой начинается циркуляция в потоке воды. Для взвешенных веществ из очистной установки с мелкими хлопьями предельной скоростью можно считать 20 мм/с.

Как исключение, необходимо вычислить скорость протекания в случае очень мелких резервуаров, например, бассейнов инфильтрации (рис. 5.82), если они имеют малую глубину воды 0,4 м. Здесь всегда нужно определять, не превышена ли предельная скорость, по формуле:

$$\text{скорость } (м/ч) = \frac{\text{расход воды } (м^3/ч)}{\text{площадь поперечного сечения } (м^2)}.$$

Время протекания также не имеет значения для процесса отстаивания, так как оно зависит от величины объема, а поскольку пло-

щадь поверхности задана, оно зависит от глубины. Однако, как было сказано, глубина бассейна в случае зернистых веществ не влияет на процесс отстаивания.

Таким образом, законы и способы регулирования процесса отстаивания для зернистых взвешенных веществ известны. Всегда должна определяться только площадь поверхности отстойника. Если решают задержать в резервуаре вещества с какой-либо скоростью оседания, то для определенного количества сточных вод площадь поверхности резервуара известна. Допустимая нагрузка на единицу площади в $м^3/(м^2 \cdot ч)$ равна скорости оседания в м/ч.

К сожалению эти простые зависимости действуют только для зернистого взвешенных веществ. О хлопьевидных частицах будет сказано позднее.

5.4.2. Песколовка [1)]

Песколовка рассматривается в этом разделе, поскольку песок состоит только из зернистых частиц. Песколовка удерживает песок и другие минеральные вещества, которые мешают работе очистной станции. Она необходима всегда, когда станция принимает дождевую воду, т.е. при общесплавной системе канализации. Песколовку часто устраивают и при раздельной системе канализации.

При обычных скоростях течения песок перекатывается по дну подводящего трубопровода. По этой причине иногда возможно ограничить размер песколовки путем отделения нижней части потока и пропускания только этой части через песколовку.

Песок должен быть чистым, т.е. по возможности без органических веществ, чтобы он не имел запаха. Для этой цели иногда используют свойство движущейся воды при определенной скорости течения уно-

---

[1)] Kalbskopf, K. H., in Lehr– und Handbuch der Wassertechnik, Bd. II, S. 124; Brunner, P. G., Berichte Inst. für Wasserw., Nr. 5, München 1971

сить органические, более легкие и хлопьевидные вещества, которые успели достигнуть дна, тогда как осевшие зернистые, т.е. минеральные вещества, плотно спрессовываются. Поэтому песколовки строятся как *промываемые лотки* со скоростью течения около 0,3 м/с. Для площади поперечного сечения (ширина • глубина) действительна формула:

$$\text{площадь попереч. сечения } (м^2) = \frac{\text{расход воды } (м^3/с)}{\text{скорость } (0{,}3\ м/с)}.$$

Очищаемая вручную эссенская конструкция показана на рис. 5.14. Дно снабжено дренажным устройством, которое во время протекания воды находится в закрытом положении. Когда проток прекращен, дренажное устройство открывается, и выбрасывается обезвоженный песок.

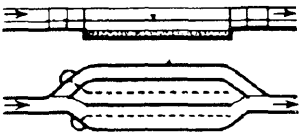


Рис. 5.14. Промываемая песколовка с донным дренажным устройством

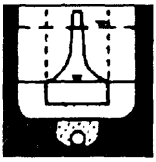


Рис. 5.15. Подпорный металлический лист в конце промываемой песколовки

Длина песколовки должна быть такой, чтобы песок мог накапливаться в камере в течение нескольких суток. Чем длиннее песколовки, тем они надежнее. Промываемую песколовку следует рассчитывать по площади поперечного сечения и по длине.

Даже при меняющихся расходах воды скорость протекания должна оставаться неизменной, особенно во время дождя, так как именно тогда поступает основная часть песка. Если расход воды почти не изменяется, обходятся одним каналом, поскольку с нарастанием проточного расхода поднимается уровень воды, и площадь попереч-

ного сечения увеличивается. Стенки должны быть наклонными, а поперечное сечение расширяться кверху. Чтобы уменьшить наклон боковых стенок в нижней части, в сборнике устраивают подвижную подпорную перегородку (Amberger, O., GI 1942, 123). Тот же эффект дает установленный на выходе камеры подпорный металлический лист с вырезом соответствующей формы по рис. 5.15. Его устройство обеспечивает повышение уровня воды в песколовке пропорционально поступающему ее количеству, и скорость течения всегда остается постоянной. Расчет см. Kropf, A., Beitrag zum Sandfangproblem, Leomann & Co., Zürich 1946. При таких схемах имеется вторая камера, которая включается в работу, когда первая отключается на чистку. Уже реализованы и схемы с несколькими расположенными рядом камерами, которые последовательно автоматически включаются и выключаются в зависимости от притока воды.

Чтобы камеры мелкой песколовки можно было эксплуатировать непрерывно, в донной части устанавливают ленточные механизмы как на рис. 5.23 или 5.25 (Camp, T. R., Sew. W. J. 1942, 368). Песок можно убирать под водой с помощью грейферов, отсасывающих насосов или сжатого воздуха. В горизонтальном дне не должны устраиваться бункеры, так как в них осаждаются органические примеси и песок загрязняется. Расчетное количество песка составляет от 2 до 5 л/чел. в год [x)]. Меньшее значение относится к плотной застройке, большее — к неплотной.

Регулирования площади поперечного сечения песколовки в зависимости от расхода воды можно избежать, если она настолько велика, что скорость течения даже при максимальном притоке будет не более 0,3 м/с. Тогда действительная скорость почти всегда меньше, и оседает смесь илистых веществ и песка. В этом в песколовку постоянно нагнетают сжатый воздух, что не дает залеживаться илистым веществам (Kappe, S. E., et al., Sew. a. I. W. 1951, 823, Poepel, F., u. Hartmann, H., GWF 1958, H. 22, Cooper, Th. W., JWPCF 1964, 401). В некоторых случаях рядом с аэрируемой песколовкой устана-

вливают сборную емкость для плавающих веществ (Hartmann, H., GWF 1966, 559). Незадолго до уборки песок можно продувать сжатым воздухом и очищать или же всю смесь ила и песка очищать в специальной пескомойке. В случае *удлиненной песколовки* нужно проверять, достаточна ли ее площадь поверхности, чтобы задерживать песок с зернами определенной крупности. Как правило, размер зерен улавливаемого песка принимается равным 0,2 мм. Поскольку в песколовке предельная скорость превышается и турбулентный поток снова поднимает даже осевшие частицы, для расчета необходимой площади поверхности нужно подставлять меньшие скорости оседания, чем по таблице на стр. 162.

Так, Кальбскопф экспериментально установил, что при расчете площади поверхности скорость оседания следует принимать для частиц размером около 0,1 мм, чтобы полностью задерживался кварцевый песок с размером зерен 0,2 мм. По его данным различные по размеру частицы песка задерживаются в зависимости от расчетной скорости оседания в следующих процентных количествах (Veroeff. des Inst. für Siedl. TH Hannover 1966, Heft 24, und Kommunalwirtschaft 1966, 415):

Диаметр	Степень осаждения		
	100 %	90 %	85 %
0,16 мм	12	16	20 м/ч
0,20 мм	17	28	36 м/ч
0,25 мм	27	45	58 м/ч

Пример 6. Песколовка для 50 000 жителей имеет длину 20 м и ширину 1,20 м. Расход сточных вод в дневные часы составляет 556 $м^3$/ч. До каких размеров задерживаются зерна песка? — Площадь поверхности составляет $20 \cdot 1{,}20 = 24$ $м^2$. Нагрузка на единицу площади, которая одновременно соответствует скорости оседания, составляет $556 : 24 = 23$ м/ч. Зерна песка размером 0,2 мм в основном задерживаются. В дождливую погоду расход сточных вод увеличи-

вается пятикратно. Подключается вторая камера. Нагрузка на единицу площади составляет (556 • 5) : (24 • 2) = 58 м/ч. Частицы размером 0,25 мм тогда удерживаются на 85 %.

Для определения размеров *песколовок с аэрацией*, согласно Лондонгу (KA 1988, 51) рекомендуется следующее: время пребывания при дожде 5 мин, отношение ширины к глубине (B/T) 0,8 , наклон дна не менее 30 °, площадь поперечного сечения 1 ... 7 $м^2$, глубина расположения аэраторов $T_E = 0,7 \cdot T$, скорость течения 0,10 м/с, длина песколовки ≥ 20 м, расход воздуха в виде больших пузырьков в $м^3/(м^3 \cdot ч)$ $(0,07 + 0,76 \cdot \ln T_E)^{-1,33}$.

Пример 7. Песколовка с аэрацией для $Q_{tr} = 250$ л/с и $Q_r = 500$ л/с. Выбирают: 1 камера шириной 2,40 м, глубиной 3 м, длина 28 м, расположенное с одной стороны устройство аэрации крупными пузырьками, глубина расположения аэраторов 2,10 м. Площадь сечения проточной части с наклоном дна 30 ° и сборным желобом для песка 5,5 $м^2$. Средняя скорость течения 0,5 $м^3/с$: 5,5 $м^2$ = 0,09 м/с < 0,10 м/с. Время пребывания при дожде (5,5 $м^2$ • 28 м) : 0,5 $м^3/с$ = = 308 с > 5 мин. Расход воздуха $(0,07 + 0,76 \ln 2,10)^{-1,33}$ = = 1,8 $м^3/(м^3 \cdot ч)$. Соответствует 1,8 • 5,5 • 28 = 277 $м^3/ч$. Выбирают: 2 вентилятора по 200 $м^3/ч$. Один из них регулируемый. Песок ежедневно откачивается передвижной очистительной машиной из сборного желоба под водой.

Преимущество *вертикальной песколовки* с вертикальным протеканием воды (Lohff, GI 1939, 283) состоит в том, что песок из нее можно удалять сжатым воздухом. Однако вертикальное протекание воды не согласуется (как и при проектировании отстойников с большой глубиной) с процессом отстаивания зернистых веществ. Поэтому в глубоких песколовках из-за слишком малой площади поверхности обычно задерживается только самый крупный песок. Усовершенствованием является *песколовка Гайгера* с неглубокой воронкой, имеющей большую площадь поверхности, и круговым промывающим движением воды (D. Was. wirtsch. 1942,332). Круговое промываю-

щее движение может достигаться и с помощью мешалки. В обеих конструкциях песок перед удалением в течение короткого времени промывается с подачей сжатого воздуха.

На некоторых очистных установках от песколовки отказываются. Песок осаждается в первичном отстойнике, а затем в циклоне отделяется от осадка (Vrijburg, R., GWF 1964, 1343).

5.4.3. Хлопьевидные взвешенные вещества и время протекания

Все предшествующие соображения о процессе осаждения касались только зернистых веществ, которые оседают независимо друг от друга с постоянной скоростью. В случае органически загрязненных сточных вод применение этих простых правил ограничено, так как их взвешенные вещества скорее хлопьевидные, чем зернистые. В отстойниках для химического осаждения и во вторичных отстойниках установок очистки активным илом взвешенные вещества явно хлопьевидные. При отстаивании они ведут себя совершенно иначе, чем зернистые. Глубина резервуара здесь имеет значение, так как хлопья при оседании слипаются, их объем увеличивается, и они опускаются тем быстрее, чем ниже опускаются. "Скорость оседания" вообще нельзя измерить или вычислить по отстойной склянке, так как она непрерывно меняется. Теперь уже недостаточно знать площадь поверхности и нагрузку на единицу площади. Нужно учитывать площадь поверхности и глубину, т.е. объем по отношению к протекающему количеству сточной воды, а это не что иное, как *время протекания* (Imhoff, Die Berechnung der Absetzbecken, GI 1925, H. 25, Imhoff-Fair, The Arithmetic of Sewage Treatment Works, John Wiley, New York 1929, Fitch, E. B., Sew. a. I. W. 1957, 1123).

В случае хлопьевидных веществ *направленное* вертикально *вверх движение воды* (рис. 5.18 и 5.22) также имеет значение, так как сточная вода движется через опускающийся фильтр из хлопьев, в котором задерживаются многочисленные мельчайшие хлопья, которые сами по себе не осели бы. При этом проток воды может быть

даже внутри уже осевшего ила. Таким образом вода при восходящем движении фильтруется через собственный осадок (Prager, F. D., Water a. Sew. Wks. 1950, 144). Важно, чтобы взвешенный фильтр из хлопьев держался компактно и не разрывался. С этой целью может быть полезно прерывистое поступление воды (Bettaque, R., Vom Wasser, Bd. 27, 1960, 60).

Для явно выраженных хлпьевидных взвешенных веществ, например, ила из аэрационных установок или после химического осаждения, скорость восхождения воды берется 0,5 ... 3 м/ч в зависимости от размера хлопьев. В Америке вместо резервуаров (см. рис. 5.18 или 5.22) большей частью предпочитают круглые резервуары с центральным подводом воды по рис. 5.21. Однако для них берут большую глубину (например, 5 м) и меньший диаметр выпуска помещают глубоко, так что движение воды *все-таки* частично направлено вверх (Camp, T. R., Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 1945, 445, Trans. Am. Soc. Civ. Eng. 1946, 895, Poepel, F., Weidner, I., Uber einige Einflüsse auf die Klaerwirkung in Absetzbecken, GWF 1963, 796).

При высоком содержании хлопьевидных веществ в очищаемой воде, как во вторичных отстойниках установок очистки активным илом, процесс отстаивания может полностью нарушаться из-за *взвешивающих течений* (течений плотности). Об этом для круглых резервуаров сообщает Андерсон (Anderson, Sew. W. J., 1945, 50) и для прямоугольных – Коулд (Could, Sew. W. J., 1945, 70; 1945, 63; Civ. Eng. 1943, 279, Engl. N. R. 1. Sept. 1949). Поступающая с высоким содержанием ила вода плотнее и тяжелее, чем вода в объеме резервуара. Она быстро опускается на дно и распространяется там, увлекая за собой отстоявшуюся воду.

Такие взвешивающие течения возникают и тогда, когда изменяется объемный вес воды, например, вследствие изменения температуры или содержания солей. Вода больше не движется равномерно через резервуар, возникают вихри и циркуляции, несмотря на качественное выполнение отверстия для впуска сточных вод. Взвешивающие

течения предотвращаются, если резервуары выполняются неглубокими и длинными. Шмидт–Брегас рекомендует отношение глубины резервуара к его длине больше 1 : 20 (Veroeff. des Inst. für Siedlungswasser–wirtschaft TH Hannover 1958).

В глубоких резервуарах помехи пытаются предотвратить путем конструктивных решений. Так, Коулд в отстойнике (см. рис. 5.23 или 5.25) пускает скребковый транспортер хавстречу потоку воды и устанавливает грязесборник в начале резервуара, так как все же нельзя предотвратить движение тяжелой, цодержащей ил воды по этому пути по дну.

5.4.4. Отстойник [1)]

Городские отстойники работают со взвешенными веществами, которые являются частично зернистыми, частично хлопьевидными. Их можно рассчитать либо

1) по необходимому времени протекания (например, 2 часа) как для хлопьевидного ила. Тогда при том же времени протекания благоприятное влияние оказывает длина, либо

2) по допустимой нагрузке на единицу площади (например, 1 м/ч = $1 м^3/(м^2 \cdot ч)$) как для зернистого ила. Следует иметь в виду, что при равной площади глубокие резервуары имеют большую производительность.

Обычным является расчет по *времени протекания*. Под временем протекания понимается расчетное среднее время протекания, определяемое по формуле

$$\textit{время протекания}\ (ч) = \frac{\textit{емкость отстойника}\ (м^3)}{\textit{расход воды}\ (м^3/ч)}.$$

Действительное время протекания всегда короче. Оно определяется экспериментом с окрашиванием (Ambrose, H., Sew. a. I. W. 1957, 24) или радиоактивными элементами. В случае вторичных отстойников

[1)] Morgenthaler, P., VSA–Verbandsberichte Nr. 329 und 330, Zürich 1986

установок для очистки сточных вод активным илом имеются дополнительные сведения, которые изложены в разделе 5.7.8.

На рис. 5.16 Сирп на экспериментах в отстойных склянках показывает, как городская сточная вода изменяется в течение времени отстаивания, а именно, а) по взвешенным веществам, способным осаждаться через два часа, б) по всем взвешенным веществам, в) по $БПК_5$ и г) по расходу $KMnO_4$. Эти кривые служат примерным ориентиром в том, какой эффективности очистки можно ожидать в отстойнике на разных этапах отстаивания.

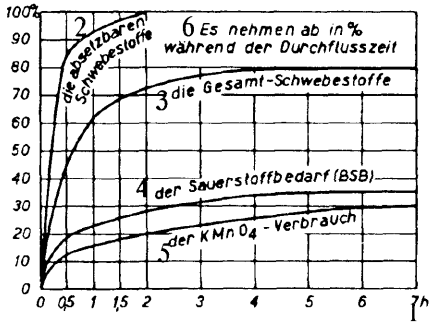


Рис. 5.16. Влияние продолжительности отстаивания на городские сточные воды по Сирпу
1 – часы; 2 – взвешенные вещества, способные осаждаться; 3 – все взвешенные вещества; 4 – потребление кислорода (БПК); 5 – расход $KMnO_4$; 6 – уменьшение в % за время отстаивания

Для расчета "наименьшей скорости оседания" (как при чисто зернистых взвешенных веществах) отстойную склянку надежно использовать нельзя, так как хлопья при опускании увеличивают свою скорость. Время отстаивания в склянке высотой 0,4 м нельзя перенести на "время протекания", например, в бассейне глубиной 2 м. Стеклянный сосуд для эксперимента в случае частично хлопьевидных взвешенных веществ нужно сделать точно такой же глубины,

как запроектированный отстойник. Тогда время отстаивания в стеклянном сосуде можно отождествить с временем протекания в резервуаре с горизонтальным течением и по нему рассчитать объем резервуара.

Дополнительное действие *восходящего* движения воды можно определить только при эксперименте в резервуаре. Ожидаемого результата достигают не при городских сточных водах, а при явно выраженном хлопьевидном иле установок для очистки активным илом или при химическом способе осаждения. Ван дер Зее при эксперименте в отстойной склянке высотой 1,2 м установил, что восходящее движение воды в случае городских сточных вод, в которых количество хлопьевидных веществ было увеличено за счет хлопьевидного ила из вторичных отстойников, ускорялось при условии, когда нагрузка на единицу площади (т.е. скорость движения воды вверх) не првышала 2,2 м/ч (Poepel, GI 1942, 413, und 1949, 241).

Приемлемое *среднее значение* времени протекания в отстойниках в случае городских сточных вод составляет 1,5 ч для глубин резервуаров около 2 м. Время 1,5 ч соответствует среднему расходу воды за 12 ч (рис. 5.1). Для среднего суточного расхода, который всегда учитывается в Северной Америке (см. раздел 5.15), время протекания составляет около 2 ч, так как средний суточный расход по рис. 5.1 соответственно меньше.

В тех случаях, когда можно считать, что во взвешенных веществах городских сточных вод преобладают не хлопьевидные, а зернистые вещества (т.е. можно считать, что расчет лучше строить по допустимой нагрузке на единицу поверхности, а не по времени протекания), соответствующие средние значения нагрузки для глубины резервуара 2 м составляют:

время протекания 1,5 ч = 2 м : 1,5 ч = 1,33 м/ч нагрузка на единицу поверхности;

время протекания 2 ч = 2 м : 2 ч = 1 м/ч нагрузка на единицу поверхности.

Размеры отстойников, определенные с помощью этих средних значений, т.е. со временем протекания около 1,5 ч или с нагрузкой на единицу поверхности 1,33 м/ч для среднего расхода воды за 12 ч, являются, как правило, экономически оправданными размерами. В большинстве случаев их не следует как занижать, так и завышать. Если резервуары выполняют слишком маленькими, большие концентрации взвешенных веществ остаются в осветленном стоке, и перегружается следующая биологическая ступень очистных сооружений. Если же размеры берут больше, то эффективность очистки существенно не изменяется, но при этом возникает опасность загнивания сточных вод; возрастают затраты на строительство.

Эти требования к выбору размеров отстойников соблюдаются в том случае, если речь идет о свежей бытовой сточной воде и если дождевая вода не поступает или обрабатывается в специальных дождевых резервуарах ливневой канализации.

Иногда отстойники по особым причинам строят намного *больше*, чем они должны быть по расчетам с учетом эффективности очистки. Это бывает в следующих случаях:

1) Если городской осадок вследствие воздействия отдельных промышленных примесей не поддается гниению. Тогда не имеет смысла для предотвращения гниения убирать осадок из резервуара через короткие промежутки времени, выгоднее оставлять его там долго вылеживаться, чтобы в нем уменьшилось содержание воды.

2) Если на промышленных предприятиях имеются залповые выбросы токсичных, кислых или вредных в другом отношении жидкостей. Тогда разные виды сточных вод выгодно смешивать днем за несколько часов и усреднять, чтобы сделать безвредными залповые выбросы. Чем больше время протекания в отстойниках, тем результат лучше.

3) Если в дождливую погоду в отстойниках нужно обрабатывать слишком большие количества воды общесплавной канализации, т.е. больше удвоенного стока при сухой погоде.

Если имеются эти три фактора, время протекания может увеличиваться. В Англии часто берут размеры резервуаров, которые соответствуют 6- или 12-часовому стоку в сухую погоду.

На *входе* каждого отстойника ставится *погружная стенка*, которая принимает гидравлический удар из подводящего лотка и распределяет приток по ширине резервуара. Эта стенка удерживает также плавающий мусор и масло. Чтобы гидравлический удар не передавался очень глубоко, в погружной стенке выполняют отверстия или щели, которые пропускают распределяемую воду. Подводимый поток воды можно направлять вверх (Clifford), вниз (Steuer) или в стороны (Geiger или Stengel) (Gilles, J. H. L., Sew. W. J. 1943, 609). Иногда полезна продувка входной зоны.

Равномерного распределения по нескольким прямоугольным резервуарам можно достичь с помощью поперечного подводящего лотка с малой скоростью течения. Чтобы не выпадал осадок, подводящий лоток нужно очищать или продувать.

Выпускное устройство – горизонтальный водослив, который распределяет отводимую воду по всей ширине резервуара. Перед водосливом находится плоская стенка, которая погружена в воду на 25 см и удерживает плавающий мусор. Если водослив относительно расхода очень длинный, как в круглых резервуарах, где сток осуществляется по наружному ободу (рис. 5.21), бывает трудно добиться равномерной работы *гребня водослива*. Тогда на нем делают вырезы с расстоянием между ними около 0,3 м, которые позволяют воде выходить отдельными струями. Тогда равномерность оттока меньше нарушается небольшими колебаниями уровня свободной поверхности жидкости, которые в больших резервуарах вызываются ветром. Гребень водослива не должен быть слишком коротким. В случае мелких, хлопьевидных взвешенных веществ на 1 м длины гребня, как показывает американский опыт, должен приходиться проточный расход 8 ... 10 $м^3$/ч. В крупных резервуарах этот показатель большей частью можно выдержать лишь в том случае, если устанавливают

более одного отводного лотка. С помощью водослива уровень воды в резервуаре всегда поддерживают на одной высоте. Это рекомендуется для двухъярусных отстойников (см. рис. 5.63), где при колебании уровня возникали бы потоки в прорезях, ведущих в камеру сбраживания. В случае иловых скребков премущество постоянного уровня воды состоит в том, что может надежно работать устройство для сбора плавающего мусора.

Если верхняя часть резервуара должна функционировать и как регулирующий резервуар, делают два водослива на разных высотах или прорези (Liebhold, D., Wass. wirtsch. 1941, 562, Kunze, W., GI 1941, 658, Kunze, W., et al., GI 1942, 374, Wiegmann et al., Wasserwirtsch. 1951/52, 61), или плавающие лотки с упорами в двух конечных положениях. Уровень воды может колебаться, например, между высотами водосливов для притока в сухую погоду и в дождь. Главное в случае загнивающего осадка состоит в том, чтобы он не оставался в резервуаре до тех пор, пока из-за выделяющихся в процессе брожения газов он снова всплывет и попадет в сток. В зависимости от способа удаления осадка резервуары подразделяются на следующие виды.

5.4.5. Виды резервуаров

1. *Горизонтальный отстойник* с удалением осадка (рис. 5.17). В этой давно используемой конструкции осадок оставляли лежать под водой, пока он не начинал подниматься вследствие газообразования. Через 4 ... 14 суток весь отстойник опорожнялся и очищался. Очистку площади дна осуществляли рабочие с помощью промывной воды и резиновых скребков. При расчете проточных резервуаров осадочную часть из рабочего объема следовало исключать. Кроме того следовало предусматривать один резервный резервуар.

2. *Конусный отстойник* (дортмундский отстойник по Книбюлеру). Дно выполнено в виде воронки, из нижней части которой осадок выпускается ежедневно. Весь объем резервуара, за исключением

камеры для осадка, можно считать полезно используемым. Конусные резервуары обычно эксплуатируются с восходящим движением воды (рис. 5.18) и нагрузка на единицу площади равна 1 ... 3 м/ч.

3. *Резервуар с иловыми скребками.* Скребки передвигают вдоль дна щитки, расположенные таким образом, что ил перемещается под водой. Щитки установлены на поворотных кронштейнах (рис. 5.20, 5.21, 5.22), на бесконечной ленте (рис. 5.23 и 5.25) или на скребковой тележке (рис. 5.24). Скорость механизма составляет под водой 10 ... 60 мм/с. Она тем меньше, чем легче осадок. В случае вращающихся иловых скребков сточная вода может течь либо поперек резервуара, либо от центра к периферии (рис. 5.20 и 5.21). На рис 5.22 показан еще один резервуар с восходящим движением воды, т.е. аналогичный Конусному отстойнику (рис. 5.18). Строятся также небольшие круглые резервуары, в которые сточная вода поступает по окружности резервуара и уходит через центральный водослив (Katz, W. J., und Geinopolos, A., 1. Internationale Abwasserkonferenz, Lindon 1962, Pergamon Press). Часто резервуары имеют на дне сборник для суточного количества ила, как на рис. 5.26 . Вследствие этого ил содержит меньше воды. Таким образом сборники действуют как сгустители. Переливающаяся сточная вода отводится через канализационный затвор.

Скребковые тележки по Мидеру (рис. 5.24), которые включаются с большими интервалами, пригодны только для осадка, который не взмучивается. Для легкого ила, особенно во вторичных отстойниках, следует использовать скребки непрерывного действия, в том числе и в первичных отстойниках, если они должны принимать избыток активного ила.

При расчете резервуаров из их объема нужно вычитать ту часть, которая занята слоем ила, и зону движения скребкового механизма, где процесс отстаивания нарушен. Помехи в зонах впуска и выпуска часто учитываются посредством того, что из длины резервуара вычитают две глубины резервуара.

Согласно исследованиям Грохе Д. (Stuttgarter Ber. Bd. 13, 1964) для отстойных камер емкостью менее 1000 м^3 предпочтительны прямоугольные или конусные резервуары. В случае емкости 1000 ... 2000 м^3 круглые и прямоугольные резервуары равноценны. Путь протекания должен как минимум в 8 раз превышать среднюю глубину потока. В крупных установках применяются резервуары обоих типов. Круглые резервуары обладают преимуществами в отношении подвода и отвода сточных вод и удаления осадка. Недостатком является довольно большая занимаемая площадь.

4. *Резервуар с подвижными трубами* для пропуска ила или с погружными насосами. Описанные в п. 3 очистительные машины могут быть выполнены таким образом, что вместо щитков или помимо щитков на них закреплены трубы для отвода осадка или погружные насосы, при этом всасывающие отверстия должны быть расположены вдоль дна резервуара.

5. *Двухъярусные отстойники.* Под собственно отстойной камерой расположена иловая камера. Осадок самопроизвольно и постоянно сползает из верхней камеры в нижнюю. Однако верхняя часть нижней камеры устроена таким образом, что восходящие газовые пузырьки и иловые частицы не могут снова попасть в отстойную камеру. Такая конструкция является самой простой и надежной для отделения поддающегося гниению осадка, так как осадок никогда не накапливается в собственно отстойной камере и механизмы для его удаления не нужны. Полезным считается весь объем отстойной камеры. Если иловая камера нижнего яруса мала (рис. 5.26), т.е. рассчитана всего на несколько суток, то такие двухъярусные отстойники эквивалентны резервуарам, снабженным скребками. На рис. 5.27 показан тот же резервуар с восходящим движением воды.

Как правило, иловая камера рассчитана на 2 ... 3 месяца, т.е. выполнена как камера сбраживания. Такие *двухъярусные отстойники и перегниватели* называют *эмшер-колодцами* (эмшер-бассейнами, резервуарами Имхоффа, рис. 5.63), если течение сточных вод в ило-

вой камере сбраживания по возможности исключается. Их называют *отстойниками Трависа*, если значительная часть сточных вод (например, 1/5) протекает через камеру сбраживания. Отстойники Трависа с таким режимом работы больше не строятся, так как вытесненная из камеры сбраживания загнившая вода ухудшает сток.

6. *Бассейны инфильтрации.* Они строятся совсем мелкими как иловые площадки (см. раздел 5.9.12). Каждый резервуар попеременно используется в качестве отстойника для сточных вод, а затем – как бассейн инфильтрации для отложившегося ила. Описание дается в разделе 5.14, пример расчета – в разделе 5.16.

7. *Шламонакопители* представляют собой отстойники простейшего типа, в которых ил может оставаться долгое время. Описание дается в разделе 5.10.1.

8. *Биологические очистные пруды и водохранилища* действуют не только как естественные биологические очистные сооружения (раздел 5.7.10). Если в них подаются неочищенные сточные воды, они выступают как совершенные отстойники больших размеров.

Во всех сооружениях для отстаивания нужно обращать внимание на плавающие загрязняющие вещества, собирающиеся на поверхности воды. Это может быть причиной появления запаха (см. раздел 4.8.1). Количество плавающих веществ окажется большим, если на решетке установить дробильные устройства (см. раздел 5.2). Оно будет незначительным, если предварительно установить жироловку (см. раздел 5.3). Во всех случаях отстойники должны иметь сгребающие устройства для плавающих загрязнений. Они могут легко соединяться с осадочной частью (см. рис. 5.20 ... 5.24).

В конусных отстойниках можно установить специальные затворы для спуска плавающего мусора, как показано, например, на рис. 5.27.

Плавающие загрязнения в отстойниках отличаются от таковых в метантенках. Таким образом увеличивается количество газа. Минеральные масла сжигаются.



Рис. 5.17

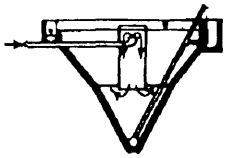


Рис. 5.18

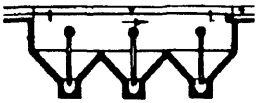


Рис. 5.19

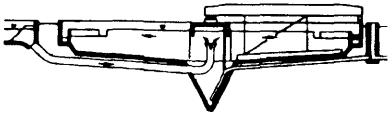


Рис. 5.20

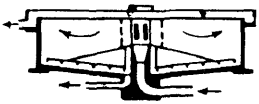


Рис. 5.21

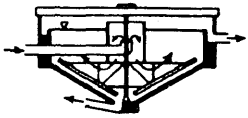


Рис. 5.22

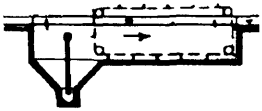


Рис. 5.23

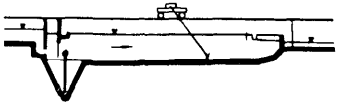


Рис. 5.24

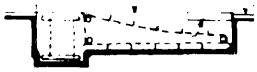


Рис. 5.25

Рис. 5.17 ... 5.25. Одноярусные конструкции отстойников

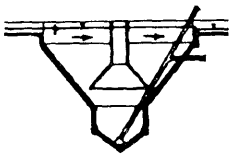


Рис. 5.26. Двухъярусный отстойник с горизонтальным движением воды

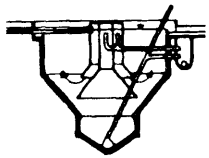


Рис. 5.27. Двухъярусный отстойник с вертикальным движением воды и выпускными трубами для плавающего ила

Плавающие загрязнения в отстойниках отличаются от таковых в метантенках (см. раздел 5.9.8).

Техническая *эффективность* отстойников зависит от способности взвешенных веществ осаждаться. Если под способными осаждаться веществами понимать вещества, которые за 2 часа оседают в отстойной склянке высотой 0,4 м, то обычные отстойники за 1,5 часа задерживают 80 ... 95 % способных осаждаться веществ. Как это соотносится со взвешенными веществами, зависит только от сточных вод. За одно и то же время эффективность тем больше, чем свежее вода и выше содержание взвешенных веществ в ней. Для средней сточной воды (по данным Германии) на стр. 132 указано, что из 325 мг/л всех взвешенных веществ способны осаждаться 250 мг/л, что составляет 77 %. Если судить по показателю БПК, который для неочищенной сточной воды составляет 300 мг/л, то на долю способных осаждаться веществ приходится 100 мг/л, т.е. 33 %. Однако при очень разбавленной сточной воде эффективность отстойников существенно меньше. Она может понижаться до 40 % по всем взвешенным веществам и до 25 % по потреблению кислорода. О влиянии времени осаждения см. рис. 5.16.

5.4.6. Коагулирование

Эффективность всех типов конструкций отстойников можно увеличить за счет *коагуляции* (флокуляции) взвешенных веществ

(Fischer et al., Sewage W. J. 1940, 280, Poepel, GI 1942, 320, Müller–Neuhaus, GI 1952, 132, 194). При применении химического способа этого добиваются тем, что смешанную с коагулянтом сточную воду сначала медленно перемешивают в камере хлопьеобразования, чтобы могли образоваться крупные хлопья, и лишь затем подают в отстойник. Однако камеры хлопьеобразования в качестве предварительной ступени отстойников могут использоваться и без химических коагулянтов, если в городах имеются промышленные сточные воды, склонные к хлопьеобразованию.

На пути от камеры хлопьеобразования к отстойнику хлопья не должны дробиться. Скорость воды нигде не должна превышать 0,3 ... 0,4 м/с. Песок при слабом вихревом движении не захватывается. Поэтому песок в камеры хлопьеобразования не должен поступать или его необходимо периодически убирать.

Образованию хлопьев способствует также всякого рода аэрация, которая иногда производится в области ввода. Коагулирование можно усилить путем возврата части уже осевшего ила и добавки в поступающую воду.

5.5. Химический способ осаждения [1)]

Коагулянты связывают неспособные осаждаться взвешенные вещества и часть коллоидов в виде хлопьев и, таким образом, способствуют их осаждению. Лучшими коагулянтами для сточных вод являются *сульфат железа* и *хлорид железа* в трехвалентной форме.

Сульфат железа (III) можно приобрести готовым. Дешевле может оказаться приобретение сульфата железа (II) и получение из него путем хлорирования сульфата железа (III). Хлорид железа (III) лучше всего приобрести готовым или жидким в цистернах с содер–

[1)] Hahn, H. H., Wassertechnologie – Faellung, Flockung, Separation, Springer–Verlag, Berlin 1987; Hahn, H. H., et al., Pretreatment in Chemical Wastewater Treatment, Springer–Verlag, Berlin 1988

жанием 52 %, или кристаллическим с содержанием 60 % или безводным с содержанием основного вещества 98 % (Künzel–Mehner, Die chem. Techn. 1942, 129). Раствор хлорида железа (II) – превосходное средство для связывания сероводорода в гниющих сточных водах (см. раздел 5.6). На 1 кг сероводорода нужно 3,2 кг чистого хлорида железа. Хлорид железа (III) также можно получить из хлорида железа (II) путем его хлорирования. Расход коагулянта в Северной Америке для слабоконцентрированных сточных вод составляет как минимум 35 г/м^3 хлорида железа (III) или 53 г/м^3 сульфата железа (II) и 8 г/м^3 хлора. В случае концентрированных сточных вод расход наполовину выше. В Галле обходились хлоридом железа (III) в количестве 20 г/м^3 (W. Müller, GI 1939, 659).

Устройства для подачи коагулянта дозируют либо сухие соли (рис. 5.28), либо же регулируют подачу воды для их растворения или дозируют готовый раствор. Безводный хлорид железа используют, например, как 10 % раствор в воде. Количество добавляемых реагентов должно согласовываться с количеством и свойствами воды, чтобы процесс коагуляции протекал нормально.

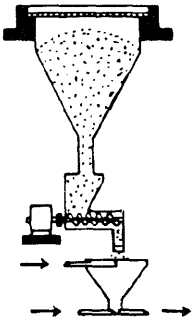


Рис. 5.28. Устройство для подачи коагулянта

В зависимости от условий коагуляция требует определенного значения водородного показателя, который иногда поддерживается путем легкого подкисления, а в большинстве случаев путем небольшой до-

бавки извести. Поскольку водородный показатель в сточной воде часто меняется, его нужно постоянно определять и автоматически корректировать путем соответствующей добавки химикатов. В этом отношении хорошо себя зарекомендовали автоматические pH-метры. Коагулянт быстро смешивается со сточной водой. Затем воду подвергают легкому вихревому перемешиванию в течениеа 10 ... 20 мин, чтобы образовались по возможности большие хлопья. Для перемешивания смеси служат мешалки или нагнетаемый сжатый воздух. Вода с образовавшимися хлопьями подается затем в отстойник со временем протекания 1 ... 4 часа. Образулщиеся при добавлении химикатов мелкие частицы являются явно выраженной хлопьевидной взвесью. Для нее особенно подходят конусные отстойники или круглые резервуары с центральным подводом воды и постоянно движущимися скребками. Для усиления хлопьеобразования по способу Шмидта–Дегенера можно добавлять в воду суспензию бурого угля. В Америке использовали также бумажную массу. Эти вещества облегчают искусственную сушку и сжигание осадка. Коагулянт всегда существенно увеличивает количество осадка, так как осаждается больше загрязняющих веществ, добавляются продукты реакции обмена коагулянта и, прежде всего, намного увеличивается содержание воды в осадке. Количество осадка, которое было бы получено при безреагентном отстаивании, возрастает в два раза.

Большие количества осадка сегодня уже не проблема, так как осадок сбраживается в обогреваемых метантенках и затем сгущается. Однако метантенки должны быть увеличены на 75 % по сравнению с простым отстаиванием (см. раздел 5.9.9) (Hahn, H. H., Schriftenreihe ISWW, Karlsruhe, Bd. 32, 1983, und Bd. 50, 1986). В Галле обнаружили, что осажденный солью железа осадок быстрее перегнивает и образует больше газа, так как в нем содержится больше мелких органических веществ (Wilh. Müller, GI 1940, 405).

Обработанный химическими коагулянтами осадок наиболее приемлем для обезвоживания в аппаратах.

По эффективности химические способы осаждения занимают промежуточное место между способами отстаивания и способами полной биологической очистки. В сочетании с обработкой суспензией бурого угля или на песчаных фильтрах и последующим хлорированием можно получить неподдающиеся загниванию стоки и приблизиться к эффективности биологической установки. Очень эффективно, особенно в случае промышленных сточных вод, сочетание обработки солями железа с очисткой сточных вод активным илом (Phelps, E. B. et al., Sew. W. J. 1942, 104, Jung, H., GI 1948, 305, Bendel, H. L., GI 1951, 231).

Химические способы осаждения используются в промышленных городах, если эффективность биологических способов снижается из-за их чувствительности к токсичным веществам. Растворенные гидроксиды железа и токсичных цветных металлов можно выделить в хлопья и осадить из сточной воды посредством подходящего подбора водородного показателя. Для этого необходимо обеспечить следующие значения водородного показателя:

Металл	Железо (III)	Хром (III)	Медь	Цинк	Никель
pH	4	6	7,5	8,8	8,9

При значительных органических примесях образуются коллоиды с защитными свойствами, так что коагулируется 50 ... 70 % металлов. Способы осаждения могут также применяться с целью разгрузки последующей биологической ступени до тех пор, пока не станет возможно ее расширение (Ber. Inst. f. Bauwesen, TU München Nr. 13, 1976, und Nr. 22, 1978).

При круглогодичной эксплуатации химическое осаждение так же дорого, как биологическая очистка, хотя его действие значительно хуже. Расходы будут ниже, если большую часть года обходиться отстойниками, а дорогие коагулянты добавлять только в летние месяцы, т.е. при "временной эксплуатации". С помощью химичес-

ких коагулянтов без больших затрат на строительство можно также существенно повысить эффективность имеющихся установок для отстаивания, и промышленные сточные воды можно сделать пригодными для последующей биологической обработки. Эти способы пригодны также для очистки иловой воды из метантенков, для удаления фосфатов и для доочистки сточных вод.

5.6. Хлор

Нет другого более подходящего средства, которое использовалось бы с успехом в очистке сточных вод, как хлор. С его помощью можно обеззараживать неочищенную или очищенную сточную воду, улучшать осветляющее действие, бороться с запахом сточных вод и осадка (см. раздел 4.8.1), уничтожать грибки, ил и личинки комаров в капельных биофильтрах, сгущать активный ил и защищать речную воду, места купания и водопроводные насосные станции от заражения (Grune, W. N., Water a. Sew. W. 1955, 350). Действие хлора основано главным образом на окислении и уничтожении форм растительной и животной жизни. Его получают в жидком виде в стальных баллонах и цистернах или в виде хлорной извести, или же как хлорноватистую кислоту. Необходимые дозы добавок для обеззараживания сточных вод составляют 10 ... 30 г/м^3, для связывания запаха – 4 г/м^3 (ср. хлорирование, раздел 4.8.1), для обеззараживания биологически очищенной сточной воды – 2 г/м^3, речной воды – 1 г/м^3 и в случае чистой воды – 0,1 ... 0,5 г/м^3. Обеззараживание считается гарантированным, если через 15 мин имеется небольшой избыток хлора. Для разрушения грибкового слоя на капельных биофильтрах берут до 50 г/м^3, но только на короткое время.

Если биологическая очистка из-за токсичности промышленных сточных вод невозможна, то применяют хлорирование в сочетании с отстаиванием. Это особенно выгодно, если обычно достаточно только отстаивания, а хлор добавляют только в определенные периоды времени. В случае необходимости аппаратуру можно устано-

вить на очистной станции за несколько дней. О расходе хлора см. стр. 148.

Если речь идет только о связывании сероводорода в сточных водах или в стоках метантенков (для защиты от запаха или против коррозии бетона), вместо хлора применяется хлорид железа (II), причем сера связывается с железом в виде сульфида железа. О расходе хлора в случае загнивших сточных вод см раздел 4.8.1.

Хлор повышает содержание в воде свободной угольной кислоты и, тем самым, ее активность по отношению к материалам. Этот недостаток исчезает, если применяется хлорноватистая кислота (Haase, GI 1942, 19).

С органическими веществами, входящими в состав сточных вод, хлор образует так называемые хлорные соединения, которые вызывают сомнения в гигиеническом отношении. Поэтому значение хлорирования в последнее время оценивается более сдержанно (Bauer, U., et al., Vom Wasser 1982, 297).

Как экологический способ обеззараживания возможно *ультрафиолетовое облучение* (Gelzhaeuser, P., KA 1989, 68, Schleypen, P., et al., KA 1989, 458). Дезинфекцию сточных вод после биологической очистки ср. Wolf, P., et al., KA 1987, 1329.

5.7. Биологические способы

Если механических способов (процеживание, отстаивание) очистки сточных вод недостаточно, то применяют микроорганизмы, благодаря которым происходит очистка в природе (самоочищение водотоков, см. главу 7). Тогда говорят о "биологических" способах очистки (Imhoff, Die Geschichte der biologischen Abwasserreinigung, GWF 1953, 343, und 1956, 757).

Особое место занимает метод очистки, который осуществляется без доступа воздуха анаэробными бактериями в септике (см. раздел 5.7.12). Все остальные биологические способы осуществляются в присутствии воздуха. При этом вследствие жизнедеятельности мик-

роорганизмов создаются хлопьевидные образования. Они образуют пленки на частицах грунта орошаемых земель, на загрузке капельных биофильтров или встроенных элементах конструкции, или свободно плавают в воде как при очистке сточных вод активным илом. Пленки и хлопья задерживают из сточной воды мельчайшие загрязняющие вещества, в том числе растворенные, затем они могут разлагаться микроорганизмами, особенно бактериями. Вода при этом должна содержать воздух. Израсходованный бактериями, растворенный в воде кислород должен постоянно восполняться. В малой степени это происходит в прудах благодаря зеленым водорослям под действием солнечного света (см. раздел 7.2). Однако решающим является поглощение кислорода из воздуха, а именно из прослойки между водой и воздухом. При искусственных способах эту прослойку делают максимально большой, нагнетая воздух в воду как при очистке сточных вод активным илом или пропуская воду через воздух как в капельных биофильтрах и полях орошения. В обоих случаях поглощение кислорода хлопьями и пленками поддерживается тем, что они увеличивают контактную прослойку и продлевают время контакта.

Один кубический метр воздуха при 0 °С, давлении 1 бар [x)] в сухом состоянии, т.е. без водяного пара, весит 1294 г. В том числе 209,4 л кислорода весом 300 г. В последующих расчетах для средних атмосферных условий принимается, что 1 $м^3$ свободного воздуха весит 1250 г, а содержащийся в нем кислород – 280 г.

В вентиляционные камеры очистных станций воздух всегда подается в избытке. В установках для очистки сточных вод активным илом содержание кислорода сжатого воздуха расходуется только на 5 ... 12 %, а в капельных биофильтрах при естественной вентиляции – 5 %, при искусственной вентиляции – еще меньше.

Сооружения биологической очистки по размеру должны быть такими, чтобы в аэротенках обеспечивалось функционирование необходимого количества активного ила. Их объем определяют, исходя из

допустимой удельной нагрузки сточных вод. Такую *удельную нагрузку* обычно вычисляли по количеству сточных вод. При этом необходимо знать, что следует принимать за среднее значение: максимальное количество суток, 12 часов или 24 часа (стр. 134). Менее определенным становится расчет из-за того, что расход и концентрация сточной воды часто отклоняются от средних чисел.

Необходимо производить расчеты не по количеству сточных вод, а непосредственно по количеству загрязняющих веществ. Показателем этого служит *потребление кислорода* сточной водой.

Если содержание органических веществ по БПК неизвестно или вызывает сомнение, расчет можно производить по *эквивалентному числу жителей* (Imhoff, Ein-faches Berechnen von biologischen Klaerwerken, GI 1943, 164, u. Sew. W. J. 1945, 409). При этом предполагается, что с предварительно очищенной в отстойнике сточной водой от одного жителя ежесуточно подается вода с содержанием органических веществ по потреблению кислорода $БПК_5$ = 40 г (стр. 133). Средние показатели количества жителей получают тогда из средних значений по БПК, разделив их на 40. Число $БПК_5$ = 40 г ежесуточно предполает, что подключены все жители с промывными санузлами. Количество жителей без подключенных санузлов следует принимать за одну треть (стр. 132). Промышленные сточные воды следует учесть через эквивалентные числа жителей (см. раздел 5.10.1). Средние показатели удельной нагрузки на биологические сооружения приведены в следующей таблице.

Из приведенных в таблице данных видно, что при очистке сточных вод активным илом в аэротенках нагрузки более высокие, чем в капельных биофильтрах. К тому же преимущество очистки сточных вод активным илом состоит в том, что камеры не нужно наполнять щебнем.

Под "*нитрификацией*" понимается микробиологическое окисление аммиака в нитрат. На рис. 5.4 этот процесс показан кривыми "второй

стадии минерализации" (стр 143). Термин "полная очистка" относится к глубокому окислению углеводородных соединений.

В конкретном случае нужно проверить, обосновано ли уменьшение или увеличение удельной нагрузки по сравнению со средними значениями. Удельную нагрузку увеличивают, если:

1) нужна особо высокая степень очистки;

2) сток должен иметь высокое содержание нитратов;

3) сточная вода имеет чрезвычайно низкую концентрацию (и потому время очистки в вычисленном только по количеству загрязняющих веществ объеме слишком сильно сокращено);

4) при дождливой погоде необходимо очищать большие дополнительные количества воды;

5) первичные отстойники отсутствуют или их недостаточно;

6) сточная вода особенно холодна;

7) пониженная производительность оправдана конструкцией или режимом эксплуатации;

8) речь идет о небольшой установке с ненадежным режимом работы.

Удельная нагрузка на биологические очистные сооружения

	Нагрузка по БПК на 1м^3 объема биофильтра или аэротенка, г/(м^3•сут)	Нагрузка по числу жителей на 1м^3 объема биофильтра или аэротенка, чел/м^3
Капельный биофильтр		
с нитрификацией (слабонагружаемый)	200	5
с предварительной очисткой (нормально нагружаемый)	400	10
Аэротенк		
с нитрификацией (слабонагружаемый)	500	12
с предварительной очисткой (нормально нагружаемый)	1000	25

В противоположных случаях допустимы большие удельные нагрузки, т.е. особенно при частичной очистке.

Указанный здесь выбор размеров биологических очистных сооружений по удельной нагрузке является решающим для инженера, который хочет спроектировать и построить установку.

Эффективность работы очистных сооружений определяется разностью между концентрацией загрязнений в поступающей и выходящей воде. Эффективность снижения концентрации загрязнений для разных способов очистки приведены в разделе 4.3. Основным критерием эффективности очистки является снижение потребления кислорода. Обычно оно составляет более 90 %, и такую степень очистки называют полной биологической очисткой. Часть этой эффективности, примерно треть, обычно приходится на первичные отстойники, в которых способные осаждаться взвешенные вещества сразу оседают и далее обрабатываются как ил.

Кроме того в большинстве биологических способов *образуется* поддающийся сбраживанию *ил*, который собирается в дополнительных бассейнах и обрабатывается особым образом. Такое отделение ила также входит в "*эффективность*" установки, хотя илистые вещества не разлагаются и вследствие этого кислород не расходуется.

Из выраженных с помощью БПК органических веществ, поступающих в биологическую часть очистной установки, действительно разлагаются, т.е. окисляются в диоксид углерода, нитраты и т. д. только около

45 % в установках очистки сточных вод активным илом,

55 % в высоконагружаемых капельных биофильтрах,

80 % в слабонагружаемых капельных биофильтрах,

почти 100 % на полях фильтрации.

Однако эти числа не являются оценками биологических способов. Ведь задача очистки сточных вод состоит не в том, чтобы разлагать загрязняющие вещества и в измененной форме отдавать в сток, а в том, чтобы извлекать их из воды и тем самым предотвращать ущерб; например, угольная кислота оказывается вредной, если вызывает коррозию материалов. *Нитраты* полезны как носители кислорода и разрушители сероводорода, когда они вместе с рециркулирующей водой из капельных биофильтров или из установок для очистки сточных вод активным илом поступают в неочищенную воду. При

малой концентрации они используются для поливки растений. Они выступают как переносчики кислорода, когда больше нет растворенного кислорода. Поэтому для предотвращения гибели рыб они не играют роли. Однако химически связанный кислород нитратов может использоваться для разложения донного осадка (Edwards, R. W., et al., Oxygen Consumption in River Muds, Journal of Ecology 1965, 1). В водотоках нитраты могут быть вредными, так как в качестве удобрения для растений они могут способствовать чрезмерному росту водорослей и снова вызывать процессы гниения.

В биологических установках стремятся повысить удаление азота. С этой целью как можно больше осадка отделяют в первичных отстойниках, и таким образом его не допускают в биологическую часть установки. В случае капельных фильтров предпочитают промываемые фильтры, так как они позволяют смывать образовавшийся в фильтре ил во вторичные отстойники, а не удерживать его в фильтре и не разлагать его там (см. раздел 5.7.5). При очистке сточных вод активным илом содержание ила в аэротенках поддерживают по возможности минимальным (Imhoff, Was bedeutet hoher Nitratgehalt im biologisch gereinigten Abfluss? u. Schlusswort, GI 1941, 14 u. 632. Dazu Husmann, 262, Herb, 344, Viehl, 369, Mahr, 500, L. Hartmann, Vom Wasser 1960, 107). О дальнейшем удалении азота см. раздел 5.8.1.

Наоборот, с определенной целью может быть необходимо высокое содержание нитратов в очищенном стоке, а именно если запах загнившей поступающей неочищенной воды должен быть устранен путем рециркуляции содержащей нитраты сточной воды (Fischer, A. T., Sew. W. J., 1947, 218). В этом случае, например, при очистке сточных вод активным илом, поддерживают высокое содержание ила в той части аэротенка, из которой должна отбираться рециркуляционная вода. Количество воздуха и время аэрации должны быть соответственно больше. Нитраты можно добавлять и искусственным путем. Это дешевле, чем получать необходимые нитраты в очистной станции биологическим путем (см. также раздел 5.7.11).

5.7.1. Земледельческие поля орошения

Поверхностный самотечный полив сточными водами на земельных площадях является самой естественной очисткой сточных вод и одновременно хорошей защитой водотока от загрязнений, находящихся в сточных водах. Почва особенно хорошо поглощает сточную воду в сухой летний период, т.е. именно тогда, когда водоток несет мало воды и загрязнение сточными водами наиболее обременительно. Желательно также вернуть в почву вещества, извлеченные в виде продуктов питания для людей. К сожалению, поверхностный самотечный полив сточными водами большей частью не удается осуществить из-за расходов, необходимых площадей или вредных веществ, содержащихся в сточных водах.

Начиная с 1933 года в Германиии в особых условиях снова поставили задачу использования сточных вод, представляющих сельскохозяйственную ценность. Применимы в сельском хозяйстве азот, фосфаты, калий, гумусовые вещества и прежде всего сам водный эквивалент.

Для *удобрений из сточных вод*, по опыту Рурского союза, действительны следующие значения в г/(чел•сут):

	Фосфор (P)	Азот (N)	Калий (K)	Органический углерод (TOC)
Неочищенная сточная вода	2,8	13	5,0	50
Биологически очищенная сточная вода	1,7	9	4,7	7,5
Перегнивший ил	1,1	2	0,3	8,5

Безотходно вещества можно использовать посредством "поверхностного самотечного полива", так как по сельскохозяйственным законам нужны большие площади, если содержащийся в сточной воде азот должен быть использован целенаправлено.

Проектирование оросительной установки – это прежде всего сельскохозяйственная задача. Она рассматривается в книгах Schroeder,

G., Landwirtschaftlicher Wasserbau, Springer–Verlag, Berlin 1958, Stein, Die landwirtschaftliche Verwertung staedtischer Abwaesser, Springer–Verlag, Berlin 1937, und Kreuz, Handbuch der landwirtschaftlichen Abwasserverwertung, Ebeling und Hiehold, Berlin 1938. Уровень техники описан в: Carl, A., Staedtereinigung 1939, 202, Carl et al., Bericht Tagung Glasgow Sept. 1938, Ztschr. f. oeff. Wirtsch., H. 1 u. 2, 1939, Carl, Wasserwirtsch. 1941, 425, Stein, C., GI 1948, 302, Viehl, K., GI 1950, 126, Kalweit, H., Wasserwirtsch. 1950/51, 33, 76, Rossberg, GI 1952, 295, Müller, W., GI 1952, 17, 1954, 187, u. Wasser u. Boden 1953, 5, Angerer, H., Wasser u. Boden 1957, 479, Schwarz, K., Wasserwirtsch.–W.t. 1959, 59, Newzella, B., Wasserwirtsch.–W.t. 1959, 291, Müller, W., GWF 1959, 1247, Schaerff, E., Westd. W.wirtsch. Verband 1959, 25, Kramer, D., Wasserwirtsch.–W.t. 1960, 152, Holler, K., et al., Wasserwirtsch.–W.t. 1960, 162, Hartig, H., Wasserwirtsch.–W.t. 1960, 166, Schwarz, K., Wasserwirtsch.–W.t. 1960, 486, Stein, C., Wasserwirtsch.–W.t. 1960, 492, Boll, R., et al., Wat. Sci. Tech. Vol. 19. No. 8, p. 51, 1987.

Поля могут выдерживать лишь ограниченный объем сточных вод, особенно если высота слоя дождевых осадков превышает 600 мм в год. Водоприемная способность увеличивается, если имеется больше сенокосно–пастбищных угодий, т.е. увеличивается поголовье скота. По Карлу (доклад в Глазго), на всю предназначенную для орошения территорию в среднем берут 150 мм сточных вод, это 1500 $м^3$/га в год = 4,1 $м^3$/га в сутки. При количестве городских сточных вод 150 л/(чел•сут) приходятся тогда 4,1 • 1000 : 150 = ок. 30 жителей на га.

В качестве *первичного отстойника* в инструкциях предписывается "отстойник с достаточной длительностью отстоя". При этом следует иметь в виду 1,5 ... 2 ч (стр. 172).

Для ила закладывают метантенки. Перегнивший, не имеющий запаха ил в твердой или жидкой форме доставляют на поля или впоследствии добавляют в перекачиваемую сточную воду. Обычно для

насосной станции рекомендуются бетонированные сборные бассейны, вмещающие примерно треть суточного количества, чтобы поступающую на 24 часа сточную воду можно было перекачать за дневные часы работы. Рекомендуется полезная емкость на 30 часов, если нужно накапливать воду и за воскресенье. Сборные бассейны существенно увеличивают стоимость установки (Schuster, Bautechnik 1938, 329). Они должны быть снабжены циркуляционными установками, чтобы ил не задерживался и сточная вода не загнивала.

Сельскохозяйственные предприятия области орошения образуют объединения (Toennesmann, Wasserverbandsverordnung München 1941). Объединение обязуется постоянно принимать городские сточные воды, чтобы город мог полностью или частично сэкономить средства на своих очистных сооружениях и выплатить дотацию утилизационному объединению.

В результате такого обязательства объединения на 1 ... 2 % площади, орошаемой сточными водами, должны быть сооружены *поля фильтрации* как области подпора (рис. 5.29) с целью принимать и очищать воду, если крестьяне ее не принимают. Поскольку вся площадь составляет 1 га на 30 жителей, нагрузка грунтовых фильтров составляет от 100 • 30 : 2 до 100 • 30 : 1, или 1500 ... 3000 чел/га. Размер площади соответствует полной биологической установке с полями фильтрации (см. раздел 5.7.3), и расходы на строительство и эксплуатацию такой области подпора соответственно велики.

Для территории пригодны даже тяжелые грунты, так как на единицу площади приходится очень мало воды. За пределами полей фильтрации дренирование не требуется.

Рис. 5.29. Полив затоплением 

На территории сточная вода используется для поверхностного самотечного полива или для дождевания.

При *поверхностном самотечном поливе* применяется полив по склону (рис. 5.30), а при плохом уклоне – полив напуском по бороздам (рис. 5.31). При этом нужно много канав. Они затрудняют полевые работы, связанные с посевом или посадкой. Кроме того имеют место большие потери воды. Тем не менее поверхностный самотечный полив при небольших установках лучше дождевания, и зимой он применяется на всех установках.



Рис. 5.30. Полив по склону

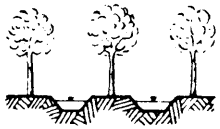


Рис. 5.31. Полив напуском по бороздам

Против переноса возбудителей заболеваний и *яиц глистов* на человека и животных инструкции предписывают, чтобы перед населенными пунктами, железнодорожными устройствами, огородами и садами закладывались защитные лесополосы. Кормовые угодья и пастбища за неделю до уборки урожая или пастьбы орошать нельзя. Столовый картофель после цветения удобрять нельзя. Для овощей сточную воду можно давать только как удобрение "в запас", т.е. только в периоды, когда на данных площадях нет растений. Подробнее об этом см. Hemmert–Halswick et al., GI 1940, Günter, GI 1942, 361, Viehl, K., GI 1950, 126, Meinck et al., Wass. u. Beden 1952, 12, Nowak et al., Ztschr. f. Hyg. 1954, 317 u. 594, GI 1955, 235, Janert, H., Wasserwirtsch.–W.tech. 1954, 231, Dedie, K., Tierseuchenerreger im Abwasser, Staedtehygiene 1955, 177, Harmsen, Staedtehygiene 1955, 253, Schmauder, G., Wasserwirtsch.–W.t. 1957, 93, Normblatt DIN

19650 von 1956, Liebmann, H., u. Boch, J., Tieraerztl. Wochenschr. 1956, 208.

Особое внимание следует обратить на опасность распространения *аскарид.* (Cram, E. B., Sew. W. J. 1943, 1119, Baumhoegger, W., GI 1948, 40, Reinhold, F., GI 1948, 85, und Mitt. d. Abw. tech. Verein. H. 1, 1950, 146, Schroeder, H., GI 1949, 410, Billib, H., Wasser u. Boden 1949, 26, Haury, M., Staedtehygiene 1958, 209, Greenberg, A. E., et al., Sew. a. I. W. 1958, 262). Оказалось, что яйца глистов оседают вместе с илом в отстойниках. Уже по этой причине совершенно необходимо сточную воду перед применением в сельском хозяйстве очищать в отстойниках и давать илу хорошо перегнивать. При продолжительности сбраживания сроком 3 месяца яйца глистов уничтожаются (Liebmann, H., Münchener Beitraege Bd. 13, 1966, S. 45).

Технически лучше и экономичнее, чем поверхностный самотечный полив, является дождевание. При этом в зависимости от временных потребностей растений воду можно делить на небольшие порции 10 ... 20 мм. Недостаток — наличие вапаха. Сточная вода из аккумулирующих резервуаров и длинных напорных труб поступает обычно загнившей. При разбрызгивании в воздухе газы, имеющие запах, улетучиваются с повышенной интенсивностью. Облегчается также перенос *возбудителей болезней* и яиц глистов, поскольку сточная вода поступает на растения сверху и возбудители болезней разносятся по воздуху с водяным туманом на большие расстояния (Harmsen, Staedtehygiene 1955, 146, Reploh, H., Archiv f. Hyg. u. Bakt. 1957, 632). Рекомендуется поэтому сточную воду для дождевания предварительно биологически очищать (Seifert, A., Wasserwirtsch. 1940, 161, u. Pallasch, ebenda, 307; Imhoff, Soll das Abwasser vor der landwirtschaftlichen Verwertung biologisch gereinigt werden? Techn. Gem. bl. 1943, 14 u. 215; Schaerff, E., Wasser u. Boden 1980, 22; Radünz, K. J., Wasser und Boden, 1987, 580). Вероятно, это соответствует и экономическим интересам сельского хозяйства, по крайней мере в случаях, когда город и без того обязан производить

биологическую очистку сточных вод. Утилизационное объединение тогда вообще не имеет обязательств в какой-либо момент очищать сточные воды. Оно принимает от города только биологически очищенную воду, причем в том количестве и в те моменты, когда это нужно крестьянам. В этом случае поля фильтрации и большая часть расходов на перекачку отпадает, и аккумулирующие резервуары для чистой воды строятся в виде прудов. От этого получается больше экономии, чем ожидаемая от города дотация за счет сэкономленных средств от очистной установки (Imhoff, D., Wasserwirtsch. 1940, 275). Уменьшение ценности сточной воды как удобрения составляет после биологической очистки по Паллашу лишь 20 %. При дождевании сточной водой Броувер тоже обнаружил повышение урожайности лишь на 20 % по сравнению с чистой водой (Ortleb, D., Wasserwirtsch. 1940, 390). Снижение ценности сточной воды как удобрения на 20 % компенсируется использованием удобрения за счет ила после биологической очистной установки (см. раздел 5.9.3). В Америке предъявляются чрезвычайные требования к предварительной очистке сточной воды при любом способе сельскохозяйственной утилизации. Дождевание сточной водой вообще неизвестно (Veatch, N. T., Sew. Works J. 1948, 3; Wilcox, L. V., Sew. Works J. 1948, 24, GI 1949, 105; Rudolfs, W., et al., Sew. a. Ind. W. 1951, 253, 478, 656, 739, 853, 992; Pettygrove, G. St., Irrigation with reclaimed municipal wastewater, Lewis Publishers, Chelsea 1985). В Советском Союзе дождевание неочищенной или только механически очищенной сточной водой тоже запрещено (Haselberger, F., Wasserwirtsch. u. W. t. 1957, 193, Gropp, H., Wasserwirtsch., W. t. 1962, 154).

Земледельческие поля орошения являются, в принципе, устройством для утилизации сточных вод (см. раздел 4.5). Их можно было бы считать полноценной установкой для очистки сточных вод, если бы крестьяне соблюдали обязательства на протяжении всего года принимать на своей территории или в областях подпора, предназначенных для снятия нагрузки, всю сточную воду. Как показывает опыт,

этого не происходит (Fritze, H., GI 1948, 169, Viehl, K., GI 1950, 126). При морозе и в определенные периоды полевых работ, связанных с посевом или посадкой и с уборкой урожая, перерывы неизбежны. Разгрузочные площади большей частью отсутствуют. Их вообще можно устраивать только на песчаных почвах, и тогда эксплуатировать их непросто. Земледельческие поля орошения не являются надежной установкой для очистки сточных вод. Если водоток нужно защищать на протяжение всего года, для своих сточных вод город должен иметь наготове достаточную для водотока очистную станцию. Еще лучше, если эта очистная станция эксплуатируется постоянно и для орошения подается только очищенная сточная вода.
Вследствие орошения большая часть сточных вод поглощается растениями или расходуется на испарение, и только незначительная часть через грунтовые воды поступает обратно в водоток. По Шредеру, при поверхностном самотечном поливе теряется 60 %, а при дождевании – 100 % (см. раздел 6.4).

5.7.2. Коммунальные поля орошения (высоконагружаемые)

В противоположность земледельческим полям орошения, которые ориентированы на утилизацию сточной воды, единственная цель *коммунальных полей орошения* — очищать сточные воды. Наряду с этим создаются значительные сельскохозяйственные ценности. Однако эксплуатация в сельском хозяйстве должна быть взаимосвязана с эксплуатацией очистных сооружений.
Городская администрация закладывает поля по возможности на проницаемых грунтах, при этом стараются обходиться минимальными площадями. Тогда грунт нужно использовать на большой глубине как механически и биологически действующий фильтр и с этой целью прокладывать дренажные трубы примерно на расстоянии 10 м и на глубине не менее 1 м. Дренаж отводит очищенную сточную воду и глубоко удерживает уровень грунтовых вод. Нагрузка может тогда достигать для пашни до 200 чел/га или 30 $м^3$/(га•сут), а для

сенокосно–пастбищного хозяйства при условии, что сточная вода предварительно очищена в отстойнике и грунт песчаный, — до 500 ... 1000 чел/га или 75 ... 150 м^3/(га•сут). (Берлинские коммунальные поля орошения в среднем имеют нагрузку 394 чел/га или 64 м^3/(га•сут), а максимально нагружаемые участки — 1956 чел/га или 204 м^3/(га•сут)). Такие нагрузки могут выдерживать поля орошения, однако необходимо, чтобы они, при этом, работали попеременно (рис. 5.29).

Сельскохозяйственная эксплуатация коммунальных полей орошения затрудняется в дождливую погоду, так как поля тогда не нуждаются в сточной воде и для слива должны очищать больше воды, чем обычно. Наилучшим решением (как и при земледельческих полях орошения, стр. 192,) является взаимосвязь коммунального поля орошения с очистной станцией, которая вступает в действие, когда коммунальные поля орошения в интересах сельского хозяйства нужно сохранить. Очистная станция должна состоять по крайней мере из хороших отстойников. К отстойникам по возможности принадлежат и дождевые резервуары (см. раздел 5.11). Если водоток нельзя нагружать даже временно, то соединенную с коммунальным полем орошения очистную станцию придется оборудовать по биологическому принципу.

Особенно простую разновидность коммунальных полей орошения представляют собой *орошаемые луга*, которые выполняются совершенно без дренажа и имеют открытые подводящие и отводящие канавы (Abernathy, A. R., et al., JWPCF 1985, 291; Smith, R. G., Wasser und Boden 1987, 16). Они могут принимать сточную воду от 500 ... 1500 чел/га. Это соответствует расходу в среднем городских сточных вод 75 ... 225 м^3/(га•сут).

Санитарные требования для коммунальных полей орошения те же, что и для земледельческих полей орошения (стр. 192).

За несколько десятилетий плодородие коммунальных полей орошения обычно снижается. В качестве причины Г. Роде установил, что

на орошаемых почвах Берлина и Парижа накопилось слишком много микроэлементов, а именно меди и цинка (Jour. The Inst. of Sew. Pur. Part 6, 1962, 581, Wasserwirtsch.-W.t. 1961, 542).

5.7.3. Поля фильтрации (грунтовые фильтры)

Техника грунтовых фильтров была разработана в Северной Америке более 75 лет назад и с тех пор больше не изменялась. Фильтры возникли в целях отказа от орошения на коммунальных полях, чтобы по возможности ограничить площадь (Imhoff, "Bodenfilter", GI 1941, 405).

Устройство полей фильтрации допустимо при наличии песчаных почв. Вода должна протекать через песок толчками, а затем песок должен достаточно долго сохраняться незагруженным для вентиляции. С этой целью площадь делят на как можно больше запруживаемых участков. Они должны быть не больше 0,4 га. Каждый запруживаемый участок выравнивается горизонтально. При этом обнажается песок, а из почвенно-растительного слоя строятся земляные насыпи. Подводящие трубы укладываются в земляные насыпи. Для распределения воды на запруживаемых участках служат открытые деревянные лотки (рис. 5.32). На глубине 1 м с расстоянием 10 м укладываются дренажные трубы. Их диаметр – 10 см, если расчет количества воды не дает больших размеров.

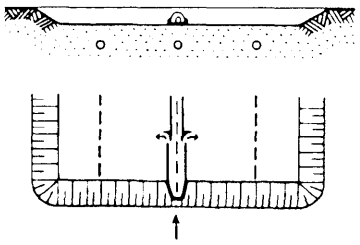


Рис. 5.32. Грунтовый фильтр

Для предварительной очистки требуются отстойники. За ними следует аккумулирующий резервуар, производительность которого соответствует расходу сточных вод, поступающих на запруживаемый участок, что создает условие для распределения воды по всей поверхности.

Об эффективности очистки сточных вод грунтами разработаны надежные методики. 100 г высушенного грунта поэтапно просеивалось до размера частиц 0,1 мм. Оставшиеся частицы путем отмучивания разделяются на фракции в результате отстоя, и затем составляется кривая просеивания для всех размеров частиц, причем по горизонтали – логарифмические размеры частиц в мм, а по вертикали – весовые проценты. На ней решающими являются две точки, обозначающие размер частиц, ниже которого находится 10 % и 60 % частиц (по весу).

Эффективный размер частиц – это верхний предел мельчайших 10 %. Только от него зависит проницаемость остальных 90 % частиц любых величин. Наиболее эффективно фильтрование проходит при размере частиц от 0,2 до 0,5 мм. Если эффективный размер менее 0,2, то тогда проходит слишком мало воды. Если он свыше 0,5, воду не удается распределять равномерно. Тогда приходится наносить более мелко дисперсный поверхностный слой.

Кроме того необходимо знать *степень однородности*. Это число получают, разделив размер частиц 60 % на размер частиц 10 %. Если, например, размер частиц для 60 % равен 2,1 мм, а для 10 % – 0,3 мм, то тогда степень однородности составляет 2,1 : 0,3 = 7. Часто встречаются числа 5 ... 10. Желательно значение меньше 5.

Пористость сухого песчаного грунта обычно 25 .. 40 %, а способность поглощать воздух для влажного грунта – 20 ... 25 %.

Проницаемость грунта для воды выражена как нагрузка на единицу площади:

Эффективный размер частиц	Нагрузка на единицу площади
0,2 мм	0,8 - 2,1 $м^3/(м^2 \cdot ч) = м/ч$
0,3 мм	2,1 - 4,2 $м^3/(м^2 \cdot ч) = м/ч$
0,4 мм	4,2 - 8,4 $м^3/(м^2 \cdot ч) = м/ч$
0,5 мм	8,4 - 12,5 $м^3/(м^2 \cdot ч) = м/ч$

Такая высокая нагрузка продолжается не долго, только во время просачивания воды. Она действительна лишь до тех пор, пока поверхность не покрыта илом.

При *эксплуатации* каждый запруживаемый участок наполняют водой слоем 5 ... 10 см, т.е. 500 ... 1000 $м^3$/га примерно за 5 ... 15 мин, причем большей частью раз в сутки. Насколько позволяет приток воды, учитывается нагрузка выходных дней; в случае сточной воды низкой концентрации переподпор создается несколько раз в день. Вода за короткий промежуток времени заполняет всю площадь, спадает, вытесняет использованный воздух и очищенной вытекает по дренажным трубам. Поступает новый воздух. Если для просачивания воды нужно более 4 часов, то поверхность покрывается илом. Запруживаемый участок отключается и высыхает до тех пор, пока можно будет поднять полностью сухой иловый слой. Затем поверхность выравнивают легкими граблями. Участок готов. Иловый слой ни в коем случае нельзя перепахивать. Сорняки вырывают.

Несмотря на все предосторожности, заиливание грунтовых фильтров медленно продолжается. Через несколько лет верхний слой песка необходимо восстановить; через несколько десятилетий пропадает эффективность всей территории. Тогда можно строить другую биологическую установку (капельный биофильтр или аэротенк). Старые запруживаемые участки могут служить иловыми площадками.

Зимой эксплуатацию можно продолжать даже при сравнительно низкой температуре. Вода собирается тогда на нескольких участках, чтобы сохранялось тепло. Высота подпора увеличивается до 20 ... 30 см, так что может образовываться ледяной покров, под которым

распределяется вода. По всей площади песка лопатой насыпают вентиляционные холмики, выступающие над ледяным покровом. Весной зимние участки высыхают, с них удаляют ил и выравнивают. Допустимая нагрузка полей фильтрации в зависимости от эффективного размера частиц составляет при отстоявшейся сточной воде 2000 ... 5000 чел/га. При расходе сточной воды 150 л/(чел•сут) это соответствует 300 ... 750 м3/га за сутки.

Эффективность полей фильтрации очень хороша. Снижение потребления кислорода обычно превосходит 90 %, а уменьшение числа бактерий – более 95 % (см. раздел 4.3). Особое преимущество состоит в том, что сток абсолютно прозрачен. Из-за своей нетрудоемкости способ пригоден также для небольших установок (см. пример 8 в рзделе 5.16). Он применим также для промышленных сточных вод с органическим загрязнением, например, для пивоварен, винокуренных заводов, бумажных фабрик, шерстомоек – всегда при условии, если имеется песчаный грунт.

Подземный самотечный полив с подводящими водоводами, расположенными под землей, обсуждается в разделе домовых очистных установок.

5.7.4. Занимаемая площадь

В приведенной ниже таблице показана величина занимаемой площади для описанных способов (Imhoff, K. R., Schriftenreihe WAR, Darmstadt 1986, Bd. 26, 5). Дополнительно включены биологические очистные пруды. Установки с высшими водными растениями в наших климатических условиях не соответствуют общепринятым требованиям техники. Однако представляется возможным модифицировать их подходящим образом для небольших объемов (Bucksteeg, K., et al., KA 1985, 376, und GWF 1986, 429; Buysch, H.-P., et al., LWA-NW Merkblatt Nr. 2, Düsseldorf 1989).

Занимаемая площадь для способов очистки
сточных вод, близких к естественным

Земледельческие поля орошения	330 $м^2$/чел
Дождевание сточной водой	100 $м^2$/чел
Коммунальные поля, орошение, дренирование	50 $м^2$/чел
Поля подпора, дренирования	10 $м^2$/чел
Орошаемые луга, с уклоном	10 $м^2$/чел
Грунтовые фильтры, с дренированием	5 $м^2$/чел
Биологические очистные пруды	15 $м^2$/чел
Установки с высшими водными растениями	5 $м^2$/чел
Биологические очистные пруды, аэрируемые	2 $м^2$/чел

5.7.5. Капельные биофильтры [1)]

Капельные биофильтры возникли из полей фильтрации (предыдущий раздел). Обнаружилось, что поля фильтрации работают по биологическому принципу и зависят от вентичяции. Чтобы ограничить занимаемую ими большую площадь, их нужно было бы делать глубже, лучше вентилировать и для этого брать более крупные частицы, чем имеются в заросшей песчаной почве.

[1)] Imhoff, K., Verbesserungen an biologischen Tropfkoerpern, GI 1937, 89, Improvements in Trickling Filters, Sew. W. J. 1937, 91. Wie berechnet man hohbelastete Tropfkoerper? GI 1938, 350. The Design of High-Rate Trickling Filters, Sew. W. J. 1938, 705. Die Bodenlüftung bei biologischen Tropfkoerpern, GI 1940, 262 u. 372. Die Künstlich belüft. Tropfk. in Moskau-Koschuchowo, nach Stroganoff, GI 1940, 372, Tropfkoerper mit Wasserrücklauf f. Molkereiabwasser, GI 1941, 367. Der Halvorson-Tropfkoerper in Berlin-Stahnsdorf, GI 1941, 630. Die Spültropfkoerper in Berlin-Stahnsdorf, ein Schlusswort, GI 1942, 267. Die Technik des Rückpumpens bei Tropfkoerpern, GI 1943, 220. Biologisches Klaerwerk für eine kleine Stadt, GI 1943, 187. Tropfkoerper zur Reinigung von Abwasser, Schweiz. Bztg. 30. April 1949. Wie hoch macht man biol. Tropfk.?, GI 1953, 41.

Halvorson, Aerofiltration of Sewage, Water W. a. Sew. 1936, 307.

Jenks, Experimental Studies of Biofiltration, Sew. W. J. 1936, 401.

Первоначально билогические фильтры эксплуатировались как *контактные фильтры.* Несколько фильтров устанавливали рядом в водонепроницаемых резервуарах, наполняли каждый один или два раза в сутки сточной водой, давали сточной воде отстояться в фильтре два часа и открывали затем донную задвижку, чтобы спустить биологически очищенную воду. Каждый фильтр не заполнялся водой, чтобы осуществлялась вентиляция до подхода его очереди.

Poenninger, Der küunstlich belüftete Tropfkoerper, Oldenbourg, München 1938, und GI 1938.

Reichle et al., Versuche an hochbelasteten Tropfk., Kleine Mitt. d. Vereins f. W. B. L. 1940, 15.

Blunk, Betrachtungen, GI 1942, 138.

Poepel, Die Leistung und Berechnung von Spültropfkoerpern, Beiheft zum GI 1943.

Fischer, A. J., The Present Status of Biofiltration, Water W. a. S. 1942, 118.

Greely, S. A., High Rate Biological Treatment, Sew. W. J. 1943, 1062.

Ellsworth, S. N., High Rate Trickling Filters, Sew. W. J. 1944, 65.

Montgomery, J. A., High Capacity Trickling Filters, Water a. Sew. Works 1946, 119, 197.

Greely, S. A., Concideration and Procedures in the Design of High-Rate Trickling Filters, Sew. W. J. 1948, 789.

Liebmann, H., Biologie des Tropfkoerpers, Vom Wasser 17 (1949) 62. Report: Sew. Treat. at. Mil. Installations, Sew. W. J. 1946, 789–1028, 1948, 52–95.

Rohde, H., Hochleistungs–Tropfkoerper, Wasserwirtsch. 1951/52, 195.

Schulz, G., Turmtropfkoerper, W. wirtsch.–W. techn. 1952, 179.

Poepel, F., Die vollbiologische Reinigungsanlage in Heilbronn, Staedte–hygiene 1955, 133.

Poenninger, GWF 1957, 755, GI 1957, 75.

Müller, W. J., Kommunalwirtsch. 1961, H. 9, 351.

Rincke, G., Neuere Gesichtspunkte zur Abwasserreinigung mit Tropfkoerpern, GWF 1967, 667.

ATV–Arbeitsblatt A 135: Grundsaetze für die Bemessung von Tropfkoerpern und Tauchkoerpern, St. Augustin 1989.

Контактные фильтры сегодня больше не строят, так как их производительность мала и они быстро заиливаются. Они вытесняются капельными биофильтрами, в которых при протекании воды не возникают подпоры и которые постоянно открыты для вентиляции. В качестве *загрузочного материала* применяются атмосферостойкие камни, куски шлака, вулканический туф, обожженные формованные кирпичи или пластмассы. Использовали также кокс или каменный уголь, а в небольших установках – уложенные накрест деревянные рейки. Обычный материал — *щебень*. Преимуществом вулканического туфа является его малый вес. При монтаже биофильтров важно отсутствие песка. Поэтому наполнители должны тщательно промываться (DIN 19 557 und Bachmann, G., GWF 1964, 872).

Через несколько недель загрузочный материал покрывается слизистыми пленками из микроорганизмов, в которых происходит очистка сточных вод. Таким образом, эффективна смачиваемая поверхность биопленки, образовавшейся на загрузочном материале. Толщина эффективной биопленки на загрузочном материале не должна превышать 2 ... 3 мм. Глубже кислород проникать не может. В более глубоких слоях начинаются процессы загнивания (Schulze, K. L., Sew. a. I. W. 1957, 458). Очистка происходит за счет адсорбции. Ее эффективность достигается благодаря микроорганизмам, которые нуждаются в постоянном доступе воздуха. Загрузочный материал с шероховатой поверхностью быстрее обрастает биопленкой . Слабонагружаемые фильтры имеют преимущество и при длительной эксплуатации (Demoll u. Liebmann, GI 1942, 55). В фильтрах с нармальной и высокой нагрузкой производительность не может быть высокой, так как тогда, как будет показано позднее, должна смываться и биопленка. Протекание сточной воды в зависимости от нагрузки продолжается 20 ... 60 мин. Используя старую английскую инструкцию, время можно определить, залив в приточное отверстие крепкий раствор соли. *Временем протекания* считается время, которое проходит, пока из сточного отверстия выходит половина

соли. При протекании сточная вода смывает с загрузочного материала кусочки пленки с живыми и мертвыми организмами, и они уносятся с водой как хлопьевидный ил. Таким образом, здоровые капельные биофильтры постоянно остаются работоспособными. Однако при этом нужно различать старые слабонагружаемые капельные биофильтры и капельные биофильтры с нормальной и высокой нагрузкой.

В *слабонагружаемых* капельных биофильтрах промывающее действие проявляется очень слабо. Отработавшие пленки большей частью остаются на загрузочном материале, и на них постоянно накладываются новые пленки, или же они отрываются от верхних слоев и остаются в более глубоких слоях фильтра. Так накапливается органический ил, который тоже нужно разлагать в фильтре и который тоже потребляет кислород из находящегося в фильтре воздуха. Эти фильтры можно называть также *илосодержащими* капельными биофильтрами. Постоянно вымывается немного обрывков пленки, и несколько раз в год из фильтра удаляется старый ил. Этот ил сильно разложившийся, землистый и зачастую скорее зернистый, чем хлопьевидный. Он в меньшем количестве, сравнительно безводный и слабо поддающийся сбраживанию. В Англии и Америке его называют *гумусом*.

В противоположность этому в капельном биофильтре *с нормальной нагрузкой* на загрузочном материале образуются только тонкие пленки из микроорганизмов. Отработавшая биопленка вымывается, и кусочки пленки, оторвавшись от загрузочного материала, с водой выходят до выпускного лотка на дне. Образовавшийся в результате промывки ил содержит очень много воды и поддается сбраживанию, и его количество больше, чем из слабонагружаемого фильтра.

Отсюда понятно, почему фильтр с нормальной или высокой нагрузкой может очищать намного больше сточной воды. Фильтр освобожден от ненужной задачи сразу разлагать твердые вещества, образованные из растворенных веществ. Твердые вещества из фильтра мо-

гут постоянно поступать для дальнейшего разложения в других сооружениях, например, метантенках. Для фильтра с нормальной или высокой нагрузкой характерно, что он *свободен от ила* вследствие промывного действия. Поэтому его называют также *промывным биофильтром*. При этом речь идет не о механической промывке, а о восстановлении биологических процессов на поверхности биопленки, расположенной на загрузочном материале и во внутренних слоях ее. То, что в промывном биофильтре удаляется старый ил, создает условия для того, чтобы в очищенной воде содержалось сравнительно мало *нитратов*, так как нитраты в больших концентрациях образуются главным образом в результате разложения задержавшейся в фильтре старой биопленки (Imhoff, GI 1941, 14). Высокое содержание нитратов характерно и для слабонагружаемых фильтров, содержащих старый ил. Еще Дунбар в своих "контактных фильтрах" обнаружил, что нитраты образовывались во время вентиляционных пауз. Следовательно, они образовались из старой биопленки, задержавшейся на загрузочном материале в те периоды, когда сточные воды вообще не поступали на фильтр (Dunbar et al., Beitrag zur Abwasserreinigungsfrage, München 1902, 23 u. 33, und Imhoff, K., GI 1941, 632).

Площадь поверхности загрузочного материала, обросшего биопленкой, или "*поверхности смачивания*" в пересчете 1 м^3 фильтра, зависит от размера частиц. В Америке всегда берут частицы величиной 4 ... 8 см, в Англии — 2 ... 5 см [x)]. По действую мелкие частицы должны превосходить, так как в 1 м^3 фильтр имеет большую поверхность смачивания. Половинный размер частиц соответствует удвоенной площади поверхности. Щебень величиной 4 ... 8 см имеет, например, 95 м^2 в 1 м^3, а щебень величиной 2,5 ... 4 см — 190 м^2. В 1 м^3 фильтра с частицами размером 3 см должно очищаться в два раза больше сточной воды, чем в фильтре с частицами размером 6 см. Зато отдельное пространство между кусками ила при частицах величиной 3 см составляет только одну восьмую пространства зерен

величиной 6 см. Таким образом, с определенного момента следует опасаться, что пространства не хватит надолго для обрастания и для прохождения воды и воздуха. На практике при длительной эксплуатации в случае более мелких частиц достигали лишь небольшого увеличения производительности всего на 50 %. Поэтому рекомендуется сохранять хорошо зарекомендовавшие себя в Америке частицы размером 4 ... 8 см. Для низких фильтров правильными могут быть частицы размером 3 ... 6 см. Такой размер частиц целесообразно сохранять по всей глубине, может быть, за исключением более крупнодисперсного опорного слоя на дне, который позволяет делать более широкими донные отверстия или прорези. Крупные частицы брали и для самого верхнего слоя, чтобы, несмотря на рост грибов (стр. 221), еще оставались проходы для воды. Полимерные заполнители при большой доле пустот имеют удельную площадь поверхности до 220 $м^2/м^3$ [x)]. Высота фильтра из-за вентиляции находится в зависимости от размера частиц. В Англии фильтры, как правило, имеют высоту 1,8 м при средних частицах около 4 см, в Америке — высота 2 ... 3 м [xx)] при частицах 6 см. Однако высота фильтра зависит также от содержания загрязнений в сточной воде. Чем выше концентрация веществ в сточной воде, тем выше должен быть биофильтр, чтобы увеличить время пребывания сточной воды в сооружении. Кроме того с высотой фильтра возрастает и эффективность разложения. Обычно фильтры хотят делать более высокими, когда обеспечивают хорошую естественную вентиляцию от основания. В Маркклееберге успешно эксплуатировался с высокой нагрузкой капельный биофильтр высотой 8 м [xxx)] со сплошной кольцевой стенкой и с естественной вентиляцией (Imhoff, Wie hoch macht man biol. Tropfk.?, GI 1953, 41).

В Сидер Репидз эксплуатируются *капельные биофильтры с полимерным наполнителем* высотой 6,4 м. Удельная нагрузка составляет 2500 г БПК/($м^3$•сут) при снижении БПК 65 % (Gerlich, J. W., The American City 1967, October, Green, H.R., Public Works 1968,

94). Полимерные фильтры особенно пригодны для частичной очистки высококонцентрированных сточных вод (Chipperfield, P. N. J., JWPCF 1967, 1860, Rincke, G., u. Wolters, N., Internationale Abw. Konf. San Francisco 1970, II-15). При удельной нагрузке по $БПК_5$ 6 кг/($м^3$•сут) можно предположить снижение $БПК_5$ 50 %, при 1 кг/($м^3$•сут) — 80 %. Промежуточные значения следует интерполировать по прямой линии. Подобные капельные биофильтры должны иметь перекрытия. Выходящий из них воздух следует дезодорировать (см раздел 4.8.1).

Двухступенчатые фильтры, т.е. два последовательных капельных биофильтра, соответствуют одному фильтру, высота которого равна сумме высот обеих ступеней. Разделение на две ступени может быть предпочтительно из-за вентиляции, так как низкие фильтры легче поддаются вентиляции, чем высокие, и так как двухкратное рассеивание поглощает больше воздуха. Зато высокий фильтр намного дешевле при строительстве и эксплуатации, чем два низких.

Если каждая ступень имеет свой собственный вторичный отстойник, то нагрузка на фильтр второй ступени уменьшается, поэтому фильтр может иметь меньшие размеры и более мелкий загрузочный материал. Может быть выгодным чередовать обе ступени с равномерными временными интервалами (Parker, Surveyor 1938, 197, und GI 1938, 503, Rumpf, A., GI 1953, 281). Однако чередование целесообразно только при фильтрах, которые заиливаются вследствие слишком низкой нагрузки на единицу площади, т.е. при слабонагружаемых капельных биофильтрах, но не при высоконагружаемых.

Днище фильтра должно быть построено таким образом, чтобы просачивающаяся вода беспрепятственно стекала и ил нигде не отлагался. Кроме того воздух должен иметь возможность свободно проходить снизу через фильтр. В большинстве случаев дно делают двойным. Верхнее дно удерживает загрузочный материал. Оно имеет прорези или отверстия. Нижнее днище отводит воду и поэтому снабжено желобами. Между ними находится воздушная подушка. Через

водяные желоба нужно иметь доступ для осмотра, а, по возможности, и для промывки или прочистки. В многих старых конструкциях полое дно является слишком тесным, засоренным песком и илом или лишено сообщения с наружным воздухом. Вентиляция капельного биофильтра возможна только путем замещения воздуха сверху, и само собой разумеется, что такие фильтры получат достаточное количество воздуха только при очень малой высоте фильтра.

Донные проходы для воздуха должны быть вычислены таким образом, чтобы через них могла идти необходимая вертикальная тяга. Если, например, капельный биофильтр с нормальной нагрузкой должен иметь вертикальную тягу 0,3 м/мин = 5 мм/с и в донных проходах правильно считается скорость воздуха 1 м/с, то проходы должны иметь площадь поперечного сечения 5 : 1000 = 0,5 % площади поверхности фильтра. Лучше всего 1 %.

Боковые стенки выполняются сплошными. Таким образом фильтр защищают от холодных ветров, способствуют естественной тяге, которая желательна для вентиляции, и препятствуют выходу мух Psychoda, развивающихся на внутренних поверхностях боковых стенок. При строительстве биофильтров хорошо зарекомендовали себя обвязанные бетонные монтажные блоки и стойкий к коррозии волнистый листовой металл, монтируемый с помощью стяжных колец (Rincke,G.,Vortrag HdT 1964,Vulkan-Verlag Essen,H. 28).

На *поверхности* находятся устройства, с помощью которых распределяется сточная вода. Неподвижные *разбрызгивающие сопла* (рис. 5.33) наиболее распространены. Вместе с необходимыми распределительными резервуарами для них нужен напор 1 ... 2 м. Распределительные резервуары размещаются попарно так, что когда один наполняется, второй опорожняется. Они собирают определенное количество воды и через сифон подают ее на разбрызгивающие сопла. Возникающие при этом колебания давления обеспечивают равномерное орошение предназначенной для каждого сопла площади. Посредством пауз резервуары самостоятельно приспосабли-

ются к изменению притока. Разбрызгивающие сопла подходят для слабонагружаемых фильтров. Распределение воды лучше производится *вращающимися оросителями*. Для них нужен напор около 0,5 м. Их единственный недостаток заключается в том, что площадь основания фильтра должна быть круглой, т.е. большая площадь остается неиспользованной. Вращающиеся оросители обязательны в фильтрах с нормальной и высокой нагрузкой (рис. 5.34). Они приводятся в движение либо отдачей воды, выходящей из отверстий вращающихся рычагов, либо электрической энргией. Число оборотов составляет 0,3 ... 5 в минуту. Чем больше нагрузка на единицу площади, тем больше должно быть количество рычагов и скорость вращения.



Рис. 5.33. Капельный биофильтр с разбрызгивающими соплами

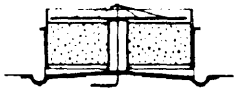


Рис. 5.34. Капельный биофильтр с вращающимися оросителями

Передвижние оросители, перемещающиеся взад и вперед на тележках, малоэффективны, так как вентиляционные паузы слишком велики. *Опрокидывающиеся желоба* и опрокидывающиеся ковши пригодны для небольших установок.

Естественная вентиляция осуществляется в низких фильтрах (примерно до 1 м глубины) от поверхности. При этом микроорганизмы биопленки, согласно экспериментам Дунбара, используют кислород из воздуха. В случае глубоких фильтров воздухообмена сверху недостаточно. Тогда необходима тяга воздуха. Она идет в вертикальном направлении вверх или вниз через фильтр в зависимости от того, насколько воздух в фильтре легче или тяжелее, чем наружный воздух. Определяющей при этом является температура. Наряду

с этим могут иметь значение влажность и содержание диоксида углерода. Температура воздуха в корпусе почти приближена к температуре сточной воды. Зимой воздух в фильтре теплее, поэтому легче, а летом холоднее, чем наружный воздух. Значит воздушный поток идет зимой вверх, а летом вниз. Наряду с этим наблюдается дважды в сутки изменение, особенно в летнее время. Ночью воздух идет вверх, днем вниз по фильтру, и дважды в сутки меняет направление. Халворсон установил (Halvorson, Sewage Works J. 1936, 891), что при разнице температур на 6 ° возникает тяга 0,3 $м^3/(м^2 \cdot мин)$. Если воздух на 6 ° теплее, чем сточная вода, возникает течение вниз со скоростью 0,3 м/мин = 0,5 мм/с = 18 м/ч (рис. 5.35). При разнице температур на 2 ° тяга совершенно прекращается, а по другую сторону этой точки начинается направленное вверх течение, которое преобладает, когда воздух холоднее, чем сточная вода. Такой сдвиг нулевой точки на 2 ° связан видимо с тем, что воздух в фильтре меняет свой объемный вес. Во всяком случае, после проведения экспериментов Халворсона можно сказать, что разница температур (6 - 2 = 4 °) вызывает тягу 0,3 м/мин. Это соответствует воздушному столбу 0,3 • 60 = 18 м/ч. Содержащийся в этом воздухе кислород с избытком покрывает потребление кислорода профильтрованной сточной водой. Этим объясняется и тот факт, что до сих пор в правильно построенных капельных биофильтрах, несмотря на максимальную нагрузку, обходились естественной тягой воздуха.

В редких случаях устраивается и *искусственная вентиляция*. Если воздух нагнетается или отсасывается у дна, на водостоке устанавливается гидравлический затвор, который закрыт, пока действует искусственная вентиляция, но открывается, когда снова нужно восстановить естественную тягу. Фильтры, имеющие покрытие (например, для защиты от холода или мух), всегда требуют искусственной вентиляции. Тогда воздух нагнетается, как правило, сверху. Воздух подается в количестве (как рекомендует Халворсон) 0,3 $м^3/(м^2 \cdot мин)$ = 18 м/ч. Искусственная вентиляция не имеет

ничего общего с производительностью фильтра. Было бы неправильно называть фильтры с искусственной вентиляцией "высокопроизводительными фильтрами".

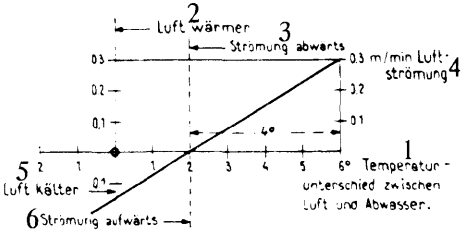


Рис. 5.35. Течение воздуха в капельном биофильтре
1 – разница температур между воздухом и сточной водой;
2 – воздух теплее; 3 – течение вниз; 4 – течение воздуха, м/мин;
5 – воздух холоднее; 6 – течение вверх

Для *предварительной очистки* сточной воды перед капельными биофильтрами всегда рекомендуются хорошие отстойники со временем пребывания около 1,5 ч. Нужны также первичные отстойники с большой водной поверхностью и полупогруженными перегородками для защиты от притока минерального масла, так как именно капельные биофильтры могут серьезно подвергаться повреждению минеральным маслом. При очистке концентрированных сточных вод или наличии в сточных водах специфических загрязнителей целесообразно применение дополнительной предварительной очистки, например, химической (см раздел 5.5) или путем частичной очистки активным илом. Улучшенная очистка действует как разбавление, и тогда нагрузку на фильтры можно увеличить.

Вымытый из капельных биофильтров ил в некоторых случаях удерживать не нужно. В быстротекущем водотоке это безопасно. Он даже увеличивает планктон и, таким образом, способствует самоочищению (см главу 7). Но если ил отлагается на дне водотока, то он скоро начинает загнивать. Поэтому, как правило, его нужно удерживать

во *вторичных отстойниках* [x]. Это особенно касается капельных биофильтров с нормальной и высокой нагрузкой. Для вторичной очистки уже использовались и орошаемые луга (стр. 198). Вторичные отстойники имеют время пребывания 1,5 ... 2,5 ч. При этом нужно учитывать и воду рециркуляции, если она применяется (стр. 219). Они должны быть оборудованы для частой или постоянной очистки. Ил из вторичных отстойников похож на активный ил, однако более разложившийся (стр. 206). Содержание воды в нем при слабонагружаемых фильтрах лишь 92 %, при нормальнонагружаемых — 96 %. Лучше всего его еще обработать в метантенках. Вследствие этого количество перегнившего ила увеличивается примерно на 50 %. Увеличивается также количество газов в метантенках. Метантенки и устройства для обезвоживания должны быть соответственно увеличены. Цифры приведены в таблице количеств ила в разделе 5.9.3.

При *расчете* капельных биофильтров удельная нагрузка и нагрузка на единицу площади должны рассматриваться параллельно.

Удельную нагрузку капельного биофильтра раньше выражали в основном *количеством сточной воды*, которое ежесуточно поступает на фильтр. В качестве средних значений для слабонагружаемых фильтров можно считать 1,0 , а для высоконагружаемых – 3,0 $м^3$ сточных вод на 1 $м^3$ фильтра в сутки.

Такой расчет удельной нагрузки по количеству сточной воды приемлем для контактных фильтров, так как фильтры можно наполнять один или два раза в сутки, независимо от того, как загрязнена была сточная вода. Для капельных биофильтров такой расчет не имеет смысла, так как здесь неограниченное количество воды может просачиваться через фильтр, и до некоторой степени производительность даже тем лучше, чем больше количество воды. Здесь важно только количество загрязнений, измеряемых величиной *потребления кислорода* сточными водами, которые ежесуточно поступают на фильтр ($м^3$). Если размеры фильтров хотят определить так, чтобы

при средних условиях соблюдались указанные в разделе 4.3 минимальные требования, то в качестве удельной нагрузки допустимо для слабонагружаемых фильтров с нитрификацией 200 г и для нормальнонагружаемых – 400 г $БПК_5$ ежесуточно на 1 $м^3$ фильтра. Значения относятся к сточной воде, поступающей на фильтр, после того, как она предварительно очищается в резервуаре.

Поскольку значение БПК сточной воды на стадии проектов часто отсутствует, поданное количество загрязнений можно выразить через *расчетное число жителей*. Согласно стр. 133, на одного жителя из отстоянной воды в сутки приходится 40 г $БПК_5$. Таким образом, слабонагружаемые фильтры можно нагружать сточной водой от 200 : 40 = 5 жителей и нормальнонагружаемые – сточной водой от 400 : 40 = 10 жителей, а допустимая удельная нагрузка составляет для слабонагружаемых фильтров 5 чел/$м^3$ и для нормальнонагружаемых – 10 чел/$м^3$. Загрязнения от промышленности следует измерять в эквивалентных числах жителей.

Наполненный пластмассовой загрузкой капельный биофильтр достигает полной очистки при нагрузке на единицу площади по $БПК_5$ 4 г/($м^3$•сут). Эффективность его удельной поверхности зависит от наполняющего материала. Обычны значения до 200 $м^2/м^3$. Достигается нитрификация при нагрузке на единицу площади по $БПК_5$ 2 г/($м^2$•сут). Наполненные пластмассой капельные биофильтры используются для частичной биологической очистки в многоступенчатых установках (стр. 209).

Как и для всех биологических установок следует проверить, как должна быть установлена удельная нагрузка: выше или ниже в зависимости от показаний средних чисел.

Понятие *нагрузки на единицу площади* в $м^3/(м^2•ч)$ = м/ч приводилось для отстойников (см. раздел 5.4.1). Оно показывает, сколько сточной воды поступает за единицу времени на площадь поверхности или площадь дна. Ее можно представить себе как поставленный на площадь поверхности столб воды. Посредством такой нагрузки

на единицу площади (за 24 ч) за рубежом часто выражается нагрузка капельных биофильтров. В слабонагружаемых фильтрах это не имеет особого значения, так как пропускная способность зависит только от объема, который содержит действующие пленки из микроорганизмов.

Для капельных биофильтров с нормальной и высокой нагрузкой нагрузка на единицу площади приобрела особое значение, так как она выражает важную здесь *промывную способность*. Для промывающего действия нагрузка на единицу площади не должна опускаться ниже определенного значения. По Халворсону она должна составлять не менее 0,8 $м^3/(м^2 \cdot ч)$ = 0,8 м/ч. Вверх нагрузка на единицу площади не ограничена. Шульц с успехом выполнил 4,8 м/ч (Wasserwirtsch.-Wassertechn. 1952, 179).

Величина промывной способности (S) зависит не только от средней нагрузки на единицу площади (q_F) сточной водой, но также и от исполнения вращающегося оросителя. Чем больше плечей имеет ороситель и чем быстрее он вращается, тем ниже гидравлическая эффективная промывная способность. Обычными для вращающихся оросителей являются 2, 4 или 6 плечей (a) и 50 ... 400 оборотов в час (n). Таким образом, эффективную промывную способность можно приспособить к соответствующим условиям (Schreiber, B., Münchner Beitraege, Bd. 2, 1968, 61). Действительна зависимость

$$S = \frac{q_F}{a \cdot n}$$

S = промывная способность (мм оросительного слоя),

q_F = нагрузка на единицу площади (мм/ч),

a = количество плечей вращающегося оросителя,

n = оборотов в час.

Хорошо зарекомендовали себя значения для S от 2 до 6 мм оросительного слоя.

Нагрузка на единицу площади должна быть по возможности равномерной, так как потоки сточной воды в капельном биофильтре не

расходятся далее, а соединяются. Нагрузку на единицу поверхности можно проверить по времени наполнения измерительной емкости, которую перемещают по радиусу капельного биофильтра. При неравномерном наполнении следует изменить отверстия плечей вращающегося оросителя.

Необходимая для промывки нагрузка на единицу площади при слабоконцентрированных американских сточных водах с помощью обычных конструкций фильтров достигается почти всегда. Однако для более концентрированных европейских сточных вод большей частью необходимы искусственные вспомогательные средства, а именно: большая высота фильтра, рециркуляция или разбавление. Разбавление чистой водой возможно в редких случаях. Как правило, часть стока из вторичного отстойника подают на ведущую к капельному биофильтру насосную станцию (рис. 5.36) (Imhoff, Die Technik des Rückpumpen bei Tropfkoerpern, GI 1943, 220).

Отношение рециркуляции представляет собой частное от деления возвращенного количества воды на приток воды. Если к простому притоку фильтра путем рециркуляции добавить еще раз такое же количество воды, то получается отношение рециркуляции RV = 1. Это ведет к двойному разбавлению (1 + 1). Если добавляют только половину количества воды, то отношение рециркуляции 0,5 и разбавление (1 + RV) = 1,5. Такое обозначение правильно еще и потому, что образуется 1,5-кратная нагрузка на единицу площади и 1,5-кратная промывная способность, точно так же, как если бы высоту фильтра увеличили в полтора раза. Фильтр, объем которого задан удельной нагрузкой, может при RV = 1, в соответствии с двойным разбавлением, иметь двойную площадь, и ему нужна только половина высоты. Так, посредством рециркуляции можно повысить производительность фильтра, что позволит осуществить очистку концентрированных сточных вод. Примерными данными для степени рециркуляции может служить то, что $БПК_5$ воды для смешения не должно превышать 100 ... 150 мг/л [x)].

Рециркуляция заменяет не только высоту фильтра, которая необходима, чтобы достичь необходимой нагрузки на единицу площади и необходимой степени очистки; кроме того она имеет и другие преимущества. Благодаря рециркуляции в сточную воду поступают нитраты, кислород, микроорганизмы и ферменты, повышается водородный показатель, улучшается запах (см. раздел 4.8.1) и повышается эффективность очистки (Imhoff, Tropfkoerper mit Wasserrücklauf, GI 1941, 367). Вследствие рециркуляции глубинные слои фильтра больше вовлекаются в работу по очистке фильтра.

Действие рециркуляции еще более увеличивается, если первичные отстойники также вовлекаются в цикл (рис. 5.37), в результате чего уже в первичных отстойниках начинается частично биологическая очистка и общая производительность улучшается. Во всяком случае посредством рециркуляции и соответствующих размеров очистных сооружений достигается максимальная очистка сточных вод.

На рис. 5.36 и 5.37 изображены две принципиальные схемы рециркуляции в промывных биофильтрах. В одной первичный отстойник в виде второго яруса соединен с метантенком (см. раздел 5.9.8), а в другой изображены два одноярусных сооружения. В обоих случаях отношение рециркуляции устанавливается посредством того, что насос *P* настраивается на большую производительность, чем поступающее количество воды. Идущий из вторичного отстойника водовод соединен через дисковый затвор *D* или затвор, предохраняющий от обратного течения при подпоре снизу, с насосной шахтой и управляется там поплавком. Так количество сточных вод автоматически восполняется обратным током настолько, что производительность насоса всегда остается одинаковой. Если поступает 2 л/с сточных вод и насос подает 4 л/с, то остальные 2 л/с будут поступать из вторичного отстойника, и получается двойное разбавление (1 + 1). На ночь включают насос меньшей производительности. Если при дожде поступает удвоенное количество воды, то она идет прямо через капельный биофильтр, так как рециркуляция временно отключается.

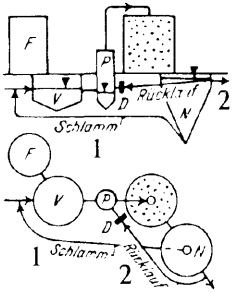


Рис. 5.36. Промывной биофильтр с рециркуляцией через вторичный отстойник
1 – ил; 2 – обратный ток

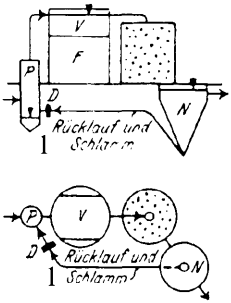


Рис. 5.37. Промывной биофильтр с рециркуляцией через первичный отстойник
1 – обратный ток и ил

Здесь: V = первичный отстойник, F = метантенк, P = насосная станция, N = вторичный отстойник, D = дисковый затвор или затвор, предохраняющий от обратного течения при подпоре снизу.

Случай, изображенный на рис. 5.36, где в цикл вовлечен только вторичный отстойник, применим для 50 000 жителей (как на рис. 5.85). В этом случае ил из вторичного отстойника по отдельному водоводу должен подаваться в приток предварительного отстойника, чтобы весь ил остался там. Тогда вторичный отстойник по уровню воды нужно располагать выше, чем уровень воды первичного отстойника.

Для примера, приведенного на рис. 5.37, идущая из нижнего конца вторичного отстойника труба для пропуска ила может одновременно брать и рециркулирующую воду, так как таким образом ил и вода через насосную шахту попадают в первичный отстойник.

В этом случае размеры вторичного отстойника могут быть выбраны меньшими, так как рециркулирующая вода проходит по короткому пути от входа в резервуар до расположенной под ним трубы для пропуска ила, и рециркулирующую воду при расчете времени пре-

бывания вообще можно не учитывать. Однако первичный отстойник становится больше, так как пропускается больше воды.

Если рециркуляцию ограничить только капельным биофильтром, то можно сэкономить на расширении отстойников, однако при наполнении загрузочным материалом эффективность снижается, так как образуется больше биопленки, которая подлежит разложению. При наполненных пластмассой фильтрах полости достаточно велики. Биопленка смывается водой, что повышает эффективность очистки.

При *эксплуатации* капельных биофильтров имеют значение *промежутки времени между отдельными орошениями* (паузы). При эксплуатации слабонагружаемых фильтров обычны частые короткие промежутки между орошениями, так как количество воды обычно недостаточно, чтобы разбрызгивающие сопла или вращающиеся оросители нормально работали в течение продолжительного времени. Благодаря коротким промежуткам между орошениями биопленке легче приспособиться к изменяющемуся поступлению сточных вод. Халворсон установил, что регулярные перерывы (например, 10 ... 30 минут) вредны, так как они прерывают деятельность бактерий (см. раздел 4.2). Они дают возможность мухам Psychoda выходить из перекрытых зон загрузки на поверхность фильтра. Высоконагружаемые капельные биофильтры имеют такой большой приток, что перерывы для вращающихся оросителей практически больше не нужны. В принципе они эксплуатируются непрерывно и рассчитываются соответственно.

Заиливание капельных биофильтров во время эксплуатации следует обязательно предотвращать. Заиливание капельных фильтров приводит к заболачиванию поверхности фильтров. Заиливанию и заболачиванию биофильтров способствует значительное развитие грибов, которые растут, главным образом, в верхнем слое. Это еще не означает, что заилен весь фильтр. Средством борьбы является кратковременная добавка хлора в поступающую воду (см. раздел 5.6), сильное обратное нагнетание воды, прошедшей биофильтр,

многосуточный перерыв или загрузка фильтра речной водой. Организмы, которые вызывают заиливание, в этом случае отмирают и вымываются.

Целенаправленного механического действия можно достичь путем рассыпания 400 г натриевой селитры на каждый квадратный метр поверхности и слабого опрыскивания. Из растворенных нитратов бактерии анаэробных слоев ила отщепляют кислород для дыхания. При этом образуется газообразный азот, что способствует разрыхлению ила. Через несколько часов после обработки капельный биофильтр можно снова загружать. Отработанный ил будет выведен лишь через несколько суток (Wolters, N., Abwassertechnik 1972, S. IV).

Аналогичным образом действует и разработанное в Англии использование в капельных биофильтрах "переменных высоких нагрузок". При этом вращающиеся оросители вращаются настолько медленно, что паузы между отдельными гидравлическими ударами составляют 4 ... 8 мин. Высокая для промывной способности нагрузка на площадь поперечного сечения достигается тогда по меньшей мере с перерывами (Heins, P., GI 1956, 274, Stanbridge, H. H., Journ. a. Proc. Inst. of Sew. Pur. Part 3, 1956, 270). Капельные биофильтры уже оснащались против заиливания устройствами обратной промывки, которые как при песчаных фильтрах работают с водой и сжатым воздухом (Howson, Water W. a. S. 1940, 217).

В капельных биофильтрах, если они выполнены правильно, т.е. загрузочный материал не слишком мелкозернистый, и междонное пространство содержит достаточно воздуха, и выдерживается соответствующая нагрузка на единицу площади, не происходит заиливание и заболачивание. Старые заиленные фильтры уже приводили в порядок посредством того, что нагрузку на единицу площади увеличивали путем обратного нагнетания.

Запах капельных биофильтров удерживается слабым посредством того, что сточной воде в первичных отстойниках не дают загнивать.

Легко загнивающую сточную воду предварительно аэрируют (см. раздел 5.7.7), обрабатывают хлором (см. раздел 5.6) или освежают посредством рециркуляции (стр. 219). Закрытые фильтры с вентиляцией при дурнопахнущей воде применяются только в том случае, когда выпущенный воздух можно дезодорировать (см. раздел 4.8.1). Для борьбы с мухами Psychoda время от времени через фильтр пропускают хлорсодержащие растворы. Врема выведения мух при температуре 20 ° продолжается 14 суток. В капельных биофильтрах с нормальной и высокой нагрузкой проблем с мухами нет, даже если они не закрыты и имеют только сплошные боковые стенки. Из постоянно омываемой поверхности загрузочного материала на дне фильтра не создается условий для размножения мух. Кроме того личинки живут в илосодержащих фильтрах. В тонких биопленках промывных биофильтров содержится мало органических веществ, что не создает условий для развития мух, которые здесь и не нужны, так как в промывных биофильтрах нет ила, для разложения организмами. Поскольку перекрытие не нужно и при искусственной вентиляции, его не используют, так как это препятствует естественной вентиляции. По Роде закрытые фильтры на 20 % дороже (Wasser, Luft u. Betr. 1961, 285). Перекрытие имеет смысл только в холодных местностях для того, чтобы сохранять определенную температуру в фильтре и, таким образом, содействовать разложению.

В *дождливую погоду* капельные биофильтры временно могут очищать только 1,5-кратное количество воды, если при этом степень очистки остается постоянной. В случае промываемых биофильтров, которые работают с рециркуляционными насосами, при дожде можно пропустить больше воды для смешивания, прекратив на этот период подачу воды рециркуляционными насосами (стр. 219). Значительные количества воды для смешения целесообразно удерживать в дождевых резервуарах (см. раздел 5.11) и распределять их на длительное время. В Англии требуют, чтобы фильтры очищали трехкратный расход воды во время засухи. Тогда их строят на 50 ...

75 % больше, как показывает расчет по БПК, или по расчетному числу жителей. В засушливый период фильтры нагружены меньше. Распределительные устройства должны быть приспособлены к большим колебаниям воды. В случае вращающихся оросителей, например, строят специальные плечи, вода в которые поступает только при превышении определенного притока.

Зимой работу фильтров можно поддерживать даже при сильном морозе. Потеря температуры воды составляет максимум 4 °. Особенно морозостойки высоконагружаемые фильтры, где вследствие большего количества воды поступает больше тепла. Для защиты от ветра целесообразны герметичные боковые стенки, немного выступающие над поверхностью. При сильном морозе донные отверстия закрываются до поперечного сечения, необходимого для вентиляции. Окислительная мощность зимой снижается. Пепель указывает, что при температуре сточной воды 10 ° она составляет только 62 % окислительной мощности при температуре 20 °. Собственное тепло капельных биофильтров мало даже при сплошной оболочке фильтров. По данным измерений Пеннингера в Бойтене она повышает температуру воды только на 1 ... 2 °.

Степень очистки установки с капельными биофильтрами с первичным и вторичным отстойниками соответствует снижению $БПК_5$ на 65 ... 95 % (стр. 225); в среднем — 80 %. Степень очистки можно повысить в результате рециркуляции или использования нескольких ступеней биофильтров (см. раздел 5.7.9). При проектировании окислительную мощность можно вычислить по Пепелю (Beiheft zum GI 1943). Ринке обработал результаты исследования 25 промышленных и экспериментальных капельных биофильтров Рурского союза по окислительной мощности в процентах и по БПК стока (GWF 1967, 667). На рис. 5.38 приведены полученные данные. При этом окислительная мощность в процентах почти не зависит от концентрации сточной воды. Нижняя часть рисунка действительна только для концентрации и колебаний нагрузки для бытовых сточных вод.

Новые оценки Рурского союза в отношении двухчасовых максимальных значений $БПК_5$ и ХПК показывают, что до удельных нагрузок 400 г $БПК_5$/ ($м^3$•сут) минимальные требования соблюдаются (Imhoff, K. R., GWF 1979, 47). На этом основывается рекомендация по выбору размеров на стр. 216. Об устойчивости процесса см. Damiecki, R., KA 1982, 134.

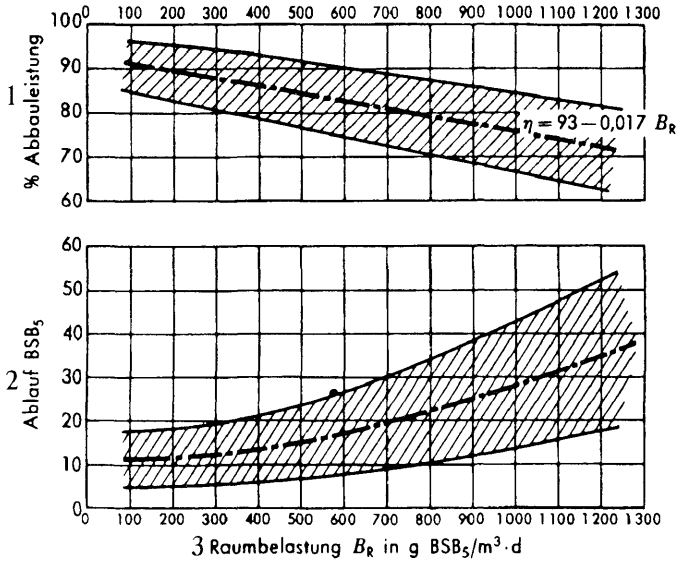


Рис. 5.38. Влияние удельной нагрузки по БПК на окислительную мощность и концентрацию стока по Ринке
1 – окислительная мощность; 2 – $БПК_5$ стока; 3 – удельная нагрузка B_R в г $БПК_5$/ ($м^3$•сут)

Капельный биофильтр особенно подходит для биологической *частичной очистки* любой степени. Он может без повреждения выдерживать нагрузку любой степени. Очистка никогда не прекращается полностью, поэтому дегазация и аэрация сточной воды так важны.

Определенно сказать нельзя, какие следует предпочитать капельные биофильтры — с *нормальной нагрузкой* или *слабонагружаемые.* Слабонагружаемые биофильтры хорошо зарекомендовали себя в течение многих десятилетий. Они просты и надежны в эксплуатации. С помощью микроорганизмов они окисляют аммоний в нитрат (Parker, D. S., et al., JWPCF 1986, 896; Wolf, P., KA 1987, 645; Gujer, W., u. Boller, M., Water Research 1986, 1353 u. 1363). Они не только очищают сточную воду, но и перерабатывают значительную часть ила. Фильтры с нормальной нагрузкой меньше по размеру, строительство их дешевле и в них не создаются условия для размножения мух. Однако эти установки имеют и недостатки. Степень очистки хуже, если не производить рециркуляции. Но рециркуляция дорога в эксплуатации. В них вторичные отстойники сильнее нагружаются илом, они становятся больше, а ил содержит больше воды и более склонен к сбраживанию. Вследствие этого возникают дополнительные расходы в метантенках и при обработке ила. Таким образом, экономия в затратах на строительство капельных биофильтров с нормальной нагрузкой не так велика, как кажется на первый взгляд, судя по увеличенной мощности (Dahlem, GI 1938, 472).

Во всяком случае нужно выбирать тот или другой тип капельных биофильтров. Промежуточные решения могут оказаться неверными. При работе биофильтра в слабонагружаемом режиме превышение нагрузки сточной воды легко может перейти в "перегрузку", если это превышение недостаточно высоко, чтобы создать условие для промывки биофильтра (стр. 217). Следует соблюдать особую осторожность при слишком мелких частицах и плохой вентиляции междонного пространства, как это бывает почти во всех устаревших конструкциях.

Пример расчета см. раздел 5.16 (пример 4).

5.7.6. Погружные биофильтры

Погружные биофильтры – это биологические фильтры, которые ра-

ботают под водой. Они построены из камней, кокса, деревянных реек, подвижных кусков пробки или дерева, волнистых алюминиевых листов, асбестоцементных плит и полимерных фильтров (Mahr et al., Techn. Gem. bl. 20. Aug. u. 5. Sept. 1928; Steel, Waterworks and Sewerage 1938, 158; Bach, W., W. a. S. 1937, 383, 446; Imhoff, K., Stuttgarter Berichte H. 3, 1961, 76; Imhoff, K. R. : Historical Development of the Rotating Biological Contactor Process, International Symposium, Fellbach 1983, EWPCA–Sekretariat, St. Augustin). Сжатый воздух нагнетается снизу через неподвижные вентиляционные трубы или качающиеся маятниковые трубы (рис. 5.39). Важно при этом, чтобы отработанные биопленки своевременно удалялись с загрузочного материала, биопленка смывается водой и удаляется благодаря использованию воздухалт.

Резервуар должен быть устроен таким образом, чтобы в нем не мог скапливаться ил. Изготовлены также *погружные диски*, которые наполовину опущены в воду и медленно вращаются. Хартманн с успехом изготовил такие диски из полимерных материалов. Он называет их "погружными капельными биофильтрами" (Hartmann, H., GWF 1960, 281). Расстояние между дисками – 20 мм. Нагрузка составляет 4 ... 10 г $БПК_5$ на 1 $м^2$ заросшей поверхности дисков в сутки (Hartmann, H., Stuttg. Ber. z. Siedl., H. 3, 1961, und Imhoff, ebenda, Fritsch, W., Münchner Beitraege Bd. 10, 1963, 284, Poepel, F., Stuttgarter Ber. zur Siedl., H. 11, 1964, Krauth, Kh., Die Leistung von Tauchtropfkoerpern in der Praxis, GWF 1973, 34). В случае нескольких ступеней первая должна иметь нагрузку не выше, чем 50 г $БПК_5/(м^2 \cdot сут)$.

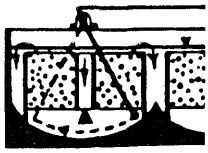


Рис. 5.39. Погружной биофильтр

Погружные биофильтры могут быть использованы для очистки сточных вод, содержащих жиры, например, шерстомоек, так как в них жир поднимается в виде пены на поверхность, где его можно собирать (см. раздел 5.10.2, п. 10). Их применяли также для фенолсодержащей сточной воды и для сточных вод винокуренных заводов.
Образующийся в погружных биофильтрах ил отделяется во вторичных отстойниках, из которых он поступает в первичные отстойники, как это происходит с капельными биофильтрами и установками для очистки сточных вод активным илом. Количество биологического ила при полной очистке можно считать равным 30 г сухого вещества/чел•сут. После смешения с илом первичных отстойников в концентрированном виде получается 1,75 л/чел•сут.

5.7.7. Аэрация

При подаче воздуха в каком-либо виде улучшается качество любых сточных вод. Это подтверждают биологические способы очистки, каждый из которых зависит от подачи воздуха (см. раздел 5.7).
Но одна аэрация оказывает незначительное воздействие. Это понятно без доказательств: вода поглощает кислород из воздуха только до насыщения. Предел здесь около 10 мг/л. А для усредненных сточных вод в Германии потребность в кислороде составляет 300 г/м^3 = мг/л (см. раздел 5.1). Так что если обескислороженные сточные воды даже принудительно обогащать кислородом до полного насыщения посредством вдувания сжатого воздуха, то будет подана лишь тридцатая часть воздуха, необходимого для полной очистки воды. Таким образом, одна только аэрация могла бы привести к успеху лишь в том случае, если процесс аэрации повторять 30 раз от нуля до насыщения, причем при условии, что в промежутках процесс очистки осуществляют микроорганизмы, развитие которых в воде зависит от присутствия воздуха. Это потребовало бы около 20 суток. Это известно из процессов самоочищения речной воды (см. главу 7). И все же можно многого добиться и при кратковременной аэрации

сточных вод *перед очистной станцией. Предварительное аэрирование* можно производить, например, в жироловке (стр. 158) или в аэрируемой песколовке. Сточные воды освежаются, сероводород вытесняется, многие частицы жира отделяются от частиц взвешенных веществ, и после этого вода лучше обрабатывается в отстойнике (Seidel, H. F., et al., JWPCF 1961, 339). Действие становится заметным уже через три минуты. Но речь может идти также о продолжительности аэрации до 30 минут, особенно для сточных вод, способных к загниванию (см. раздел 4.8.1). При длительности в 30 минут расход воздуха составляет около 0,75 $м^3$ на 1 $м^3$ сточных вод (Roe, F. C., Sew. a. Ind. W. 1951, 127, Kappe, S. E., Sew. a. Ind. W. 1951, 833). Действие усиливается при хлорировании (см. раздел 5.6), добавлении хлорида железа (см. раздел 5.5) или посредством возврата ила при способе обработки с активным илом или при способе коагуляции. На станции биологической очистки можно использовать также резервуар предварительной аэрации вместе со следующим за ним первичным отстойником в качестве первой ступени двухступенчатых очистных сооружений (см. раздел 5.7.9).

Подобно предварительному аэрированию действует также обратное перекачивание биологически очищенного стока из капельных биофильтров или аэрационных установок благодаря содержанию в этом стоке кислорода, нитратов и активных коагулянтов.

Вне очистных станций иногда представляется возможность применять аэрацию *в загрязненной реке*, если речь идет о том, чтобы в течение нескольких недель периода мелководья обеспечить достаточное для жизни рыб содержание кислорода на опасном участке водотока (см. раздел 6.3).

5.7.8. Способ с активным илом

Опыты по аэрации снова и снова подтверждали, что сточные воды нельзя очистить посредством одной только аэрации. Необходима их обработка с помощью активного ила. Таким образом возник "способ

с активным илом" [1]. Под этим способом подразумевается очистка сточных вод хлопьями ила, включающими микроорганизмы. В известной степени этот способ является искусственно усиленным самоочищением воды. Процессы происходят подобно естественным условиям в реке или озере. Только микроорганизмы, обеспечивающие очистку, в аэротенке скапливаются в огромных количествах на небольшом пространстве. Площадь их поверхности составляет от 2000 до 10000 $м^2$ на каждый $м^3$ аэрируемого объема (Finstein, M. S., et al., JWPCF 1967, 33). Благодаря искусственной подаче воздуха микроорганизмы обеспечиваются достаточным количеством кислорода несмотря на их большое скопление. Вода в аэротенке также искусственно перемешивается, чтобы предупредить оседание хлопьев активного ила на дно, где из-за недостатка кислорода могут погибнуть микроорганизмы.

Биологическая очистка сточных вод происходит в два этапа. Сначала для получения энергии окисляется часть органических загрязняющих веществ, и одновременно образуется новая клеточная суб-

---

[1] Английские изобретатели назвали этот способ "activated sludge process", что на русский переводится как "способ с активным илом" или "способ регенерации ила". Этот термин возник по той причине, что сначала полагали, что при этом "регенерируется" или "оживляется" ил, поступающий со сточными водами. Сегодня уже известно, что регенерируется не ил, а сточная вода с помощью вновь образованных хлопьев. Если эти хлопья осели, их называют "активным илом". Таким образом, правильно было бы называть этот способ коротко "способ регенерирования", если речь идет об "очистке сточных вод с помощью активного ила" или с помощью "активных хлопьев". Об истории развития способа регенерации ила см. Ardern u. Lockett, Jour. Soc. Chem. Ind. 1914, No. 10, Imhoff, K., GWF 1953, 344, Townend, C. B., Jour. and Proc. Inst. Sew. Pur. 1960, 349, v. d. Emde, GWF 1964, 755, Sawyer, C. N., Jour. W. P. C. Fed. 1965, 151. В дальнейшем этот способ расширил Пепель – Poepel, F., Belebungs–anlagen — Leistung, Berechnung, Entwurf — Deutscher Zeitschriftenverlag, Wiesbaden 1973.

станция. Во второй фазе бактерии собираются в хорошо осаждаемые хлопья. По Тенни и Штумму (Tenney und Stumm, JWPCF 1965, 1370) биологическое коагулирование возможно только тогда, когда прекращается рост бактерий и выделяются высокомолекулярные вещества. Длина их молекул достаточна для образования мостиковых соединений между бактериями. Вторая фаза занимает большую часть времени аэрации.

Таким образом, хлопья активного ила состоят в основном из слизистого вещества, в котором живут бактерии и простейшие организмы. Соотношение углерода, азота и фосфора примерно следующее – 5 : 1 : 0,75. Биологические процессы хорошо описаны у Хартманна Л. в его работе L. Hartmann, "Vom Wasser", 1960, 107.

Динамику развития бактерий можно представить математически следующим образом (Kummert, R., u. Stumm, W., Gewaesser als Oekosysteme, Verlag der Fachvereine, Zürich 1988): скорость роста бактерий, y, увеличение массы бактерий (или концентрации бактерий), B, связана с уменьшением субстрата (S).

$$\text{Скорость роста } y = -\frac{dB}{dS} = \frac{\textit{Увеличение массы бактерий}}{\textit{Уменьшение массы субстрата}} \quad (1)$$

Экспоненциальный рост бактерий (рис. 5.40 a, b) можно выразить следующим образом:

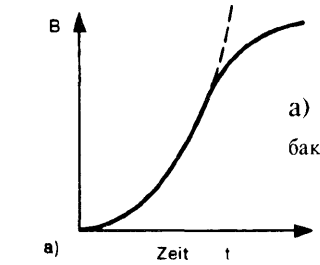
$$\frac{dB}{dt} = \mu B \text{ или } B = B_0 \cdot e^{\mu \cdot t}, \quad (2)$$

где μ — *скорость роста*, а B_0 — масса бактерий (на объем) в момент $t = 0$. (Для удвоения количества ила $B = 2B_0$ получается время удвоения количества $t = 6{,}9$ ч, если принять $\mu = \text{h}^{-1}$ и ввести в уравнение (2): $\ln (2B_0 / B_0) = \mu \cdot t$; $0{,}69 = 0{,}1 \cdot t$).

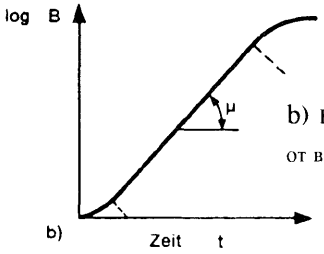
Скорость роста практически постоянна в большом диапазоне (рис. 5.40 b). Монод (1942) вывел эмпирическое уравнение для скорости размножения бактерий как функции концентрации питательного вещества:

$$\mu = \mu_{\max} \cdot \frac{S}{KS + S},$$

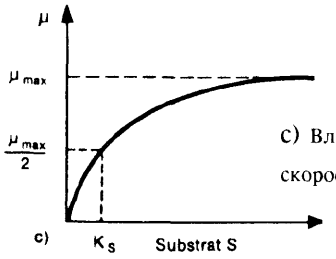
где S — субстрат, ограничивающий размножение организмов, μ_{max} — максимальная скорость размножения, а K_S — константа (1/2 константы С. Монода, см. рис. 5.40 с). Опыт показывает, что этот закон можно применять также для смешанного биоценоза, которым является и активный ил.



a) Экспоненциальный рост концентрации бактерий B в зависимости от времени t



b) Концентрация бактерий $log\ B$ в зависимости от времени t



c) Влияние концентрации субстрата S на скорость роста μ

Рис. 5.40. Динамика развития бактерий при биологической очистке активным илом

Комбинируя уравнения (1) и (2), можно получить скорость удаления субстрата:

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{\mu}{y} B \text{ или } -\frac{dS}{dt} = \frac{\mu}{y} B_0 e^{\mu \cdot t}.$$

1) Скорость очистки пропорциональна концентрации бактерий или активного ила.

2) Скорость роста бактерий возрастает с увеличением концентрации субстрата. Поэтому в высоконагружаемых системах легко достигается частичная биологическая очистка (Mudrack, K., Biotechnologie und biologische Abwasserreinigung, KA 1988, 205).

По сравнению с капельными биофильтрами аэрационные установки обладают более высокой степенью очистки, в них не появляется неприятный запах, не развиваются мухи, и работают они с одинаковой производительностью зимой и летом (Sierp in Brix–Imhoff–Weldert, Die Stadtenwaesserung 1934, Bd. 2, 308, und Viehl, Staedte–hygiene 1957, 169). Наибольшая производительность достигается при 30 ° (Husmann, W., et al., GWF 1959, 189). Недостатками аэрационных установок являются сложность обслуживания, большое количество образующегося ила и связанного с этим вынужденного увеличения объемов септиков и камер сбраживания.

Аэрационная станция, как правило, имеет хорошую *первичную очистку*. Отстойник обычно соединен с камерами сбраживания ила, так как в этих камерах сбраживания должен обрабатываться избыток активного ила.

Таким образом, в биологических очистных сооружениях обрабатываются сточные воды, не содержащие неосаждаемых и нерастворимых загрязняющих веществ. Однако имеются исключения, когда первичные отстойники осуществляют частичное осветление или совсем исключаются (Veits, G., Ber. aus Wassergüttewirtschaft, TU München 1977, Heft 18).

Сточные воды, подвергающиеся предварительной очистке, смешиваются с активными хлопьями или "активным илом", который, как

это описано дальше, перекачивается обратно из вторичного отстойника в виде возвратного ила. Затем эта смесь подается в собственно аэротенки (установки с активным илом).

В воду аэротенков должен вводиться кислород воздуха, необходимый для жизнедеятельности микроорганизмов. В аэротенках также должно выдерживаться время пребывания смеси сточных вод и ила, достаточное для разложения. Кроме того нужно обеспечить условия, чтобы ил мог осаждаться и имел как можно меньше воды.

Важнейшие конструкции аэротенков:

1. *Аэротенки, продуваемые сжатым воздухом.* При этой конструкции аэротенков воздух вводится внутрь через равномерно распределенные на дне куполообразные диффузоры, фильтрующие патроны или фильтросы. Воздух можно подавать также по продольной стороне растянутого по длине аэротенка. В этом случае содержимое аэротенка циркулирует. Примером этого является аэротенк Хэрда (Hurd) или манчестер–резервуар (рис. 5.41). Другим примером является резервуар Инка (Inka) (рис. 5.42), введенный Фишерштремом и Гульштремом. При этом воздух подается через перфорированные трубы или короба, которые находятся всего на 0,8 м ниже уровня воды (Geiger, H., GI 1958, 13, GI 1966, 238).

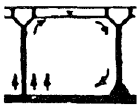


Рис. 5.41
Аэротенк Хэрда



Рис. 5.42
Аэротенк Инка

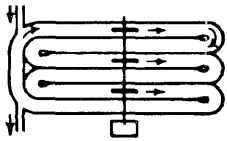


Рис. 5.43
Аэротенк Ховорта–Риннена

2. *Циркуляционные аэротенки* первоначально были выполнены Ховортом (Haworth) в Шеффилде в виде удлиненных, поворачиваю-

щих в одну и другую сторону проточных коридоров (каналов) (рис. 5.43). Смесь ила с водой приводилась в движение с помощью аэраторов. Следующими этапами являются "окислительные каналы" и "карусель". В окислительном канале для аэрации и приведения в движение воды служат щетки или *эрлифтные аппараты для перемешивания* (рис. 5.79). При "карусели" аэрация и циркуляция обеспечиваются посредством одного или нескольких вертикально расположенных аэрирующих роторов (рис. 5.81). В других случаях циркуляция обеспечивается *погруженными в воду лопастными устройствами*. Воздух подается отдельно на дно (Kaps, J. et al., KA 1985, 176).

3. *Аэротенки с поверхностной аэрацией*. При способах поверхностной аэрации по Болтону или Симплексу применяются аэротенки, в центре которых находится труба с поверхностным аэратором (рис. 5.44). Аэратор поднимает иловую смесь со дна и, распределив ее, разбрасывает по поверхности воды. При увеличении производительности поверхностной аэрации с помощью аэратора время прохождения процесса уменьшается на два часа. Время циркуляции составляет 5 минут (McNicholas, Journal Inst. Sew. Purif. 1959, 425, Christ, W., Wasser, Luft u. Betrieb 1962, 340, Industrieabwaesser 1966, 22). Без стояка работают турбина BSK (Stalmann, V., GWF 1965, 613), аэратор Симкара (Simcar) и Фортера (Vortair) (Bischofsberger, W., et al., Industrieabwaesser 1966, 2). Другие типы аэраторов см. Rüb, F., Wlb 1971, 397.

4. *Аэротенки системы Кессенера* (рис. 5.45). Быстро вращающаяся щетка, установленная на поверхности воды по продольной стороне аэротенка, обеспечивает аэрацию и одновременно циркуляцию иловой смеси. Усовершенствованным вариантом является кожух Пасвира (Pasveer) (Baars, J. K., u. Muskat, J., GI 1962, Heft 7). Еще более усовершенствованными являются щетки Кессенера и маммут-щетки (эрлифтный аппарат для перемешивания). При маммут-щетке диаметром 1 м можно принять максимальную производительность

по вводу кислорода O_2 — 7 кг на метр длины щетки за один час. Умеренная производительность является в этом случае оптимальной.

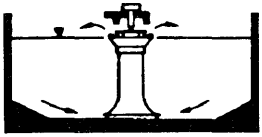


Рис. 5.44 Аэротенк Болтона или Симплекса

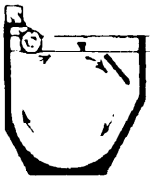


Рис. 5.45 Аэротенк Кессенера

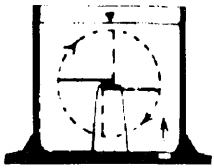


Рис. 5.46 Аэротенк с мешалкой и продувкой воздухом

5. *Аэротенк с мешалкой и продувкой воздухом.* По продольной оси удлиненных аэротенков установлена мешалка (рис. 5.46). Кроме того по продольной стороне подается сжатый воздух (Imhoff, K., Eng. News. Record 19. Aug. 1926, 298, Fries, F., Essen–Rellinghausen, GI 1931, 661 u. 681). О такой конструкции речь идет в случае, если не хватает сжатого воздуха, необходимого для удовлетворительной циркуляции и вихревых движений. Мешалка перемещается в направлении, обратном направлению перемещению восходящих пузырьков воздуха.

6. *Насыщение кислородом* предлагал еще Пирни М. (M. Pirnie) в 1946 году. Опыты в лаборатории проводил также Д. А. Окун (Civil Eng. 1948, 32, GI 1948, 230). Однако генерирование кислорода было слишком дорогим. Только после того, как производство кислорода стало более дешевым благодаря новым методам, представилась возможность применения этого способа на практике (PWC–Research Series 17050 DNW 05/70, Washington 1970; Hegemann, W., Techn. Wiss. Schriften der ATV, Bd. 3, 1974; Bischofsberger, W., et al., KA 1975, 278).

Для длительного использования кислорода аэрационные установки

перекрываются и выполняются в виде многоступенчатого каскада (рис. 5.47). Накопленный в этом отношении опыт систематизирован Бишофсбергером и др. (KA 1984, 855, Techn. Wiss. Schriften der ATV, Bd. 13, 1984). При этом получается меньше ила, благодаря чему стало возможным увеличение производительности установок в два раза. Эти установки имеют преимущества при высоких концентрациях сточных вод, при стесненных условиях очистки и при сточных водах с интенсивно выделяющимся неприятным запахом. В результате обогащения газом CO_2 может происходить коррозия бетона.

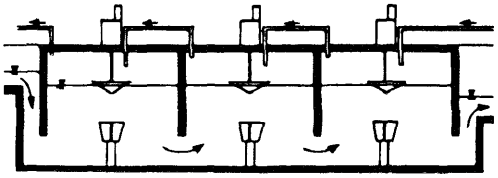


Рис. 5.47. Установка насыщения кислородом

Для определенных сточных вод (по их количеству и составу) можно рассчитать необходимые размеры аэротенков, допустимую *удельную* нагрузку с учетом конструкции очистного сооружения и *времени аэрации*, соответствующего требуемой степени очистки. При этом время аэрации – это время, затрачиваемое на иловую смесь, т.е. на сточные воды + возвратный ил. Однако время аэрации правильнее было бы отнести только к сточным водам, так как вода, содержащаяся в возвратном иле, уже прошла через аэротенк и подверглась очистке. Лабораторные испытания оценивают в своих работах Hunken, K. H., Stuttgarter Ber. zur Siedl., Bd. 4, 1960 и Braun H., Karlsruher Ber. zur Ing.-Biol., Bd. 1, 1966.

Начиная с изобретения способа Ардерном и Локеттом в 1914 году, стало известно, что нужно исходить из самой малой продолжитель-

ности аэрации. В крупных аэрационных установках в США и Великобритании в 20-е — 30-е годы для этого требовалось 8 ... 12 часов (см. таблицу на стр. 253). Первой высоконагружаемой установкой с полной очисткой можно считать установку в Эссен–Релингхаузене. В 1925 году она эксплуатировалась со временем аэрации всего 3,5 часа.

Этому предшествовали полупромышленные испытания (Imhoff. K., Fortschritte der Abwaserreinigung, Carl Heymanns Verlag 1925, 72, Imhoff, K., u. Fries, F., Technisches Gemeindeblatt 1926, Nr. 3). После этого Гоулд внес значительные усовершенствования в конструкцию чрезмерно нагружаемых очистных станций Нью Йорка. В 50-е годы Эмде, проводя плановые испытания, расширил пределы производительности очистки этим способом (Veroeff. d. Inst. für Siedl. Wasserw. TH Hannover, 1957, H. 1).

Из-за увеличения производительности очистных станций и уменьшения разбавления в водосборных колодцах, несмотря на многочисленные усовершенствования способа с активным илом, все еще требуется значительная продолжительность аэрации. За счет этого лучше компенсируются залповые нагрузки. Сток при этом имеет более высокую степень очистки и подвергается меньшим колебаниям (Poepel, J., Schriftentreihe GWF, H. 16, München 1971, ATV–Arbeitsblatt A 131, St. Augustin 1981).

Как и на всех сооружениях биологической очистки здесь можно исходить из суточной подачи органических веществ вместо периода аэрации или объемной нагрузки по сточным водам, т.е. из БПК сточных вод или числа жителей в пересчете на эквиваленты числа жителей (см. таблицу в разделе 5.10.1). Средним значением удельной нагрузки по $БПК_5$ ежесуточно на 1 $м^3$ аэротенка можно принять:
для окислиния соединений азота (нитрификация) — 500 $г/м^3$,
для окисления соединений углерода (полная очистка) — 1000 $г/м^3$.
При пересчете на число жителей на территории Германии для осаждаемых сточных вод можно предположить, что 40 г $БПК_5$ ежесуточ-

но соответствуют одному жителю (стр. 132). В этом случае допускаемая нагрузка аэротенка следующая:
для нитрификации — 500 : 40 = 12 жителей/м^3,
для полной очистки — 1000 : 40 = 25 жителей/м^3.
При этом опять-таки нужно проводить контроль в соответствии с условиями, перечисленными в разделе 5.7, в зависимости от того, будете ли Вы исходить из средних чисел, ориентируясь на верхний предел или на нижний предел (Gould, R. H., Sew. a. I. W. 1959, 399). В условиях ФРГ с учетом минимальных требований на стр. 115 рекомендуется для расчета очистных станций на 30 000 жителей принимать удельные нагрузки меньшими или равными 250 г БПК$_5$/(м^3•сут) (таблица на стр. 253), так как при температурах сточных вод больших или равных 12 °С и соответствующем регулировании в этих установках надежно обеспечивается нитрификация и денитрификация. В развивающихся странах нужно учитывать высокие расходы на постройку и энергетические затраты, а также проверять, достаточна ли удельная нагрузка 1000 или 500 г БПК$_5$/(м^3•сут). О расчете аэрационной установки по ATV-Arbeitsblatt A 131, St. Augustin 1989 сообщается в отдельной статье раздела "Дальнейшая очистка сточных вод" (см. раздел 5.8.2).
Средние величины удельной нагрузки, полученные по БПК или с учетом числа жителей, можно сравнить с удельной нагрузкой в зависимости от состава сточных вод и периодом аэрации в сооружении. Усредненные для Германии сточные воды с суточным расходом 200 л/(чел•сут) в пересчете в среднем на 18 активных часов [x)] дают в итоге часовой расход 200 : 18 = 11,1 л/(чел•ч). Аэротенк, рассчитанный для полной очистки при условии 25 жителей/м^3 (стр. 253), дает такой результат: 1000 : 25 = 40 л/чел. В этом случае период аэрации с учетом 18 активных часов составляет 40 : 11,1 = 3,6 ч.
Наряду с продолжительностью аэрации и удельной нагрузкой по БПК для разработки, проектирования и эксплуатации аэротенков важное значение имеет *нагрузка на ил.* Под этим подразумевается

отношение суточной удельной нагрузки по БПК к количеству ила, находящегося в аэротенке, т.е. (г $БПК_5$/сут) : (г сухого вещества активного ила) [xx]. Полная очистка может быть достигнута в случае, если нагрузка на ил ежесуточно составляет 0,30 г БПК/г сухого вещества. Если нагрузка на ил больше, то можно добиться лишь частичной очистки.

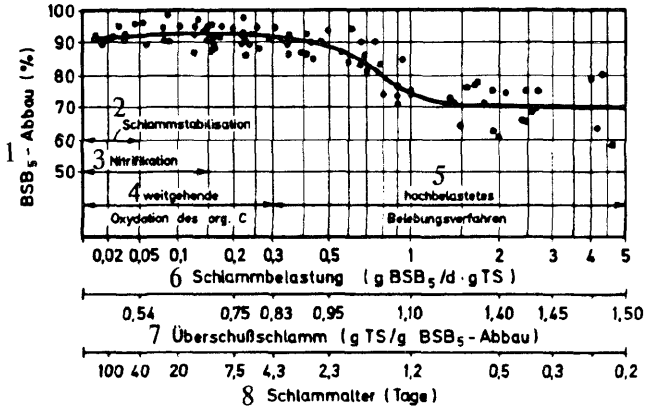


Рис. 5.48. Снижение $БПК_5$ в зависимости от нагрузки на ил и сопоставление количества избыточного ила и возраста ила по результатам эксплуатационных испытаний

1 – снижение $БПК_5$ в %; 2 – стабилизация ила; 3 – нитрификация; 4 – продолжающееся окисление органического углерода; 5 – способ с активным илом при высокой нагрузке; 6 – нагрузка на ил (г $БПК_5$/сут • г сухого вещества); 7 – избыточный ил (г сухого вещества/г снижения $БПК_5$); 8 – возраст ила (суток)

Эти зависимости показаны на рис. 5.48. Диаграмма построена с учетом множества результатов, полученных при эксплуатации различных аэрационных установок. Здесь учтено также воздействие вторичного отстойника. При увеличении нагрузки на ил не только уменьшается снижение, но и вместе с этим становятся более труд-

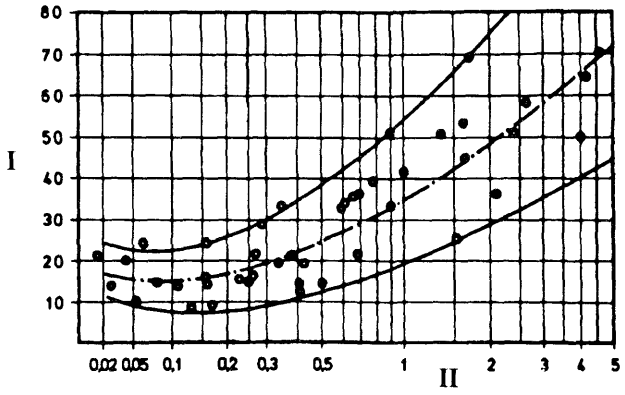


Рис. 5.49. Влияние нагрузки на ил аэротенка на концентрацию загрязнений осветленного стока из вторичного отстойника
I – концентрация загрязнений стока (мг/л) по $БПК_5$
II – нагрузка на ил (г $БПК_5$/сут • г сухого вещества)

ноуловимыми колебания нагрузки по притоку. В этом случае различие между результатами для одинаковых установок оказывается более заметным (рис. 5.49 и Boehnke, B., KA 1978, 201). В тщательно эксплуатируемых опытных установках, зачастую испытывающих лишь незначительные колебания нагрузки, снижение БПК происходит менее быстро при увеличении нагрузки на ил. Шкала избыточного ила на рис. 5.48 в г сухого вещества/г снижения $БПК_5$ действительна для высокопроизводительных первичных отстойников и для бытовых сточных вод. Расчет возраста ила описывается ниже.

Моделирование динамики разных процессов, происходящих в аэрационной установке, предлагается М. Хенце и др. (Henze, M., et al., Activated Sludge Model No. 1, IAWPRC 1987).

Подачу воздуха можно считать достаточной, если во всех частях аэротенка содержание кислорода составляет от 1 до 3 мг/л. Более высокие значения являются бессмысленными, не говоря уже о том,

что это связано с дополнительными расходами. На входе аэротенка необходимо иметь наибольшее количество воздуха, а на его выходе – наименьшее. По этой причине в первую секцию аэротенка подается больше воздуха, чем в последнюю, а при равномерной подаче воздуха используется "рассредоточенная подача сточных вод". А в общем устанавливается соответствие изменяющейся потребности в воздухе с качеством сточной воды (Plümer, GWF 1958, 1277). Подача воздуха может автоматически регулироваться по содержанию кислорода в воде (Stracke, G., Wasser u. Boden 1961, 196, Berichte ATV 1960, H. 12, 152, Bischofsberger, W., et al., Wasser, Luft und Betrieb 1965, 80, Rincke, G., et al., Vom Wasser 1967, 297, 2. Arbeitsbericht des ATV–Fachaussusses 2.13, KA 1979, 78, Billmeier, E., KA 1983, 334, Kayser, R., Ber. ATV Nr. 35, 1983, 693, Poepel, H. J., KA 1989, S. 453 und 582).

Необходимое количество воздуха рассчитывается по потребности в кислороде сточной воды, поступающей в аэротенк. Чем больше возраст ила или чем меньше нагрузка на ил (стр. 240), тем больше снижается БПК не только в сточных водах, но и в аэротенке, иначе происходило бы загнивание ила. Если в таблицу на стр. 146 вместо времени снижения ввести возраст ила, то получим соотношение между БПК на притоке и потребностью в кислороде в аэротенке. Чтобы сгладить пики нагрузки, производительность подачи кислорода при аэрации должна повышаться примерно в 1,5 раза. За основу можно взять нижеследующие относительные значения производительности подачи кислорода (Oxygenation Capacity) и нагрузки по $БПК_5$ (load):

Способ регенерации	Соотношение между удельным расходом кислорода и нагрузкой (OC — load)
Аэрирование со стабилизацией ила	2,5 до 3,0 г O_2/г $БПК_5$
Полная очистка с нитрификацией	1,8 до 2,5 г O_2/г $БПК_5$
Полная очистка	1,2 до 2,0 г O_2/г $БПК_5$
Частичная очистка	1,0 и меньше г O_2/г $БПК_5$

Если эти значения умножить на среднесуточное (24 ч) $БПК_5$, то получим максимальный удельный расход кислорода в час при средних колебаниях нагрузки (см. Rüffer, H., Veroeff. Inst. für Siedl. TH Hannover 1968, H. 27).

Производительность по кислороду (ОС) при аэрации определяется опытным путем для температуры воды 10 ° или 20 ° и для содержания кислорода, равного нулю (Noack, W., Wasser, Luft und Betrieb 1962, 64, v. d. Emde, W., et al., GWF 1965, 1337, Rincke, G., et al., Vorschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1792, Westdeutscher Verlag Koeln 1967). Вода предварительно обескислороживается посредством азота или других химических веществ. Проще определяется производительность по кислороду в эксплуатационных условиях (Kayser, R., Veroeff. Inst. für Stadtbauwesen, TH Baunschweig 1967, Bd. 1, Wiener Mitt., Bd. 47, 1982).

Хорошо зарекомендовал себя расчет требующейся производительности по кислороду с помощью значения удельного расхода кислорода, ОС – load, в частности, при поверхностной аэрации или при щеточном аэрировании.

Для частичной очистки сточных вод от 100 000 жителей требуется, например, 100 000 жителей • 40 (г БПК/чел•сут) • 1 (г O_2/г БПК) = 4000 кг O_2/сутки или 4000 : 24 = 167 кг O_2/ч. Так как вводится примерно 1,5 кг O_2/кВтч, то для аэрации необходима мощность 110 кВт. То есть выбираются два рабочих аэратора мощностью по 55 кВт.

Несколько иной подход к расчету для сжатого воздуха. При полной очистке для снижения 1 кг $БПК_5$ нужно вводить 1,5 кг кислорода. Из кислорода, содержащегося в подающемся воздухе, используется всего от 5 до 15 % в зависимости от способа аэрации. Так как в соответствии со стр. 187 1 $м^3$ воздуха содержит 280 г кислорода, то при 11-процентном использовании для снижения 1 кг $БПК_5$ нужно подавать (1500 • 100) : (280 • 11) = 48,7 $м^3$ воздуха. По стр. 133, учитывая отвод осажденных веществ, можно сделать расчет с уче-

том 40 г $БПК_5$ на одного жителя. Его нужно снизить на 40 • 0,9 = 36 г, соответственно потребность в кислороде составляет 36 • 1,5 = 54 г. Для этого требуется следующее количество воздуха (54 • 100) : (280 • 11) = 1,75 $м^3$/(чел•сут). Учитывая число жителей, в расчеты для промышленных сточных вод нужно включать эквивалент числа жителей (см. таблицу в разделе 5.10.1).

Для разных способов аэрации и при снижении БПК на 90 % применимы следующие *средние значения*:

Способ аэрации	Использование кислорода воздуха	Потребность в воздухе на кг снижения БПК	Потребность в воздухе на одного жителя в сутки
мелкопузырчатые аэраторы	11 %	48,7 $м^3$	1,75 $м^3$
среднепузырчатые аэраторы (диаметр пузырьков воздуха 1,5 – 3 мм)	6,5 %	82,4 $м^3$	3,0 м3
крупнопузырчатые аэраторы	5,5 %	97 $м^3$	3,5 м3

Указанные количества воздуха рассчитаны для глубины нагнетания 3,0 м. При меньшей глубине нагнетания потребность в кислороде увеличивается в определенном отношении к уменьшению глубины (см. пример 6 раздела 5.16). Потребление энергии остается примерно таким же. Максимальная производительность воздуходувки должна быть приблизительно в 1,5 раза больше значения, рассчитанного для среднего 24-часового БПК, а минимальная производительность должна составлять около 1/3 среднего значения, чтобы можно было согласовывать количество воздуха с колебаниями нагрузки (рис. 5.1). Методы расчета см. в следующих публикациях: Kalbskopf, K. H., GWF 1961, 181, Müller–Neuhaus, G., Oesterr. Wasserwirtsch. 1961, H. 2 von der Emde, W., Wasserwirtsch.–W. t. 1961, 331, Knop, E., GWF 1962, 281, Müller, W. J., GWF 1962, 284, Moeller, U., Komm. wirtsch. 1962, 372, v. d. Emde, W., Schw. Zeitschr. f. Hydrologie 1964, 338, Koral, J., Gas–Wasser–Abwasser 1980, Heft 3.

При аэрации крупными и средними пузырьками воздуха поглощение кислорода можно улучшить посредством осуществления турбу-

лентных движений. При любых способах аэрации сжатым воздухом лучшие результаты достигаются при горизонтальном прохождении сточных вод через аэрационную решетку со скоростью примерно 0,5 м/с (Pasveer et al., JWPCF 1965, 1267). Практической формой применения этого способа является противоточный радиальный отстойник (см. раздел 5.13).

О падении давления в воздухопроводах см. Merkel, W., GI 1952, 352, Arbeitsblatt Nr. 20 nach Arthur A. Lemke, Sew. a. Ind. Wastes 1952, 24. Опытом установлено, что скорость воздуха в трубопроводах составляет от 10 до 20 м/с.

Поверхностные аэраторы, упомянутые в п.п. 3 и 4 на стр. 235, при одинаковом потреблении энергии обеспечивают примерно такой же ввод кислорода, какой обеспечивается и при хорошем способе аэрации с помощью сжатого воздуха. См. по этому поводу Emde, W., Veroeffentl. d. Inst. f. Siedlungswasserwirtschaft d. Techn. Hochsch. Hannover H. 1, 1957, Berichte ATV., H. 10, 1959, 309, Wasserwirtsch.-W. t. 1961, 331, Münchner Beitraege, Bd. 5, 1968, 223, Kehr, v. d. Emde, JWPCF 1960, 1066, Kehr, Schweiz. Ztschr. f. Hydrologie Bd. 22, Fasc. 1, 1960, 486, Stuewer, U. GWF 1961, 667, Knop, E., et al., Versuche mit verschiedenen Belüftungssystemen, Vulkan-Verlag Essen 1964 und 1965, Teile 1 und 2; Emde, W., Wiener Mitt., Bd. 64, 1986.

Для разработки аэротенков важное значение имеют нижеследующие контрольные цифры:

Мелкопузырчатая аэрация:

Ширина аэротенка к его глубине	1 : 1 при циркуляционном тенке
Глубина нагнетания воздуха	3 – 6 м
Количесво воздуха	1 – 3 $м^3$/($м^3$ емкости аэротенка • ч) (1 $м^3$ воздуха при 0 °C и давлении 1 бар)
Ввод кислорода	30 – 200 г O_2/($м^3$ • ч)
Аэратор	5 – 15 $м^3$ воздуха /(м • ч)
Аэратор	20 – 60 $м^3$ воздуха/($м^2$ площади фильтра • ч)
Расстояние между фильтрующими патронами	30 – 50 см

Потребляемая энергия	6 Втч/($м^3$ воздуха • м глубины нагнетания)
Удельная мощность	> 10 $Вт/м^3$

Резервуары с большей глубиной нагнетания более экономичны с точки зрения потребления энергии. Детергенты оказывают сильное воздействие на ввод кислорода. При содержании железа более 5 мг/л повышается опасность закупорки. Вызвать закупорку могут и другие причины.

Поверхностный аэратор:

Глубина аэротенка к его ширине (приблиз.)	1 : 3 до 1 : 8
Глубина	2,5 – 4 м
Удельная мощность	20 – 100 $Вт/м^3$ емкости резервуара
Диаметр аэратора	0,50 – 2,50 м
Мощность двигателя	1 – 70 кВт
Линейная скорость обода аэратора	3 – 5 м/с
Дальность разброса	$0{,}3 \cdot v_u^2$

Производительность по кислороду изменяются (возрастают) в зависимости от величины d^2 рабочего колеса аэратора и от линейной скорости обода в третьей степени. Регулирование подачи кислорода в большинстве случаев осуществляется путем изменения частоты вращения (в диапазоне 50 – 100 % ОС). Возможны увеличения и уменьшения (в диапазоне 50 – 100 % ОС). Если предусмотрены оба варианта, то возможно регулирование в диапазоне 25 – 100 % ОС. Испытания чистой воды после очистки в этих системах дали высокие исходные значения по кислороду, которые при эксплуатации могут снижаться из-за детергентов и других влияний. Следует учитывать значения удельного расхода кислорода OC–load (стр. 242) и 1,5 кг O_2/кВтч. Определение подачи O_2 см. KA 1979, 416.

В нижней части резервуара скорость воды должна превышать 20 см/с для того, чтобы не допустить отложения ила. Для аэраторов нужно отводить квадратную часть резервуара (в плане). Стенки и днища между двумя аэраторами должны быть ровными и плоскими. В этом случае легче согласовывать гидравлические поверхности раз-

дела с мощностью противоположных аэраторов. При нормальном содержании детергентов в 2 мг MBAS[x)]/л и отношении глубины резервуара к его ширине 1 : 4, в зависимости от емкости резервуара, достаточную циркуляцию обеспечивает нижеследующая удельная мощность [xx)]:

Емкость резервуара	Удельная мощность
500 м^3	20 Вт/м^3
1000 м^3	15 Вт/м3
2000 м^3	10 Вт/м3

(Knop, E., et al., Internationale Abwasserkonferenz Prag 1969, II-11, GWF 1969, 198).

При встречном вращении соседних аэраторов происходит достаточное перемешивание в резервуаре. Однако потребляемая мощность при этом подвержена большим колебаниям, чем при одинаковом направлении вращения. На дне резервуара под аэраторами могут возникать эрозионные повреждения (Imhoff, K. R., Berichte der ATV, Nr. 28 1976, 155).

При поверхностной аэрации возникают сильные шумы, которые можно уменьшить лишь до определенной степени, используя определенные меры шумозащиты. Нужно обращать внимание на достаточное расстояние очистной станции от жилых районов (стр. 130).

Для увеличения долговечности фильтросов и фильтрующих труб важно, чтобы воздух был полностью очищен от пыли и чтобы в ящиках, в которых находятся пластины, и в трубопроводах не образовывалась ржавчина (Anderson, N. E., Sew. and Ind. Wastes 1950, 461). Поворотные фильтрующие трубы имеют то преимущество, что их можно очищать или заменять, не прерывая эксплуатацию резервуара. При наличии фильтросов и фильтрующих труб ни в коем случае нельзя отключать подачу воздуха, так как в этом случае в них проникает сточная вода и закупориваются отверстия фильтрующих труб.

С лучшим использованием воздуха благодаря *рассредоточенной*

подаче сточных вод (load distribution) в аэротенке можно познакомиться в публикации Рихарда Х. Гоулда 1939 года и других публикациях (Gould, R. H., Mun. San. April 1939, 815, Sew. W. J. 1942, 313, Civ. Eng. (USA) Jan. 1949, 18, Eng. News Rec. 1. Sept. 1949, 180, Sew. and Ind. Wastes 1950, 997, Edwards, G. P., Sew. W. J. 1940, 1077, McKee, J. E., et al., Sew. W. J. 1942, 121, Torpey, W. N., Sew. W. J. 1948, 781, Edwards, G. P., Sew. W. J. 1949, 640, Imhoff, GI 1949, 394, Schmitz–Lenders, GI 1952, 291, Gould, R. H., GI 1954, 2, Torpey, W. N., Sew. a. I. W. 1955, 1217, Rohde, H., Abwassertechnik in USA. Rationalisierungskuratorium H. 53, 1957). Гоулд называет эту систему "Step Aeration". (По Кессенеру этот способ применялся еще раньше на очистных установках в Голландии. Он ссылается на Груте (Groote, F. J., Hilversum, Publicke Werken, Feb. 1939).

При этом усовершенствованном способе на вход аэротенка подается одинаковое количество активного ила, а вот сточные воды распределяются по-разному в нескольких точках аэротенка. Такая конструкция представлена на рис. 5.50. Возвратный ил R, поступающий из вторичного отстойника N с помощью насоса P, подается на вход аэротенка. Аэротенк, например, разделяется на четыре секции: A, B, C, D, – через которые последовательно протекает ил. В каждую из секций подается четвертая часть сточных вод.

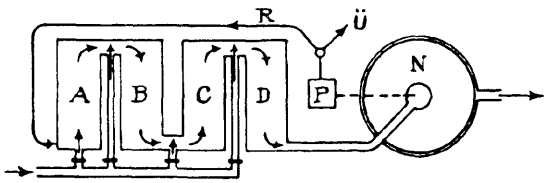


Рис. 5.50. Распределенная подача сточных вод
при очистке способом с активным илом
A, B, C, D – четыре аэротенка, включенных один за другим с четырьмя линиями подачи сточных вод; N – вторичный отстойник; P – иловый насос; R – возвратный ил; U – избыточный ил

При этом способе можно избежать сильной перегрузки активного ила на входе аэротенка, так как ил здесь первоначально смешивается только с частью сточной воды. В нашем примере только четверть сточной воды пребывает в аэротенке в течение всего периода аэрации. Остальная часть сточной воды пребывает в аэротенке соответственно недолгое время. В результате этого для ила предоставляется больший период аэрации. Увеличивается также "возраст ила" (стр. 256) и появляется больший запас ила.

"Распределительный впуск сточных вод" особенно хорошо представлен способом эксплуатационной очистки, который А. Х. Уллрих из Аустина, штат Техас, называет "биосорбцией". При этом примерно 4/5 объема аэротенка используются для повторной аэрации возвратного ила [x)] и лишь в 1/5 объема аэротенка подается собственно сточная вода (Water and Sew. W. 1957, 23, Sew. a. I. W. 1957, 400, Imhoff, K., Wieder eine Verbesserung des Belebungsverfahrens, GWF 1957, 649).

Благодаря распределительному впуску сточной воды в удлиненных аэротенках, продуваемых сжатым воздухом, происходит более интенсивное перемешивание (Dahlem, H., GWF 1969, 1446). В аэротенках с циркуляцией ила и аэротенках с поверхностными аэраторами происходит почти полное перемешивание. Такое состояние протекания процессов способствует выравниванию концентраций (McKinney, R., JWPCF 1970, 737).

Во *вторичных отстойниках* активный ил, добавленный в сточные воды, снова осаждается путем отстоя, концентрируется и отводится. Здесь ил не может оставаться длительное время, так как в противном случае из-за восстановления нитратов (см. раздел 4.2) образуется газообразный азот, что приводит к всплыванию ила (Brandon, T. W., et al., Surveyor 1945, 7; Gujer, W., VSA–Bericht Nr. 311, Zürich 1986). При средней температуре норма времени пребывания составляет шесть часов. Поэтому ил должен стекать или откачиваться по возможности в течение довольно длительного времени, независимо от

того, насколько он жидкий. Так как речь идет о явно выраженном коагулированном иле (см. раздел 5.4.3), то для этого наиболее подходят воронкообразные отстойники, в которых происходят восходящие перемещения воды (рис. 5.18, 5.22, 5.27). Можно с успехом использовать также резервуары по рис. 5.21, в которых вода стекает по перфорированным трубам, расположенным горизонтально ниже уровня воды и радиально выступающим по стенкам резервуара. В больших очистных сооружениях США с успехом применяютсв также отстойники с плоским дном и малой глубиной (рис. 5.23 и 5.25). При крупных очистных сооружениях в ФРГ предпочитают отстойники (рис. 5.20) из-за их более простой конструкции, но применяются также и отстойники, показанные на рис. 5.24.

Системы иловых камер должны обеспечивать достаточную производительность для удаления ила (Kalbskopf, K. H., et al., KA 1988, 263). Скорость освобождения от ила составляет от 2 до 4 см/с, высота щитового скребка – от 35 до 70 см, нагрузка на пороге перелива – до 15 $м^3/(м \cdot ч)$. При круглых отстойниках диаметром более 30 м для повышения производительности сгребания ила щитовые скребки должны прилегать по всему диаметру отстойника. Нужно предусматривать также возможность отвода и задержания плавающего ила.

Если в аэротенке увеличивается содержание ила, то повышается и нагрузка на вторичный отстойник. Поэтому при проектировании нужно согласовывать емкости ступени аэрации и вторичного отстоя (Hoerler, A., GWF 1968, 1337). В зависимости от илового индекса (стр. 261) Меркел вывел уравнения, которые позволяют рассчитывать процессы осаждения и сгущения во вторичных отстойниках (GWA, Aachen 1971 Bd. 5, GWF 1971, 596, Münchner Beitraege, Bd. 24, 1973, 146, GWF 1974, 272). Зависимости для горизонтально-проточных вторичных отстойников определил Биллмайер (Billmeier, E., Ber. TU München, Nr. 21, 1978), а для горизонтально-проточных круглых отстойников относительно удаления из них ила Гюнтерт

(Guenthert, F, W., Ber. TU Muenchen, Nr. 49, 1984 und GWF 1985, 136). Вертикально-проточные вторичные отстойники исследовал Реш Х. (Resch, H., Ber. TU Muenchen, Nr. 29, 1981). Методы расчета приведены в ATF—Arbeitsblatt A 131, Entwurf 1989. Американские методы расчета дает Кайнат (Keinath, T. M., JWPCF 1985, 770).

Если требуется, чтобы в сливе из горизонтально-проточного вторичного отстойника содержание твердых веществ не превышало 30 мг/л, должна соблюдаться *удельная нагрузка на ил* около 0,3 $м^3/(м^2 \cdot ч)$ даже при *выпадении дождя*.

Удельная нагрузка на ил рассчитывается по гидравлической нагрузке сточных вод на единицу площади аэротенка, умноженной на *эквивалентный объем ила* на притоке в аэротенк. Эквивалентный объем ила соответствует объему ила, образовавшемуся через 1/2 часа отстоя вплоть до контрольных значений 250 мл/л = 0,25 $м^3/м^3$. При более высоком содержании ила из-за нарушения процесса отстоя проба в пробирке разбавляется, после чего определяется иловый индекс (стр. 261) в разбавленной пробе и путем умножения на содержание твердых веществ в первоначальной пробе рассчитывается эквивалентный объем ила.

Удельная нагрузка на ил 0,3 $м^3/(м^2 \cdot ч)$ при иловом индексе 100 мл/г [x)] сухого вещества = 0,1 $м^3$/кг сухого вещества соответствует поверхностной нагрузке твердыми веществами 0,3 : 0,1 = 3 кг сухого вещества/$(м^2 \cdot ч)$. При иловом индексе 200 мл/г сухого вещества допускается еще 1,5 кг сухого вещества/$(м^2 \cdot ч)$. При преобладании вертикально-проточных вторичных отстойников из-за наличия фильтра для мелкодисперсных частиц допускаются значения в 50 % от максимальных.

Глубина воды в отстойниках, имеющих удлиненную форму, должна составлять 3 м, а в круглых отстойниках она не должна быть меньше 2,50 м. Глубины до 4 м обеспечивают большую надежность при интенсивных атмосферных осадках (дожде) и оказывают благо-

приятное влияние при увеличении концентрации возвратного ила. Пример расчета см. в разделе 5.16.

Во вторичных отстойниках устанавливается иловый насос, который сразу же после осаждения захватывает ил и выкачивает его. Большая часть этого ила возвращается в аэротенк в виде *возвратного ила.* Активные хлопья, содержащиеся в возвратном иле, и обеспечивают собственно очистку.

Количество активного ила в аэротенке, как правило, выражается в объемных частях. Проба воды осаживается в стакане для отмучивания осадков. Хлопья оседают в стакане на 0,4 м в течение 10 мин. (Это соответствует скорости осаждения 2,4 м/ч). Содержанием ила (мутностью) считается то количество, которое получается после получасового отстоя.

Более точным методом является определение весового процента осажденного ила. Например (см. раздел 5.9.3), он содержит 99,3 % воды или 0,7 % твердых веществ. Если мутность в аэрационной установке принять за 20 %, соответственно 200 мл/л после получасового отстаивания, то получим $0{,}7 \cdot 20 : 100 = 0{,}14$ (весовых %) или 1400 мг/л сухого остатка.

Так как при откачивании ила во вторичный отстойник нельзя дождаться его осаждения, а, по-возможности, его нужно сразу же удалить, то в откачиваемом иле содержатся большие избытки воды и потому откачанное количество ила составляет примерно 30 % от всего количества протекающих сточных вод. При малоконцентрированных сточных водах исходят из небольшого количества возвратного ила. При высококонцентрированных сточных водах исходят из значительно большего количества возвратного ила. При этом не нужно бояться перекачивания больших количеств воды, так как из-за небольшой высоты подъема затраты в большинстве случаев очень незначительные. Не нужно увеличивать размер аэротенков, так как откачанный возвратный ил на 99 % состоит из полностью очищенной воды, которая разбавляет высококонцентрированные

Характеристики нагрузок на аэрационные установки

	Продолжительность аэрации, ч	Ил в аэротенке, г/м^3 x) (p.p.m.)	Нагрузка аэротенка		Нагрузка по БПК на ил (г/сут на г)	Расход возд на БПК, м^3/кг (фут^3/фунт
			БПК (BOD)			
			г/(м^3•сут) (фунт/1000 фут^3) в сут	чел/м^3		
1. Полная биологическая очистка						
Лондон – Могден	8,5	2400	531 (33,2)	13	0,22	44,5 (712
Лондон – Мэпл Лодж	13,2	4600	383 (23,9)	10	0,08	51,0 (813
Чикаго С. В.	5,9	1930	336 (21,0)	8	0,17	54,7 (876
Чикаго Н. Сайд	5,3	2400	353 (22,1)	9	0,14	40,2 (645
Кливленд Истерли	6,2	1248	278 (17,4)	7	0,22	100 (1600
Декейто, Илл.	3,8	2342	572 (35,8)	14	0,24	65 (1043
Милуоки Уэст	8,4	3000	750 (47,0)	19	0,25	45,2 (725
Пеория, Илл.	5,7	1640	552 (34,5)	14	0,33	46,5 (745
Нью-Йорк – Водз Айл.	4,6	1770	1080 (67,5)	27	0,61	23,5 (377
Нью-Йорк – Толм. Айл.	3,6	1500	840 (52,5)	21	0,56	29,2 (468
Нью-Йорк – Бовери Бей	2,5	1680	1110 (69)	28	0,66	30,6 (490
Остин, Техас	2,5	6000	2080 (130)	52	0,35	41,0 (656
Детмолд	1,0	8000	6000 (337)	150	0,75	–
2. Частичная очистка						
Нью-Йорк – Ямайка	2	650	1600 (100)	40	2,46	22 (353)
Лос-Анджелес	3,0	300	1290 (80)	32	4,30	33,6 (540
Вуппераль	1,7	2500	2500 (156)	63	1,00	30 (480)

сточные воды. При перекачивании сточные водыв быстрее прогоняются через аэротенк, но зато опять включаются в циркуляцию. Таким образом, продолжительность аэрации сточных вод остается, в среднем, одинаковой независимо от того, как часто они перекачиваются вместе с возвратным илом и пропускаются через аэротенк. В старых установках количество возвратного ила в большинстве случаев составляет 20 - 30 % от количества сточных вод. В новых установках оно составляет от 50 до 100 %. На рис. 5.51 изображена упрощенная зависимость содержания ила от содержания твердых веществ в возвратном иле и от влажности ила [x)] (Imhoff, K. R., GWF 1963, 1494). Содержание твердых веществ в возвратном иле можно принять равным 0,75 или 1 %.

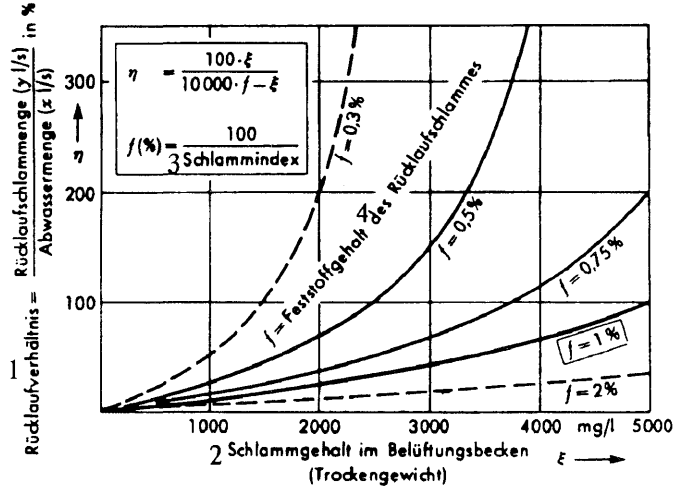


Рис. 5.51. Зависимость содержания ила в аэротенке от содержания твердых веществ в возвратном иле и от влажности ила

1- *влажность* ила $= \dfrac{\textit{количество возвратного ила}\ (y\ ,\ л/с)}{\textit{количество сточных вод}\ (x\ ,\ л/с)}$ *в* %;

2 – содержание ила в аэротенке (сухой вес); 3 – иловый индекс; 4 – содержание твердых веществ в возвратном иле

Повышенное количество возвратного ила при способе очистки активным илом оказывает действие, подобное рециркуляции сточной воды в капельном биофильтре (см. раздел 5.7.5). В обоих случаях с помощью небольший, т.е. высоконагружаемой, установки можно добиться почти такой же очистки, как и с помощью крупной и малонагружаемой установки. Условием для этого является сохранение нормального активного ила (см. ниже).

В результате постоянного циркулирования возвратного ила в установке его количество увеличивается в результате того, что микроорганизмы поступают в качестве источников питания. Из тех веществ, которые постоянно подаются со сточными водами, биологически потребляется всего около 10 %. Остальные образуют новый ил. Например, количество ила, измеренное утром после получасового отстаивания, составляет 16 %, а вечером оно составляет 22 %. Такой дневной прирост нужно регулярно удалять как *избыточный ил*. Откачанный избыточный ил составляет 5 л/(чел • сут) (см. раздел 5.9.3). При усредненных сточных водах 200 л/(чел • сут) откачанный избыточный ил составляет 5 : 200 = 2,5 % от суточного количества воды.

Таким образом, если в качестве возвратного ила перекачивать 30 % протекающих сточных вод, то нужно регулярно удалять 2,5 % избыточного ила от количества воды. В этом случае отношение избыточного ила к возвратному илу составляет примерно 1 : 12. Степень очистки в аэрационной установке можно повысить, увеличив количество активного ила вместе с дневной нагрузкой биологической ступени (рис. 5.1). В этом случае избыточный ил удаляется только ночью, в часы слабых нагрузок, и его количество в два раза больше. Но при этом требуется хорошее регулирование, чтобы утром еще оставалось достаточное количество ила для очистки в течение следующего дня.

Возраст ила расчитывают из отношения количества ила, находящегося в аэротенке, к количеству ежесуточно откачиваемого ила.

Одновременно этим рассчитывают и запас ила во вторичном отстойнике; однако в нем должно быть по возможности немного ила (стр. 249). При расчете можно учитывать и разницу по отношению к содержанию воды.

Количество избыточного ила составляет от 0,75 до 1,0 кг сухого остатка на 1 кг снижения БПК (McNicholas, Berichte ATV, Heft 13, 1961, 114). Оно уменьшается вместе с возрастом ила (Linder, W., GI 1958, 271). Для аэротенков с избыточной подачей воздуха расчеты выполняются с 0,6 кг твердых веществ на 1 кг снижения БПК. С помощью приведенных значений можно определить возраст ила по нагрузке на ил. Нужно взять значение, обратное значению нагрузки на ил (г сухого вещества • сутки) : (г $БПК_5$), и установить соответствующее илообразование для г $БПК_5$ (рис. 5.48).

Образовавшиеся выше значения, касающиеся характеристик и параметров при использовании способа с активным илом, собраны в приведенной ниже таблице. Цифровые значения действительны только для случаев преобладания бытовых сточных вод. Для промышленных сточных вод возможны значительные отклонения. Первая колонка относится к биологической очистке с окислением углеродистых соединений. Во второй колонке дополнительно указывается микробиологическое окисление соединений азота. Цифровые значения третьей колонки относятся к установкам, в которых, кроме всего прочего, ил должен подвергаться еще и аэробной стабилизации (см. раздел 5.9.5). В таблице не приводится широкий диапазон применения способа с активным илом при высоких нагрузках, когда можно достичь любой степени частичной очистки (стр. 260) вплоть до полной очистки (рис. 5.48 и 5.49).

Как показано на стр. 238, при новых очень жестких требованиях к очистке в ФРГ (см. таблицу раздела 4.3), нужно строить стабилизирующие установки до 30 000 жителей. Метод расчета для нитрификации и денитрификации, который соответствует новым инструкциям ATV (ATV–Arbeitsblatt A 131 /Gelbdruck 1989/) описан в разделе 5.8.2.

Расчетная таблица для способа очистки с активным илом

Параметр способа	Биологическая очистка		
		с нитрификацией	со стабилизацией ила [x)]
Достижимое среднее значение стока (мг БПК5/л)	20	15	15
Удельная нагрузка (г БПК5/($м^3$ • сутки))	1000	500	250
Эквивалент числа жителей на $м^3$	25	12	4
Содержание ила (г сухого вещества/$м^3$)	3300	3300	5000
Нагрузка на ил (г БПК5/г сухого вещества • сутки)	0,3	0,15	0,05
Период аэрации (ч)	3,6	7,2	14,4
Избыточный ил (г сухого вещества/г БПК5)	0,8	0,7	0,8
Возраст ила (суток)	4	10	25
Удельная нагрузка кислорода (OC-load) (г O2/г БПК5)	2,0	2,5	2,5
Вторичная очистка (qF = м/ч)	0,75	0,6	0,5
Вторичная очистка (BF = г/($м^2$ • ч)	2500	2000	2500

[x)] Без первичного отстоя

Сам по себе *избыточный ил* нельзя обработать в достаточной мере. На земле его сушить нельзя из-за неприятного запаха. Но он может перегнивать в камерах сбраживания, а именно при его совместной обработке с илом предварительной механической очистки. Затруднительным при этом является только то, что количество избыточного ила 5 л/(чел • сут) с 99,3 % воды значительно больше, чем количество свежего ила из первичных отстойников (1,8 л/(чел•сут) с 97,5 % воды (по разделу 5.9.3). Вопрос состоит прежде всего в том, чтобы уменьшить содержание воды и вместе с тем количество ила перед подачей его в камеру сбраживания. Для этого могут служить *резервуары-сгустители*, где осаждается ил (см. раздел 5.9.4).

Проще смешивать избыточный ил со сточной водой еще перед первичными отстойниками так, чтобы он после этого осаждался в них вместе с илом сточной воды (Imhoff, Fortschritte der Abwasser-

reinigung mit belebtem Schlamm, Techn. Gem. bl. 15. Sept. 1924 und Disposal of Excess Activated Sludge by Digestion, Eng. Nes–Record 4. Juni 1925). Такая структура изображена на рис. 5.52. Она используется в большинстве аэрационных установок. Смешанный ил, полученный из первичного отстойника, содержит значительно меньше воды, и количество его меньше, чем было перед этим избыточного ила, хотя сюда добавился еще и ил сточных вод. Это в случае, если по разделу 5.9.3 откачивается смешанный ил 2л/(чел•сут) с содержанием воды 96 %. Если избыточный ил равномерно добавлять в сточную воду, то улучшается также и эффект очистки (Poepel, GI 1942, 415, Sawyer, C. N., et. al., Sew. Wks. Eng. 1943, 65). Для того, чтобы этот благоприятный эффект имел место и в первичном отстойнике, избыточный ил нужно подавать в первичный отстойник непрерывно и равномерно (Smith, E. E., Ohio Conf. of Sew. Tr. 51, 1941).

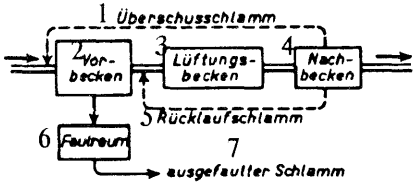


Рис. 5.52. Подача ила при способе с активным илом
1 – избыточный ил; 2 – первичный отстойник; 3 – аэротенк; 4 – вторичный отстойник; 5 – возвратный ил; 6 – камера сбраживания; 7 – перегнивший ил

Этот смешанный ил может затем перегнивать в камерах сбраживания. Количество газа в камерах сбраживания повышается при поступлении активного избыточного ила (см. раздел 5.9.10).
Однако это сопровождается тем нежелательным фактом, что при поступлении активного ила содержание воды в перегнившем иле становится значительно большим, чем это было бы без такого поступления. Содержание воды в перегнившем иле возрастает с 95 %

до 97,5 %, сухой остаток с 30 до 50 г/(чел•сут), а количество перегнившего ила с 0,90 до 2 л/(чел•сут), т.е. в 2,2 раза (см. раздел 5.9.3). Отсюда следует, что камеры сбраживания (см. раздел 5.9.9) и иловые площадки (для подсушки) (см. раздел 5.9.12) нужно делать в два раза большими, чем при использовании отстойников.

Активный ил можно *искусственно обезвоживать* в центрифугах (см. раздел 5.9.16). Осажденный ил, осушенный горячим способом, можно использовать в качестве удобрения. Более экономичной, особенно при небольших установках, является подача "свежего" или перегнившего ила, смешанного с илом первичного отстойника, на обезвоживающие машины. Количество сырого ила при этом значительно меньше, так как меньше содержание воды. Соответственно больше производительность обезвоживания. (Относительно обезвоживания свежего ила см. Trubnick, E. H., et al., Sew. a. I. W. 1958, 1364, und Tischer, W., Abwassertechnik 1978, 34).

Электрооборудование для очистки сточных вод включает кроме шламового насоса компрессор для получения сжатого воздуха или электродвигатели для поверхностных аэраторов. Для полной биологической очистки на 1 000 жителей потребляемая мощность составляет около 1,3 кВт.

Иногда эффективность аэрационной установки можно повысить посредством добавления минерального "*мертвого*" *ила* в активный ил. Известно, что даже тощая глина, поступающая вместе с дождевым стоком, улучшает осаждаемость активного ила. Этот эффект достигается и при подкачивании ила из первичного отстойника (Gunson, C. P., Sew. W. J. 1946, 1221, GI 1948, 310). Л. С. Краузу (L. S. Kraus) удалось усовершенствовать аэрационную установку благодаря тому, что он подавал в аэротенк перегнивший ил и воду сброженного ила, которые вместе с активным илом аэрировались до тех пор, пока смесь не превращалась в хороший активный ил с высоким содержанием нитратов (Sew. W. J. 1945, 1177, 1946, 1099, 1948, 989, 1955, 1347, GI 1949, 125, Water Works and Wastes Eng. July 1964, 32).

Однако здесь речь идет, главным образом, о промышленных сточных водах, в которых содержание азота недостаточно для потребления бактериями. Перегнивший ил поставляет недостающий азот.
Из других "мертвых" веществ чаще всего используется железо, в большинстве случаев в виде сульфата или хлорида железа. Обогащенный железом ил легче осаждается. При этом осаждаются *фосфаты* (см. раздел 5.8.1).
По *способу Нирса чугунная стружка* циркулирует в аэротенке, через который протекают сточные воды. В результате образуется растворенный гидроксид железа, который впоследствии оказывает положительное влияние на очистку активным илом (Jung, H., Vom Wasser, 1939/40, 216, Gi 1948, 305).
При обработке промышленных сточных вод в некоторых случаях хорошо зарекомендовала себя добавка активного угля (Ford, D. L., et al., IAWPR–Workshop, Wien, 1979).
При использовании погружных неподвижных биофильтров можно улучшить нитрификацию и иловый индекс (Schlegel, S., GWF 1986, 421; Krauth, Kh., et al., KA 1989, 79).
Меньшей производительности (т.е. *частичной биологической очистки*), которая соответствует среднему значению производительности отстойника и установки полной биологической очистки, можно добиться при способе с активным илом в следующих случаях.
1. *Повторная аэрация ила* в специальных резервуарах. Здесь ил, взятый из вторичного отстойника, снова активируется посредством специальной аэрации [x)]. Продолжительность аэрации в аэротенке можно ограничивать, например, одним часом. Затем возвратный ил в течение 12 часов пропускают через аэротенк повторной аэрации, после чего его снова добавляют к притоку в аэротенк (Haseltine, T. R., JWPCF 1961, 946).
2. *Двухступенчатый способ* с постоянным использованием аварийного спуска после вторичного отстойника первой ступени (см. раздел 5.7.9 и рис. 5.53).

3. Значительное *уменьшение возраста* и содержания ила в аэротенке по Гоулду. Эта разновидность *способа с активным илом с высокой нагрузкой* впервые применена на очистной станции Нью Йорк – Ямайка. Характеристики нагрузок на ил для этой станции приведены в таблице на стр. 253. В системе очистных сооружений первичные отстойники полностью исключены. При периоде аэрации всего 2 часа степень очистки составляет 75 %.

При эксперименте в Ямайке возраст ила составлял всего 0,37 суток, что составляет примерно одну десятую долю от обычного возраста. Ил был очень сброженным, но с малым количеством воды и хорошо осаждаемым. Он содержал 6,4 % твердых веществ, из которых 74,1 % – органические (Setter, L. R., Sew. W. J. 1943, 629, Setter, L. R., et al., Sew. W. J. 1944, 278, Gould, R. H., Sew. Wks. Eng. 1944, 506, Setter, L. R., et al., Sew. W. J. 1945, 669, Edwards, Sew. W. J. 1949, 640, Gould, R. H., Civ. Eng. (USA) Jan. 1949, 18, Eng. News-Rec. 1. Sept. 1949, 180; Sew. W. J. 1953, 155; Imhoff, GI 1949, 247 und 393, Parkes, G. A., Western City 1950, 28, Baxter, S. S., Civil Eng. (USA) 1950, 40, Gould, R. H., GI 1954, 2, Torpey, W. N. et al., Sew. a. I. W. 1955, 1217, Bargman, R. D., et al., Sew. a. I. W. 1957, 768, Torpey, W. N., et al., ASCE Jour. San. Div. June 1958, 1658, Haseltine, T. R., Water a. Sew. W. 1955, 487, Heeb, A., et al., GWF 1960, 758).

4. Уменьшение аэротенков примерно на 1/3 обычных размеров при *усиленной подаче* воздуха и высоком содержании ила в аэротенке. Так, в Вуппертале при 75-процентном снижении БПК получали активный ил, настолько же обезвоженный и легко осаждаемый, как и при способе с активным илом с высокой нагрузкой по Гоулду (п. 3) (Moehle, H., GWF 1955, 239, und Jour. a. Proc. The Institute of Sew. Pur. 1956, Part 3, 297, Poepel, F., GWF 1955, 533, auch Wuhrmann, K., Schweiz. ZTschr. f. Hydrologie 1953, H. I., Jung, H., Vom Wasser 1960, 185, Müller-Neuhaus, Oesterr. Wasserwirtsch. 1961, H. 2, Hunken, K. H., Stuttg. Ber. zur Siedlungswasserwirtsch. H. 4, 1960).

Хорошо зарекомендовали себя способы интенсификации очистки с

высокой нагрузкой по пунктам 2, 3, 4. От классического способа с активным илом (слабые нагрузки) они отличаются малым возрастом ила (стр. 256) или высокой нагрузкой на ил (стр. 239). Биоценоз этого активного ила почти полностью состоит из бактерий без простейших (см. раздел 4.2). Этот ил гуще, он более обезвожен и осаждается быстрее. При такой нагрузке и небольшом возрасте ила не создаются условия для развития нитчатых бактерий, вспуханию и выносу ила из сооружения.

При *пуске в эксплуатацию* новой аэрационной установки собственно активный ил образуется примерно через 7 суток. В начальной стадии на поверхности образуется пена. Если пена появляется и далее, это свидетельствует о недостаточном содержании возвратного ила или о наличии в сточной воде моющих средств. Если установка вводится в эксплуатацию нерегулярно, ее нужно постоянно поддерживать в рабочем состоянии. Активный ил нужно аэрировать и ночью, чтобы он перемешивался и не оседал на дно сооружения.

Состояние активного ила ухудшается из-за недостатка кислорода, т.е. из-за того, что поступающие органические загрязняющие вещества требуют больше кислорода, чем его поступает из подающегося воздуха. Подобным образом происходит отравление промышленными сточными водами (например, солями меди, кислотами, фенолом, минеральными маслами). Ухудшение состояния ила проявляется в том, что он вспухает вследствие чрезмерного развития нитчатых бактерий. Виды этих бактерий можно определить под микроскопом (Strom, P. F., et al., JWPCF 1984, 449). *Вспухший ил* занимает больший объем в воде, плохо осаждается и, в конце концов, в больших количествах выносится из вторичного отстойника и тем самым загрязняет очищенную воду.

Персонал, обслуживающий очистные сооружения, должен уметь распознавать изменения ила по его внешнему виду. Специалист может оценить ситуацию по скорости оседания ила в емкости для осаждения осадка (см. раздел 5.1). Химик оценит степень вспуха-

ния по содержанию воды в иле после получасового осаждения. Качественный ил содержит 98,5 % воды. Если содержание воды выше 99 %, то речь идет о вспухшем иле. В таких случаях содержание воды может доходить до 99,75 %.

По Моольману (Mohlman) плотность ила можно выразить посредством "*илового индекса*". Это – объем осажденного за 1/2 часа ила (в мм), сухой остаток которого составляет 1 г, или в пересчете на пробу воды, взятой из аэротенка:

$$= \frac{\textit{объемный процент осажденного ила } (мл/100\ мл)}{\textit{весовой процент сухого остатка } (г/100\ мл)}.$$

Например, ил с 98,5 % воды, т.е. с 1,5 % твердых веществ, имеет индекс 100 : 1,5 = 67 мл/г. Индекс Моольмана для вспухшего ила составляет > 150 мл/г. Кроме того вспухший ил можно распознать по наличию нитчатых бактерий в чистой отстоявшейся воде.

После получасового отстаивания в воронкообразном стакане (рис. 5.2) объем ила должен быть меньше 250 мл/л, потому что в противном случае затрудняется осаждение хлопьев ила и неправильно определяется количество ила. В случае необходимости количество ила нужно соответственно уменьшать путем разбавления стоком из вторичного отстойника (Stobbe, Veroeff. d. Inst. f. Siedl. TH Hannover 1964, H. 18, Staedtehygiene 1969, 222), DIN 38414, часть 10 "Определение объема ила и илового индекса").

В соответствии с публикациями (Wagner, F., Ber. d. ATV Nr. 35, 1983, 69; Maier, W., et al., KA 1985, 245; v. d. Emde, W., Wiener Mitteilungen 1985, Bd. 56; Albertson, O. E., JWPCF 1987, 172; Sarfert, F., et al., KA 1988, 152) средством против вспухания ила является нижеследующее:

1. Сокращение времени предварительного отстаивания.

2. Предварительная ступень высокой нагрузки. Матше (Matsche) рекомендует при аэрации считаться с удельной нагрузкой 10 кг $БПК_5/(м^3 \cdot сут)$, без аэрации – 2,5 (VSA–Bericht Nr. 345, Zürich 1987).

3. Предпочтение ступенчатому протеканию или каскадному протеканию через аэротенки.
4. Повышение содержания фосфора в активном иле путем добавления солеи железа или извести (см. раздел 5.8.1) или посредством предварительного включения анаэробной фазы.
5. Добавление питательных веществ, например, суперфосфата.
6. Добавление бактерицидных химикатов, таких как хлор (Enslow, Water Works and Sewerage 1943, 239; Bode, H., et al., KA 1982, 931) или перекись водорода.
В качестве защиты от залповых нагрузок промышленными сточными водами и от перегрузок вообще в аэрационных установках предусматривается регенерация ила, выдержавшего высокие нагрузки (стр. 259), или использование двухступенчатых сооружений (см. раздел 5.7.9).

При производственном контроле большой аэрационной установки необходимо проводить его по следующим показателям:
1. Количество сточных вод, возвратного ила и избыточного ила.
2. Анализ осадка на выходе из аэротенка.
3. Определение взвешенных веществ в воде аэротенка, возвратном иле и стоке.
4. Содержание кислорода в аэротенке.
5. Содержание кислорода на выпуске.
6. Высота ила во вторичном отстойнике.
7. Определение БПК и ХПК на притоке и на выпуске.

Пример расчета и рисунок приводятся в разделе 5.16, пример 6. Нагрузочные характеристики известных промышленных установок приводятся на стр. 253. По этому поводу см. также Imhoff, K., GWF 1958, 782 und Imhoff, K. R., GWF 1963, 1494.

5.7.9. Способ двухступенчатой биологической очистки

На крупных установках целесообразно использовать двухступенчатый способ с активным илом (рис. 5.53). По этому вопросу имеются следующие публикации:

Imhoff, K., Deutsche Erfahrungen in der Abwasserreinigung mit belebtem Schlamm, World Eng. Congress Tokyo 1929. Paper No. 210. Mohlman, F. W., et al., Sew. W. J. 1930, 529. Sierp, F., in Brix-Imhoff-Weldert, Die Stadtentwaesserung in Deutschland 1934, Bd. 2, 296. Jung, H., Vom Wasser 1950/51, 207, Kommunalwirtsch. 1954, 395. Imhoff, K., Das zweistufige Belebungsverfahren für Abwasser, GWF 1955, 43, Sew. a. Ind. W. 1955, 431. Lindner, W., Das zweistufige Belebungsverfahren, Thomas-Verlag, Kempen 1957, und GI 1958, 271. Plümer, C. H., Doktorarbeit, Stuttgart 1956, und GWF 1958, 1277. Knollmann, R., Veroeff. Inst. f. Siedl. TH Hannover, H. 28, 1968.

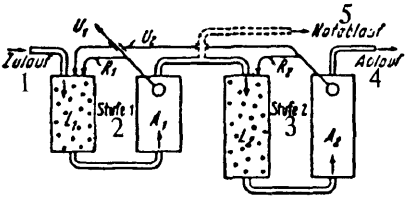


Рис. 5.53. Двухступенчатый способ с активных илом
L_1 и L_2 = аэротенки, A_1 и A_2 = отстойники, R_1 и R_2 = возвратный ил, U_1 и U_2 = избыточный ил:
1 – приток; 2 – ступень 1; 3 – ступень 2; 4 – сток; 5 – аварийный выпуск

Каждая из ступеней должна иметь свой собственный вторичный отстойник, и возвратный ил циркулирует только внутри своей ступени. Первичный отстойник в некоторых случаях не нужен. Тогда ил сточных вод проходит через первый аэротенк и осаждается в первом вторичном отстойнике. Активный ил первой ступени сильно

перегружается. Но он снова и снова оживляется посредством того, что здоровый избыточный ил второй ступени (U_2) не удаляется, а перекачивается в аэротенк первой ступени и используется в нем. В этом случае избыточный ил (U_1) удаляется только из вторичного отстойника первой ступени. Он гуще обычного "активного ила". Его количество меньше, и он легче осаждается. Вторичные отстойники первой ступени и камеры сбраживания ила можно проектировать с меньшими размерами. Аэротенки тоже уменьшаются, так как при этом используется очищающая способность избыточного активного ила. Примерно четверть аэрационного пространства приходится на первую ступень. Если отсутствует первичный отстойник, то его сгущающее действие на избыточный ил (стр. 257) можно заменить, построив специальный сгуститель (см. раздел 5.9.4). Кроме того недостатком этого способа является необходимость строительства двух вторичных отстойников.

Заслуга Бенке (Boehnke) состоит в планомерном использовании и практическом применении возможностей *адсорбционных свойств активного ила* (способа AB) (Boehnke, B., KA 1977, 33). При этом особое значение придается четкому разделению разных биоценозов первой и второй ступени. Нагрузка на ил ступени А преимущественно составляет от 3 до 5 кг $БПК_5$/(кг сухого вещества • сут). В соответствии с рис. 5.48 исключается около 75 % $БПК_5$, а возраст ила составляет менее 12 часов. Доля снижения $БПК_5$ за это время аэробным путем по Феиру при 20 °С составляет 0,15 • $БПК_5$. Таким образом, для удаления 1 кг $БПК_5$ нужно вводить всего 0,15 кг O_2. Поэтому на первой ступени исходят из 0,35 кВтч/кг снижеения $БПК_5$. На второй ступени обработки с активным илом существуют еще довольно легко разрушаемые составные части, так что она может эксплуатироваться стабильно. В зависимости от преследуемой цели очистки ее можно рассчитывать для нагрузки на ил от 0,15 до 0,30 кг $БПК_5$/(кг сухого вещества • сутки). По результатам, обобщенным Бенке, следует, что при расчете второй ступени на

$B_{сух.вещ.}$ = 0,30 можно ожидать такого же качества стока, как и на одноступенчатых установках при $B_{сух.вещ.}$ = 0,15 (KA 1980, 177). Это объясняется тем, что прирост ила на второй биологической ступени значительно меньше и при этих условиях нагрузка на ил должна сочетаться с большим возрастом ила (см. также Gethke, H. G., GWA 1983, Bd.66, Boehnke, B., GWA 1984, Bd.70, GWA 1986, Bd. 83).

Кроме двухступенчатой очистки с активным илом используются также системы с последовательным расположением: капельный биофильтр и обработка активным илом или обработка активным илом и капельный биофильтр. Преимущество системы *капельный биофильтр – активирование* заключается в том, что не требуется промежуточный отстойник. Если капельный биофильтр рассчитать для 800 г $БПК_5$/($м^3$ • сут), то в этом случае достаточно получасовой аэрации в аэротенке, чтобы добиться особенно хорошего качества воды. Капельный биофильтр после ступени обработки с активным илом должен рассчитываться для < 200 г $БПК_5$/($м^3$ • сут), так как на первой биологической ступени уже были удалены легкоразрушаемые вещества. Далем (Dahlem) описывает сравнительные исследования процессов разрушения в одноступенчатых и многоступенчатых капельных биофильтрах и аэрационных установках (диссертация, посвященная водоочистке, Дармштадт, 1977). Вильдерер П. (Wilderer, P) и др. особо отмечают преимущества двухступенчатого ведения процесса, KA 1978, 295 (см. также Boehnke, B., et al., KA 1983, 324; Imhoff, K. R., GWA 1983, Bd. 59, 335 und Gethke, H. G., et al., Forum Staedte–Hygiene 1982, 312; Neumann, H., et al., Schriftenreihe SIWAWI, Bochum 1985, Bd.2, 127; Bischofsberger, W., Berichte TU München 1986, Nr. 69; Krauth, Kh., ATV–Berichte 1987, Nr. 37, 235; Mudrack, K., ebenda, 259; Rincke, G., et al., KA 1989, 181).

5.7.10. Биологические очистные пруды, водохранилища

В сельской местности для решения проблемы очистки сточных вод

используются пруды. Их форма согласуется с рельефом местности. Склоны должны иметь уклон по меньшей мере 1 : 1,5. На уровне высоты зеркала воды они укрепляются дерном. Уплотнение дна требуется только при гравийном и песчаном грунте.

По сообщению в ATV-Arbeitsblatt A 201, St. Augustin 1989 существуют пруды-отстойники, которые служат для механической очистки сточных вод. Биологическая очистка производится примерно до 1 000 жителей в дополнительных последующих биологических очистных прудах или в прудах, которые аэрируются. Особыми случаями при этом являются рыбные пруды и водохранилища.

Если перед биологическими очистными прудами не устроены эмшерные колодцы, то эту задачу может решить *пруд-отстойник.* Он рассчитывается на >/= 0,5 $м^3$/чел. при глубине по меньшей мере 1,5 м. Рассчитывается также распределение на входе и затопленная разделительная перегородка на выходе. При очистке дождевой воды можно включать в расчет подъем воды от 20 до 30 см (Bucksteeg, K., GWF 1983, 126). Пруды-отстойники источают неприятный запах.

Неаэрируемые пруды-отстойники имеют площадь >/= 10 $м^2$/чел. и требуют времени пребывания по меньшей мере 20 суток.

Если нужна частичная нитрификация, нужно выполнять расчет с >/= 15 $м^2$/чел. Емкость делится на 2 – 3 секции. Переходы межцу прудами могут выполняться с учетом возможности аэрирования в виде водосливов или покрытого растительностью гравийного дна. Так как болотные растения обладают хорошей очищающей способностью, то район вытекания воды можно засаживать соответствующими растениями (Kraft, H., KA 1984, 840). В мире накоплен большой опыт очистки в очистных прудах (Schürg, R., Wasser u. Boden, 1972, 318; Ottmann, E., Ber. d. TU München, Nr. 15, 1977; Jürgensen, H., Wasser u. Boden 1982, 193; Schleypen, P., et al., GWF 1983, 108; Neumann, H., Ber. d. ATV Nr. 35, 1983, 757; Bucksteeg, K., et al., GWA 1983, Bd. 59, 453; Voss, K., GWA 1985, Bd. 69, 193; Wolf, P., GWA 1985, Bd. 69, 209; Schleypen, P., u. Kayser, R., in WAR, Bd. 26, Darmstadt 1986).

Если имеющейся в распоряжении площади недостаточно, то можно воспользоваться *аэрируемым биологическим очистным прудом*. В этом случае можно выбрать объемную нагрузку по $БПК_5$ </= 25 г $БПК_5$/($м^3$ • сут), пребывание – 5 суток, глубину – от 1,5 до 3,5 м. Требуется подача кислорода >/= 1,5 кг O_2/кг $БПК_5$. Для циркуляции воды при перекачивании достаточно от 1 до 3 Вт/$м^3$. Аэрируемый биологический очистной пруд является аэрационной установкой без циркуляции ила. Вносящиеся хлопья ила осаждаются в пруде вторичной очистки, что рассчитано на >/= 1 сутки. Удаление ила из биологических очистных прудов требуется лишь через несколько лет эксплуатации (Engelbart, F., Wasser–u. Abwasser–forschung 1969, 1; Boehnke, B., GWA, Bd. 59, 1983, 421; Sonnenburg, R., Wasser u. Boden 1984, 546; Vogt, M., KA 1986, 40; Brauch, M., et al., Ber. ATV 1986, Nr. 36, 725; Schleypen, P., KA 1986, 810). Количество ила в пересчете на одного жителя можно принять 0,1 л/(чел • сут).

Хороший опыт работы с биологическими очистными прудами накоплен в Америке, особенно в штатах Калифорния и Техас. Особенно хорошо они проявили себя при очистке загнивающих сточных вод консервных фабрик, сахарных заводов, спиртовых заводов, бумажных фабрик, а также сточных вод от небольших поселков и военных лагерей. Простота и надежность в эксплуатации выгодно отличают их от механических очистных установок. Необходима предварительная очистка сточных вод в отстойниках. Принимаемое в расчет время пребывания составляет от 20 до 30 суток. Можно отметить среднюю площадь поверхности 1 га при эквиваленте числа жителей 1000 – 1700 и удельную нагрузку от 9 до 18 г $БПК_5$/сутки на 1 $м^3$ воды при глубине 1,2 м. Если появляется запах, то его нужно устранить посредством добавления нитрата натрия (селитры) (см. раздел 5.7.11). Количество добавки необходимо рассчитывать так, чтобы она покрывала 20 % БПК. Пруды, имеющие глубину меньше 1,2 м, нужно периодически очищать от травы. Против москитов использу-

ются небольшие рыбки (Gambusia affinis). Бактерицидное действие прудов проявляется лучше, чем при искусственных биологических способах очистки (O'Connell, W. J., et al., Sew. W. J. 1944, 729, Caldwwell, D. H., Sew. W. J. 1946, 43, Pearse, L., and Committee, Sew. W. J. 1948, 1025, Myers, J., Publ. Wks. 1948, 12, 25, Siebert, C. L., et al., Water and Sew. Wks. 1948, 227, Parker, C. D., et al., Sew. a. I. W. 1950, 760, Oswald, W. J., Sew. a. I. W. 1953, 692, Smallhorst, D. F., Publ. Wks. 1953, 89, GWF 1954, 392, van Heuvelen, W., et al., Sew. a. I. W. 1954, 771, Towne, W. W., et al., ASCE Journal of San. Eng. 1957, 1337, Towne, W. W., et al., Sew. a. I. W 1957, 377, Oswald, W. D., et al., Sew. a. I. W. 1957, 437, Gotaas, H. B., Sew. a. I. W. 1958, 698, Report Nr. 19. ASCE Jour. San. Div. June 1958, 1678, Howells, D. H., et al., Sew. a. I. W. 1959, 811, Parker, C. D., Sew. a. I. W. 1959, 133, Gehm, H. W., Jour. W. P. C. F. Sept. 1963, 1174, Huber, L., Münchner Beitraege, Bd. 10, 1963, 180, Potten, A. H., Water Reasearch 1972, 781, Liebmann, H., et al., Wasser-u. Abwasserforschung 1972, 67).

Биологические очистные рыбные пруды – это очистные пруды, которые полностью ориентированы на рыбоводство. Подходящими для разведения рыбами являются карп и линь, которые хорошо растут даже при незначительном содержании кислорода. В сточных водах не должен содержаться ил. Для разбавления нужно добавлять чистую речную воду в соотношении 1 : 5. Речная вода и сточные воды подаются раздельно и смешиваются только в пруду для предупреждения образования грибков. В пруду площадью 1 га могут быть очищены бытовые сточные воды от 2000 человек или всего 5 $м^2$ на одного жителя вместо 10 – 15 $м^2$/чел. По расчету кислорода в примере 3 раздела 7.3.1 эта площадь, несмотря на разбавление чистой водой, оказывается слишком малой. Глубина пруда составляет около 0,5 м. Общий полезный объем соответствует количеству протекающей смешанной воды в течение примерно двух суток. Осенью из прудов полностью вылавливают рыбу. Предположительное получение рыбы – 500 кг на 1 га в год или всего 0,25 кг/(чел•год)

(Falck, GI 1935, 6; Kisskalt, Archiv für Hygiene 1937, Bd. 118, H. 1, 1; Schiemenz, F., Wasser u. Boden 1955, 9).

Так как биологические очистные рыбные пруды нельзя эксплуатировать круглогодично, то их нельзя рассматривать как полноценные биологические очистные сооружения. Их нужно соединять с отстойной установкой, достаточной для очистки местных сточных вод, которую можно использовать в любое время, если частично или полностью выводятся из эксплуатации рыбные пруды.

При обсуждении мер, принимаемых для того, чтобы облегчить водоемам переработку загрязнений, поступающих со сточными водами, далее (см. раздел 6.3) подробно показано, что при определенных условиях любой водоем с подпором. т.е. любое водохранилище на реке, усиливает самоочищение, так как увеличивается водная поверхность, поглощающая кислород из воздуха, и продолжительность протекания воды на участке реки. Отсюда следует, что *водохранилища* можно использовать для самостоятельной биологической очистки сточных вод. Они хорошо зарекомендовали себя как при крупных, так и небольших размерах. Их сооружение особенно целесообразно и выгодно, если их можно использовать также для нужд водного хозяйства, градостроительства и отдыха людей (Imhoff, K., Die Stauseen im Ruhrtale, Wasserkraft u. W. wirtsch., 15. 4. 1931). При этом вода может достичь в них очень высокой степени чистоты: она становится почти как речная (см. "Осветлительные пруды" раздела 5.8.1). Однако из-за содержания кислорода и углекислот она сохраняет агрессивность по отношению к некоторым материалам как и при любой биологической очистке. А также вновь образованные растительные питательные вещества могут приводить к чрезмерному росту водорослей (см. раздел 6.1) (Rohde, GI 1936, 466; Mahr, Jahrb. vom Wasser 1936, 198; Imhoff, K., GI 1937, 163; Viehl, Staedtereinigung 1937, 430, u. Jahrb. vom Wasser 1937, 246; Tropitzsch, et al., Wasserwirtschaft 1938, 41 u. 225; Weicker, GI 1938, 582; Ortleb, et al., GI 1940, 420; Ortleb et al., Wass.w. 1941, 274;

Schulz, GI 1947, 44; Pearse, L., Sew. W. J. 1948, 1025; Uhlmann, D.,et al., W.wirtsch.-W.tech. 1959, 502; Klose, J., Wasserw.-W.tech. 1963, 252; Imhoff, K. R., Ueber die Reinigungsleistung der Ruhrstauseen, GWF 1965, 1264, JIWPC 1984, 243; Koppe, P., et al., GWF 1985, H. 8; Imhoff, K. R., GWA 1985, Bd. 75, 859).

По сравнению с самоочищением на участках свободно протекающей воды стоячая вода обладает тем преимуществом, что дает возможность достичь такого же эффекта на значительно меньшем участке, и при этом не содержит типичных организмов активного ила, в частности, грибов, хотя грибы могут поступать в виде отдельных нитей вместе с хлопьями активного ила и осаждаться как перегнивающий ил.

Эксплуатация водохранилища возможна при условии, что вода никогда не перейдет в состояние загнивания и что в ней будет избыток кислорода. В водохранилище необходимо выращивать рыбу. Это обеспечивает лучшую защиту от комаров. Небольшие рыбки, например, речные гольяны и колюшки, наиболее подходящие для этой цели. Утята также поедают личинки комаров. Для поддержания жизни рыб содержание кислорода в воде не должно быть меньше 3 мг/л (см. раздел 6.3). В короткие, опасные для жизни рыб, периоды достаточно, чтобы содержание кислорода достигало этих значений хотя бы на поверхности или в той части водохранилища, где расположено место нагула рыб.

5.7.11. Способ очистки сточных вод с помощью нитратов

Нитраты относятся к конечным веществам биологического разложения органических азотсодержащих составных частей сточных вод (раздел 4.2). Они часто содержатся в очищенных сточных водах и могут оказывать там более или менее благоприятное влияние. Если содержащий нитраты сток из очистной установки перекачивать в воду, поступающую в эту установку, то нитраты разрушают содержащийся в воде сероводород и тем самым устраняют неприятный запах из очистных установок (раздел 4.8.1).

Нитраты можно применять также для очистки сточных вод, просто добавляя в сточные воды натриевую селитру как носитель кислорода. Экспериментальные данные по этому поводу опубликованы Вельдертом Р. (R. Weldert, Mit. d. Kgl. Prüf.-Anst. f. W. u. A. 1910, H. 13, 96). При этом Вельдерт ссылается на работу Адени от 1896 года. Натриевая селитра предотвращает гниение путем гибели бактерий, а выделяет кислород и, тем самым, вызывает процесс разложения, не сопровождающийся неприятным запахом. Способ очистки с помощью нитратов по своему действию напоминает способ биологической очистки с аэрацией, только кислород при этом поглощается не из воздуха, а поступает за счет выделения кислорода, содержащегося в селитре. Химические и биологические процессы поясняет А. М. Бусвелл (Buswell, A. M., Sew. W. J. 1947, 628, Schulze, W.wirtsch. W.tech. 1953, 387, u. GWF 1954, 452).

Способ очистки с помощью нитратов необходим для поддержания биологической очистки в прудах и для устранения неприятного запаха. Но с их помощью можно предотваратить загнивание загрязненных рек (раздел 6.3). Чтобы удовлетворить потребность в 1 кг кислорода, необходимо 1,8 кг натриевой селитры ($NaNO_3$). МакНиколас и Тенч рассчитали, что дешевле добавлять в сток из очистной станции нитрат натрия вместо такого же количества нитратов, добавляемых в капельные биофильтры (Jour. a. Proc. Inst. Sew. Pur., Part 2, 1958, 122).

5.7.12. Способ очистки сточных вод в перегнивателях (септиках)

При любом типе отстойника (см. раздел 5.4.5), если не удалять осадок, через несколько дней начинается загнивание. В осадке начинается процесс гниения (раздел 5.9.6). При постоянном подтуплении сточных вод твердая фаза, осев на дно, разлагается, и через несколько месяцев отстойник функционирует как "*септик*" (septic tank).

Способ очистки сточных вод в перегнивателях следует рассматри-

вать как биологический способ очистки, так как при этом разлагаются также и неосаждаемые органические загрязняющие вещества, а именно, с помощью анаэробных бактерий без подачи воздуха. В противоположность обычным биологическим способам очистки (раздел 5.7), работающим при аэрации, способ очистки в перегнивателях имеет тот недостаток, что в стоке присутствует сероводород, и из-за этого он источает неприятный запах и имеет высокую потребность в кислороде.

В ФРГ для очистки городских сточных вод этот способ неприемлем. Он рассматривается как приемлемый только для небольших очистных установок и домовых отстойных установок (раздел 5.12), где его недостатки сказываются значительно меньше по сравнению с тем преимуществом, что септики легче строить и проще обслуживать. Этот способ можно использовать также во вспомогательных установках, если речь идет о земляных отстойниках достаточно больших размеров (раздел 5.14).

Для улучшения стока в некоторых случаях после этих септиктенков устраиваются капельные биофильтры и окислительные пруды. Для защиты аэробных бактерий в капельном биофильтре нужно перекачивать на биофильтр содержащую кислород разбавляющую воду из окислительного пруда (Hanisch, B., Wasser u. Boden 1967, 5, Lohr, M., GWF 1968, 1062).

Прежде при расчете городских очистных сооружений принимали во внимание 12 ... 24 часа пребывания в септиктенке. При расчете домовых сооружений для отстоя принимают время пребывания в них от двух до десяти суток (раздел 5.12) и для вспомогательных земляных отстойников – по возможности столько же (раздел 5.14). По Виелю (Viehl, GI 1942, 394) полная биологическая очистка городских сточных вод достигается через три недели.

Подробности о сооружении и эксплуатации изложены в разделе "Обработка ила". Необходимо учитывать следующие условия: равномерная и высокая температура, сбраживание ила и смешива-

ние. Однако если по способу очистки в перегнивателях нужно обрабатывать не ил, а сточную воду, то следует сгущать сточную воду, чтобы камеры сбраживания, которые необходимо рассчитывать по времени гниения, были не слишком большими и не очень дорогими. Для того, чтобы сточные воды сразу же приходили в соприкосновение с перебродившим илом, их можно подавать по дну. Ил, уходящий со стоком, целесообразно улавливать и снова подавать в камеру сбраживания.

В этом случае способ можно рассматривать как *анаэробный способ с активным илом*. Однако бактериальные процессы при этом более сложные, чем при аэробном способе (Mudrack, K., KA 1982, 382), и проходят месяцы, пока становится возможным использование ила. Обзор типов реакторов и возможностей илоотделения дает Зейфрид и др. (Seyfried, C. F., et al., KA 1986, 877; Saake, M., Veroeffentl. U. Hannover 1986, Heft 68 und KA 1988, 812).

Вторичный отстой может быть обьединен с камерой сбраживания как в реакторе с восходящим потоком (Up-Flow Reactor) (рис. 5.54), который напоминает двухъярусный отстойник (эмшерский колодец) (Lettinga, G., et al., Wiener Mitt 1988, Bd. 73, 29). Возможен и отдельный вторичный отстойник, который выполняется также в виде пластинчатого отстойника (рис. 5.55). Для осаждения ила используется промежуточная вакуумная дегазация. Вторичный отстойник нужно закрывать крышкой.

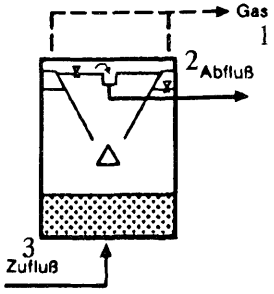


Рис. 5.54. Реактор с восходящим потоком
1 – газ; 2 – сток; 3 – приток

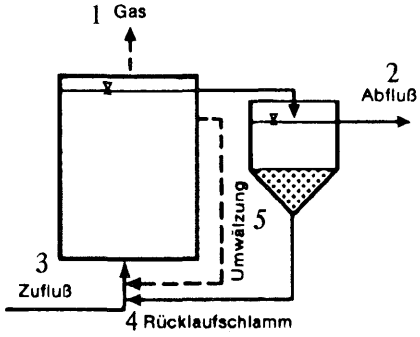


Рис. 5.55. Анаэробный реактор с вторичным отстоем
1 – газ; 2 – сток; 3 – приток; 4 – возвратный ил; 5 – циркуляция

При этих усовершенствованиях способ очистки в септиктенках применим для разных видов промышленных сточных вод (раздел 5.10.2) (Gehm, H. W., et al., Sew. W. J. 1949, 851, GI 1950, 163, Gehm, H. W. et al., Sew. and Ind. Wastes 1950, 1034, Jung, H., Schnellfaulung, Vom Wasser Bd. 17, 1949, 38, Steffen, A., Sew. a. Ind. Wastes 1955, 1364, Pettet, A. E., et al., Jour. Inst. Pub. Health Eng. 1959, 170, Schlegel, S., et al., GWF 1982, 203; Kroiss, H., Wiener Mitt 1985, Bd. 62; v. d. Emde, W., Wiener Mitt 1986, Bd. 65; Kroiss, H., Wiener Mitt 1988, Bd. 73; Baumann, G., KA 1987, 28; Beckereit, M., Veroeff. U Hannover 1988, Heft 71). Примерами являются спиртовые заводы, молочные заводы, скотобойни, бумажные фабрики. Если содержание твердых частиц больше 3 %, то иногда оправдывает себя *выпаривание*. Лигнин и минеральные масла не поддаются удалению при очистке в септиках. Содержание азота в сточных водах должно составлять по меньшей мере двадцатую часть содержания углерода, в противном случае азот нужно добавлять. Если сточные воды слишком жидкие, то целесообразно добавление древесных опилок или соломы (так же как и асбеста при опыте с бутылями в разделе 5.9.2). Нагрузка камеры сбраживания может составлять от 1 до 10 кг ХПК/ ($м^3$•сут).

Как правило, перед расчетом проводятся испытания. Сток из камеры сбраживания можно еще дополнительно очищать биологически, например, в капельных биофильтрах (Buswell, A. M., Sew. a. I. W. 1957, 717) или по способу с активным илом (Bode, H., Veroeff. U. Hannover 1985, Heft 64 und KA 1988, 325). Воздух, отходящий из септика, дезодорируется на аэробной ступени.

Техника псевдоожижения и реакторы с неподвижным катализатором применяются нечасто (Heijnen, J. J., et al., GWF 1985, 81; Seyfried, C. F., Wiener Mitt 1988, Bd. 73, 105).

5.8. Последующая очистка сточных вод (доочистка)

5.8.1. Обзор

В развитых странах очистные станции после первой механической ступени очистки, как правило, имеют аэротенки или капельные биофильтры в качестве второй ступени. Таким образом загрязнение сточных вод значительно уменьшается. Однако существуют случаи, когда из-за жестких требований, предъявляемых к водоемам, требуется доочистка сточных вод [x)] (см. раздел 6.1). При этом речь идет о дальнейшем уменьшении содержания веществ, поглощающих кислород — фосфора или азота. На практике говорят о следующих способах:

Последующее уменьшение ...	Способ
веществ, поглощающих кислород	Осветлительные пруды Микропроцеживатели Фильтрование
фосфора	Предварительное осаждение Одновременное осаждение Повторное (вторичное) осаждение Фильтрование с предварительным коагулированием Пруды с водорослями
азота	Нитрификация и денитрификация

Во многих отношениях хорошо зарекомендовали себя почвенная очистка и комбинация химико-физических методов очистки.

Довольно обширно представляют эти способы Drew, E. A., Absetzteiche, Filtration und Mikrosiebe in England, GWA, Bd. 10, Aachen 1973, 195; IWPC, Manual of Practice No. 3, Tertiary Treatment, London 1974; Lehr- und Hadbuch der Abwassertechnik, Bd. II, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1975; Poepel, F., Lehrbuch für Abwassertechnik und Gewaesserschutz, Deutscher Fachschriften-Verlag, Mainz-Wiesbaden 1976; Truesdale, G. A., et al., Objectives and Costs of Advanced Treatment, Ber. der ATV Nr. 28, 1976, 323, Helmer, R., und Sekoulov, I., Weitergehende Abwasserreinigung, Deutscher Fachzeitschriften-Verlag, Mainz-Wiesbaden 1977, Literaturstudie GWA 1980, Bd. 43.

Доочистка сточных вод не является альтернативой недостаточной эффективности первой и второй ступени очистки. Следует сначала соорудить обычные элементы очистной установки и сеть каналов в соответствии с общепринятыми нормами и правилами техники очистки, так как вместе с мерами по последующей очистке сточных вод прогрессивно растут и расходы (Wiesmann, J., Internationaler Wettbewerb für die Klaeranlage Zürich, Ber. der ATV, Nr. 28, 1976, 259; Pecher, R., GWF 1986, 374).

Ожидающиеся параметры очищенной воды при разных способах доочистки коммунальных сточных вод приводят Hegemann и его соавторы в KA 1988, 937. Таблица эффективности, приведенная на стр. 279, взята из этой публикации.

Приведенные значения относятся к усредненному образцу сточных вод, отстоянных в течение 2 часов, или образцу коммунальных сточных вод, правильно отобранному после первичных отстойников со следующей средней концентрацией: $БПК_5$ = 200 мг/л, ХПК = 360 мг/л, общий азот [x)] = 50 мг/л, P = 13 мг/л.

Указанные нагрузки на ил являются расчетными. При вычислении расчетной нагрузки на ил в расчет не входило содержание веществ по ХПК. Для сооружений без первичного отстаивания указанные значения расчетной нагрузки на ил из-за влияния отфиль-

Эффективность при разных способах последующей очистки (доочистки) сточных вод

Способ очистки	БПК5, мг/л		ХПК, мг/л		NH_4-N, мг/л		$P_{общ}$, мг/л		Осаждаемые вещ-ва, мг/л
	Ср. значение	Контр. знач.	Ср. значение	Контр. знач.	Ср. значение	Контр. знач.	Ср. значение	Контр. знач.	Среднее знач.
1. Способ с активным илом с BTS = 0,15 кг/(кг•сут)	12	20	60	90	5	10	*	–	20
2. Способ с активным илом с предварительной денитрификацией (200% рециркуляция)	12	20	60	90	5	10	*	–	20
3. Способ с активным илом с BTS = 0,3 кг/(кг•сут) и осветлит. пруд 1)	12	20	60	90	*	–	*	–	12
4. Способ с активным илом с BTS = 0,15 кг/(кг•сут) и осветлит. пруд 1)	10	15	55	75	5	10	*	–	12
5. Способ с активным илом с BTS = 0,15 кг/(кг•сут) и микропроцежив.	8	15	50	75	5	10	*	–	10
6. Способ с активным илом с BTS = 0,15 кг/(кг•сут) и ускор. фильтрация через песок	6	12	45	70	5	10	*	–	7
7. Способ с активным илом с BTS = 0,3 кг/(кг•сут)	12	20	60	90	*	–	1	2	18
8. Способ с активным илом с BTS = 0,15 кг/(кг•сут) и осаждение	10	15	55	75	5	10	1	2	18
9. Способ с активным илом с BTS = 0,3 кг/(кг•сут), осаждение и фильтрация с предварительной коагуляцией	6	12	45	70	*	–	0,3	0,5	5
10. Способ с активным илом с BTS = 0,15 кг/(кг•сут), осаждение и фильтрация с предварительной коагуляцией	4	10	40	60	5	10	0,3	0,5	5

1) Время пребывания в осветлительном пруду < 2 суток

* Концентрация компонентов, содержащихся в поступающем в сооружение избыточном иле

тровываемых веществ на возраст ила должен быть уменьшен на 30 %.

Указанные значения являются средним арифметическим результатом последних пяти испытаний. Значения NH_4-N при нитрифицирующих установках действительны для температур сточных вод выше 12 °С, причем эта температура (выше 12 °С) поддерживалась около 4 недель.

Осветлительные пруды (рис. 5.56) задерживают вещества, которые еще не могут осаждаться. Они действуют как смесительные установки и биологические бассейны. При времени пребывания 2 суток и глубине воды от 1 до 2 м достигается оптимальное состояние, так как при этом ограничивается рост водорослей. Предпочтительно распределять объем в нескольких расположенных один за другим прудах, а воду аэрировать на водосливах. Образование ила незначительное, и чистка прудов требуется лишь через несколько лет. В среднем при двухсуточном пребывании в осветлительных прудах можно наполовину уменьшить остаточное органическое загрязнение стока из вторичных отстойников. $БПК_5$ снижается примерно на 50 %, ХПК — примерно на 30 % (Imhoff, K. R., GWA 1978, Bd. 25, 379; GWA 1982, Bd. 50, 409; Wat. Sci. Techn., Vol. 14, 1982, 189; Wat. Sci. Tech., Vol. 16, 1984, 285; Willaredt, E., KA 1985, 180). При распределении по нескольким прудам и при более длительном времени пребывания ускоряется снижение количества микробов и окисление аммония (Krauth, Kh., et al., Forschungsbericht (79 U 03), BML 1985).

Микрофильтры состоят в большинстве своем из металлической сетки с отверстиями менее 40 мкм, натянутой на горизонтально расположенных вращающихся барабанах. Подлежащая очистке вода протекает изнутри наружу при перепаде высот от 5 до 15 см. Во время фильтрования образуется слой грязи, который непрерывно промывается очистительными соплами. Загрязненная промывочная вода составляет около 4 % от количества обрабатываемой воды. Она подается на вход вторичного отстойника. В качестве ориентировоч-

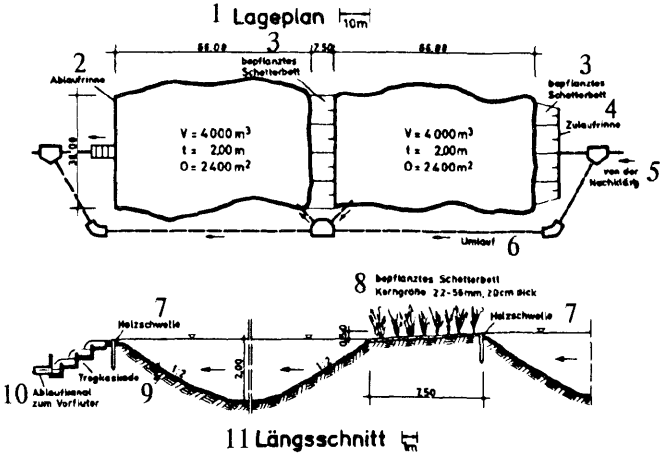


Рис. 5.56. Осветлительные пруды на 20 000 жителей
1 – общий план; 2 – водосточный лоток; 3 – насыпное дно, обсаженное растениями; 4 – подводящий лоток; 6 – циркуляция; 7 – деревянный порог; 8 – насыпное дно, обсаженное растениями, толщина 20 см, величина зерен 22 ... 56 мм; 9 – каскад; 10 – сточный канал к водосборному колодцу; 12 – продольное сечение

ного значения гидравлической нагрузки сетчатого фильтра можно принять 15 $м^3/(м^2 \cdot ч)$. Выделение взвешенных веществ составляет в среднем 50 %. Снижение $БПК_5$ зависит от потребности в кислороде взвешенных веществ и, вместе с тем, от нагрузки на ил предварительной биологической ступени. Другие подробности и список литературы содержатся в первом сообщении специального комитета ATV–Fachausschusses, 2.8, KA 1976, S. 346.

Фильтры состоят преимущественно из песка с величиной зерен от 1 до 3 мм. Уровень воды находится на уровне 0,5 ... 2 м. Протекание воды может происходить вниз или вверх. Скорость протекания составляет от 5 до 10 м/ч. Чтобы использовать более глубокие филь-

тровальные участки для аккумулирования взвешенных веществ, были разработаны многослойные фильтры. В этом случае наряду с песком используется антрацит. Сначала вода проходит через крупнозернистый материал, а затем – через мелкозернистый. В открытом виде фильтры для сточных вод сооружаются с максимальным уровнем воды 1 ... 2 м.

Вместе с твердыми веществами в порах фильтрующего материала остаются микроорганизмы. Вокруг фильтрующих зерен образуется слизистая пленка из бактерий. Поэтому фильтры нужно очень тщательно очищать посредством обратной промывки. Количество промывной воды составляет 3 ... 6 % от количества профильтрованной воды, скорость промывки – около 100 м/ч. Кроме того используется сжатый воздух со скоростью до 100 м/ч. В процессе промывки фильтрующее ложе расширяется примерно на 20 %. Благодаря своим свойствам фильтрующий материал при протекании воды снова самостоятельно располагается в желаемом порядке. Обычно требуется аккумулирование промывной воды перед процессом промывки и после него. Чтобы поддержать протекание и ограничить значительный расход на обратную промывку, фильтрующая поверхность делится на несколько частей. Имеются также формы испытания, при которых часть фильтрующего ложа постоянно очищается. Фильтры снижают $БПК_5$ сточных вод после вторичных отстойников примерно на 50 %. Производительность выше, чем при микропроцеживателях (Isaac, P. C. C., et al., Water Research Vol. 6 (1972), 465). Более подробное описание и список литературы содержатся во втором сообщении специального комитета ATV–Fachausschusses 2.8, KA 1978, S. 216; Cox, G. C., Pro Aqua Pro Vita, Basel 1977, 120, Schaal, H., GWF 1983, 221; Addicks, R., et al., GWF 1983, 228; Haydt, W., KA 1986, 276.

Фосфор задерживается при биологическом способе очистки всего на 30 %. Если перегнивший ил со шламовой водой подается на иловые площадки, то эффект удаления фосфора повышается. Для *осажде-*

ния фосфатов используется хлорид железа, сульфат алюминия и известь (Lea, W. L., et al., Sew. a. I. W. 1954, 261, Curray, J. J., et al., wie vor 1955, 1262, Huber, L., Münchner Beitr. 1965, Bd. 12, 149; Schlegel, S., et al., GWF 1980, 315). Йоханнес Пепель разработал формулу для расчета осаждения фосфатов на основе важнейших рабочих параметров (Stuttgarter Ber. 1966, H. 16). Широкий обзор этих исследований дает Хегеманн, В. (Hegemann, W., et al., KA 1983, 191, das EPA Design Manual "Phosphorus Removal", Cincinnati 1987, und Seyfried, C. F., Veroeff. U. Hannover, 1989, Heft 73).

Осаждение может происходить "одновременно" в резервуаре для регенерации и во вторичном отстойнике или на третьей, сооруженной после них ступени. При *одновременном осаждении* осадитель (коагулянт) подается в воду, выходящую в сток первичного отстойника, его количество зависит от количества воды. В Швейцарии с успехом опробовали количество 10 мг Fe/л в виде $FeCl_3$. В Германии в расчет принимают 3 г Fe на 1 г P. Коррекция водородного показателя (pH) не требуется. Хлопья фосфата железа, образовавшиеся в аэротенке, осаждаются во вторичном отстойнике. Они снова подаются в циркуляционный контур аэротенка. Таким образом достигается экономия железа на 50 %. Фосфат задерживается на 85 %. Усиленная передача фосфата мутной водой гнилостных камер не наблюдалась. Количество ила по объему не увеличивается (Thomas, E. A., Die Elimination der Phosphorverbindungen aus dem Abwasser, Ber. der ATV, Heft 23, 1969, 253, und GWA, Bd. 4, Aachen 1971, 339). Расходы составляют около 0,10 марок ФРГ/$м^3$. Сухой остаток ила возрастает примерно на 15 %. Свойства осажденного ила улучшаются. При крупных установках экономичной является добавка соли железа в зависимости от концентрации фосфора (Donnert, D., et al., ATV-Ber. 1987, Nr. 37, 477).

При *последующем осаждении* достигается отличная эффективность. Однако при этом требуются повышенные затраты (Boehnke, B., et al., Erfahrungen mit der Phosphor- und Stickstoffeeliminierung

im technischen Massstab, GWA, Bd. 17, Aachen 1975; Berichte über Klaeranlagen in Schweden und in der Schweiz, GWA, Bd. 28, Aachen 1977; Hoffmann, J., et al., Kritischen Vergleich von Vor-, Simultan- und Nachfaellung anhand von schwedischen und schweizerischen Erfahrungen, GWA, Bd. 25, Aachen 1978, 295; Weyrauch, W., Zusammenhaenge zwischen Faellungsbedingungen und Schlammeigenschaften bei der Phosphatelimination, Dissertation D 17, Darmstadt 1977).

Комбинацию одновременного осаждения и *фильтрации с коагулированием* исследует Firk, W., GWA, Aachen 1985, Bd. 74. Большинство испытаний по фильтрации с коагулированием проводятся в Швейцарии (Jost, B., Gas-Wasser-Abwasser (Schweiz) 1986, 790).

Активный ил, который некоторое время перемещался без элементарного кислорода, поглощает повышенное количество фосфора в последующей аэробной фазе (luxury uptake). Если удается поддержать ил аэробным, то фосфор можно дополнительно удалять биологическим путем (Barnard, J. L., Nutrient Removal in biological systems, JWPCF 1975, 143; Osborn, D. W., et al., Optimization of the activated sludge process for the removal of phosphorus, Progress in Water Technology, Vol. 10 (1978), Nos. 1/2, 261, Wiechers, H. N. S., Phosphate Removal in Biological Processes, Wat. Sci. Techn., Vol. 15, 1983, Nos. 3/4; Sekoulov, I., et al., Wasser u. Boden 1984, 198; Barnard, J. L., JIWPC 1984, 443; Sekoulov, I., et al., KA 1987, 339).

Биологическое удаление фосфора из концентрированных бытовых сточных водах, которые при прохождении в больших канализационных линиях подвергаются нагреванию и подкислению уже на пути к очистным сооружениям. Наличие органических кислот является важнейшим условием роста бактерий, которые после анаэробной нагрузки аккумулируют фосфор в последующей аэробной фазе (Schoenberger, R., GWA, Aachen 1988, Bd. 100, 637; Boller, M., Gas-Wasser-Abwasser (Schweiz) 1988, 110; Bishofsberger, W., Wasser u. Boden 1988, 240; Krauth, Kh., et al., Arbeitsbericht, KA 1989, 377;

Peter, A., et al., KA 1989, 242). Возможно также комбинированное биологическое и химическое выделение фосфора (v. d. Emde, W., et al., Schriftenreiche Kassel 1988, Bd. 2, 140).

В соответствии с экспериментами Кемпфе (Kaempffe, GI 1953, 256) в Берлине в данном случае пригодны также *заросшие водорослями пруды* или заросшие водорослями канавы, из которых регулярно удаляется плавающий слой и откачивается донный ил.

При глубине воды около 1,2 м время протекания через пруды должно составлять от 1 до 3 суток. Необходимая площадь зеркала составляет около 1 га на 40 000 жителей. Брингманн (Bringmann) указывает на 3 ... 5 суток (GI 1956, 177).

Секулов (Sekoulov) в результате многолетних испытаний разработал способ очистки с помощью водорослей, который действует непрерывно при дополнительном искусственном освещении (Sekoulov, J., Stuttgarter Ber. zur Siedlungswasserw., Bd. 50, 1972; GWA, Bd. 25, Aachen 1978, 365).

Каждое извлечение водорослей обуславливает удаление фосфора из воды. Зайдель (Seidel) рекомендует планомерное выращивание камыша (GWF 1965, 831). Рыбоводство и рыболовство также оказывают благотворное влияние в этом смысле.

Вопрос о том, как поддерживать содержание азота в стоке посредством высокой нагрузки биологической ступени, рассматривается в разделе 5.7. Таким образом удаляется 30 ... 50 % этого вещества.

Последующее удаление азота удается, если сначала при низкой нагрузке на ил получить как можно больше нитратов (Wild, H. E., JWPCF 1971, 1845), а затем смешать воду со сточными водами и обеспечить малое количество кислорода. В этом случае анаэробные бактерии дополнительно отщепляют кислород из нитратов, так что азот улетучивается в виде газа (Wuhrmann, K., GWF 1957, 1255, Pasveer, A., Münchner Beitr. 1965, Bd. 12, 197, Bringmann, G., et al., GI 1965, 16; Hünerberg u. Sarfert, GWF 1967, 96 u. 1197, Mulbarger,

M. C., Nitrification and Denitrification in the Activated Sludge Process, JWPCF 1971, 2059, Barnerd, J. L., Biological denitrification, JIWPC 1973, 705; Sarfert, F., et al., KA 1987, 77; v. d. Emde, W., Wiener Mitt. 1987, Bd. 69; Poepel, H. J., GWF 1987, 415, 469). В слабонагружаемых аэрационных установках с циркуляцией воды на разных участ-

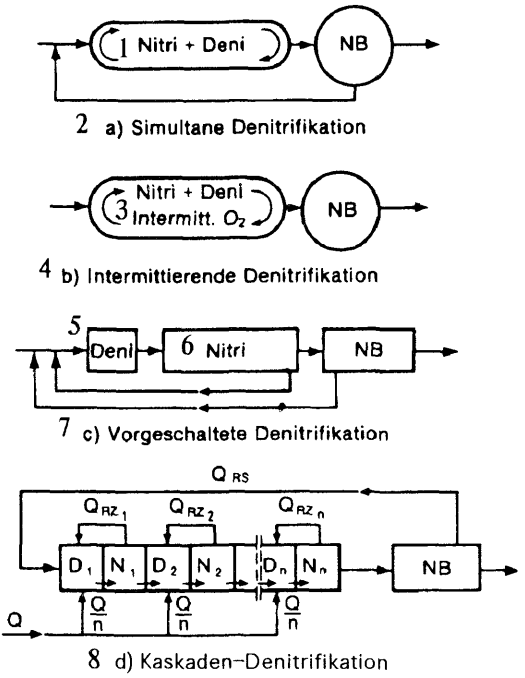


Рис 5.57. Принципы работы аэрационных установок для удаления азота
1 – нитрификация + денитрификация; 2 – a) Одновременная денитрификация; 3 – нитрификация денитрификация, периодически; 4 – b) Периодическая (прерывистая) денитрификация; 5 – денитрификация; 6 – нитрификация; 7 – c) Предварительная денитрификация; 8 – d) Каскадная денитрификация

ках одной ступени может происходить одновременно (рис. 5.57a) нитрификация и денитрификация (Kienzle, K. H., Stuttgarter Ber., Bd. 47, 1971; von der Emde, W., Oesterr. Abwasserrundschau 1975, 73; Koot, A. C. J., Das Carrouselverfahren, GWA, Bd. 25, Aachen 1978, 503; von der Emde et al., Oesterr. Wasserwirtschaft 1978, 85; Ermel, G., Veroeff. TU Braunschweig, H. 35, 1983). Можно также проводить аэрирование в режиме прерывания и, таким образом, периодически осуществлять нитрификацию и денитрификацию (рис. 5.57b).

При другом режиме эксплуатации с двумя параллельно расположенными аэротенками один из аэротенков используется, соответственно, для нитрификации, а другий – для денитрификации (Bahre, G., SIWAWI, Bochum 1986, Bd. 8).

Исходя из скорости реакции (рис. 5.40), благоприятной является предварительная денитрификация (рис. 5.57c). Это обуславливается тем, что из вторичного отстойника неоднократно перекачивается в начало процесса часть осветленной воды, чтобы получить достаточное количество нитрата для денитрификации (Krauth, Kh., Wasserwirtschaft 1986, 45; Hoffmann, H., Ber. TU München 1986, Nr. 72). Затраты понижаются, если нитрификацию и денитрификацию проводить при последовательной каскадной системе и сточные воды подавать раздельно (рис. 5.57d) (Schlegel, S., GWF 1987, 422).

При подходящих условиях местности и подходящей почве даже в промышленно развитых странах большое значение сейчас придается *грунтовой обработке* биологически очищенных сточных вод. Целесообразно использовать возможности, описанные в разделах 5.7.1 ... 5.7.4. Гигиенические аспекты при этом можно не принимать во внимание.

Ярким примером здесь является искусственное концентрирование грунтовых вод, уже десятилетиями практикуемое на Рурских гидросооружениях (Koenig, A., u. Bruns, H., GI 1930, S. 662; Schmidt, W. D., Zbl. Hyg. 1989, 1). При этом речная вода просачивается со

скоростью 1,5 м/сутки через слой песка толщиной 50 см средней и большой крупности в гравийный слой долины и снова собирается после прохождения ею пути фильтрации около 50 м. В нижеследующей таблице даны результаты подземного прохождения воды в Эссене по средним значениям за 1975 год.

Результаты после прохождения воды под землей

Параметр (мг/л)	Вода в реке Рур	Фильтрат
БПК5	5,8	—
ХПК	16	3,4
NH4	0,87	0,01
NO3	16	17
PO4	1,56	0,81

Снижения эффективности не наблюдается уже в течение нескольких десятилетий. Через 1 ... 3 месяца из инфильтрационных колодцев нужно регулярно удалять ил.

Грау (Grau) совсем недавно провел и проанализировал свои лабораторные и полевые испытания (Grau, A., GWA Bd. 25, Aachen 1978, 391). Иделович описывает испытания, проводившиеся в Израиле (Idelovitch, E., JWPCF 1984, 936).

Комбинация химико-физических способов очистки при увеличенных затратах на аппаратную часть очистных установок и при постоянном их контроле со стороны высококвалифицированного обслуживающего персонала в состоянии обеспечить качество очищаемых сточных вод на уровне питьевой воды (Culp, R. L., Naehrstoffbeseitigung aus Abwasser, GWA , Bd. 10, Aahen 1973, 221; Culp, R. L., and Culp, G. L., Advanced Wastewater Treatment, Van Nostrand Reinhold, New York, 1974; National Inst. for Water Research, Manual for Water Renovation and Reclamation, Pretoria 1978). Считается, что лучшие биохимические установки находятся в Цюрихе (Wiesmann, J., KA 1987, 147).

5.8.2. Расчет аэрационных установок относительно нитрификации/денитрификации

Разработка Эмде, В. Гуера, Л. Хубера, К. Х. Краута и П. Шлейпена

Рекомендации по расчету аэрационных установок даются в инструкции ATV–Arbeitsblatt A 131 "Принципы расчета одноступенчатых аэрационных установок при эквиваленте числа жителей 10000". Эта инструкция была опубликоване в 1981 году. Позже были выдвинуты более высокие требования к очистке сточных вод. Еще более высокие требования можно ожидать в будущем. Поэтому перед рабочей комиссией 2.6 ATV "Способы аэробной очистки сточных вод" была поставлена задача заново переработать инструкцию A 131. Из членов вышеназванной комиссии была образована рабочая группа, которая должна выработать предложения по расчету аэрационных установок для нового издания инструкции A 131. В рамках настоящего раздела этой книги предлагаются наши советы, касающиеся прежде всего расчета аэрационных установок для нитрификации/денитрификации. Расчет демонстрируется с помощью практического примера.

5.8.2.1. Параметры расчета

Рабочей группой сразу же было достигнуто согласие в том, что определяющим параметром расчета установок для нитрификации/денитрификации является возраст ила (t_S). Был согласован также выдвинутый профессором Бёнке и финансово поддержанный фондом Освальд–Щульца вопрос об обмене опытом между немецкоязычными вузами по теме "Расчетное выделение азота при очистке сточных вод" (Korrespondenz Abwasser Oktober 1988). Поэтому расчет нагрузки на ил по азоту оказался второстепенным. Кроме того в расчет объема аэрационных установок были включены также такие параметры: нагрузка на ил по $БПК_5$ (B_{TS}) и удельная нагрузка по $БПК_5$ (B_R).

По возрасту ила, который указывает на то, как долго (в среднем) на-

ходятся в аэротенке хлопья активного ила, вводится в расчет прирост ила. При существующих установках прирост ила можно определить по количеству твердых веществ в избыточном иле и по отфильтрованным твердым веществам в стоке. Возраст ила получаем следующим образом:

$$t_S = \frac{\text{масса твердых веществ в аэротенке в кг}}{\text{полученный ил по твердым веществам в кг/сут}} \text{ за сутки}$$

$$t_S = \frac{TS_R \cdot V_{BB}}{Q_{US} \cdot TS_{US} + Q \cdot TS_e} \text{ в сутки или } t_S = \frac{TS_R}{US_R} \text{ в сутки}$$

$$US_R = c \cdot B_R \text{ в кг/(м}^3 \cdot \text{сут)}; \quad c = c_B + c_P$$

Прирост ила на единицу объема (US_R) целесообразно определять по удельному приросту ила (c) (кг твердого вещества (TS) / кг БПК$_5$) и по удельной нагрузке по БПК$_5$. Так как в будущем наряду с нитрификацией/денитрификацией потребуется и удаление фосфора, то целесообразно при расчете удельного прироста ила наряду с долей c_B для снятия БПК$_5$ учитывать долю осаждающихся веществ c_P при одновременном осаждении.

По выбранному возрасту ила t_S, содержанию твердых веществ в активном иле TS_R и по удельному приросту ила c можно определить нагрузку на ил B_{TS} и удельную нагрузку по БПК$_5$ B_R:

$$B_{TS} = \frac{B_R}{TS_R} = \frac{US_R}{c \cdot TS_R} = \frac{1}{c \cdot t_S} \text{ в кг/(кг} \cdot \text{сут)}$$

$$B_R = B_{TS} \cdot TS_R \text{ в кг/(м}^3 \cdot \text{сут)}$$

Объем аэротенка V_{BB} получаем по доле БПК$_5$ B_d и удельной нагрузке B_R:

$$V_{BB} = \frac{B_d}{B_R} \text{ в м}^3$$

5.8.2.2. Расчетный возраст ила

На возраст ила оказывает влияние желаемая степень очистки сточных вод. При этом различают следующие группы:

— очистка сточных вод без нитрификации,

— очистка сточных вод с нитрификацией,
— очистка сточных вод с нитрификацией и стабилизацией ила,
— очистка сточных вод с нитрификацией и денитрификацией,
— дополнительные меры по удалению фосфора.

5.8.2.2.1. Очистка сточных вод без нитрификации

Для очистка сточных вод без нитрификации по таблице 1 определяющий возраст ила в зависимости от размера установки составляет 5 суток (до 20 000 жителей) или 4 суток (свыше 100 000 жителей). Промежуточные значения можно определить путем интерполяции. При благоприятных условиях в аэротенке, в частности, при достаточно высокой температуре и достаточной подаче кислорода такой возраст ила может обеспечивать периодически частичную нитрификацию. Это нужно учитывать при определении параметров аэрирования.

Таблица 1. Минимальный возраст ила в зависимости от цели очистки и размера установки (промежуточные значения определяются путем инерполяции)

Размер установки	до 20 000 жителей	свыше 100 000 жителей
Цель очистки	Выбор минимального возраста ила в сутках	
Очистка сточных вод без нитрификации	5	4
Очистка сточных вод с нитрификацией (расчетная температура 10 °С)	10	8
Очистка воды с нитрификацией и денитрификацией		
$V_D / V_{BB} = 0{,}2$	11	9
$V_D / V_{BB} = 0{,}3$	13	11
$V_D / V_{BB} = 0{,}4$	15	13
$V_D / V_{BB} = 0{,}45$	17	15
Очистка воды с нитрификацией, денитрификацией и стабилизацией ила	25	не рекомендуется

Таблица 2. Содержание твердых веществ в активном иле

Цель очистки	Содержание твердых веществ в активном иле (кг/м3)	
	с VB	без
без нитрификации	2,5 – 3,5	3,5 – 4,5
с нитрификацией (и денитрификацией)	2,5 – 3,5	3,5 – 4,5
стабилизация ила		4 – 5
удаление фосфора (с одновременным осаждением)	3,5 – 4,5	4 – 5

5.8.2.2.2. Очистка сточных вод с нитрификацией

Чтобы при температуре до 12 °С в стоке после прохладных периодов обеспечить уже стабилизировавшуюся нитрификацию, требуется устанавливать расчетную температуру на 10 °С. Таким образом, в зависимости от размера установки нужно выбирать следующий минимальный возраст ила:

установки для менее 20 000 жителей t_S = 10 суток,

установки для более 100 000 жителей t_S = 8 суток.

Возраст ила нужно увеличивать, если кривые суточного изменения доли азота имеют нетипично высокие пиковые нагрузки (больше 2,0 – 2,5 • средние суточные значения), причем нужно учитывать также нагрузки по обработке ила. То же самое действительно также для чрезвычайных гидравлических нагрузок, если нужно учитывать максимальные притоки смешанной воды, при которых содержание ила в аэротенке в течение более 6 часов уменьшается более чем на 25 %.

В рекомендованной литературе имеются указания о минимальном теоретическом возрасте ила в зависимости от температуры по следующей формуле:

$$\min t_S \quad (f = 1{,}0) = 2{,}13 \cdot 1{,}103^{(15 - T)} \quad \textit{в сутках}$$

В этом случае для температуры сточных вод 10 °С минимальный теоретический возраст ила составляет около 3,5 суток. Для расчет-

ного возраста ила в 10 суток коэффициент f составляет около 2,9, а для t_S = 8 суток : 2,3. Однако этот коэффициент не следует рассматривать как коэффициент запаса, он просто учитывает колебания в поступлении азота, влияния незначительных концентраций аммония, недостаточное содержание кислорода, колеблющиеся водородные показатели (pH) и т.д.

Подобные же значения коэффициента f публиковались также при обмене опытом между специальными институтами.

5.8.2.2.3. Очистка сточных вод с нитрификацией/денитрификацией

Нитрифицирующие бактерии размножаются только при аэробных условиях. Поэтому при увеличении доли обедненной кислородом денитрификационной части всей аэрационной установки V_D / V_{BB} нужно увеличивать расчетный возраст ила в соответствии с таблицей 1. Указанные в таблице 1 минимальные возрасты ила для денитрификации обеспечивают нитрификацию, начиная с 12 °C. Если при температурах сточных вод ниже 12 °C устранить денитрификацию и обеспечить денитрификационную часть незасоряемыми аэраторами, то можно обеспечить нитрификацию даже при более низких температурах. В противном случае нужно соответственно повышать возраст ила. В целом возраст ила для денитрификации можно рассчитать следующим образом:

$$t_S\ (нитрифик./денитрифик.) = \frac{t_S\,(нитрифик.)}{1 - V_D / V_{BB}}\ \ в\ сутках$$

При очистке сточных вод с нитрификацией и денитрификацией размер денитрификационной части в первую очередь зависит от:

— количества удаляемого азота,

— отношения нитрифицированного азота к $БПК_5$ в притоке,

— доли быстроснижаемого $БПК_5$ в притоке,

— возраста ила,

— концентрации твердых веществ TS_R в аэротенке,

— температуры сточных вод.

В дальнейшем на денитрификацию благоприятно действуют следующие факторы:

— отношение количества азота к $БПК_5$ в притоке меньше 0,2, например, при поступлении сточных вод из предприятий пищевой промышленности, производящих продукты питания и напитки;

— отсутствие предварительного осветления (если это допускает система аэрации) или непродолжительное время предварительного осветления (например, 20 минут при сухой погоде);

— большое отношение $БПК_5$ после фильтрации к исходному $БПК_5$;

— предварительная денитрификация в каскадных резервуарах;

— предварительное повышение кислотности сточных вод;

— изменение количества притока и концентрации загрязнений в притоке (например, в смесителях).

Отрицательно действуют на денитрификацию следующие факторы, благодаря которым уменьшается содержание ограничеких веществ по $БПК_5$, способствующих денитрификации:

— повышенная доля воды соседнего водосбора и подача смешанной воды;

— уменьшение быстро снижающейся доли $БПК_5$ в канализационной сети;

— длительное время пребывания в первичном отстойнике без предварительного повышения кислотности;

— отношение азота к $БПК_5$ в притоке более 0,3;

— подача растворенного кислорода в денитрификационный резервуар;

— временные различия кривых изменения $БПК_5$ и N.

В денитрификационных установках, которые рассчитаны по нижеследующим указаниям, эти факторы могут сильно ограничивать денитрификацию. Поэтому можно только указать ориентировочные значения эффективности денитрификации и нельзя соблюсти предельные значения.

При *предварительной денитрификации* подающиеся сточные воды,

возвратный ил (внешний циркуляционный контур) и активный ил, содержащий нитрат (внутренний циркуляционный контур), смешиваются в первом по направлению протекания отсеке установки (денитрификационная часть) без введения кислорода так, что при условиях нехватки кислорода активный ил остается во взвешенном состоянии. Все это действительно также для *каскадной денитрификации*, где чередуются денитрификационные и нитрификационные резервуары.

При *одновременной денитрификации* богатые кислородом зоны (нитрификация) и бедные кислородом зоны (денитрификация) чередуются в пространственном и временном отношении без четкого разделения в аэротенке. Это действительно также для периодической (по времени) или изменяющейся по месту денитрификации.

В зависимисти от доли денитрификационной части (V_D) всей аэрационной установки (V_{BB}) и от благоприятных условий эксплуатации, а также от условий рециркуляционного соотношения при предварительной денитрификации можно удалять 0,05 – 0,15 кг азота на 1 кг $БПК_5$ (таблица 3). Расчет таблицы 3 производился по уравнению:

$$\frac{NO_3 - N_D}{БПК_5} = 0{,}8 \cdot \frac{0{,}75 \cdot d_c}{2{,}9} \cdot \frac{V_D}{V_{BB}}$$

d_c ($кг\ O_2 / кг\ БПК_5$ — *см. таблицу* 7),

где коэффициент 0,8 учитывает, что в расчете потребления кислорода имеется определенный запас.

Для предварительной денитрификации значения повышаются вследствие большего потребления кислорода.

Дополнительно около 0,04 – 0,05 кг азота на кг $БПК_5$ требуется для разрушения биомассы и отводится с избыточным илом. Нужно учитывать его долю, попадающую обратно с фильтратом.

Для частичной денитрификации достаточно денитрификационной части, составляющей 20 % от всей аэрационной установки при предварительной денитрификации и 25 – 30 % при одновременной де-

нитрификации, если высока доля быстроснижаемого БПК$_5$. Если вы стремитесь к дополнительной денитрификации (например, вследствие специальных предписаний или чтобы при незначительной буферной емкости сточной воды противодействовать уменьшению pH как следствию нитрификации или при незначительной доле быстроснижаемого БПК$_5$ в притоке), то это возможно в ограниченном объеме при увеличении денитрификационной части до 30, максимум 40 % при предварительной денитрификации и максимум до 50 % при одновременной денитрификации.

Таблица 3. Расчет денитрификации для сухой погоды и средние отношения (кг азота, который можно получить путем денитрификации, на кг БПК$_5$, температура = 10 °C)

Денитрификация	предварительная	одновременная
V_D / V_{BB}	Эффективность при денитрификации кг NO_3 - N_D/кг БПК$_5$	
0,20	0,07	0,05
0,30	0,10	0,08
0,40	0,12	0,11
0,45		0,12

При предварительной денитрификации нитрифицированный азот (нитрат) подается в денитрификационную часть только посредством обратной подачи по внутреннему и внешнему циркуляционному контуру. Поэтому рециркуляционное соотношение (отношение обратной подачи к притоку) определяет максимально возможную денитрификацию. Требующееся максимальное рецирцуляционное соотношение можно определять по таблице 4 в зависимости от запланированной производительности при денитрификации. При этом следует предусматривать резервы для летней эксплуатации и для суточного изменения притока.

При частичной предварительной денитрификации достаточным является рециркуляционное соотношение 2. При дополнительной последующей денитрификации рециркуляционное соотношение дол-

но составлять максимум 4. При очень высоком рециркуляционном отношении существует опасность попадания в денитрификационную часть слишком большого количества растворенного кислорода из нитрификационной части. При большой доле денитрификационной части (например, свыше 40 %) посредством одновременной денитрификации можно осуществлять дополнительную денитрификацию, так как перестает оказывать влияние обратная подача осветленной воды. При каскадной денитрификации относительно требующегося рециркуляционного соотношения действуют особые условия.

Таблица 4. Минимальное рециркуляционное соотношение (приток к обратной подаче по внутрреннему и внешнему циркуляционному контуру), которое нужно соблюдать, чтобы добиться желаемой эффективности при денитрификации (денитрифицированный азот к нитрифицированному азоту)

Желаемая денитрификация в %	Минимальное трбующееся рециркуляционное соотношение
33	0,5
50	1,0
67	2,0
80	4,0

Предварительную обедненную кислородом денитрификационную часть потока нужно отделять перегородкой от аэробной нитрификационной части. Активный ил в денитрификационной части нужно держать во взвешенном состоянии посредством циркуляции и без введения в нее кислорода.

Аэротенки с одновременной денитрификацией выполняются с несколькими зонами циркуляции. Подачу кислорода нужно согласовывать с его потреблением, чтобы возникали содержащие большое количество кислорода зоны и зоны с малым содержанием кислорода, чтобы добиться желаемой нитрификации или денитрификации.

Сигналом регулирования подачи кислорода могут служить, например, потребление кислорода или концентрация кисклорода, нитрата, аммония и редокспотенциал.

5.8.2.2.4. Очистка сточных вод с нитрификацией, денитрификацией и стабилизацией ила

Если предусмотрена очистка бес предварительного осветления при одновременной стабилизации ила, то при расчете нужно исходить из возраста ила 25 суток. При длительно поддерживаемых низких температурах в аэротенке уменьшается степень стабилизации ила. Это необходимо учитывать при дальнейшей обработке ила.

5.8.2.2.5. Меры по удалению фосфора

Если в установках с нитрификацией (и денитрификацией) одновременно осуществляется параллельное осаждение для удаления фосфора, то при определении прироста ила нужно отдельно учитывать продукты осаждения, включая возможные замедляющие воздействия применявшихся коагулянтов.

Например, для соблюдения контрольных значений P в 2 мг/л при осаждении железа или алюминия рекомендуется молярное соотношение 1,5. Это значит, что на 1 кг фосфора, например, нужно добавлять $1{,}5 \cdot 56/31 = 2{,}7$ кг железа или $1{,}5 \cdot 27/31 = 1{,}3$ кг алюминия.

При использовании сульфата железа для параллельного осаждения существует определенный эффект замедления нитрификации. В этом случае рекомендуется увеличить возраст ила (а вместе с тем и объем аэротенка) на 10 %.

Результаты эксплуатации разных аэрационных установок показывают, что при наличии в аэротенке дополнительной предварительной анаэробной части, где сточные воды и возвратный ил только смешиваются без подачи кислорода, достигается биологическое удаление фосфора и, подобно параллельному осаждению, низкий иловый индекс. Время контактирования сточных вод и возвратного ила

в анаэробном резервуаре при существующих установках составляет около 1 ... 3 часа. При установках с одновременной (параллельной) денитрификацией также целесообразно использовать предварительный анаэробный резервуар.

При комбинированном химико-биологическом удалении фосфора можно экономить коагулянты, в результате чего уменьшается засоление водосборных колодцев и образование ила. Опыт показывает, что при химико-биологическом удалении фосфора и последующей денитрификации (бедный нитратами возвратный ил) можно до 50 % уменьшать добавку коагулянтов.

В настоящее время при биологическом удалении фосфора еще не всегда удается длительное время соблюдать контрольные значения P в размере 2 мг/л, однако, несмотря на это при любом расширении очистных станций рекомендуется проверять пригодность способа биологического удаления фосфора.

5.8.2.3. Кислотность

Кислотность (буферная способность относительно кислот) в притоке в очистную установку определяется кислотностью питьевой воды и дополнительно кислотностью, определяющейся содержанием аммония.

При нитрификации образуется кислота, и кислотность сточной воды уменьшается. При денитрификации распадается половина кислот, образовавшихся при нитрификации. Однако, так как нитрификация является предварителльным условием денитрификации, то и денитрифицированный азот уменьшает кислотность сточных вод. При добавлении солей металлов для параллельного осаждения кислота также освобождается, и в результате этого снижается кислотность. Однако фосфат (соответствующей кислоты), удаленный при параллельном осаждении, несколько повышает щелочность сточных вод.

Снижение кислотности в аэротенке получают следующим

образом:

$$SK_O - SK_e = 0{,}07\,(NH_4 - N_0 - NH_4 - N_e + NO_3 - N_e) +$$
$$+ 0{,}06\,Fe^3 + 0{,}04\,Fe^2 + o{,}11\,Al^3 - 0{,}03\,(P_0 - P_e) \quad в\ ммоль/л$$

(Все значения в мг/л — $NH_4 - N_0$, $NH_4 - N_e$ и $NO_3 - N_e$ по азотному балансу).

Остаточная кислотность в стоке из аэрационной установки не должна быть меньше 1,5 ммоль/л. В этом случае при содержании CO_2 в аэротенке около 0,5 – 1,0 ммоль/л получаются минимальные водородные показатели (pH) между 6,6 и 6,9.

Содержание CO_2, в свою очередь, непосредственно зависит от эффективности аэрационной системы. Из таблицы 5 можно взять соответствующие показатели pH.

Остаточную кислотность нужно доказывать для расчетных вариантов: нитрификация при 10 °C и нитрификация, включая денитрификацию, при 10 °C.

Таблица 5. Водородный показатель (pH) в аэротенке в зависимости от использования кислорода в % и кислотности в аэротенке

Кислотность (SK) в ммоль/л	Использование кислорода в %			
	6	9	12	18
1	6,9	6,7	6,6	6,5
1,5	7,1	6,9	6,8	6,7
2	7,2	7,0	6,9	6,8
2,5	7,3	7,1	7,0	6,9
3	7,4	7,2	7,1	7,0

5.8.2.4. Прирост ила

Вследствие удаления загрязняющих веществ в аэрационных установках образуется ил, который большей частью отводится из установки как избыточный ил, и частично вымывается в виде отфильтровываемых веществ через сток вторичного отстойника. Для расчета параметров аэрационной установки наряду с возрастом ила большое значение имеет количество прироста ила. Для расчета обработки

ила, а также для эксплуатации установки представляет интерес подлежащий отводу избыточный ил.

Удельный прирост ила c (кг сухого вещества (TS)/БПК$_5$) состоит из доли c_B по БПК$_5$ и доли c_P возможных продуктов осаждения при удалении фосфора посредством параллельного осаждения. Определяющим для доли c_B прироста ила является возраст ила, отношение сухого вещества (TS_0)/БПК$_5$, а также температура. Из таблицы 6 можно взять значение c_B для температуры 10 °C.

Таблица 6. Прирост ила c_B (кг сухого вещества/кг БПК$_5$) в зависимости от возраста ила (N + DN) и TS_0 (мембранный фильтр 0,45 мкм) по БПК$_5$ в притоке при температуре 10 °C

t_S	4	6	8	10	15	25 (сут.)
TS_0 / $БПК_5$	Удельный прирост ила c_B (кг сух. вещ./кг БПК$_5$)					
0,4	0,74	0,70	0,67	0,64	0,59	0,52
0,6	0,86	0,82	0,79	0,76	0,71	0,64
0,8	0,98	0,94	0,91	0,88	0,83	0,76
1,0	1,10	1,06	1,03	1,00	0,95	0,88
1,2	1,22	1,18	1,15	1,12	1,07	1,00

Эти значения базируются на:

$$US_R = 0{,}6 \cdot q_R \left(TS_0 + БПК_5\right) - 0{,}072 \cdot \chi \cdot TS_R \cdot 1{,}072^{(T-15)}$$

в кг/(м^3 • сут)

$$c_B = \frac{US_R}{B_R}$$ в кг сухого вещества/кг БПК$_5$

$$t_S = \frac{TS_R}{US_R}$$ в сутках.

Определяющим для доли c_P прироста ила при параллельном осаждении является вид коагулянта и молярное отношение добавленных ионов металла к фосфору, который должен осаждаться. Для молярного отношения 1,5 моль металла на 1 моль фосфора прирост ила составляет 2,5 кг сухого вещества на 1 кг добавленного железа или, соответственно, 4,5 кг сухого вещества на 1 кг добавленного алюминия. Значение c_P при этом равняется:

при осаждении солями железа —

$$c_P = 6{,}8 \cdot \frac{P}{БПК_5}$$ в кг сухого вещества/кг $БПК_5$,

при осаждении солями алюминия —

$$c_P = 5{,}3 \cdot \frac{P}{БПК_5}$$ в кг сухого вещества/кг $БПК_5$.

При биологическом удалении фосфора избыточный ил нужно в дальнейшем обрабатывать так, чтобы вновь растворившийся фосфор не попадал в сточные воды.

5.8.2.5. Подача кислорода

Потребление кислорода микроорганизмами при очистке сточных вод состоит из:

— потребления кислорода для разрушения соединений углерода,

— потребления кислорода для окисления соединений азота.

Значение удельного потребления кислорода для разрушения соединений углерода (d_C) и для окисления соединений азота (d_N) нужно определять отдельно. По сумме обоих значений потребления кислорода с учетом дефицита насыщения можно рассчитать требуемую удельную подачу кислорода (кислородную нагрузку O_b).

Таблица 7. Удельное потребление кислорода d_C в кг O_2/кг $БПК_5$

t_S	4	6	8	10	15	25 (сут.)
T °C	d_C ($кгO_2$ / кг $БПК_5$)					
10	0,83	0,95	1,05	1,15	1,32	1,55
12	0,87	1,00	1,10	1,20	1,38	1,60
15	0,94	1,08	1,20	1,30	1,46	1,60
18	1,00	1,17	1,30	1,40	1,54	1,60
20	1,05	1,22	1,35	1,45	1,60	1,60

Эти значения базируются на:

$$OVC_R = 0{,}5 \cdot q_R \cdot БПК_5 + 0{,}24 \cdot \chi \cdot TS_R \cdot 1{,}072^{(T-15)}$$

в кг/(м^3 • сут)

$$d_C = \frac{OVC_R}{B_R} \quad \text{в кг } O_2/\text{кг БПК}_5.$$

Дополнительный коэффициент f_C, учитывающий максимальную углеродную нагрузку:

ts	4	6	8	10	15	25	в сутках
fC	1,3	1,25	1,2	1,2	1,15	1,1	

Удельное потребление кислорода d_N для окисления соединений азота можно рассчитать следующим образом:

$$d_N = (4{,}6 \cdot NO_3 - N_e + 1{,}7 \cdot NO_3 - N_D)/БПК_5$$

в кг O_2/кг БПК$_5$.

Нужно рассчитывать варианты нагрузки: нитрификация при 10 °С и нитрификация, включая денитрификацию, при 10 °С и 20 °С. Если нет соответствующих измерений, то для расчета максимальной часовой подачи кислорода на очистных сооружениях для числа жителей менее 20 000 следует использовать коэффициент $f_N = 2{,}5$, а на сооружениях для более 100 000 жителей – $f_N = 2{,}0$, учитывающий максимальную азотную нагрузку. Промежуточные значения определяются путем интерполяции.

Положенное в основу расчета часовое потребление кислорода рассчитывается по 1/24 суточного потребления кислорода. Экстремальные пиковые нагрузки нужно учитывать особо. Если при очистке сточных вод без нитрификации ожидается осуществление нитрификации в летние месяцы, то значение d_C нужно повысить на 1/3.

По достигнутой концентрации кислорода в аэротенке, принятой концентрации при насыщении кислородом и по потреблению кислорода микроорганизмами можно определить требуемую удельную подачу кислорода для сточных вод. Для сопоставления результатов аэрации с содержанием кислорода в очищенной воде эту удельную подачу нужно умножить на коэффициент подачи кислорода α (значения принимаются от 0,5 до 1,0).

Так как на многих очистных станциях максимальная азотная нагрузка наступает не одновременно с максимальной углеродной нагрузкой, то, как правило, нужно рассчитывать оба варианта нагрузки: среднюю азотную нагрузку ($f_N = 1$) при максимальной углеродной нагрузке и максимальную азотную нагрузку при средней углеродной нагрузке ($f_C = 1$).

Требуемую удельную подачу кислорода (кислородную нагрузку O_b) нужно рассчитывать в соответсвии с требуемым содержанием кислорода c_χ в зоне аэрации следующим образом:

$$O_b = \frac{c_s}{c_s - c_\chi} \cdot (d_C \cdot f_C + d_N \cdot f_N) \text{ в кг } O_2/\text{кг БПК}_5.$$

Требуемое содержание кислорода:
установка без нитрификации — 2 мг/л,
установка с нитрификацией — 2 мг/л,
установка с нитрификацией и стабилизацией ила — 0,5 мг/л (включая параллельную денитрификацию),
установка с нитрификацией и параллельной денитрификацией — 0,5 мг/л.

5.8.2.6. Пример расчета

Исходные данные:

Поступление сточных вод Qd	4000 $м^3$/сут
Состав загрязнений после предварительного осветления (t = 1 ч):	
БПК5 – Bd	1000 кг/сут
Количество твердых веществ $Qd \cdot TS0$	800 кг/сут
Количество азота (N)	220 кг/сут
Количество фосфора (P)	56 кг/сут
Концентрация загрязнений после предварительного осветления:	
БПК5	250 мг/л
$TS0$	200 мг/л
$N0$ ($NH_4 - N0 = 35$ мг/л + орг.$N0 = 20$ мг/л)	55 мг/л
$P0$	14 мг/л
$TS0$ / БПК5	0,8 –
$N0$ / БПК5	0,22 –

$P_0 / БПК_5$	0,056 –
Кислотность SK_0	7,3 ммоль/л

Аэротенк:

Выбираем: V_D / V_{BB} (предварительная денитрификация)	0,3 –
t_S для T = 12 °C (возраст ила) (табл. 1)	13 суток
C_B (табл. 6)	0,85 кг/кг
$C_p = 6{,}8 \cdot P_0 / БПК_5 = 6{,}8 \cdot 0{,}056$	0,38 кг/кг
$C = C_B + C_p$ (удельный прирост ила)	1,23 кг/кг
для добавки $FeSO_4$ t_S больше на 10 %	
$BTS = 1/(1{,}1 \cdot C \cdot t_S) = 1/(1{,}1 \cdot 1{,}23 \cdot 13)$	0,057 кг/(кг•сут)
TS_R (для параллельного осаждения)	4,5 кг/м^3
$B_R = 4{,}5 \cdot 0{,}057$	0,26 кг/(м^3•сут)
$V_{BB} = 1000 : 0{,}26$ (аэротенк)	3850 м^3

Удаление азота

$N(US) = 0{,}05 \cdot 250$	12,5 мг/л
$NO_3 - N_D = 0{,}10 \cdot 250$ (T = 12 °C) (табл. 3)	25,0 мг/л
$N_e = 55 - 12{,}5 - 25$	17,5 мг/л
$NO_3 - N_e = 17{,}5 - 2{,}5\,(орг.N + NH_4 - N)$	15 мг/л
$\eta_{DN} = NO_3 - N_D / (NO_3 - N_e + NO_3 - N_D) =$ $= 25/(15 + 25)$	63 %
Выбираем: RV (внутр. + внеш.) = 1 + 1 (зима) - 2 + 1 (лето) (табл. 4)	
$\eta_N = (55 - 17{,}5) : 55$	68 %
$\eta_N\,(безорг.N_e) = (55 - 15 - 1{,}5) : 55$	70 %

Добавка коагулянта

$FeSO_4 = 2{,}7 \cdot 5 \cdot 14$	189 г/м^3

Уменьшение кислотности

T = 10 °C, только нитрификация

$SK_0 - SK_e = 0{,}07\,(NH_4 - N_0 - NH_4 - N_e +$ $+ NO_3 - N_e = 0{,}07\,(35 + 40)$	5,25 ммоль/л
$= 0{,}04 Fe^2 = 0{,}04 \cdot 2{,}7 \cdot 14$	1,51 ммоль/л
$= 0{,}03\,(P_0 - P_e) = 0{,}03 \cdot (14 - 2)$	- 0,36 ммоль/л
$SK_0 - SK_e = 5{,}25 + 1{,}51 - 0{,}36$	6,40 ммоль/л
Остаточная кислотность $SK_e = 7{,}3 - 6{,}4$	0,9 ммоль/л

T = 10 °C – нитрификация/денитрификация

$SK_0 - SK_e = 0{,}07\,(35 + 15)$	3,5 ммоль/л
$= 3{,}5 + 1{,}51 - 0{,}36$	4,65 ммоль/л
$SK_e = 7{,}3 - 4{,}65$	2,65 ммоль/л

Подача кислорода O_b

Максимальная углеродная нагрузка — 10 °С	
$d_c(10^\circ)$ $t_s = 13$ *суток* (*табл.*7)	1,25 кг/кг
f_c (коэффициент максимальной углеродной нагрузки)	1,18 –
$d_N = (4{,}6 \cdot NO3 - Ne)/БПК5 = 4{,}6 \cdot 40/250$	0,736 кг/кг
f_N (коэффициент максимальной азотной нагрузки)	1,0 –
$O_b = C_S/(C_S - C\chi) \cdot (d_c \cdot f_c + d_N \cdot f_N)$ $= 11/(11 - 2) \cdot (1{,}25 \cdot 1{,}18 + 0{,}736 \cdot 1{,}0)$ $= 1{,}22\ (1{,}48 + 0{,}736)$	2,7 кг/кг
Максимальная азотная нагрузка — 10 °С	
f_N (коэффициент максимальной азотной нагрузки)	2,5 –
$O_b = 1{,}22\ (1{,}25 \cdot 1{,}0 + 0{,}736 \cdot 2{,}5)$ $= 1{,}22\ (1{,}25 + 1{,}84)$	3,8 кг/кг
Максимальная углеродная нагрузка — 20 °С	
$d_c(20^\circ)$ $t_s = 10$ *суток* (*табл.* 7)	1,44 –
$NO3 - N_D = 1{,}44 \cdot 25/1{,}3$	28 мг/л
$d_N = (4{,}6 \cdot 12 + 1{,}7 \cdot 28)/250$	0,41 кг/кг
$O_b = 9/(9 - 2) \cdot (1{,}44 \cdot 1{,}2 + 0{,}41 \cdot 1{,}0)$ $= 1{,}28\ (1{,}73 + 0{,}41)$	2,7 кг/кг
Максимальная азотная нагрузка — 20 °С	
f_N (коэффициент максимальной азотной нагрузки)	2,5 –
$O_b = 1{,}28\ (1{,}44 \cdot 1{,}0 + 0{,}41 \cdot 2{,}5)$ $= 1{,}28\ (1{,}44 + 1{,}03)$	3,2 кг/кг

Основы расчета

1. Анализ имеющихся данных

Проведение контроля: максимальная нагрузка по меньшей мере в течение трех месяцев (например, зимние месяцы) + прогноз на перспективу.

1.1. Приток сточных вод — определяющими являются рабочие дни

Раздельная система канализации:

$Q_d\ (м^3/сут)$ *или* $\max Q\ (м^3/ч)$ в 99 % случаев не достигается.

Общесплавная система канализации:

$Q_d\ (м^3/сут)$ TW в 85 % случаев не достигается (анализ по линиям повторяемости, причем не учитываются отклонения прямых в верхней части при дождливой погоде).

1.2. Загрязнение сточных вод

Для нитрификации: t_s по среднему значению за неделю с максимальным $БПК_5$ (холодное время года).

6 суточных характеристик (смешанные пробы через 2 часа) переноса $NH_4 - N$, одновременно две характеристики переноса TKN на притоке в аэротенк, для "углеродного дыхания" $БПК_5$ – ХПК в рабочие дни в 85 % случаев не достигаются.

2. Расчетное определение по параметрам (только в случае, если нет данных).

2.1. Приток сточных вод

$Q_t = Q_h + Q_g + Q_i + Q_f = Q_s + Q_f$

$Q_h = 0{,}004\ л/(с \cdot чел)$; $Q_g + Q_i = 0{,}5л/(с \cdot га)$;

$Q_f = 0{,}15\ л/(с \cdot га)$

2.2. Загрязнение сточных вод

Загрязнения в пересчете на одного жителя, г/(чел•сут)

Предварительное осветление	$БПК_5$	ХПК	Осажд. вещ.	N*	P
без	60	120	70	11	2,5
0,5 – 1 ч	50	100	40	10	2,3
1,0 – 1,5 ч	45	90	35	10	2,3
> 1,5 ч	40	80	30	10	2,3

* В приточе биологической части азотная нагрузка может повышаться до более 20 % при возврате мутной воды и фильтрата.

5.9. Обработка ила

5.9.1. Обзор

После описанной выше очистки механическими и биологическими способами сточная вода за время обработки в течение 10 часов потеряла способность к гниению. Теперь ее можно сливать в общественные водоемы, не боясь нанести им вред. Но на очистных сооружениях остается еще сырой ил, количество которого составляет около 1 % от количества обработанных сточных вод. Этот ил содержит патогенные микроорганизмы. Через некоторое время он начинает

гнить, распространяя зловоние. В гигиеническом и экономическом аспектах удаление этого ила является очередной задачей.

Нижеследующая таблица дает обзор технологических этапов на пути утилизации ила. В ней указаны возможности их практического выполнения. Конечной целью является использование ила в землеустройстве, отсыпка в отвал или захоронение в море [x)].

Указанные в первой колонке этапы, порядок которых можно менять и которые не обязательны в полной мере, являются средством достижения конечной цели.

Технологические этапы на пути утилизации ила и возможности их осуществления

Технологические этапы	Возможность		
Сгущение	Сила тяжести	Флотация	Центрифуга
Стабилизация	Гниение, длительная аэрация	Компостирование	Сжигание
Кондиционирование	Органический коагулянт	Химикалии	Нагрев
Обезвоживание	Иловый пруд	Машина	Сушка
Транспортировка	Грузовик	Трубопровод	Судно
Отсыпка	Землеустройство	Отвал	Море

Искусство проектировщика состоит в умении скомпоновать разные возможности таким образом, чтобы сложилась недорогая технологическая цепочка, которая может широко использоваться. При прерывании обработки ила вскоре исчерпываются возможности накопителей, и результаты очистки в очистных сооружениях значительно ухудшаются, так как ил в этом случае должен подаваться в сток. Обработка ила облегчается, если сначала при сгущении отделяется большое количество воды. После этого, как правило, производится стабилизация в результате перегнивания содержащихся в иле органических веществ или посредством длительного аэрирования. Непосредственно за этим следуют кондиционирование и обезвоживание. В некоторых случаях свежий ил обезвоживается с помощью машин и компостируется или сжигается.

На рис. 5.58 показано, как уменьшается количество ила при сгущении и обезвоживании (Imhoff, K. R., Die Eindickung von Schlamm und die weitere Entwaesserung von stabilisiertem Schlamm. Münchner Beitraege, Bd. 13, 1966, 72). Если не удается использовать полученный ил в сельском хозяйстве, то остатки складируют и хранят, не нанося ущерба окружающей среде.

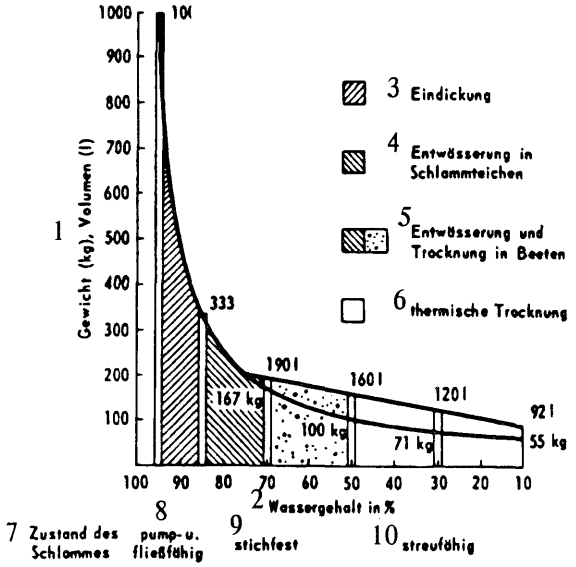


Рис. 5.58. Весовое и объемное уменьшение перегнившего ила при уменьшении содержания воды
1 – вес, кг, объем, л; 2 – содержание воды в %;
3 – сгущение; 4 – обезвоживание в иловых прудах;
5 – обезвоживание и сушка в бороздах; 6 – термическая сушка; 7 – состояние ила; 8 – пригодный для перекачки насосом; 9 – загустевший;
10 – способный к рассеиванию

5.9.2. Свойства ила

Внешний вид, цвет и запах уже позволяют судить о *состоянии* ила. Свежий городской ил по цвету серый или желтоватый с легко распознаваемыми кусочками экскрементов, бумаги и остатков овощей. Он зловонный и очень трудно обезвоживается. Иловая вода при этом мутная и с плохим запахом. Прегнивший ил черный (из-за сульфида железа) и пахнет дегтем. На песчаной площадке слой такого ила толщиной 0,2 м в течение одной недели загустевает. На поверхности белого эмалированного пробоотборника сразу же после отбора ила выделяется белая линия, отделяющая светлую иловую воду от быстро осаждающихся зернистых черных частиц ила. Ил, стабилизированный аэробным путем (длительная аэрация), имеет коричневатый цвет и запах земли. Если его расположить тонким слоем в бороздах, то при летней погоде он высыхает за две недели без неприятных запахов.

Содержание воды в иле является его важнейшим показателем, который определяется потерей веса при выпаривании на водяной бане и высушивании в сушильном шкафу. Если, например, потеря веса составляет 90 %, то содержание воды – 90 %, а сухой остаток или содержание твердых веществ – 10 %.

Пример: Путем обезвоживания содержание воды в иле снижается с 90 % до 80 %. Таким образом, содержание твердых веществ возрастает с 10 % до 20 %. Первоначальное количество ила составляло 50 м^3. Содержанив твердых веществ — 50 • 10 : 100 = 5 т. Количество обезвоженного ила — 5 • 100 : 20 = 25 м^3, т.е. всего половина. (В весе ила не учтено незначительное отклонение, объясняемое тем, что удельный вес воды равен 1, а удельный вес сухих твердых веществ равен 1,2 (см. раздел 5.4.1).

Посредством прокаливания определяется органическая и минеральная часть остатка. Свежий ил примерно на 70 % органический и на 30 % минеральный. В перегнившем иле около 2/3 органической части устраняется посредством дегазации, разжижения или мине-

рализации. В этом случае отношение примерно такое: 45 % – органическая часть и 55 % – минеральная. При отдельном отводе дождевой воды получается меньше минеральных составных частей. Резервуары ливневой канализации повышают минеральную часть (раздел 5.11).

Для определения *загниваемости* и ожидающегося количества газа брожения свежий ил смешивается с перегнившим илом в соотношении 2 : 1 и выдерживается при постоянной температуре. На рис. 5.59 слева изображена бродильная бутыль, в центре газомер и справа – ресивер. Ил для сбраживания должен быть из камеры сбраживания, которая имела бы такую же температуру. По Бусвеллу даже различие в 5 ° изменяет результат (см. ниже). Если использовано много ила для сбраживания, то выходящее из него количество газа определяют в контрольной бутыли и отводят его. По Бусвеллу в качестве питания для бактерий на каждый грамм добавленного вещества должно иметься 3,5 мг азота. В ил с малым содержанием азота (например, чистая целлюлоза) нужно добавлять азот. В бутыли должно содержаться по меньшей мере 100 мг N/л. При быстровсплывающих веществах бутыль часто встряхивают или переворачивают. Загниваемость ила измеряют по количеству образовавшегося газа по сравнению с количеством на рис. 5.61, причем требуется более длительное время гниения. Биологический ил из капельных биофильтров или аэрационных установок выделяет всего половину этого количества газа (см. раздел 5.9.10).

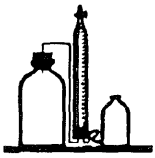


Рис. 5.59. Определение загниваемости ила

Проточный режим работы при практической эксплуатации очистной установки можцно имитировать в бутыли, удаляя через каждые

10 дней часть веществ и заменяя их двойным количеством свежих веществ. Чтобы из-за перегрузки не произошло кислого брожения, Бусвелл ежедневно определяет летучие кислоты по Дуклоксу (Duclaux). Если их содержание в пересчете на уксусную кислоту возрастает более чем до 2000 мг/л, то нагрузка снижается. Если имеются только растворенные вещества, то добавляют асбест, для прикрепления бактерий (Imhoff, Faulversuche in Flaschen, Chemiker–zeitung, Koether, 17.1.1945, 12, Buswell, Anaerobic Fermentations, State Water Survey, Bulletin 32, Urbana, Illinois 1939). Посредством мокрого сжигания необработанных проб можно определить органический и минеральный углерод в сточных водах. В камерах сбраживания органические вещества разрушаются анаэробным путем до 53 % содержания углерода. Бельц (Baelz) провел множество таких экспериментов. Он называет это окончательное значение углеродным равновесием (Stuttgarter Ber. Bd. 20, 1966). Азот с углеродом должны быть в весовом соотношении по меньшей мере 1 : 17. Количество образовавшегося газа можно свести непосредственно к содержанию органического углерода в субстрате (Tabasaran, O., GI 1970, 327). При анаэробном разрушении 1 г углерода возникает 1,86 л газа брожения (Shin, K. C., Dissertation TH Stuttgart 1961).

Для *газа, образовавшегося в результате сбраживания*, определяют его теплотворную способность и содержание метана, иногда наряду с этим также углекислоту, водород, азот, сероводород.

Обезвоживаемость определяют на бумажном фильтре или лучше на слое песка, устанавливая время, по прохождении которого ил загустевает. По свойствам ила на бумажном фильтре можно также сделать вывод, в каком состоянии можно обезвоживать ил в машинах: свежем, перегнившем, промытом или с добавлением коагулянтов (см. раздел 5.9.16).

Для использования в сельском хозяйстве нужно определять содержание азота, фосфорной кислоты и гумуса. Наличие калия возмож-

но лишь в незначительных количествах. При специальных исследованиях речь может идти также о содержании ядовитых веществ, например, циан, мишьяк, соли металлов, а также о содержании жиров и теплотворной способности.

5.9.3. Количество ила

Ил состоит из минеральных и органических загрязняющих веществ, которые осаждаются из сточных вод на очистной станции. Его количество лучше всего рассчитывать по числу жителей. Количество ила тем больше, чем совершеннее способ очистки. От установки для отстаивания, например, можно ожидать отделения самого большого количества осаждающихся веществ. Биологическая установка, кроме того, удерживает еще и неосаждаемые и растворенные вещества, превращая их в ил. Однако часть органических веществ улетучивается при аэрации. Данные о количествах ила, осаждаемых при разных условиях, приводятся в нижеследующей таблице (Imhoff, K. R., KA 1983, 907).

Все эти качества ила решающим образом зависят от содержания воды, т.е. могут сильно отклоняться при изменении содержания воды в иле. Кроме того, для городских очистных сооружений со значительным количеством ила необходимо учитывать поступление на сооружения промышленных сточных вод, часто содержащих токсичные вещества. Опорными при этом являются значения "эквивалента числа жителей", если речь идет об органических загрязнениях. Цифры из списка "Количество ила" являются средними значениями для общесплавных и раздельных систем канализации. При общесплавной системе речь идет о каналах с достаточными расчетными размерами для отложений ила в сухие периоды. Во время дождя эти отложения смываются и, если имеются дождевые резервуары ливневой канализации, задерживаются и подаются на очистную станцию. Для этих случаев можно предположить, что средние недельные значения отклоняются от указанных чисел на +/- 25 %.

Поэтому камеры сбраживания, сгустители и машины для обезвоживания ила рассчитывают с поправкой +25 %, а при исследованиях по оценке количества газа брожения принимают в расчет -25 %.

Количества ила

	a Количество твердых веществ г/(чел•сут)	b Содержание твердых веществ %	c Содержание воды %	d Количество ила л/(чел•сут) $\frac{a}{b} \cdot \frac{100}{1000}$
A. Отстойник с камерой сбраживания (метантенком):				
1. необработанный ил, откачанный насосом из отстойника с воронкообразным дном	45	2,5	97,5	1,80
2. тот же ил, но сгущенный	45	5,0	95,0	0,90
3. перегнивший ил, сгущенный	30	10,0	90,0	0,30
4. перегнивший ил, обезвоженный	30	30,0	70,0	0,10
B. Капельный биофильтр с камерой сбраживания:				
5. ил вторичного отстойника	25	4,0	96,0	0,63
6. необработанный, смешанный ил из первичного и вторичного отстойника, сгущенный	70	4,7	95,3	1,50
7. перегнивший, смешанный ил, сырой	45	3,0	97,0	1,50
8. Перегнивший ил, обезвоженный	45	28,0	72,0	0,16
C. Аэротенк с камерой сбраживания, аэробной стабилизацией ила:				
9. необработанный, перекачанный избыточный ил	35	0,7	99,3	5,00
10. необработанный, смешанный ил из первичного отстойника и избыточный ил, сгущенный	80	4,0	96,0	2,00
11. перегнивший, смешанный ил, сырой	50	2,5	97,5	2,00
12. перегнивший, смешанный ил, обезвоженный	50	22,0	78,0	0,23
13. аэробно стабилизированный смешанный ил, сгущенный	50	2,5	97,5	2,00
14. тот же ил, обезвоженный	50	20,0	80,0	0,25

	a Количество твердых веществ г/(чел•сут)	b Содержание твердых веществ %	c Содержание воды %	d Количество ила л/(чел•сут) $\frac{a}{b} \cdot \frac{100}{1000}$
D. Химическое осаждение и коагулирование:				
15. *предварительное осаждение*, необработанный ил первичного отстойника, сгущенный	65	4,0	96,0	1,60
16. ил предварительного осаждения, перегнивший и сгущенный	45	5,0	95,0	0,90
17. *одновременное (параллельное) осаждение* (при способе с активным илом), необработанный ил из первичного и вторичного отстойника, сгущенный	90	4,0	96,0	2,25
18. смешанный ил параллельного осаждения, перегнивший и сгущенный	60	3,0	97,0	2,00
19. *дополнительное осаждение*, необработанный ил третьей ступени очистки, сгущенный	15	1,5	98,5	1,00

В Северной Америке для раздельных систем канализации принимают примерно те значения, которые указаны в списке, а для общесплавных систем предполагают на 50 ... 100 % больше ила.

5.9.4. Сгущение

В сборных воронках отстойников ил уже может предварительно сгущаться (см. раздел 5.4.5). Однако при спуске нельзя избежать его разбавления сточной водой. Кроме того, сборные воронки расположены низко, и при строительстве их нужно приспосабливать к отстойникам. Во многих случаях это приводит к разобщению сооружений. И в этом случае сгустители загружаются с помощью насосов. По принципу действия различают сгустители с постоянным протеканием и сгустители с прерывающейся загрузкой. Процесс можно

объединить с промывкой ила и медленным перемешиванием. Флотационные сгустители, при которых подается сжатый воздух для обогащения ила на поверхности, используется для сгущения избыточного ила (Katz, W. J., JWPCF 1964, 407, und JWPCF 1967, 946, Sarfert, F., GWA, Bd. 21, Aachen 1976, 303).

На рис. 5.60 изображен *непрерывно действующий сгуститель* с вертикальными стержнями мешалки. Подлежащий сгущению ил подается в верхнюю центральную часть отстойника. Гидравлическая загрузка при подаче жидкого ила не должна быть больше 0,75 $м^3/(м^2 \cdot ч)$. Нужно также учитывать нагрузку твердых веществ на единицу площади. Для расчетов принимается 50 кг сухого вещества/$(м^2 \cdot сут)$. При расчете глубины определяющим является время пребывания. Торпи (Torpey) рассчитывает его по соотношению объема накопленного в сгустителе ила и количества откачанного насосом ила. Свежий ил из первичного отстойника через одни сутки пребывания сгущается без избыточного ила на 9 % по содержанию твердых веществ. Из-за лучшей устойчивости ила зимой сгуститель можно эксплуатировать с временем пребывания 2 суток. Вследствие большей нагрузки на ил достигаемое содержание твердых веществ при этом выше (Kalbskopf, K. H., 4. Kongress für Müll–forschung, Basel 1969). Сгуститель Торпи имел среднюю глубину 3,85 м (Proc. Am. Soc. of Civ. Eng. 1954, 443). Отделенная иловая вода сливается по краю резервуара.

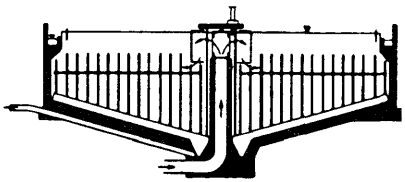


Рис. 5.60. Непрерывно эксплуатирующийся сгуститель со стержневой мешалкой

Для удаления ила служат мощные жалюзийные скребки с предохранением от перегрузок. Стержневые мешалки, соединенные со скреб-

ками, по наблюдениям Хёрлера (Hoerler), значительно улучшают сгущение (Schweiz. Zeitschr. f. Hydr. 1958, 41).

При длительном сгущении перегнившего ила можно добавлять разжижающую воду. Способ промывания ила первоначально был разработан Гентером (Genter) для вакуумной фильтрации (см. раздел 5.9.15). Но он оказывает благоприятное действие также и на сгущение (Triebel, W., GWF 1967, 495). Торпи для этой цели смешивает свежий ил с 50 % перегнившего ила (JWPCF, 1967, 1464).

Чтобы на процесс осаждения не оказывало отрицательного влияния разложение активного ила, можно добавлять хлор или известь. Расчет хлора – от 0,2 до 0,5 г/(чел • сут). Количество извести – 500 г $Ca(OH)_2/м^3$ ила. Так можно достичь снижения содержания воды в чистом избыточном иле на 97 %, а в смешанном иле – на 93 %. Общее сгущение первичного и избыточного ила при больших установках часто оказывается неэффективным, так как не удается обрабатывать ил в свежем состоянии. Протекающие в сгустителе процессы гниения делают невозможным отделение иловой воды. Добавление извести ограничивается, если сгущенный ил нужно обезвоживать с помощью органических коагулянтов в центрифугах или ленточных фильтрах. В этом случае лучше раздельно сгущать ил из первичного отстойника и ил из вторичного отстойника и раздельно его обезвоживать.

Для сгущения избыточного ила можно использовать центрифуги. Но затраты при этом огромны. Поэтому нужно экспериментальным путем проверять, что лучше: статичное сгущение с добавкой вспомогательных коагулянтов или без такой добавки (Melsa, A., et al., KA 1986, 1063).

Наряду с непрерывно эксплуатирующимися сгустителями известны также *стационарные сгустители.* Они имеют размеры, которые соответствуют суточному поступлению необрабиотанного ила. Так как необработанный ил, перегнивший ил и мутная вода обрабатываются поочередно, то в большинстве случаев сооружают три ста-

ционарных сгустителя. Они должны иметь перепуски. Кроме того устраиваются ступенчатые спуски или поплавковые приспособления для отвода мутной воды.

Мутная вода перегнившего ила имеет $БПК_5$ около 1500 мг/л. Поэтому ее нужно подавать обратно в очистную установку (желательно ночью и по возможности равномерно).

Разные типы сгустителей см. у Imhoff, K. R., Münchner Beitr. Bd. 13, 1966, 72. О сгущении ила под влиянием температуры см. Buysch, H. P., GWA Bd. 14, 1974.

5.9.5. Избыточная аэрация

Если в аэротенке нагрузка на ил </=0,05 г $БПК_5$ на г сухого вещества в сутки, то рост ила столь незначителен, что устанавливается возраст ила >/= 40 суток (стр. 240). В течение такого длительного времени аэрации органические фракции ила в значительной степени анаэробно стабилизируются. Это относится к илу, который был осажден в первичном отстойнике.

Аэрация ила вместе со сточной водой экономически выгодна в установках, рассчитанных примерно на 30 000 жителей, если кроме того производится нитрификация и денитрификация. При нагрузке на ил 0,05 г $БПК_5$/(г сухого вещества • сутки) и содержании ила 5 г сухого вещества/л на каждого жителя требуется 60 : (0,05 • 5) = = 240 л аэрационного объема. Нитрификация и денитрификация достигаются при нагрузке на ил 0,10 г $БПК_5$/(г сухого вещества • • сутки), причем нужно принимать содержание твердых веществ 2,5 г сухого вещества/л – 40 : (0,10 • 2,5) = 160 л/чел, так что из-за стабилизации ила необходимо 240 - 160 = 80 л/чел. Это – больший объем, чем при нагреваемой камере сбраживания, которая обходится 30 ... 40 л/чел (см. раздел 5.9.9). Примеры установок с избыточной аэрацией см. раздел 5.13.

На крупных установках ил иногда аэрируется раздельно. Для этого требуется от 15 до 20 дней. При ориентировочном значении 2 л ила/

/(чел • сут) получается аэрационный объем 2 • 20 = 40 л/чел. Содержание твердых веществ при расчете составляет около 3 % из-за разбавления (стр. 314, С 13), удельная нагрузка твердыми органическими веществами равна

$$\frac{80\ г\ сух.\ вещ. \bullet 2\ орг. \bullet чел.}{чел. \bullet сут. \bullet 3 \bullet 40\ л} = \frac{1{,}33\ кг\ орг.\ сух.\ вещ.}{м^3 \bullet сут.}.$$

Из органических веществ 1/3 минерализуется, 2/3 – остается. Их потребность в кислороде колеблется в зависимости от температуры. Можно принять максимально 0,12 кг O_2/ (кг орг. вещ. • сут.) или

$$\frac{2 \bullet 1{,}33\ кг\ орг.\ сух.\ вещ. \bullet 0{,}12\ кг\ O_2 \bullet 15\ сут.}{3 \bullet м^3 \bullet сут. \bullet кг\ орг.\ сух.\ вещ. \bullet сут.} = \frac{1{,}6\ кг\ O_2}{м^3 \bullet сут.}.$$

Поэтому нужно устанавливать мощность аэрации 50 Вт/м^3. Потребляемая мощность составляет максимально 18 кВтч/м3 ила и в среднем – около 12 кВтч/м^3. Поэтому в большинстве случаев предпочитают перегнивание ила.

Накопленный опыт по раздельной избыточной аэрации ила весьма небольшой (Mudrack, K., Münchner Beitr. Bd. 13, 1966, 290, Pflanz, P., Ber. ATV 1967, H. 18, 213, Eickhoff, F. F., Veroeff. Inst. für Siedl. TH Hannover 1969, H. 33, Kempa, Wlb 1969, 336, Krauth, K., Berichte der ATV 1968, H. 20, 271, Müller–Neuhaus, GWF 1971, 392, Imhoff, K. R., GWA 1971, Bd. 6, S. 65, Wolf, P., GWF 1974, 283). Известно, что чувствительность относительно солей металлов при способе с активным илом меньше, чем при способе очистки в метантенках. Мутная вода умеренно загрязнена. Яйца глистов не уничтожаются. Эксперименты по *аэробно–термофильной стабилизации ила* проводил Лолл (Loll, KA 1974, 135). При этом способе, действующем при температурах выше 45 °С, исходят из продолжительности аэрации от 5 до 7 суток. Нужно учитывать образование большого количества ила (Loll, U., KA 1984, 934). При достаточном предварительном обезвоживании происходит биологическое самонагревание (Bau, K., Schriftenreihe WAR, Darmstadt 1986, Bd. 29; Braun, H. J., et al., KA 1986, 1028).

О возможности двухступенчатой аэробно-анаэробной обработки ила сообщают Matsch, L. C., GWA 1981, Bd. 45, 137; Keller, U., et al., Gas, Wasser, Abwasser (Schweiz) 1984, Nr. 4; Niehoff, H. H., Schriftenreihe Kassel 1988, Bd. 2, 247; Baier, U., KA 1989, 609. С помощью органических кислот в стоке из камеры сбраживания Дихтл (Dichtl) доказывает, что близка к оптимальной комбинация аэробной стабилизации в течение 1 суток и перегнивания в течение 15 суток (SIWAWI, Bochum 1984, Bd. 5).

Достаточность стабилизации можно исследовать по трем пунктам (Rüffer, H., Vom Wasser 1966, 254):

1. Расход кислорода должен составлять меньше 0,1 кг O_2/(кг орг. сух. вещ. • сутки).
2. Испытание с помощью свинцово-ацетатной бумаги – никакого окрашивания через 6 недель.
3. Содержание жиров после промывания эфиром должно быть меньше 65 мг/г сухого вещества.

Лолл использует отношение $БПК_5/ХПК$ (Dissertation Fachbereich Wasser, TH Darmstadt 1974, GWF 1974, 191). Осветленный бытовой ил можно рассматривать как стабилизированный, если отношение $БПК_5/ХПК <= 0{,}15$.

Аэротенки избыточной аэрации для раздельной стабилизации ила выполняются как обычные аэротенки (рис. 5.44). При изменяющемся уровне ила лучше использовать плавающие поверхностные аэраторы. В холодное время года из-за образования льда нельзя использовать поверхностные аэраторы. Аэрация сжатым воздухом сопровождается нагревом, но существует опасность закупорки отверстий аэраторов.

5.9.6. Сбраживание ила

Когда свежие экскременты начинают бродить под водой, то сначала образуются водород, углекислота и зловонные газы. При этом первоначально нейтральный ил уже в первые дни становится кислым, его водородный показатель (pH) уменьшается с 7 до 6 и даже до 5.

Это брожение можно назвать *кислым брожением*. Оно крайне нежелательно при очистке сточных вод, так как, во-первых, оно действует очень медленно и количество ила при этом мало уменьшается и, во-вторых, ил при этом зловонный и плохо сохнет. Ил имеет желтовато-серую окраску, он вязкотекучий. Так как он насыщен пузырьками газа, то он пенистый и склонен к всплыванию.

Принципиально отличается от кислого брожения другой вид брожения, который происходит в хорошо наработанной камере сбраживания (метантенке). В результате этого брожения улетучиваются углекислота, азот и, прежде всего, метан (болотный газ, газ брожения). Водородный показатель при этом постоянно остается несколько выше 7. Этот процесс не сопровождается зловонием. Его можно назвать *щелочным брожением* или *метановым брожением* (Buswell, Anaerobic Fermentations State Water Survey Bulletin 32, Urbana, Illinois, 1939, Sew. W. J. 1947, 28, Sew. a. I. W. 1957, 717, Teichgraeber, Die anaerobe Zersetzung von Klaerschlamm, Beiheft zum GI 1943, Liebmann, H., Zur Biologie der Metanbakterien, GI 1950, 14 und 56, Liebmann, Münchner Beitraege zur Abwasserbiologie Bd. 3, 1956, 9, Parkin, G. F., et al., ASCE, JEE 1986, 867).

Разложение происходит по двум ступеням. На первой ступени разложения образуются органические кислоты, а на второй — углекислота и метан. Вторая ступень всегда должна поддерживаться в первой фазе, чтобы масса оставалась щелочной. Если подается слишком много органических веществ (или снижается температура), то вторая ступень не наступает, и кислоты аккумулируются при этом настолько, что подавляется деятельность бактерий. В этом случае в газе брожения возрастает содержание углекислоты. Противодействовать кислому брожению можно посредством снижения нагрузки или повышения температуры. В хорошо работающем метантенке содержание органических кислот, выраженное через содержание уксусной кислоты, составляет от 100 до 1000 мг/л. Содержание уксусной кислоты является также мерой стабилизации ила (Loll, U., et al., KA 1984, 940).

В любом метантенке, который эксплуатируется с действительно свежими сточными водами, сначала должен быть выдержан период кислого брожения, который называют *временем наработки* или временем вызревания. В крупном метантенке для свежих сточных вод и свежего ила при средней температуре 15 °С этот период длится около 6 месяцев. При других температурах этот период изменяется по температурной характеристике (рис. 5.61). Если сточные воды несут с собой уже перегнивший ил, например, при переливе из выгребных ям, из участков городской канализации, работающих с подпором, или из длинных напорных трубопроводов, то никакой наработки в метантенке вообще не требуется.

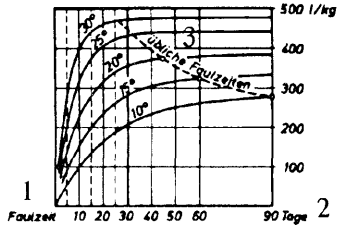


Рис. 5.61. Выделение газа в вызревшем метантенке из 1 кг обезвоженных органических веществ введенного свежего ила при разных температурах по Фейру и Муру (Fair und Moore, Sewage Works Journal, 1937, 3)
1 – время сбраживания; 2 – сутки; 3 – обычное время сбраживания

Быстрая искусственная наработка метантенка возможна следующим образом: сначала он наполняется сточной водой и нагревается до расчетной температуры брожения и затем в него подается ил для сбраживания, имеющий такую же температуру, из хорошо работающего метантенка. Если выбрать суточную подачу свежего ила от 1/8 до 1/10 количества ила, уже имеющегося в метантенке, то метановое брожение будет постоянно поддерживаться и станет пре-

обладающим (Annen, G., GWF 1959, 242, Imhoff, K. R., GWA 1971, Bd. 4, 141). Активированный уголь может ускорить созревание. По Райхлу и Зандеру в качестве затравочного материала можно использовать также гниющие листья (GI 1935, 558). Без ила для сбраживания можно обойтись также в случае, если с помощью тщательного известкования поддерживать водородный показатель (pH) приблизительно равным 7,0 (Cassell, E. A., et al., Sew. a. I. W. 1959, 123).

Действие щелочного брожения чрезвычайно сильное. В наработанной камере сбраживания при достаточном количестве тепла ил в течение 1 ... 2 недель разлагается настолько, что почти ничего нельзя обнаружить из его первоначальных органических составных частей (исключение составляют, например, волосы, которые не разлагаются). Уничтожается даже большинство семян сорняков, однако семена томатов, например, остаются способными к проращиванию. Болезнетворные микробы и яйца глистов умерщвляются, а вот туберкулезные палочки остаются. Особенно важным является уменьшение количества ила. В некоторой степени это можно объяснить дегазацией и разжижением органических веществ. Из списка илов на стр. 314 при сравнении значений А 2а и А 3а очевидно, что твердые вещества уменьшаются с 45 до 30 г/(чел • сут). Большей же частью уменьшение количества ила связано с содержанием воды, которое уменьшается с 95 % до 90 %, так что количество перегнившего ила в отстойнике составляет всего 0,30 л/(чел • сут) по сравнению с 0,90 л свежего ила (А 3 по сравнению с А 2 по списку илов), т.е. всего 1/3. В отдельных случаях содержание воды в перегнившем иле неодинаково. Это содержание тем выше, чем больше содержание органических веществ. Поэтому, например, добавка активного ила значительно повышает содержание воды и, вместе с тем, количество перегнившего ила (стр. 314).

Несмотря на незначительное содержание воды перегнивший ил жидкий, и его легко перекачивать насосами в противоположность свежему илу, который является вязким и трудноперекачиваемым,

если он сильно не разведен водой. Перегнивший ил высыхает значительно быстрее, чем свежий ил, и при этом не источает зловония.
Влияние температуры показано на рис. 5.61, где нанесены количество газа в л/кг, выделяющегося при разных температурах из 1 кг введенных в метантенк органических веществ свежего ила. При более высоких температурах разложение проходит быстрее, и общее количество газа при повышенной температуре увеличивается:

10	15	20	25	30 °C
275	325	380	440	480 л/кг

При задании любых температур нужно учитывать, что однажды установленная температура должна постоянно поддерживаться. Даже при незначительных колебаниях температуры сразу же уменьшается выделение газа (стр. 311).
Количество газа можно рассчитать по рис. 5.61, если кроме количества органических веществ в иле и температуры указывается еще и *время сбраживания*. Его можно легко определить, если не отделять иловую воду, т.е. если количество ила, вытекающего из метантенка, такое же, как и количество ила, поступающего в него.
Пример. Метантенк первой ступени (см. рис. 5.64) на 50 000 жителей имеет емкость 500 м^3. Ежесуточный приток (сттр. 314) свежего ила составляет 0,90 • 50 000 : 1000 = 45 м^3. Иловая вода не отделяется. Время сбраживания – 500 : 45 = 11,1 суток. Нагрев до 30 °С. Количество газа по рис. 5.61 – примерно 400 л на 1 кг твердых органических веществ.
Твердых веществ (стр. 314) – 45 г/(чел • сут). Из них органических – 70 % (см. раздел 5.9.2) или 0,7 • 45 = 31,5 г/(чел • сут). Количество газа составляет 400 • 31,5 : 1000 = 12,6 л/(чел • сут) или 12,6 • 50000 : 1000 = 630 м^3/сут.
Если в метантенке отделяется иловая вода, то расчет менее точен, так как содержание воды в иле и, вместе с тем, количество ила уменьшается во время перемещения по метантенку.

В камерах сбраживания эмшерских отстойников виден только вытекающий ил, но нельзя определить притекающий ил и иловую воду, которая снова возвращается в отстойник взамен ила.

При многоступенчатых аэротенках (см. раздел 5.9.8) по линиям на рис. 5.61 можно считывать для разных температур количество газа, выделяющегося на каждой отдельной ступени.

Разложение органических веществ в метантенке происходит почти синхронно с выделением газа по рис. 5.61. В общем оно происходит медленнее, чем разложение в воде, содержащей воздух. Например, при 20 °С оно составляет ежесуточно 8,4 % по сравнению с 20,6 % при одинаковых значениях БПК.

На рис. 5.61 и 5.62 приведено обычное время сбраживания в городских метантенках при различных температурах. Например, при средних температурах оно составляет:

	8	10	15	20	25	30 °С
Время сбраживания	120	90	60	45	30	27 суток

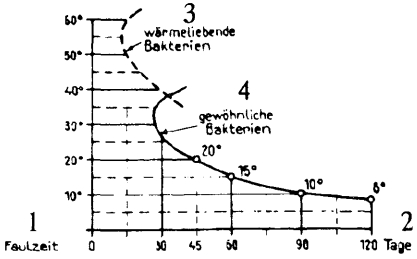


Рис. 5.62. Время сбраживания, требующееся для того, чтобы из 1 кг твердых органических веществ получить 478 л газа (по Фейру и Муру)
1 – время сбраживания; 2 – сутки; 3 – теплолюбивые бактерии; 4 – обычные бактерии

При температуре выше 25 °С количество газа больше не увеличивается. Но это не значит, что нагрев до более высокой температуры,

например, до 37 °С не дает преимуществ, так как в этом диапазоне увеличивается разрушение органических веществ, что также желательно по другим причинам. При температуре выше 37 °С бактерии, существующие при более низких температурах вытесняются *термофильными*. Они развиваются только при определенных условиях. Наилучшие условия для них создаются при температурах от 50 до 60 °С (Fair, Moore, Sew. W. J. 1934, 7).

Значительно повредить анаэробному брожению могут разные соли металлов, особенно те, которые поступают из гальванических цехов. Ориентировочные значения приводятся в разделе 5.10.1. Если имеется достаточно серы, токсичные металлы осаждаются в виде нерастворимых сульфидов. Исключение составляет только хром. Интенсифицировать процесс может добавка соединений, содержащих серу (Masselli, J. W., und Mitarb., JWPCF 1967, 1369).

5.9.7. Материал для образования газа при сбраживании

В качестве материала для образования газа при сбраживании кроме ила городских сточных вод пригодны также многие другие твердые и жидкие отходы (A. M. Buswell, Anaerobic Fermentations, State Water Survey, Bulletin No. 32, Urbana, Illiois 1939, Imhoff, Biologische Gasgewinnung aus Abfallstoffen, Rundschau D. Technik 16.3.1944, Faulgas aus Abfallstoffen (vertraulich), Juli 1944, Faulversuche in Flaschen, Chemiker–Zeitung, Koethen, 1945, 12, Digester–Gas for Automobiles, Sew. W. J. Jan. 1946, 17, Treibgasweninnung aus festen Abfallstoffen, GI 1947, 3. Poepel, F., Gaserzeugung und Stoffverluste bei der Schlammfaulung, GI 1947, 85, Reinhold, F., Energiegewinnung aus Abfallstoffen, GI 1949, 309, Burkhardt, C., Treibstoff aus Sieb– und Rechengut, Techn. Gem. bl. 1944, 223, GI 1948, 61, Reinhold, F., GWF 1955, 176, Kiess, Münchner Beitraege zur Abwasserbiologie Band 3, 1956).

Ниже приводится перечень таких веществ с указанием содержания

газа. Данные взяты из труда Рейнхольда, изданного в 1955 году.

Материал для образования газа при сбраживании

Вид вещества	Количесво газа при 30 °С, л/кг сухого остатка		Содержание метана,	Период неполного разложения,
	общего	органич.	%	суток
А. Коммунальные предприятия				
Ил сточных вод	431	607	78	8
Отходы без золы	281	305	66	10
из них – бумага	227	259	63	8
из них – овощные отходы	608	643	62	6
Отходы скотобоен:				
содержимое кишечника скота	461	524	74	13
части внутренностей скота	87	89	42	2
кровь скота	158	159	51	2
В. Промышленные предприятия				
Сточные воды молочных ферм	975	1025	75	4
Сыворотка (67,3 г/л сухого остатка)	670	–	50	–
Стоки от производства пресс. дрожжей	486	796	85	–
Стоки, содержащие бумагу	250	–	60	–
Жом	400	423	75	4
Отходы в виде остатков яблок	313	322	75	4
Виноградные выжимки (сгнившие)	137	200	79	27
Отходы пивзаводов (хмель)	426	445	76	2
Остатки апельсинов	482	500	72	5
Кожура бананов (сухая)	413	450	78	18
С. Сельское хозяйство				
Навоз с соломой	286	342	75	19
Лошадиный навоз	391	430	76	16
Навоз крупного рогатого скота	237	315	80	20
Свиной навоз	257	415	81	13
Пшеничная солома	348	367	78	12
Картофельная ботва	526	606	75	3
Стебли кукурузы	485	514	83	5
Ботва сахарной свеклы	456	501	85	2
Трава	490	557	84	4
Полова после молотилок (пшеничная)	338	386	73	10
Дрок	434	446	76	7
Камыш	285	314	79	18

В последней колонке (период неполного разложения) указано по Рейнхольду количество суток, которое потребовалось при эксперименте, проводившемся в емкости для выделения газа половиной веществ, способных к образованию газа. Период полуразложения дает опорную точку для расчета необходимых размеров метантенка. В общем, можно сказать, что рыхлые и хорошо измельченные вещества дают больше газа, чем твердые, прочные и крупные вещества и что зеленые и свежие вещества лучше, чем старые, одеревеневшие и разложившиеся вещества.

Емкость метантенка при твердых отходах может быть меньше, чем при иле сточных вод, потому что меньший объем занимает лишняя вода. Нагрузка обезвоженными сухими веществами может составлять ежесуточно от 2 до 3 кг/м^3 (Burkhardt, C., Techn. Gem. bl. 1944, 225, GI 1948, 61). И, напротив, в качестве удельной нагрузки сточной воды по *органическим* веществам на ил (см. раздел 5.9.9) указывается только 1,5 кг/м^3.

На 2 м^3 метантенка количество газа ежесуточно может составлять от 0,5 до 1.

При веществах, содержащих небольшое количество азота, например, кукурузные стебли или солома, необходимо добавлять азот в качестве питания для бактерий, как это имело место при экспериментах в емкости (стр. 311) или в компостной борозде (см. раздел 4.7), либо при способе с активным илом (см. раздел 5.10.1).

5.9.8. Типы камер сбраживания ила

В зависимости от того, как связаны камеры сбраживания, предназначенные для перегнивания ила, с процессом осаждения в сточных водах, различают следующие основные типы.

1. *Перегниватель для сточных вод (септик)* уже рассматривался при способе очистки сточных вод в перегнивателях (септиках) в разделе 5.7.12. Через него протекают все сточные воды, т.е. он является одновременно отстойником и перегнивателем для

сточных вод и камерой сбраживания для ила (метантенком) (см. рис. 5.17).

2. *Непроточный двухъярусный отстойник (двухъярусный отстойник Эмшера*, эмшерский бассейн, отстойник Имхоффа) (Poenninger, R., Der Emscherbrunnen. Verlag d. Oest. Abwasser–Rundschau, Wien 1962). При этом иловая камера сбраживания расположена под отстойником в двухъярусном сооружении по рис. 5.63. Иловая камера сбраживания поддерживается в нагретом состоянии благодаря протекающим над ней сточным водам. Другие типы небольших установок см. на рис. 5.78. Уровень воды в отстойнике поддерживается посредством перелива (см. раздел 5.12). Дно отстойника, отделяющее его от расположенных под ним камер сбраживания, выполнено из тонких наклонных стенок из железобетона, которые на глубине около 0,25 м имеют широкие щели, через которые осадок проходит в иловую камеру. Наклонные стенки должны очищаться скребками. Наклон поверхности составляет, по меньшей мере, 1,2 – 1,5 (высота) к 1 (ширина). Если две наклонные стенки подводятся вплотную друг к другу, то наклон должен быть большим (2 : 1), чтобы обеспечить достаточный уклон на линии пересечения. Щели для ила закрыты снизу, чтобы не могли проходить обратно всплывающие кусочки ила. Сам отстойник постоянно находится без ила, и сток остается свежим. Иловая вода отделяется от гниющего ила и постоянно самостоятельно поступает обратно в верхний отстойник взамен нового осаждающегося ила, фильтруясь при этом с его помощью (Bach, Wasserverdraengung, Techn. Gem. bl., 5. Nov. 1912, 225). Поэтому перегнивший ил особенно хорошо обезвоживается. Следствием соединения через щели является также то, что двухъярусный отстойник нельзя нагревать. Тепло, подающееся на нижний ярус сооружения, снова отводится водой верхнего яруса сооружения.

Чтобы иловые камеры равномерно загружались илом, можно через несколько недель изменять направление протекания в отстойнике

на противоположное или делать первую камеру большей (Nagel, D., Wass. wirtsch. 1943, 19) или перекачивать ил из первой камеры в последнюю.



Рис. 5.63. Двухъярусный отстойник (отстойник Эмшера)

Поперечные перегородки на нижнем ярусе сооружения, которые необходимы по соображениям статического давления грунта и воды, разделяют удлиненную камеру сбраживания на отдельные иловые камеры. Поперечные перегородки предназначены также для того, чтобы воспрепятствовать протеканию сточных вод через камеру сбраживания, обеспечивая, тем самым, выход чистого стокат. Отверстия в поперечных перегородках, которые служат для выравнивания количества ила, должны располагаться ниже уровня ила, чтобы через них не протекала вода.

Продольные перегородки, которые делят отстойники, должны проходить также и через камеры сбраживания до дна так, чтобы каждый отстойник имел отдельную камеру сбраживания. В противном случае нельзя избежать того, что при неравномерном распределении притока и стока отдельных отстойников возникнут поперечные протекания через камеру сбраживания, которые вытеснят в сток воду из камер сбраживания.

Каждая камера сбраживания ила должна иметь *трубу с задвижкой для откачки твердой фазы.* Конец трубы должен быть открытым, так чтобы при вытекании можно было видеть ил. Диаметр трубы для пропуска ила должен составлять 20 см. К нижнему концу трубы целесообразно подключить промывной водопровод или трубопровод сжатого воздуха. Необходимо также обеспечить возможность промывки трубы сверху водой под давлением. Необходимый относительный уклон для протекания ила через трубу – 1 : 8, для открытых

лотков – 1 : 40, при очень густом иле и того больше. В отдельных иловых воронках используются также пневматические подъемники. Они поднимают над уровнем воды даже песчаный ил, так что после этого ил по уклону течет на иловые площадки для подсушки.

На плавающую корку в камере сбраживания двухъярусного отстойника Эмшера следует обращать особое внимание. Ее нельзя путать с плавающим илом в отстойнике, описанном в разделе 5.4.5. Плавающая корка возникает из-за того, что частицы ила всплывают из камеры сбраживания под действием газов, а после этого распадаются не настолько, чтобы освободиться от пузырьков газа и снова осесть. В частности, на поверхности остаются волокна, косточки и им подобные предметы. Незначительная плавающая корка образуется в правильно рассчитанной камере сбраживания, которая поддерживается в теплом состоянии благодаря теплым сточным водам, а также в тех случаях, когда промышленные сточные воды содержат поваренную соль, соли железа, известь или угольную пыль, которые лишают ил липкости и утяжеляют его. Большая плавающая корка может образовываться при свежих, чисто бытовых сточных водах и при определенных промышленных сточных водах с высоким содержанием жира (шерстяного жира) и волос или волокнистых материалов. Она образуется, когда камера перегружена или процесс тормозится из-за низкой температуры, либо если камера имеет очень большую поверхность. Очень толстую плавающую корку безусловно нужно разрушить и осадить или же сбросить. Это необходимо делать в любой камере сбраживания, даже работающей автономно, так как плавающая корка занимает полезный объем. В эмшерском отстойнике она еще более вредна тем, что она может распространиться до щелей, соединяющих камеру сбраживания с отстойником, и затем снизу проникнуть в отстойную камеру, где она появляется в виде плавающего ила и засоряет сток.

Разрушить плавающую корку можно с помощью водяной струи или посредством накачивания насосом донного ила или воды из камеры

сбраживания, либо с помощью мешалки или других механических приспособлений подобно тому, как это делается в автономном метантенке (см. ниже). Для спускания плавающего ила должны быть соответствующие отверстия.

При эксплуатации этой установки самым важным является своевременное освобождение щелей для ила между отстойной камерой и камерой сбраживания. Как уже было сказано, нельзя допускать, чтобы плавающий ил опускался вниз к этим щелям. В такой же степени нельзя допускать и того, чтобы донный ил доходил до щелей; его нужно своевременно сбрасывать, даже если он не вызрел во время переработки. Если через щели на поверхность воды выходят пузырьки, это признак того, что ил достиг щелей, и его нужно спускать. Точную высоту уровня ила можно измерить, опустив в камеру сбраживания всасывающий шланг ручного насоса и медленно опуская его при перекачивании до появления черного ила. Также можно измерить и толщину плавающей корки.

С другой стороны, нельзя откачивать со дна слишком много ила, потому что в этом случае не останется достаточного количества вызревшего ила для того, чтобы поддерживать щелочное брожение при поступающих массах свежего ила. Тогда в метантенке опять потребуется время для вызревания ила (см. раздел 5.9.6).

"*Вспенивание*" двухъярусных отстойников, как называют любой непроточный метантенк, происходит в случае, если в воде сброженного ила собирается чрезмерное количество мыльных веществ (Jenkins, D., et al., JWPCF 1987, 249). В этом случае поднимающиеся пузырьки газа образуют илосодержащую пену, которая может вытекать через края камеры. Это не имеет никакого отношения к вышеупомянутой плавающей корке. Вспенивание возникает обычно только в период вызревания ила, его можно сразу же прекратить, введя в пенящуюся камеру свежую промывочную воду или сточную воду и, таким образом, разжижая мыльную воду сброженного ила. Спуск ила действует таким же образом, потому что в этом случае

понижается уровень ила и поступает свежая сточная вода из отстойной камеры.

Чтобы уменьшить конструктивную глубину эмшерских отстойников, устраиваются также горизонтальные перегородки между отстойной камерой и камерой сбраживания. В этом случае свежий ил на дне отстойной камеры перемещается к прорезям для ила с помощью вращающихся скребков (приблизительно то же, что изображено на рис. 5.20). Этот принцип был разработан в 1929 году Дж. Ф. Скиннером в Рочестере, штат Нью Йорк. За границей его называют "Clarigester". Немецкие установки этого типа описаны Шмитцем–Лендерсом (Schmitz–Lenders, Uedemer Becken, GI 1952, 333, und Der deutsche Baumeister, Nov. 1956, Bohrisch, Motorisierter Emscherbrunnen, GI 1954, 134). Нужно учитывать то, что в камере сбраживания имеется плавающий ил.

В Польше посредством аэрации в двухъярусных отстойниках достигалась аэробная стабилизация ила и биологическая очистка сточных вод (Manczak, H., et al., GWF 1969, 201).

3. *Автономная камера сбраживания ила.* Двухъярусные отстойники Эмшера имеют тот недостаток, что для них требуется большая глубина, считая от уровня воды. Этого можно избежать, если камеру сбраживания установить не под отстойной камерой, а рядом с ней и перекачивать насосами свежий ил. При этом расходы на строительство зачастую уменьшаются. Основным преимуществом является то, что можно нагревать камеру сбраживания (раздел 5.9.10).

Однако появляются следующие недостатки: работа отстойной камеры перестает быть автономной, она зависит от требования диспетчера и надежности насосов, электродвигателей и подвижных деталей всех типов. Становится обязательным отделение иловой воды от перегнившего ила. Ежедневно нужно закачивать свежий ил и выпускать соответствующее количество воды из камеры сбраживания, чтобы создать нужный объем. Сюда следует добавить, что температура в отделенной иловой камере ниже, чем в камере сбраживания

эмшерского отстойника, через которую протекают сточные воды и нагревают ее.

Этим недостаткам можно противостоять, создавая подходящие конструкции или соответственно увеличивая объемы, либо же посредством нагрева и принятия других мер в процессе эксплуатации.

В естественных условиях строят открытую автономную камеру сбраживания в виде *земляного отстойника*, окруженного земляным валом или кольцевой каменной кладкой. Дно снабжается дренажными трубопроводами, которые можно отключать. Резервуары делают по возможности глубокими – от 3 до 5 м, чтобы уровень ила находился настолько высоко, чтобы обеспечивался хороший уклон относительно расположенных рядом площадок для просушки ила. Важно, чтобы в камеры сбраживания закачивался не свежий ил, а смесь свежего и старого ила в пропорции 2 : 1, что препятствует переходу свежего ила к кислому брожению. Этот введенный в 1909 году в Бирмингеме и хорошо там себя зарекомендовавший способ предварительного сбраживания ила и смешивания его с закачанным свежим илом в земляных метантенках позже был применен также в нагревающихся метантенках (C. B. Townend, Jour. a. Proc. The Inst. of Sew. Pur. 1956, Part 2, 131, Keefer, E., Sew. a. I. W. 1959, 388).

Чтобы распределить ил по всему объему, попеременно используют несколько мест подачи. В водосборной шахте прокладываются отдельные отводящие трубопроводы для иловой воды и для перегнившего ила. Плавающую корку разрушать не нужно. Она предохраняет от распространения неприятного запаха. Отстойники нужно полностью очищать по истечении нескольких лет, так как на дне скапливается песок и твердый ил. Твердый ил можно также привести в текучее состояние, слив находящуюся над ним воду и используя ее затем для смыва под напором. Если земляная камера сбраживания строится как временное сооружение, то позже перед ней можно соорудить в качестве первой ступени закрытый нагреваемый резервуар с генерацией газа, а земляная камера сбраживания может

остаться в качестве второй ступени (Mahr, GI 1935, 21, 1940, 585, Teichgraeber et al., GI 1941, 278, Imhoff, u. Dahlem, Ungeheizte Schlammfaulraeume für kleine Staedte, GI 1953, 178, Imhoff, Ueber ungeheizte Schlammfaulraeume, GI 1953, 273, Burkhardt, Wasserwirtsch.–W.techn. 1953, 188). Бём (Boehm, R.) рекомендует регулярную циркуляцию ила в земляных метантенках (Wasserwirtsch.–W.t. 1964, 10). Тауненд использует множество сточных труб, входы в которые должны находиться на расстоянии не больше 15 м друг от друга (Jour. a. Proc. Inst. of Sew. Pur. 1962, Part 1, 44).

Более совершенным является закрытый способ сооружения из *железобетона* (Burkhardt, C., GI 1949, 158, Geiger, GI 1952, 129, Lücking, Berichte ATV, 1958, 388, Thon, R., Berichte ATV, H. 16, 1963, 4; Imhoff, K. R., KA 1980, 130; Wiener Mitt. Bd. 47, 1982, und Beitrag in "Sewage Sludge Stabilisation and Disinfection", edited by Bruce, Ellis Horwood Ltd., England 1984; Gunnerson, C. G., Anaerobic Digestion, World Bank, Washington 1986, Techn. Paper 49; Speece, R. E., Water Research 1988, 365). На рис. 5.64 изображена классическая европейская форма септика с конусным дном для уменьшения отложений ила и с ограничением плавающей корки в верхней части. Ил закачивается снизу и выпускается через крышку. Вверху находится также перепуск для иловой воды, которая подается обратно на отстойник.

Существуют также цилиндрические формы, показанные на рис. 5.65. Плоское дно очищается. Установки такого типа хорошо зарекомендовали себя и работают уже в течение нескольких десятилетий. Энергия, необходимая для приведения в действие, незначительна. Циркуляцию ила обеспечивают насосы, расположенные вне установки. Ил отводится со дна и возвращается в зону верхнего уровня ила. Перегнивший ил также отводится со дна. Если трубопроводы для удаления ила рассчитаны на скорость протекания от 1 до 1,5 м/с, то регулярно отводится также песок, очищаемый скребко-

вым механизмом, в результате чего в камере сбраживания не остается песка.

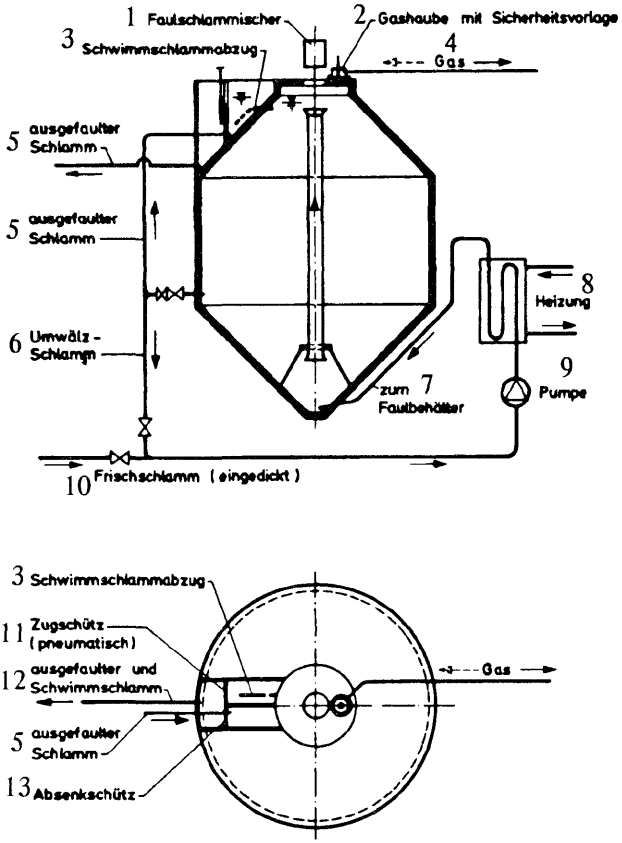


Рис. 5.64. Камера сбраживания ила с системой обогрева, циркуляционным устройством и основными узлами

1 – мешалка сброженного ила; 2 – газовый колпак с предохранительным устройством; 3 – отвод плавающего шлама; 4 – газ; 5 – перегнивший ил; 6 – циркулирующий ил; 7 – к септику; 8 – нагрев; 9 – насос; 10 – свежий ил (сгущенный); 11 – привод затвора (пневматический); 12 – сброженный и плавающий ил; 13 – подвижный щит

Начиная с емкости 4 000 м^3, более экономичным было бы отойти от конструкций, изображенных на рис. 5.64 или 5.65, и перейти на закругленную, яйцеобразную форму (Bomhard, H., Bauingenieur 1979, 77). Уже сооружены такие резервуары емкостью до 12 000 м^3. При разделении объема предпочтительно делать несколько секций. Очень маленькие камеры сбраживания можно собирать из стали или готовых железобетонных деталей.

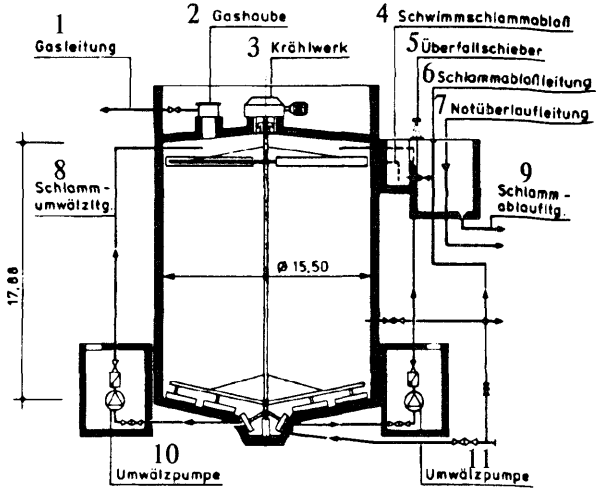


Рис. 5.65. Разрез камеры сбраживания емкостью 3 000 м^3
1 – трубопровод газа; 2 – газовый колпак; 3 – скребковый механизм; 4 – отвод плавающего ила; 5 – затвор водослива; 6 – илоспускной трубопровод; 7 – аварийный переливной трубопровод; 8 – иловый циркуляционный трубопровод; 9 – илосливной трубопровод; 10 и 11 – циркуляционный насос;

Имеются следующие типы перекрытий:

а) Поплавковое *перекрытие* (рис. 5.66). Оно надежно предотвращает проникновение воздуха. Перекрытие может быть выполнено в виде поплавкового (плавающего) газгольдера.

б) Стационарное, расположенное сверху перекрытие для газа (рис. 5.64 и 5.65) по причинам безопасности можно эксплуатировать только вместе с находящимся под давлением газгольдером, который нагнетает обратно газ, если уменьшается уровень ила при спуске воды или ила. Это может быть мокрый газгольдер или сухой газгольдер (рис. 5.67). Гравийные стаканы служат для защиты от *обратного удара пламени.*

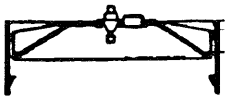


Рис. 5.66. Поплавковое перекрытие с механизмом разрушения плавающей корки

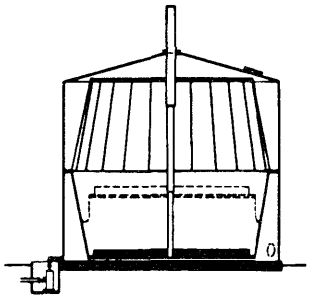


Рис. 5.67. Сухой газгольдер

Нельзя допускать, чтобы в закрытой и нагретой камере сбраживания образовывался слишком толстый слой плавающего ила, так как он уплотняется, не подвергаясь нагреву из-за большого удаления от основной массы, и уменьшает полезный объем камеры сбраживания. То есть плавающую корку нужно разрушать постоянно или, по меньшей мере, делать это один раз в сутки (EPA, JWPCF 1987, 162). Для этого имеются следующие возможности:

а) Разбрызгиватель для водопроводной воды. Более предпочтительной является вода, перекачанная из камеры сбраживания, так как в свежий ил попадают бактерии щелочного брожения и при нагревающихся камерах сбраживания предотвращается потеря тепла.

б) Разбрызгивание свежего ила. Борьба с образованием плавающей

корки посредством ежедневного увлажнения. Мельчайшие частицы свежего ила входят в соприкосновение со старым илом, находящимся в состоянии брожения.

в) Лопастное устройство, которое погружается в ил.

г) Перекачивание ила, находящегося в камере сбраживания, с помощью насоса, установленного снаружи или внутри. Хорошую циркуляцию обеспечивает винтовая черпалка (Schiegler, L., Industrie-abwaesser Mai 1962). При этом важно, чтобы ил или вода, отделявшаяся от сброженного ила, перекачивалась на плавающую корку или внутрь этой корки и механически разрушала ее. При закачивании свежего холодного ила он может нагреваться до температуры камеры сбраживания и смешиваться (сбраживаться) со старым илом (см. раздел 5.9.6). Если в камеру сбраживания уже закачивается свежий ил, смешанный с перегнившим илом, то можно применить другие способы борьбы с плавающей коркой (Townend, C, B., Jour. a. Proc. The Inst. of Sew. Purif. 1956, Part 2, 131).

д) Вдувание газа брожения в количестве 1 – 1,5 $м^3$/мин и копье (Fuhrmann, R. E., Sew. a. Ind. W. 1954, 453, Morgan, P. F., Sew. a. Ind. W. 1954, 462, Imhoff, K., Amerikanische Fortschritte im Betrieb von Schlammfaulraeumen, GWF 1954, 521, Rohde, H., GI 1955, 111, J. Griffiths et al., Jour. a. Proc. The Inst. of Sew. Pur. 1956, Part 2, 125). Копья вводятся в поверхность ила вертикально примерно на 3 м.

Несмотря на механизм разрушения плавающей корки в камере сбраживания со временем накапливаются плавающие вещества, а именно в случае, когда еще газифицируются твердые вещества (стр. 327). Поэтому нужно устанавливать спускную трубу для *плавающего ила*, вход в которую находится чуть ниже уровня ила. В этом месте целесообразно проводить промывку водой. Кроме того, в перекрытии необходимо иметь отверстие, через которое можно выбрасывать плавающие вещества.

(О плавающем иле в отстойниках см. раздел 5.4.5, в эмшерских отстойниках – стр. 329).

4. *Двухступенчатые камеры сбраживания.* Под этим следует понимать в первую очередь соединение двухъярусного отстойника (рис. 5.63) с вторичной автономной камерой сбраживания. При этом двухъярусный отстойник строится с меньшими размерами, и только наполовину перегнивший в нем ил, а именно, донный ил и особенно интенсивно образующийся в этом случае плавающий ил, перекачивается во вторичную автономную камеру сбраживания. Во вторичную автономную камеру сбраживания подается только ил с незначительным содержанием воды, потому что ил эмшерского отстойника уже отдал свою избыточную воду обратно в сточную воду взамен ила, проникшего через прорези. А во вторичной камере сбраживания используется возможность нагревания. Для старых двухъярусных эмшерских отстойников, в которых были предусмотрены слишком маленькие камеры сбраживания, это дополнение вторичными нагревающимися камерами сбраживания просто необходимо.

При автономных камерах сбраживания также возможна двухступенчатая структура. При обычных в настоящее время высоких температурах сбраживания перемещение ила с помощью газов столь сильное, что при одноступенчатой конструкции трудно добиться спуска чистой иловой воды. Если же не сливать эту сбросную воду, то она занимает полезный объем и сильно сокращается время сбраживания. Еще хуже, если сливается вода плохо сброженного ила, т.е. часть ила, в результате чего загрязняется последующая биологическая часть очистного сооружения и теряется полезный газ. В этом случае может помочь разделение на две ступени. Первая ступень выполняется в соответствии с рис. 5.64 или 5.65. При нагреве до 30 °С здесь вырабатывается 2/3 газа уже через 5 дней и 90 % газа – через 14 дней (рис. 5.61). Сбросная вода первой ступени поступает в камеру второй ступени и только там окончательно отделяется. Эта вторая ступень выполняется в виде простейшей конструкции: открытого железобетонного резервуара или земляного отстойника (стр. 334). Нагрев и разрушение плавающей корки здесь не нужны,

как необязательно и перекрытие, в связи с тем, что выход газа здесь незначительный. Вторая камера служит также для компенсации колебаний при дальнейшей обработке. Если она должна служить в качестве сборника в зимнее время, то она должна быть особенно большой. Уровень иловой воды в сборнике можно поддерживать одинаковым либо понижать его с помощью ила.

Ил из камеры сбраживания, работающей с бурной циркуляцией, сильно противодействует последующему обезвоживанию, так как разрушается его естественная хлопьевидная структура. На последующей второй ступени раствор, становящийся клейким, обычно восстанавливает свою хлопьевидную структуру, к тому же прибавляются еще и газы, которые облегчают обезвоживание на площадке для просушки ила (см. раздел 5.9.12) (Swanwick, J. D., et al., Jour. Inst. Sew. Pur. 1961, 487, Knop, E., et al., Tech. wiss. Mitt. d. E. G. 1962, H. 5, 21).

Для двухступенчатой конструкции камер сбраживания Гентер и Кеннеди предложили промывать ил между первой и второй ступенью. В этом случае можно отделять воду, чтобы ил становился гуще, и вторую камеру делать меньшей. Количество ила становится меньшим, и ил быстрее высыхает на иловой площадке (Torpey, W. N., et al., Sew. a. Ind. W. 1952, 813, Poepel, F., et al., GI 1955, 47).

Содержащая большое количество аммиака *сбросная вода* камеры сбраживания (*вода сброженного ила*) передается в проток отстойной установки. Если вода плохо отделяется, например, из-за очень интенсивного перемещения в одноступенчатой камере сбраживания, то приток сильно загрязняется, и его потребность в кислороде может стать настолько высокой, что из-за этого нарушается работа отстойной установки. В этом случае сбросная вода осаждается в небольших отстойниках (сгустителях), и ил возвращается в камеру сбраживания. Эта конструкция имеет то преимущество, что сбросную воду на притоке в очистную станцию можно равномерно распределять в течение суток. Иногда сбросную воду очищают химическим путем

или фильтруют на специальных песчаных площадках и отводят отдельно. Количество сбросной воды составляет около 1 л/(чел • сут) с содержанием взвешенных веществ и потребностью в кислороде, которая в 4 ... 5 раз больше, чем потребность в кислороде неочищенных сточных вод. См. также Witte, H., KA 1977, 7.

Камеры сбраживания нужно опорожнять через 10 ... 15 лет эксплуатации, если образовались отложения песка или неподдающаяся растворению плавающая корка, либо разрушены важные части установки. В этом случае открывают все люки в крышке камеры сбраживания и с помощью воздуходувки подают в нее свежий воздух. Таким образом стремятся как можно быстрее уйти от предела взрываемости газо-воздушной смеси (см. раздел 5.9.10). В опасной фазе следует предотвращать любое искрение. Измерительные приборы позволяют осуществлять контроль над детонируемостью (например, измеритель взрывоопасности Ауэра).

После этого выпускается как можно больше ила через имеющиеся трубопроводы. Воздуходувка продолжает работать. Если ил больше не вытекает, используется погружной насос. Лаз выше конусного дна значительно упрощает работы. Имеющуюся густую массу можно откачать, используя большое количество разбавляющей воды.

Процесс опорожнения длится обычно от 4 до 6 недель. Много времени занимает ремонт. На это время требуется вторая камера сбраживания или иловый пруд.

По вопросам использования биогаза в сельском хозяйстве см. Perwanger, A., KA 1983, 400; Wellinger, A., Gas–Wasser–Abwasser (Schweiz), 1985, 45).

5.9.9. Расчет камер сбраживания ила

Размер камер сбраживания можно рассчитывать по *времени сбраживания*, если известны количество ила и температура. Количество ила получают из перечня илов на стр. 314. Зависимость между временем сбраживания и температурой представлена на рис. 5.61.

Проще рассчитывать камеру не по времени сбраживания, а по количеству ила. Мерой при этом может служить либо *число жителей*, либо количество *осаждаемых органических веществ*, поступающих ежесуточно со свежим илом.

При расчете по числу жителей пользуются уже многократно используемым основным числом, определяющим размер камеры сбраживания отстойной установки: 20 л/чел или объемной нагрузкой 50 чел/м^3. По осаждаемым *органическим* веществам это соответствует усредненным сточным водам в Германии (стр. 132) 30 • 50 : 1000 = 1,5 кг/(м^3 • сут). Эти числа действительны для хорошо построенных нагреваемых камер сбраживания. Эмшерские отстойники поддерживаются в теплом состоянии протекающими над ними сточными водами. Однако температура ила в них ниже, чем в нагреваемой камере сбраживания. Ориентировочные числа для эмшерских отстойников указаны ниже.

Промышленный ил выражается числом 1,5 кг/(м^3 • сут) без всяких дополнений. Для чисел 50 чел/м^3 или 20 л/чел к числу жителей нужно прибавить еще эквивалент числа жителей, учитывающий промышленность.

Если речь идет не только о емкости для осаждения, но и о глубокой очистке, то образуется больше ила, и камера сбраживания должна быть больше. При этом действительны следующие ориентировочные значения (в отдельных случаях требуются более точные расчеты):

Ориентировочные значения для камер сбраживания (л/чел)

Объем камеры сбраживания	Эмшерский отстойник	Автономная камера сбраживания	
		нагреваемая (30 °С)	ненагреваемая
Отстойник	50	20	150
Биофильтровальная установка	100	30	220
Аэрационная установка	150	40	320

Все числа для расчета камер сбраживания нужно увеличивать в 1,25 раза, если поступает также ил из уравнительного резервуара ливневой канализации (стр. 313).

Если есть возможность точно указать количество закачиваемого за сутки свежего ила, то часто основным (упрощенным) правилом для расчета размера камеры сбраживания является то, что вся камера сбраживания должна вмещать свежий ил за 20 дней.

При особенно тщательной эксплуатации на крупных очистных станциях могут оказаться достаточными меньшие объемы камер сбраживания с суточной нагрузкой около 3 ... 4 кг твердых органических веществ на 1 $м^3$ камеры сбраживания. В этом случае нужно учитывать: добавку свежего ила в сгущенном и сброженном состоянии, устранение плавающей корки, равномерную температуру, двухступенчатую конструкцию с ранним отделением воды сброженного ила (Prüss, M., Tech. Gem.bl. 1927, H. 5/6, Roediger, H., Staedtehygiene 1954, 241, GWF 1955, 51, und Schriftenreihe GWF, Oldenbourg 1967 Nr. 1, Stuttgarter Berichte 1961, H. 3, 116, Imhoff, GWF 1954, 521, Lohff, Staedtehygiene 1957, 55, Berichte ATV. 1956, 353, Langfort, L. L., Water a. Sew. W. 1960, 453, Dimowski, Chr. Wasser u. Boden 1983, 486). См. также земляные камеры сбраживания, где само собой разумеющимся является "предварительное сбраживание" посредством смешивания (стр. 335). (Could, R. H., Sew. a. I. W. 1959, 399, Rohde, H., GI 1955, 111, Noack, W., Tech. Wiss. Mitt. Emscherg. H. 1, Juli 1959, Townend, C. B., Jour. a. Proc. Inst. Sew. Pur. 1956 Part 2, 131). Следует предостеречь от занижения расчетных размеров камер сбраживания, так как это может привести к нарушению работы конструкции.

5.9.10. Получение газа, нагрев и использование газа [1)]

При двухъярусных отстойниках газы брожения состоят на 70 – 80 %

[1)] Godehardt et al., ATV–Arbeitsbericht, KA 1989, 84

из метана и на 20 – 30 % из углекислоты, при автономных двухступенчатых камерах сбраживания – примерно на 65 – 70 % из метана и на 30 – 35 % из углекислоты. Вследствие различий по содержанию метана 1 $м^3$ газа брожения при двухъярусном отстойнике имеет теплотворную способность от 7 до 8 кВтч, а при автономных камерах сбраживания – около 6,5 кВтч. Различие по содержанию метана возникает из-за того, что двуъярусный отстойник связан с протекающей сточной водой и поэтому часть легкорастворимой углекислоты захватывается сточной водой и отводится.

Количество газа из 1 кг *органического* сухого остатка свежего ила сточной воды, попадающего в камеру сбраживания, составляет около 450 л/кг при обычных объемах и температурах (рис. 5.61). Если для твердых органических веществ принять содержание по стр. 133 30 г/(чел • сут), то количество газа составит 450 • 30 : 1000 = 13,5 л/(чел • сут). Это число действительно для камеры сбраживания отстойной установки без последующей дополнительной биологической очистки. При двуъярусном отстойнике (стр. 329) количество газа меньше настолько, насколько его газ содержит меньше углекислоты. Выход метана при обоих типах отстойников равный при одинаковой температуре.

Ил из биофильтров или аэротенков из 1 кг огранического сухого остатка дает примерно наполовину меньше газа, чем ил из первичного отстойника, так как он уже биологически разложен (Teichgraeber, Beiheft zum GI 1943). При аэротенке, избыточный ил которого также сбраживается, можно предположить, что количество газа увеличится наполовину – до 20 л/(чел • сут). Оба значения можно увеличить посредством промышленного ила и ила из уравнительного резервуара ливневой канализации. На многих эксплуатируемых установках эти значения не достигаются вследствие разного рода потерь или из-за низкой температуры.

Для *безопасности* камеры сбраживания, перекрытие которых находится над уровнем ила, нужно соединять с *газгольдером*, из которо-

го может подаваться газ под давлением в случае снижения уровня ила (рис. 5.67). При этом нельзя отсасывать газ из камеры сбраживания, а перекрытия должны находиться под внутренним давлением, зависящим от газгольдера. Размеры газгольдера должны примерно соответствовать количеству свежего ила, закачанного в камеру сбраживания в течение суток. Газгольдер необходим также, если эксплуатируется газовая силовая установка. В этом случае он должен компенсировать колебания и может забирать для этой цели около четверти суточного количества газа. Газгольдеры должны быть защищены от разъедания углекислотой (Kaempffe, GWF 1955, 529).

При использовании газа из ила нужно соблюдать крайнюю осторожность, так как газ не имеет запаха и его трудно обнаружить. Газ становится взрывчатым, если он смешивается с воздухом в пропорции от 1 : 5 до 1 : 15 (Burgess, S. G., et al., Jour. Inst. S. P. 1964, 24). Трубопроводы, которые ведут к отопительной или силовой установке, нужно защищать от обратного удара пламени, например, посредством гравийного горшка. Возникающий иногда *сероводород* очень ядовит. В очень небольших количествах (0,001 %) он ощутим, в больших количествах он менее ощутим, но оказывает смертельное действие уже при 0,1 %. Обычно перед использованием газа сероводород должен удаляться, так как он оказывает корродирующее действие на железо. Для этого служат фильтры из бурого железняка (Fries, F., Die Klaeranlage Essen-Rellinghausen, GI 1931, 661 u. 681). Если из газа брожения вымывается углекислота, то в промывочной воде остается также сероводород, и он удаляется вместе с этой водой. Для *использования* газа из ила имеется очень много возможностей. Само собой разумеется, что он может использоваться на самой очистной станции для нагрева камер сбраживания и зданий. Подача этого газа в городскую газовую сеть имеет смысл, если недалеко проходит магистральный газопровод, в котором газ из ила можно смешивать с преобладающим количеством природного газа, чтобы

не происходило сильных колебаний по составу газа. Газ из осадков сточных вод можно также подготавливать так, чтобы он не ухудшал качество природного газа (Kugel, G., KA 1983, 395).

Простым способом нагрева является *паростру́йный нагрев.* В месте, где закачивается свежий ил, в него нагнетают пар (Rawn, A. M., Water W. and Sew. 1942, 310. Langdon, P. E., Sew. W. J. 1944, 899). На производственных установках не обнаруживалось каких-либо недостатков из-за локального повышения температуры. В паровом котле низкого давления на 1 $м^2$ поверхности нагрева приходится около 20 кг пара/ч; 1 кг пара приносит в камеру сбраживания около 0,7 кВтч. Целесообразным может быть введение пара в подводящийся свежий ил (Schmitz–Lenders, F., GI 1948, 187, Gunson, C. P., Sewage Works Jour. 1947, 661, GI 1948, 93, Kiess, GI 1951, 306, 404). В этом случае свежий ил уже в конце процесса нагревается до температуры камеры сбраживания. При этом требуется 1,6 кг пара низкого давления, чтобы нагреть на 1 ° 1 $м^3$ ила. Дополнительный подвод тепла, необходимый для компенсации потерь на излучение, достигается посредством перекачивания старого ила через то же нагревательное устройство.

Недостатком паростру́йного нагрева является то, что нужно смягчать воду, чтобы в генераторе тепла не образовывалась накипь. Поэтому применяется преимущественно циркуляционная система нагрева. При этом в качестве теплоносителей служат вода или пар. В *теплообменнике* они отдают подавляющую часть своей энергии илу, подлежащему нагреву, не соприкасаясь с ним. Охлажденная нагревательная вода или конденсированный пар снова нагреваются и используются в циркуляционном контуре.

Теплообмен проще всего удается в камере сбраживания, причем нагревательная вода протекает по замкнутым трубопроводам. Как особая форма нагревателя хорошо зарекомендовал себя нагревательный цилиндр с двойным кожухом. Температура нагревательной воды не должна превышать 60 °С, так как в противном случае су-

ществует опасность образования корочки ила снаружи на поверхностях нагрева. Если температура на входе теплообменника 60 °С, на выходе – 40 °С и температура перегнившего ила – 35 °С, то передается примерно:

$$\frac{0{,}07\ кВтч}{м^2 ч^0} \cdot \left(\frac{60 + 40}{2} - 35\right)^0 = 1{,}05\ кВтч/(м^2 \cdot ч).$$

Если вы хотите подводить 155 кВтч/ч, то требуется поверхность нагрева 155 : 1,05 = 148 м^2 (стр. 350).

При крупных камерах сбраживания предпочтение отдается теплообменникам, расположенным снаружи. В большинстве случаев ил перекачивается со скоростью от 1 до 1,5 м/с по трубопроводам, которые снаружи в противотоке омываются горячей водой или паром низкого давления. Чтобы избежать закупорки, трубы для пропуска ила должны иметь диаметр не менее 125 мм, лучше – 150 мм. Благодаря тому, что ил перемещается, возрастает допустимая температура нагрева и коэффициент теплопередачи. Можно считаться со значением 1,05 кВтч/(м^2 • ч • °С).

Температура нагревательной воды в этом случае может составлять на входе 70 °С, на выходе – 50 °С, а температура ила – 35 °С. Тогда можно передавать:

$$1{,}05 \cdot \left(\frac{70 + 50}{2} - 35\right) = 26{,}2\ кВтч/(м^2 \cdot ч).$$

При использовании пара конденсация на стенках трубы позволяет достигать единой температуры, равной 100 °С. Поэтому теплотворность возрастает до 1,05 • (100 - 35) = 68,3 кВтч/(м^2•ч). Наружные теплообменники нужно сооружать так, чтобы можно было легко очищать трубы для пропуска ила (Schlenz, H. E., Sew. Works Jour. 1947, 19, GI 1948, 308, Buswell, A. M., Sew. W. J. 1947, 28, GI 1948, 309, Greene, R. A., Sew. W. J. 1949, 968, GI 1950, 196, Baxter, S. S., et al., Sew. a. I. W. 1954, 961).

По *степени (градусу) нагрева* имеются нижеследующие возможности:

1. Зимний нагрев составляет примерно до 15 °С, причем зимой поддерживаются естественные условия летних месяцев. Это принимается во внимание, например, при открытых земляных камерах сбраживания.

2. Сильный нагрев примерно до 35 °С. В этом случае можно значительно уменьшить размер камеры (рис. 5.61).

3. Перегрев примерно до 55 °С, т.е. до температуры, благоприятной для термофильных бактерий. В этом случае можно еще больше уменьшить размер камеры. При обширных испытаниях Фишера и Грина перегрев дал неудовлетворительные результаты (Fisher, Greene, Sew. Works Jour. 1945, 718). Ил источал зловоние и плохо обезвоживался. Гарбер с сотрудниками констатировали улучшение характеристик обезвоживания и уменьшение количества микроорганизмов (JWPCF 1975, 950, JWPCF 1982, 1170). В Рурской области также с успехом применяли высокие температуры, оптимальные для термофильных микроорганизмов (Imhoff, K. R., GWF 1975, 216). При использовании газа брожения для выработки энергии в газовых двигателях требуется максимум 0,7 $м^3$ газа брожения для 1 кВтч. 20 л/(чел • сут) газа, которые создаются в камерах сбраживания аэротенка (стр. 345) при 1 000 жителей, позволяют получить (1000 • 0,020) : 0,7 = 28,6 кВтч/сут = 1,2 кВт. Так как аэротенк требует на 1 000 жителей в среднем от 1,2 до 1,6 кВт, то собственного газа из ила лишь с большой натяжкой может хватить в качестве источника энергии. Максимальное потребление составляет 3 кВт/1 000 жителей. Для компенсации количества газа нужен газгольдер. Целесообразно применять двигатели, работающие на двух разных видах топлива: газ или дизельное топливо. Газовые двигатели для собственных нужд выгодны только в установках для более 100 000 жителей или при потребляемой энергии более 150 кВт.

Для *нагрева* камер сбраживания до 35 °С собственного газа всегда достаточно, если только в камеру сбраживания вместе со свежим илом не попадает ненужная вода. Это действительно также для

случаев, когда весь газ иапользуется в силовой установке, так как тогда теплоту охлаждающей воды и отработавшие газы можно использовать для нагрева с таким же успехом, как и газ в газовой печи. Большая часть тепла используется на нагрев свежего ила. Меньшая часть расходуется на возмещение *потерь*. При обычной конструкции камер сбраживания для этого можно принять в среднем 1,2 Втч на 1 $м^2$ площади в час при разности температур 1 °. В качестве исходных данных для расчета можно принять следующие значения:

Листовая сталь	11,6 Втч/($м^2$ • ч • °С)
Бетон 30 см	2,3 Втч/($м^2$ • ч • °С)
Бетон 50 см	1,7 Втч/($м^2$ • ч • °С)
Бетон в водонасыщенной земле	1,5 Втч/($м^2$ • ч • °С)
Кирпичная кладка 38 см	1,3 Втч/($м^2$ • ч • °С)
Защитный слой бетона	0,9 Втч/($м^2$ • ч • °С)
Бетон в сырой земле	0,5 Втч/($м^2$ • ч • °С)

(Wilh. Müller, GI 1933, 152, Staedterein. 1940, 73, 100, Bückner, W., GI 1949, 252, Annen, G., Kommunalwirtsch. 1959, 376).

По Роде (Rohde, Wasserwirtsch. 1952/53, 251) для одноступенчатого резервуара при нагреве до 35 °С и хорошей изоляции можно принять потери на излучение 400 Втч/($м^2$ • сут).

Пример. Ежедневное количество свежего ила составляет 100 $м^3$. Камера сбраживания, подлежащая нагреву до 35 °С, рассчитана на емкость 2 000 $м^3$. Какой должна быть теплотворность?

— Для нагрева свежего ила от +10 °С до +35 °С нужно 100 $м^3$/сут • 25 °С • 1,163 кВтч/($м^3$ • °С) = 2 900 кВтч/сут. Потери тепла составляют 400 Втч/($м^3$ • сут) • 2 000 $м^3$ = 800 кВтч/сут. Требующаяся теплотворность котла должна составлять по меньшей мере 3 700 кВтч/сут = 155 кВтч/ч. При нагреве паром требуется 155 : 0,7 = 222 кг пара/ч. Нагревательный цилиндр с двойным кожухом имеет поверхность нагрева 155 : 1,05 = 148 $м^2$, наружный теплообменник, нагреваемый горячей водой, имеет поверхность нагрева 155 : 26,2 = 5,9 $м^2$, а теплообменник, нагреваемый паром, — 155 : 68,3 = 2,3 $м^2$.

5.9.11. Метан как газообразное моторное топливо

Для топлива действительны такие теплотворные способности:

Метан	10 кВтч/м^3
Природный газ	9,5 кВтч/м^3
Газ брожения с 70 % метана	7 кВтч/м^3
Городской газ	4,7 кВтч/м^3
Бензин	8,5 кВтч/л
Дизельное топливо	11 кВтч/кг

Другие теплотворные способности: каменный уголь – 9,3 кВтч/кг, кокс – 8,1 кВтч/кг. По теплотворной способности 1 м^3 метана заменяет 10 : 8,5 = 1,2 л бензина. Риссель при ходовых испытаниях в Штуттгарте установил, что по мощности двигателя 1 м^3 метана может заменить 1,35 л бензина.

В двигателе метан можно использовать в сжиженном, сжатом или свободном состоянии. Подробности обсуждались в 22-м издании книги и в более ранних ее изданиях. В мирное время метан потерял свое значение как моторное топливо, потому что в распоряжении имеются другие, более дешевые виды топлива.

Хорошо зарекомендовавшими себя способами *естественного обезвоживания перегнившего ила* являются иловые площадки, иловые пруды и мокрый вывоз (Imhoff, K., u. Imhoff, K. R., GWF 1964, 710).

5.9.12. Иловые площадки

Если мокрый перегнивший ил сливается для обезвоживания на песчаную площадку, то большое значение при этом имеют газы, содержащиеся в иле. Ил находится на дне камеры сбраживания, где установлена труба для пропускания ила, под высоким гидростатическим давлением, и содержащиеся в нем газы сжаты. Когда ил вытекает из трубы, он теряет гидростатическое давление, пузырьки газа вздуваются, и газ, который был растворен в иловой воде, освобождается. Поэтому вытекающий ил пенистый, и его удельный вес меньше удельного веса воды.

Когда такой ил выпускается на иловую площадку, он всплывает на поверхности воды, с которой он поступает. Это легко можно наблюдать в стакане (Imhoff, Die Schlammbehandlung in Emscherbrunnen, Techn. Gem. bl. 5. 10. 1910, Abdruck auh in 25 Jahre Emschergenossenschaft 1925, S. 455, Eng. Record 10. Dez. 1910, Imhoff, K., Schlamm muss gashaltig auf das Trockenbeet fliessen. Schweiz. Ztschr. f. Hydrologie Bd.22, 1960, Fasc. 1, 475, GWF 1961, 187, Kaempffe, GWF 1961, 187).

Перегнивший ил, содержаший газы, отдает свою воду вниз в противоположность освобожденному от газа илу, который выталкивает воду вверх. Если ил нужно подавать на иловую площадку, то нельзя применять отсасывающие насосы, которые удаляют газ, содержащийся в иле. Следует отдавать предпочтение расположенному ниже воздушному котлу или эрлифту. Можно также устраивать над иловой площадкой вторичные камеры сбраживания (стр. 339). В одноступенчатых камерах сбраживания, которые снабжены циркуляционным оборудованием, нужно обеспечить состояние покоя для ила в нижней части камеры сбраживания, чтобы он мог там сгуститься и образовать новые газы до того, как будет выпущен на иловую площадку.

Отделение ила от основной массы воды посредством всплывания ила заканчивается уже в первый день. В течение следующих 1 – 2 недель происходит досушивание посредством испарения. По виду трещин в подсушенном иле зачастую можно понять структуру жидкого ила. Немногочисленные узкие трещины в сухом иле возникают при хорошо перегнившем обезвоженном иле, который при всплывании из иловой жидкости поступает на иловую площадку, почти не изменяя свою структуру, и в нем происходит только замещение воды воздухом. Очень большое количество трещин умеренной ширины говорит о перегнившем иле, который вследствие содержащегося в нем активного ила или химических коагулянтов был очень многоводным, из-за чего большая часть содержащейся в нем воды могла удаляться

...ько посредством испарения. Немногочисленные и очень широкие ...щины говорят о плохо перегнившем липком иле, который можно ...ло бы высушить только посредством испарения в течение дли... ...ного времени.

...перегнивший ил на иловой площадке обнаруживает себя (кроме ...ха) тем, что на него садятся большие желтые ильные мухи ...ristalis tenax), которых никогда не бывает в перегнившем иле.

...счаные площадки сооружаются из шлака или щебня высотой ...25 м так, что из трех слоев самый крупнозернистый располага... ...ся внизу, а мелкозернистый – вверху (рис. 5.68). На верхний ...ой насыпается слой песка или коксовых высевок толщиной мини... ...ум 10 см. В Америке используется песок с крупностью зерна от 0,3 ... 0,5 мм и степенью однородности ниже 5 (см. раздел 5.7.3). Песок ...степенно удаляется вместе с высохшим илом. Его нужно периоди... ...чески подсыпать, чтобы не заиливались находящиеся под ним круп... ...озернистые слои. Иногда используется пригодный песок из песко... ...вки. Если песка не хватает и его приходится экономить, то можно ...редовать бетонные полосы или полосы из плоскоуложенного кир... ...ича с узкими водопроницаемыми полосами. Ширина площадок ...ставляет 5 ... 20 м, длина – любая, они имеют в центре дренажную ...рубу и подъездные пути для уборочного транспортного средства по ...ибелю (Staedtehygiene 1964, 256). На крупных установках приме... ...яются передвижные эстакады (Calwert, J. T., Civ. Eng. brit. 1961, ...83, Townend, C. B., The Inst. of Sew. Purif. Journ. Part 4, 1961, 273, ...mhoff, K., u. Imhoff, K. R., GWF 1964, 710, Kershaw, M. A., Journal ...PCF 1965, 674).

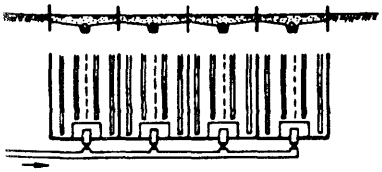


Рис. 5.68. Иловые площадки

Отдельные площадки окружаются бетонным настилом. Наиболее благоприятная высота жидкого перегнившего ила составлет 0,20 м. Площадь этих площадок можно рассчитать так, чтобы каждая площадка заполнялась 7 раз в году. Это соответствует годовой высоте мокрого ила, равной 1,40 м. В отстойнике количество мокрого перегнившего ила составляет 0,30 л/(чел • сут) (стр. 314). На одного жителя приходится площадь (0,30 • 365) : (1,40 • 1 000) = 0,078 $м^2$ или 1 $м^2$ на 13 жителей.

Это – минимальная площадь для чисто механической очистной установки с хорошо перегнившим илом. Если добавляется ил промышленных сточных вод или речь идет о биологической установке, если эксплуатируется дождевой резервуар или не удается подавать на иловую площадку газосодержащий ил (стр. 352), то необходимо увеличить площадь иловой площадки. Иловую площадку нужно увеличивать также в случаях, когда нельзя соблюсти семиразовое заполнение, например, из-за продолжительной зимы, влажного климата или на очень небольших установках, которые редко обслуживаются. При биологических установках увеличивается количество перегнившего ила (стр. 314). При биофильтровальных установках площадь иловой площадки рассчитывается с учетом 6 чел/$м^2$, а при аэрационных установках – 4 чел/$м^2$.

В Северной Америке иловые площадки иногда накрывают. Эти площадки могут иметь меньшие размеры, потому что их можно заполнять 14 раз в год вместо 7. При плохом иле время сушки можно сократить, добавив коагулянт, например, сернокислый глинозем. Может оказаться полезной также промывка ила по Гентеру.

Осушенный ил содержит воздух. Содержание воды в нем составляет около 55 %. Ее количество при отстойниках – 0,10 л/(чел • сут), при биофильтровальных установках – 0,15 л/(чел • сут), при аэрационных установках – 0,17 л/(чел • сут).

5.9.13. Иловые пруды

Иловые пруды – это земляные (копаные) резервуары, в которых обезвоживается перегнивший ил. Пруды обычно снабжаются колодцами для отвода поверхностной воды. Их делают сдвоенными, чтобы одна секция постоянно служила для обезвоживания в то время, когда другая эксплуатируется. Площадь илового пруда примерно в два раза больше площади соответствующих иловых площадок. Требуется примерно 0,3 ... 0,5 $м^2$/чел и глубина минимум 3 м. Наименьшие затраты на них получаются в случае, если пруды не очень удалены от очистной установки и если ил может в них оставаться постоянно. Часто такие пруды приходится очищать через несколько лет, чтобы освободить место для нового ила. В иловых прудах добиваются содержания твердых веществ до 20 % (Dimowski, Chr. Abwassertechnik 1984, 48). Посредством циркуляции можно добиться того, чтобы пруды не выделяли неприятного запаха (Imhoff, K. R., GWA, Aachen 1986, Bd. 85, 395). Фельдманн особо подчеркивает их экологическое значение (Feldmann, KA 1987, 155). В Америке также применяются иловые пруды (Pearse, L., Sludge Lagoons, Sew. W. Jour. 1948, 817, GI 1949, 202, Leary, Ray, D., et al., Civ. Eng. Sept. 1963, 44, Bubbis, N. S., Sludge Drying Lagoons at Winnipeg, JWPCF 1962, 830).

При очень небольших иловых прудах можно добавлять органические коагулянты. 125 г катализатора на 1 $м^3$ ила в 4 раза повышают производительность процесса обезвоживания.

5.9.14. Вывоз сырого осадка

Наиболее простым способом устранения ила оказался сырой вывоз перегнившего ила. Хороший опыт использования ила в сельском хозяйстве накоплен в Фирзене и на установках в Мэпл Лодже под Лондоном. При этом сырой ил распределяется с помощью разбрызгивающих розеток из передвижных тележек, как это делается в Мэпл Лодже, или используются трубопроводы с разбрызгивателями

жидкого ила, как в Фирзене (Imhoff, K., u. Imhoff, K. R., GWF 1964, 710, Kaltofen, H., et al., Wasser u. Boden 1955, 269, Merz, R. C., Water a. Sew. W. 1959, 489, Triebel, W., Wasserwirtsch. 1961, 264, Berichte ATV H. 13, 1961, 140, und Jahresberichte des Niersverbands).

В Фирзене применяются седельные тягачи с полезным объемом в 19 $м^3$. Ил пневматически распределяется под давлением 3 бар посредством трубопровода длиной до 700 м с быстроразъемной муфтой и "пушки". В пахотную землю можно вносить 400 $м^3$/га с интервалом от 2 до 3 лет. На луга – 200 $м^3$/га ежегодно. Преимуществом этого способа яляется возможность обеззараживания мокрого ила. Оно достигается путем нагрева до 70 °С в течение 30 мин (Kugel, G., Wat. Sci. Tech. Vol. 14 (1982), 739; Kugel, G., GWA 1986, Bd. 85, 71; Zingler, E., ATV–Ber. 1987, Nr. 37, 387; Strauch, D., ATV–Ber. 1988, Nr. 38, 81; Moeller, U., et al., KA 1988, 1325). Об удабривающих свойствах мокрого ила см. Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Bd. 3, S. 354, Informationsschrift des Ministeriums für Ernaehrung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg 1977 und ATV/VKS Hinweis H. 353, St. Augustin, 1987. Относительно тяжелых металлов в бытовых сточных водах и в осевшем иле сообщает Koppe, P., et al., KA 1982, 955.

На основании *постановления об использовании осевшего ила* (Bundesgesetzblatt, 1982, Teil 1, 734) в ФРГ, начиная с 1983 года, допускается использование осевшего ила в сельском хозяйстве только в случае, если не превышаются указанные в *таблице* концентрации тяжелых металлов в осевшем иле и в пашне. Кроме того доза осевшего ила ограничивается 5 тоннами сухой массы на гектар в течение 3 лет. См. также Davis, R. D., Wat. Sci. Tech. Vol. 19 (1987), No. 8, 1. Вредные органические вещества не накапливались в растениях при внесении этого удобрения в почву. Но их нужно удерживать на самом низком уровне посредством предварительной обработки (Friege, H., et al., KA 1989, 601). В целях безопасности удобрение лугов больше не производится. Постановление об использовании осевшего ила перерабатывалось в 1990 году [x)].

Предельно допустимое содержание тяжелых металлов в почве и в осевшем иле, используемом как удобрение в сельском хозяйстве

	Содержание тяжелых маталлов (мг/кг сухого вещества)	
	Осевший ил	Почва
Свинец	1200	100
Кадмий	20	3
Хром	1200	100
Медь	1200	100
Никель	200	50
Ртуть	25	2
Цинк	3000	300

5.9.15. Кондиционирование ила

Смешанный ил из первичного и вторичного отстойников обладает сильной водосвязывающей способностью. Без предварительной обработки с помощью машин его нельзя удовлетворительно обезвоживать ни в свежем, ни в стабилизированном состоянии. Для предварительной обработки, или кондиционирования, ила возможны разные пути: использование *тепла* или *холода*, добавка *химикатов*, добавка органических *коагулянтов*, добавка *золы* и *промывание* ила водой. Названные способы применяются отдельно или в разных комбинациях.

При *тепловой обработке*, следуя патенту Портаса, сгущенный ил нагревается в теплообменниках и затем выдерживается в автоклаве в течение 30 ... 40 минут под давлением 15 бар и при температуре 180 ... 210 °C (Brooks, R. B., JIWPC 1970, 92). Как и при варке куска мяса при этом растворяется большая часть органических веществ. Полученный ил легко обезвоживается без дополнительных добавок. Фильтрат имеет $БПК_5$ от 10 000 до 15 000 мг/л и содержание органического азота около 1 000 мг/л. Он похож на высококонцентрированную сточную воду. Его $БПК_5$ при брожении в течение 6 суток при температуре 37 °C можно снизить примерно на 70 %. Фильтрат можно также обрабатывать в течение достаточного времени в аэро-

тенке вместе со сточной водой. В этом случае нагрузка повышается на 25 %. В биологически очищенной воде заметно увеличивается содержание кислорода (Erickson et al., Int. Abw.- Konf. San Francisco 1970, II-33, Frenzel et al., Kommunalwirtschaft 1971, 329, Bischofsberger, W., et al., GWA 1971, Bd. 6, Hennerkes, J., GWA 1972, Bd. 9, Schlegel, S., Veroeff. Inst. f. Siedlungswasserw., TU Hannover 1974, Bd. 39, und GWF 1982, 203).

Тепловая обработка требует больших технических затрат. Зато эксплуатационные расходы незначительны. Ее целесообразно использовать при установках с эквивалентом числа жителей свыше 500000.

Холодную обработку труднее проводить с технологической точки зрения (Bahrs, D., Konditionieren von Abwasserschlaemmen durch Gefrieren, Veroeff. Inst. Stadtbauwesen, TU Braunschweig 1978, H. 25, GWA, Bd. 21, Aachen 1976, 255). Эта обработка происходит сама собой в иловых прудах и на иловых площадках зимой, когда ил замерзает (Reed, S., et al., JWPCF 1986, 911).

В качестве *добавляемых химикатов* обычно применяются хлорид железа, сульфат железа и известь. Как правило, целесообразно добавлять 2,5 % хлорида железа на сухую субстанцию свежего или прегнившего первичного ила и 7 % на сухую субстанцию избыточного активного ила. Иногда при этом необходима добавка 7 ... 10 % извести. Потребность в хлориде железа для перегнившего ила уменьшается на 40 ... 80 %, если его предварительно промывать водой по способу Гентера (Genter, A. L., Sew. Works Jour. 1934, 689; Genter, A. L., et al., J. Inst. WPC 1957, 361). В этом случае может также не понадобиться известь, и осадок становится более сухим.

На возможность умеренной теплообработки при добавке химикатов указывает Рёслер и Рудат (Roesler, Rudat, Kommunalwirtschaft 1971, 332). Если получающийся при сжигании отфильтрованного осадка дымовой газ пропускать через ил, подлежащий обезвоживанию, то можно добиться экономии добавки химикатов.

Органические коагулянты, или полиэлектролиты, в качестве вспо-

могательных веществ при фильтровании имеют преимущества по сравнению с солями железа, потому что они легко дозируются и делают ил неагрессивным. Они воздействуют посредством либо своего электрического заряда, либо образования мостиковых связей между частицами ила. Количественно добавляется от 100 до 200 г биокатализатора на 1 $м^3$ ила. Важно, чтобы точно соблюдалась точка коагулирования и излишне не нагружался хлопьевидный ил (Sleeth, R. E., JIWPC 1970, 31, Gale, R. S., JIWPC 1970, 660, Reuter, J., Wlb 1969, 296).

Целесообразность применения вспомогательных веществ при фильтровании и их необходимое количество можно определить экспериментальным путем в лаборатории (Zingler, E., Int. Abw. Konf. San Francisco 1970, II-31).

Посредством добавки *золы* можно механически разрушать структуру смешанного ила. Следует считаться с 1 ... 2,5 кг золы на 1 кг сухой субстанции ила. В результате этого сильно нагружаются осушительная машина и печь. В некоторых случаях при фильтровании сначала намывается защитный слой из золы (Precoat).

Первичный ил также улучшает характеристики обезвоживания избыточного ила. Поэтому нужно стремиться к одинаковой дозировке смеси и непрерывно отбирать избыточный ил.

5.9.16. Искусственное обезвоживание ила [1)]

Для этого служат *центрифуги, прессы* и *вакуум-фильтры.*

Отстойная *центрифуга* со шнековой выгрузкой (рис. 5.69) состоит из конического барабана и расположенного внутри шнека. Мокрый ил вводится в осевом направлении. Под влиянием центробежной силы твердые вещества осаждаются на внутренней стенке барабана. Здесь они захватываются шнеком, вращающимся несколько быст-

[1)] Moeller, U., et al., Bericht des ATV/VKS – Fachausschusses, KA 1987, 559

рее, выталкиваются из жидкой зоны и разгружаются на стороне меньшего диаметра барабана. Иловая вода течет в сторону большего диаметра барабана и там вытекает через водосливную шайбу.

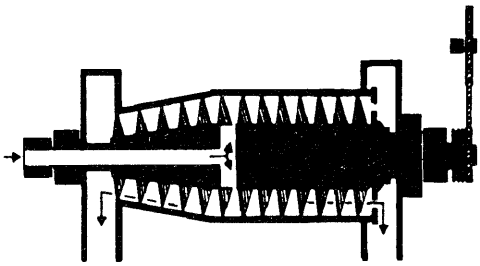


Рис. 5.69. Отстойная центрифуга со шнековой выгрузкой

Центрифуги разделяют воду и ил по весу. Если иловая вода получается уже более или менее чистой, то содержание воды в центрифугированном иле еще относительно высокое, и ил нужно после этого подсушивать дополнительно. Если ил, обезвоженный только до состояния, позволяющего грузить его лопатой, с содержанием воды, например, 60 %, то иловая вода представляет собой ничто иное, как жидкий ил, который еще труднее обрабатывать. Кер предлагает обезвоживать иловую воду из центрифуги на иловых площадках (Staedtehygiene 1960, 86, Berichte ATV 1960, H. 12, 336). Иловую воду можно также дополнительно обрабатывать биологическим путем (Rüffer, H., Vom Wasser 1967, 345).

Разделение в центрифугах можно значительно улучшить путем добавления органических коагулянтов. При добавке 3 кг биокатализатора на тонну сухого субстрата извлекается до 98 % перегнившего ила и достигается содержание твердых веществ до 25 %. Без наличия хорошей песколовки центрифуги подвергаются сильному износу.

Прессы и вакуум-фильтры отделяют воду посредством фильтровальной ткани. Предполагается, что ил не засоряет фильтровальные

ткани, что частицы ила легко отделяются от воды и при сжатии появляются поры, через которые может стекать вода. При городском иле этого можно достичь только посредством кондиционирования (стр. 357).

Фильтр-прессы являются фильтрами, работающими под давлением, причем фильтровальные ткани натянуты между рядом металлических рам (рис. 5.70). На 1 $м^3$ ила добавляют, как правило, 4 кг 40 %-ного раствора $FeCl_3$ и 6 ... 10 кг извести. При жирном иле необходимо значительно больше извести. В этом случае может оказаться целесообразным нагрев ила при сжатии. Ил в течение 1 ... 2 часов выдерживается под давлением от 6 до 8 бар и затем выбрасывается в сухом виде. При этом содержание воды уменьшается с 95 % до 65 %, т.е. объем уменьшается на 1/7. Вода, просачивающаяся через фильтровальные ткани, направляется в голову очистной установки. При жирном иле может также отделяться жир. Особенно пригодными являются некоторые виды промышленного ила и ил из химических отстойников. Производительность обезвоживания составляет при осажденном бытовом иле аэротенка 40 л/($м^2$ • ч) (Holroyd, JISP 1964, 159, Graefen, H., et al., Int. Abw. Konf. San Francisco 1970, II-30, Schürholz, R., GWA Bd. 6, 1971). Фильтровальные ткани нужно регулярно очищать посредством смывания промывалкой.

Илозольный способ (см. Busse, Münchner Beitraege Bd. 13, 1966, 113). Пример расчета см. в разделе 5.16. При фильтр-прессах можно также выполнять кондиционирование с помощью полиэлектролитов (Ziess, V., et al., GWF 1985, 124). Аммиачные пары, возникающие при кондиционировании солями железа, нужно отводить (Klauwer, E., et al., KA 1986, 1244).

Ленточно-ситовый пресс (рис. 5.71) имеет две бесконечные движущиеся ленты, из которых по меньшей мере одна выполнена в виде ленточного сита. Ленты разными способами прижимаются друг к другу посредством валков. Расстояние между ними и скорость дви-

жения можно регулировать. Ил, коагулированный с помощью примерно 250 г полиэлектролита/м^3, сжимается между лентами с возрастающим усилием и удаляется примерно с 25 % сухого вещества. Ленточное сито при обратном перемещении очищается с помощью разбрызгиваемой воды. На обезвоживающей площади ленточного сита можно ожидать производительность 0,8 м^3 ила/(м^2 • ч) или 40 кг сухого вещества/(м^2 • ч) (Bastgen et al., Kommunalwirtschaft 1967, Heft 9, Born, R., Staedtehygiene 1969, 101, Roesler, N., GWA Aachen 1971, Bd. 6, 265, Imhoff, K. R., Water Research, 1972, 515; Melsa, A., Schriftenr. ATV 1984, Bd. 11, 305).

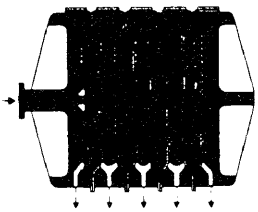


Рис. 5.70. Фильтр-пресс

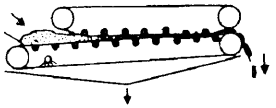


Рис. 5.71. Ленточно-ситовый пресс простой конструкции

При *всасывающих фильтрах* (вакуум-фильтрах) фильтровальная ткань или стальные спирали натянуты на медленно вращающемся барабане, который погружается в жидкий ил (рис. 5.72). В некоторых моделях внутренняя часть барабана разделена на ячейки, которые подвергаются вакуумированию раздельно. Ил снаружи прижимается к фильтровальной ткани и удаляется из жидкости в виде кека толщиной 4 ... 10 мм. Во время вращения вода спускается внутрь. Сухой кек срезается ножом на противоположной стороне барабана и падает на ленточный транспортер. Содержание воды в нем при активном иле — 82 %, при свежем городском и перегнившем иле — 70 %. Вакуум-фильтры работают, как правило, с хлоридом железа (см. раздел 5.5). Производительность фильтра составляет от 10 до 30 кг сухого остатка ила на 1 м^2 фильтрующей поверхности в час, производительность обезвоживания — примерно 200 л/(м^2•ч).

Нагрузка сухими веществами тем больше, чем меньше воды в иле и чем лучше он перегнил (Genter, A. L., Sew. a. I. W. 1956, 829, McCarty, P., JWPCF 1966, 493).

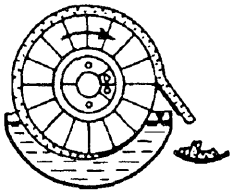


Рис. 5.72. Вакуум-фильтр

Вакуум-фильтра и пресса, как единственного устройства для обезвоживания, достаточно только в том случае, если ил перегнивший и не имеет запаха. При сыром иле кек в основном издает неприятный запах, если его сразу выгружать на землю. В этом случае его необходимо *досушить.* Для этого пригодны вращающиеся сушильные барабаны, в которых ил движется в противотоке к горячему воздуху. Температура воздуха на входе составляет 600 °С, а на выходе — 300 °С. К илу, обезвоженному до состояния, позволяющего грузить его лопатой, подмешивается столько высушенного материала, сколько требуется для того, чтобы содержание воды стало максимально 50 %. Досушенный ил должен иметь менее 10 % воды. Затем его можно размолоть и продать в виде сыпучего удобрения, либо сжечь (Imhoff, Amerikanische Abwassertechnik, GI 1940, 442; Morgan, J. M., et al., Water a. Sew. Works 1955, 135; Doenges, H. J., 22 Essener Tagung, GWA 1990, in Vorbereitung; Manzei, J., Wlb, 1989, 35). Об активном иле и просеивающих машинах см. Kiess, GWF 1958, 1121, Kiess, GWF 1961, 723, Poepel, F., et al., Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft H. 2, 1958. Сопоставление искусственных способов очистки проводит Кисс (Kiess, F., Kommunalwirtsch. 1963, H. 9, 370) и Фатер (Vater, W., Vortraege HdT, Heft 46, Vulkan-Verlag Essen 1965). Пример расчета затрат при различных путях решения проблемы очистки на очистной установке

приводит Кауфхольд (Kaufhold, W., Wasserwirtschaft 1977, 162).

5.9.17. Сжигание ила

Для испарения воды из городского ила, обезвоженного до состояния, позволяющего грузить его лопатой, обычно достаточно теплотворной способности органических веществ. При сбраживании ил теряет примерно 1/2 своей теплотворной способности и отдает ее газу брожения. Но при этом также уменьшается водосодержание, и газ брожения является дополнительным топливом, если он не израсходован на нагрев метантенка. Поэтому перегнивший ил пригоден для сжигания в такой же мере, как и свежий. Если свежий ил осушить и сжигать, то сокращаются расходы на метантенки. Установки для сжигания должны иметь накопители для ила, чтобы установка могла работать независимо от колебаний в подаче ила и чтобы возможные неполадки на ней не затрагивали всю очистную установку. Естественными накопителями для этой цели являются метантенки и аэротенки.

Для сжигания могут использоваться *вращающиеся трубчатые печи*, печи кипящего слоя и этажные печи. Во вращающейся трубчатой печи можно озолить крупнокусковой материал. Отходящий при этом газ нужно освободить от пыли и зловонных веществ.

В *печах с кипящим слоем* (рис. 5.73) предварительно нагретый воздух для горения подается через днище с форсункой. Слой кварцевого песка находится во взвешенном состоянии. Дополнительная топка обеспечивает необходимую температуру воспламенения. Осажденный ил, подлежащий озолению, бросают сверху. Вследствие соразмерно высокой температуры сгорания отходящие газы не имеют неприятных запахов. Зола при этом задерживается циклоном и электрофильтром. Крупнозернистые материалы не годятся для сжигания в печах с кипящим слоем. Испаряемость при этом можно принять равной 300 л воды/м^2 днища с форсункой в час. Об опыте работы с такими печами сообщают Зиферт и Диккенс (Siefert, F.,

GWA, Bd. 21, Aachen 1976, 367, Dickens, R., et al., JIWPC 1980, 431). Наибольший опыт накоплен в работе с *этажной печью* (рис. 5.74), которая была введена в эксплуатацию Николсом в Северной Америке уже 10 лет назад. Ил перемещается сверху вниз по консолям на разных этажах. Несколько этажей служат для подсушивания, два для сжигания и два для охлаждения золы. Газы перемещаются в противотоке. Неприятного запаха можно избежать посредством дожигания газов. Необходимо также удаление пыли путем адсорбционной очистки дымовых газов или с помощью электрофильтра. В печи диаметром 4 м и высотой 5 м ежедневно можно сжигать 50 т ила, обезвоженного до состояния, позволяющего грузить его лопатами.

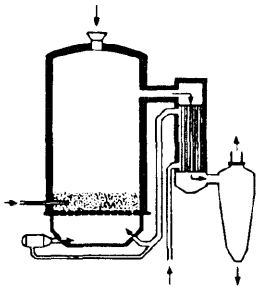


Рис. 5.73. Печь с кипящим слоем с нагревателем воздуха и пылеуловителем

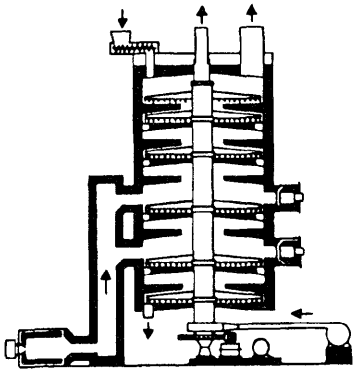


Рис. 5.74. Этажная печь

Для нее в среднем нужно 2,3 л котельного топлива на одну тонну ила. Количество золы соответствует минеральному сухому остатку ила, оно равняется примерно 15 % ила, обезвоженного до состояния, позволяющего грузить его лопатами. Из золы можно регенерировать соль железа, использовавшуюся при соответствующем способе обезвоживания (Owen, M. B., Proc. A. S. C. I. 83, No. SA1, Febr. 1957, Paper 1172, Pettit, C. G., Proc. A. S. C. I. 85, No. SA6, Part 1, Nov. 1959,

Paper 2247, Vater, W., (GWA), Aachen 1971, Bd. 6, S. 379; Busse, O., GWA Bd. 21, Aachen 1976, 175, Vater, W., KA 1980, 137).
Сравнение производительности этажных печей и печей кипящего слоя дает Томас (Thomas, G., GWA, Bd. 21, Aachen 1976, 205).
Технологическая схема установки для обезвоживания и сжигания представлена на рис. 5.75. Ил хранится и усредняется в резервуаре.

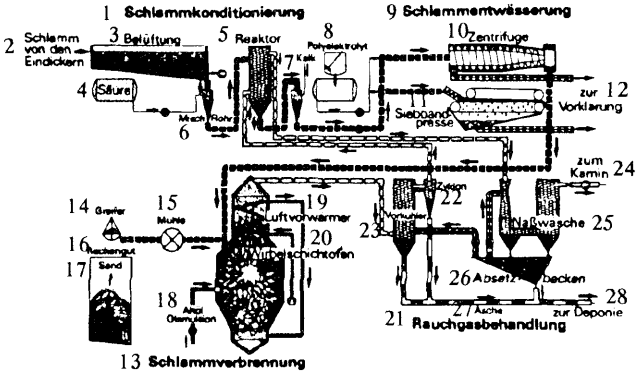


Рис. 5.75. Схема установки для обработки ила
1 – кондиционирование ила; 2 – ил из сгустителей; 3 – аэрация; 4 – кислота; 5 – реактор; 6 – смесительная труба; 7 – известь; 8 – полиэлектролит; 9 – обезвоживание ила; 10 – центрифуга; 11 – ленточно-ситовый пресс; 12 – на предварительное осветление; 13 – сжигание ила; 14 – грейфер; 15 – мельница; 16 – мусор с решетки; 17 – песок; 18 – отработанное масло, масляная эмульсия; 19 – воздухоподогреватель; 20 – печь кипящего слоя; 21 – обработка дымового газа; 22 – циклон; 23 – предварительный охладитель; 24 – в трубу для отвода газов; 25 – абсорбция; 26 – отстойник; 27 – зола; 28 – в отвал

После этого производится нагрев дымовыми газами и добавка веществ, способствующих обезвоживанию ила. Для обезвоживания служат ленточно-ситовые прессы или центрифуги. Затем обезвоженный ил сжигается вместе с мусором из песколовки и мусором с

решетки. Дымовые газы опеспыливаются и промываются (абсорбсорбционная очистка). На таких установках обработка ила обходится дороже примерно в три раза по сравнению со способом, описанным в разделе 5.8.2.2.3. При крупных установках с механическим обезвоживанием ила и сжиганием расходы значительно выше указанных в таблице раздела 4.6.

Сопоставление американских установок такого типа дает Гилберт (Gilbert, W. G., et al., JWPCF 1987, 937). Об опыте работы с такими установками в Германии см. Kumpf, Maas, Straub, Müll– und Abfallbeseitigung. Erich Schmidt Verlag, Berlin, und Sontheimer, H., Kommunalwirtschaft 1965, 346, Vater, W., KA 1978, 366; Siefert, F., ATV–Ber. 1987, Nr. 37, 367. О *мокром сжигании* ила при 150 °С и 21 бар сообщают Abel, F., et al., Sew. a. I. W. 1954, 1450 und Schmidt, E., Berichte ATV 1956, 78. О способе Циммерманна см. A. S. C. E. Jour. San. Eng. Div. July 1959, 13, Hurwiz, E., et al., JWPCF 1960, 918, Schoeffel, W., et al., Wasser, Luft und Betrieb 1966, 541, Teletzke, W. B., und Mitarb. JWPCF 1967, 994.

5.9.18. Использование ила

Ценность городского ила для сельского хозяйства невелика по сравнению с имеющимися в продаже удобрениями, если эту ценность определять по содержанию азота, фосфата и калия. Но при иловых удобрениях (как и при навозе) речь идет не о химических свойствах, а об их способности образовывать водосвязывающий гумус.

Для сельского хозяйства нужно в первую очередь решить, в каком состоянии должен использоваться ил: свежим или перегнившим (см. раздел 5.9.6). Нужно учитывать, что в камере сбраживания содержание азота в иле уменьшается на 40 %. Но по Виелю (Viehl, GI 1941, 438) азот переходит в воду сброженного ила. Белковый азот расщепляется, и 40 % его остается растворенным в воде сброженного ила в виде аммиака. Аммиак в воде не может образовывать элементарный азот, потому что отсутствует кислород. В противополож-

ность иловым площадкам и насыпям удобрений, в камере сбраживания нет потерь азота, если вместе с илом использовать воду сброженного ила. То есть нет никаких оснований избегать метантенков, столь важных в технологии очистки сточных вод. Кроме того свежий ил обладает большими недостатками. Он состоит из жирных вязких кусков и способствует распространению сорняков на полях. Для растений ил пригоден только в случае, если он компостирован. Но компостированным может быть также перегнивший ил. Предпочтение всегда нужно отдавать перегнившему илу. При этом следует учитывать и преимущество, связанное с получением метана. (Federation of Sewage Works Associations, Champaign, Illinois, Manual No. 2. "Utilization of Sewage Sludge as Fertilizer"). Перед использованием городского ила в сельском хозяйстве необходимо проверить, не токсичен ли он и не приведет ли его использование к отравлению сельскохозяйственных угодий (см. "Предельные значения" в разделе 5.9.5, Rohde, G., Wasser u. Abwasser 1972, 295; Boehnke, B., Klaerschlamm–Rohstoff oder Schadstoff, GWA 1984, Bd. 65).

Если есть возможность использовать ил вблизи очистной станции, то главная задача состоит в том, чтобы распределить его на возможно большей площади (Krause, R., KA 1986, 696). Однако параллельно с этим возникают проблемы, связанные с транспортировкой ила на большие расстояния (Madera, GI 1939, 53). Перегнивший ил можно иногда выливать или перекачивать на поля в жидком состоянии (стр. 356). Лучше всего получать ил, подсушенный на иловых площадках, или искусственно высушенный ил в сыпучем виде. Кноп и Бёнке (Knop, E., Boehnke, B., Industrieabwaesser, Mai 1962, 23) сообщают об испытанных разбрасывателях. Ил, обезвоженный до состояния, позволяющего грузить его лопатой, можно досушивать в закрытых резервуарах и размалывать его. Можно также использовать передвижные центрифуги для обезвоживания ила, расположенного в промежуточных слоях иловых прудов (Schmitz–Lenders, GI 1948, 310; Wlb. 1985, 44; Wienhusen, A., et al., GWF 1988, 282).

Широко распространены разные виды *компостирования*. В противоположность отбросам в ил нужно добавлять не воду, а сухое вещество, чтобы на площадке обеспечить проникновение воздуха в удобрения. Ило-торфяное удобрение приготовляется из одной упаковки торфа (75 кг) и ила, обезвоженного до состояния, позволяющего грузить его лопатой (0,5 $м^3$). Можно также добавить 10 кг углекислой извести и 5 кг калия. Таким образом получают 1,25 $м^3$ компоста (GI 1937, 734). Если нет нужды экономить торф, то мокрый перегнивший ил можно смешивать с таким количеством торфа, которое было бы в состоянии поглотить всю иловую воду и сделать смесь сыпучей. По Кайзеру и Зауэру на 1 $м^3$ необходимо 3 упаковки торфа = 220 кг торфа на 1,2 $м^3$ = 1140 кг. Из-за большого количества кислого торфа следует добавлять еще 12 кг известковой муки (Falck, GI 1944, 78, Heilmann, GI 1943, 122, Techn. Gem. bl. 1944, 113, 143, 234). Можно подмешивать также древесные опилки или компостированный осажденный ил (Kneer, X., Garten organisch, H. 4, 1973, Volkswirtschaftlicher Verlag, Kempten).

Лучше всего ил компостируется *вместе с отбросами*. Влагу, которая нужна для компостирования отбросов (см. раздел 4.7), приносит с собой ил. А сухие отбросы обеспечивают необходимое воздушное пространство. Нужно стремиться к содержанию воды в смеси 40 ... 50 %. При пересчете на эквивалентное число жителей это обозначает предварительное обезвоживание осевшего ила до 70 % (Braun, R., Kommunalwirtschaft 1965, 339). Кроме того, отбросы создают в смеси благоприятное для компостирования соотношение углерода и азота (около 15 : 1), принося с собой углерод, недостающий в иле (Poepel, F., GI 1948, 17; Getzlaff, GI 1948, 313; Bould, Journal and Proc. Inst. Sewage Purif., Part 2, 1945, 79; Howard, Sir A., Das Indore–Verfahren zur Kompostherstellung, Soil and Health 1946, H. 2, Bericht; Poepel, GI 1948, 93; Bullogh, C. C. J., Jour. and Proc. Inst. Sew. Purif. 1942, 277; Burke, C. E., Jour. and Proc. 1949, 376, Poepel, Berichte der ATV H 1, 1950, 67, Straub, H., ebenda 94, Poepel, GI 1951, 187, Kom.

wirtsch. 1955, 363, Straub, GWF 1951, 323, 1954, 382, GI 1956, 312, Straub, Berichte ATV 1958, 146, Braun, R., et al., Schweiz. Zeitschr. f. Hyd. 20, 1958, 59, Gordon, C. A., Jour. ASCE San. Eng. Div. Nov. 1958, Part 1, AKA–Taschenbuch, Baden–Baden 1960, Kumpf, Maas, Straub, Müll– u. Abfallbeseitigung, Erich Schmidt Verlag, Berlin; Benedict, A. H., et al., JWPCF 1986, 279; Kuchenrither, R. D., et al., JWPCF 1987, 125).

При использовании *навоза* различают быстрое гниение при интенсивной подаче воздуха и высокой температуре (70 °C) и медленное гниение в утопленных кучах при 30 ... 40 °C. *Высокая температура* может давать определенные преимущества (Helm et al., Düngerpackungsversuche in festen Gaerstaedtten. Zeitschr. f. Inf.-Krankh. d. Haustiere, 1938, 214, H. v. Bronsart, Biologisches Düngen, Franckh. Verlag, Stuttgart 1941). Для городского ила Кюнленцом (Франкфурт-на-Майне) было предложено *горячее гниение* (Imhoff u. Müller, E., GI 1938, 160, Sierp et al., Techn. Gem. bl. 1942, 203). Ил в свежем состоянии подсушивается на дренажных площадках и затем на иловых площадках, после чего собирается в бурты. Он нагревается примерно до 70 °C и таким образом выдерживается до тех пор, пока содержание воды не снизится до 15 %. Затем он размалывается в сыпучий порошок. Семена сорняков, яйца глистов и болезнетворные бактерии уничтожаются благодаря высокой температуре, так как *возбудители ящура* и *чумы* свиней погибают при 45 °C, *туберкулезные палочки* — при 55 °C, *возбудители анкилостомидоза* – при 65 °C и *сибирской язвы* – при 70 ... 75 °C. Однако недостаток состоит в том, что при высокой температуре теряется больше органических веществ, чем при любых других способах (Müller, E., GI 1944, 99). Кроме того сушка свежего ила сопровождается сильным зловонием. Браун рекомендует предварительное компостирование в бродильных барабанах и дополнительное компостирование в аэрируемых буртах (Braun, Münchner Beitraege, Bd. 13, 1966, 226). Этот способ гигиенически безупречен (Knoll, K. H., Staedtehyg. 1967, 28).

Подсушивание, упоминавшееся на стр. 364, также дает хорошо обезвоженное сыпучее удобрение. Температура при этом повышается более чем до 300 °С, так что надежно уничтожаются, например, даже возбудители сибирской язвы. В больших аэрационных установках благодаря горячей сушке получают иловое удобрение с содержанием воды менее 10 %, азота – от 3 до 6 % и фосфорной кислоты – 2,4 %.

Если ил используется в сельском хозяйстве в свежем виде, то относительно здоровья людей и животных должны выдвигаться такие же требования, как и при очистке сточных вод (см. раздел 5.7.1). Перегнивший ил менее опасен. Иловый компост, который хранился довольно долго, почти полностью безопасен относительно болезней, за исключением сибирской язвы. При горячей сушке ила всякие сомнения по этому поводу полностью отпадают (Müller, W., GI 1954, 187).

5.9.19. Удаление ила

Все рассуждения об обработке и использовании ила не могут скрыть тот факт, что при очистке сточных вод обязательно нужно избавляться от избыточного ила. Очистная станция, на которой это не удается сделать, не нужна. Даже если ил сжигается или газифицируется, то остается зола, которую нужно удалять. Окончательно удалить ил можно, только используя его в сельском хозяйстве, отправив в отвал или утопив в море.

Использование ила в *сельском хозяйстве* подробно описано на стр. 368.

Отсыпка ила в отвал возможна в обезвоженном состоянии, а при наличии специального технического оборудования – и в жидком состоянии (стр. 354, 355). Если нет больших площадей, то ил хранится в высоких буртах. Их можно складывать из кека, полученного в фильтр-прессах. В сухую погоду этот кек становится довольно крепким. Обезвоженный ил из центрифуг, ленточно-ситовых прессов или вакуум-фильтров сам по себе не обладает необходимой

устойчивостью. Методы исследования описывает Мёллер (Moeller, U., et al., KA 1984, 928). При этом можно подмешивать известь (Gehrke, R., KA 1978, 375; Fries, D., et al., KA 1979, 291; Bevins, R. E., et al., JIWPC 1984, 9; Peschen, N., et al., KA 1985, 1076) или производить укладку вместе с бытовыми отходами (van Wickeren, H., KA 1984, 1006). При этом нужно избегать образования чисто иловых слоев, чтобы при смешанном хранении сохранялась возможность просачивания. Основание нужно делать плотным для приема *просачивающейся воды. Она очень сильно загрязнена и требует* обработки (см. раздел 5.10.2). Территория, использовавшаяся для хранения ила, озеленяется и позже может найти сельскохозяйственное применение (ATV–Arbeitsblatt A 301, Klaerschlammeinbau in Deponien, Gelbdruck 1987).

Во многих приморских городах Англии и Америки ил вывозят *в море* [x)]. Для этого используются специальные танкеры. Расходы на это сокращаются, если есть возможность обезводить ил. При этом нужно позаботиться о том, чтобы на местах стоянки судна не распространялось зловоние из его иловых емкостей (Kass, N. I., Water Works and Sew. 1941, 385; West, L. E., Water Works and Sew. 1941, 304, 395; Lieberman, H., Water Works and Sew. 1941, 391; Gould, R. H., GI 1954, 2; Dart, M. C., et al., Water Sci. Tech. Vol. 14, No. 3, 1982). Если ил сточных вод хорошо перегнил и затем сливается в море вместе с очищенной сточной водой, то БПК сточной воды повышается всего на 2 % по сравнению с общепринятыми способами удаления ила, а потребность в хлоре – на 5 %. Через 30 суток гниения число кишечных палочек уменьшается до 0,2 % (Vortrag, G. M. Fair vor der WHO in Nizza, Sept. 1958, GWF 1959, 283, Imhoff, K., In Los Angeles pumpt man den ausgefaulten Abwasserschlamm jetzt ins Meer, GWF 1959, 1241).

Определяющим при этом является *готовность* имеющегося оборудования. При использовании метантенков оно вовремя предоставляется в распоряжение более чем на 95 %. С помощью дополнительно-

го илового пруда, если смириться с выделением неприятного запаха, можно перекрыть очень редкие выходы из строя метантенков.

Сложные установки машинной обработки ила доставляют значительно больше хлопот руководству очистной станции, особенно если ил нужно сжигать для стабилизации. Печи для сжигания представляют собой сложные комплексы, запасные части которых можно смонтировать в течение нескольких недель или даже месяцев. Поэтому в 20 % случаев (по времени) от использования печей необходимо отказываться. В интересах качественной очистки сточных вод нужно выбирать такую технологию обработки ила, которая обеспечивала бы определенную свободу действий в процессе эксплуатации, например, сбраживание ила, вспомогательное хранение, обезвоживание и окончательное удаление.

Расходы на удаление ила возрастают с увеличением числа технологических процессов. Если сравнить непосредственное направление жидкого ила для нужд сельского хозяйства (ИСХ), обезвоживание и хранение (ОХ) и обезвоживание, сжигание, хранение золы (ОЗ), то расходы получаются в соотношении ИСХ : ОХ : ОЗ = 1 : 2 : 4. Поэтому в большинстве случаев предпочитают использование ила в сельском хозяйстве или обезвоживание и хранение.

5.10. Промышленные сточные воды [1)]

5.10.1. Общие положения

Промышленные предприятия, которые можно подключать к городской канализационной сети, как правило, должны отводить свои сточные воды без предварительной очистки, так как большинство промышленных сточных вод может быть очищено удовлетворительно и с незначительными расходами, только если они смешаны с бытовыми сточными водами. Исключение составляют *опасные ве-*

[1)] Eldridge, E. F., Industrial Waste Treatment Practice. McGraw-Hill Book Co. New York 1942. Southgate, B. A., Treatment and Disposal of Industrial Waste Waters, His Magesty's

щества, которые нужно удалять или выделять, опираясь на современный уровень развития техники в ФРГ (§ 7а "Закона о воде") [x]. Задерживать нужно вещества, рекуперация которых имеет экономический смысл или которые могут повредить уличные трубопроводы или городскую очистную станцию (Karnowsky et al., GI 1951, 395, und H. 7 Berichte ATV 1956, 333; Karnowsky, F., GWF 1961, 989, Berichte ATV 1960, H. 13, 27; Schroeder, H., Wasserwirtsch., W. t., 1961, 43, ATV-Arbeitsblatt A 115; Koppe, P., Ber. der ATV Nr. 34, 1982, 35; Koppe, P., KA 1987, 1224). Возможности *рекуперации веществ* обобщены Мольманом (F. W. Mohlman, Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 1948, 1052). Улавливать и рекуперировать нужно, например, угольный шлам, смолу, минеральные масла, бумажную массу, целлюлозу, ланолин, фенол, бензин, соли железа. Сюда относятся также определенные *ядовитые вещества*, такие как соли меди, мышьяк, циан, хром, которые мешают биологической очистке или разложению ила. Полный список ядовитых веществ и их воздействие на очистные установки и на сточные воды приводятся в статье Рудольфса и др. (Rudolfs und anderen in Sew. and Ind. Wastes 1950, 1157). Кроме того об этом сообщает Либманн и др. (Handbuch der Frieschwasser- und Abwasserbiologie Bd. 2, Oldenbourg, München 1960). По

Stationary Office, London 1948. Meinck, Stoof, Kohlschütter, Industrie–Abwaesser, Gustav Fischer, Stuttgart 1968. Sierp, Die gewerblichen und industriellen Abwaesser, Springer, Berlin 1967. Rudolfs, W., Industrial Wastes, Reinhold, New York 1953. Black, H. H., Industrial Waste Treatment. Civil Engineering USA Oct. 1955. Meinck, Schweiz. Ztschr. f. Hydr. Bd. 22, Fask 1, 1960, 536. Münchner Beitraege, Bd. 11, 1964. Die biologische Reinigung von Industrieabwaessern nach dem Belebungsverfahren, Technisch.- Wiss. Schriften der ATV 1971, Bd. 1, Münchner Beitraege, Bd. 17, Oldenbourg Verlag, 1970; Wiener Mitteilungen, Bd. 6, 1971; Industrial Wastewater, Progress in Water Techn. 1976, Nos. 2/3. Ilic, P., GWF 1978, 127; Neumann, H., Jahrbuch Wasserversorgungs- und Abwassertechnik 1985/86, 486; Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Baende V, VI und VII, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1986.

Кнёппу общее воздействие всех ядовитых веществ в промышленных сточных водах определяется с помощью теста на ассимиляцию (A–Z–Test) (Dtsche. Gewaesserkundliche Mitteilungen 1961, 66, GWF 1962, 786, Der Assimilisationstest). При этом в опытах на моделях измеряется, как под влиянием сточных вод и в зависимости от их концентрации изменяются основные реакции биохимического самоочищения: бактериальное разложение (при подаче кислорода) и ассимиляция растительного планктона (фотосинтез). Результаты показывают, потребляют ли дополнительный кислород сточные воды в водоеме и какое действие они оказывают: удовлетворительное или ядовитое. Производится также тестирование водорослей, бактерий, дафний и рыб (стр. 150, 151).

Для притока в очистные установки действительны нижеследующие предельные концентрации (ПДК), которые ни в коем случае не должны превышаться, если необходимо обеспечить удовлетворительную работу при соответствующем способе очистки. В сумме содержание цветных металлов может быть до 10 мг/л (Barth, E. F., JWPCF 1965, 1101).

Предельные концентрации разных ядов (мг/л)

Яд	Биофильтр или активный ил	% задержания в установке	В перегнившем иле
Медь	1	20	100
Цианиды	1-2	60	2
Хром (VI)	3	40	100
Никель	3	10	100
Цинк	5	50	1000

При недопустимых концентрациях в притоке предварительные данные об этом можно получить при анализе перегнившего ила. Для определения причины используется *метод взятия проб* в коллекторах (Hahn, H. H., ATV–Ber. 1988, Nr. 38, 59). В канализационной сети отбираются пробы, и по результатам анализа выявляется источник поступления ядовитых веществ.

По условиям спуска промышленных сточных вод в канализацион–

ную сеть обычно требуется, чтобы их температура не превышала 35 °С и чтобы были нейтрализованы кислоты.

При этих ограничениях городская очистная станция должна справляться с очисткой всех попадающих в нее промышленных сточных вод. Для любого вида смешанных сточных вод можно применять один из известных способов очистки. Однако при биологическом способе очистки иногда требуется предварительная химическая очистка. На промышленных предприятиях, которые нельзя подключить к городской канализационной сети, в большинстве случаев применяется раздельное отведение воды. То есть дождевая вода отводится по отдельным трубам. От остальных сточных вод отделяют также малозагрязненную, например, охлаждающую воду, потому что ее можно отводить в водоемы без очистки [x)]. И тогда собственную очистную станцию на предприятии нужно сооружать только для загрязненной воды (ATV–Arbeitsblatt A 102, Entwurf 1989).

При *хранении опасных для воды веществ* необходимо соблюдать особые меры предосторожности (Schneider, G. G., KA 1988, 682). Из загрязненных рабочих жидкостей и воды от тушения возгораний они должны рекуперироваться (Schauffhauser, A., VSA–Verbandsbericht Nr. 387, 1988).

В ФРГ при сбросе сточных вод должны удовлетворяться минимальные требования, которые определены служебными предписаниями по § 7a "Закона о воде" [xx)]. До настоящего времени было принято 45 служебных предписаний, которые, начиная с 1980 года, публикуются в выпусках Всеобщего правительственного бюллетеня. Все они собраны в экологическом справочнике (Wlb–Handbuch Umwelttechnik 1984/85, 43).

Повторное использование сточных вод по *замкнутой системе* (см. раздел 6.4) зачастую одновременно решает вопросы сточных вод и водоснабжения (Crook, J., et al., JWPCF 1987, 237). При этом в качестве вспомогательных средств служат шламонакопителии, коагулянты, хлор и фильтры.

Способ очистки зависит прежде всего от того, являются ли загрязняющие вещества биологически стойкими или же подвергающимися биологическому разложению.

К *первой группе биологически стойких* веществ относятся соли, например, калийных заводов и горнодобывающих предприятий. Присутствие солей в сточных водах может наносить вред, если их содержание превышает определенные предельные значения. Обычными способами очистки их удалить нельзя. В случае необходимости их нужно удалять или, по меньшей мере, соорудить аккумулирующий резервуар для соленой воды и сток из него регулировать в зависимости от расхода воды в реке, чтобы не превышались допустимые значения (раздел 6.1). (Seifert, F., Berichte ATV 1952, 158, GI 1952, 399, Kaeding, J., Staedtehygiene 1957, 225).

Кислоты нейтрализуются путем пропускания воды через куски известняка. Однако это приемлемо только для соляной кислоты. Серная кислота образует на известняке защитную гипсовую оболочку, которая препятствует нейтрализации. В этом случае в воду дозируют известковое молоко в виде суспензии с содержанием гидроокиси кальция 5 ... 10 %.

Для *минерального осадка*, например, на угольных шахтах, металлургических заводах, химических фабриках, сооружают отстойник, а затем перекачивают осадок на иловые площадки для подсушки или на площадки для хранения. Для него подходят также бассейны инфильтрации (см. раздел 5.14), т.е. отстойники, в которых осадок можно не только осаждать, но и подсушивать. Особенно подходящими являются для этого *шламонакопители*. Это – земляные бассейны, через которые протекают сточные воды, осевший в них осадок не удаляется. Пруд постепенно заполняется, а после заполнения сооружается новый пруд. Дно его при сооружении оборудуется дренажной системой, которую держат закрытой при заполнении и открывают только тогда, когда заполнение окончено. После этого осадок должен хорошо подсушиваться. Шламонакопители хорошо за-

рекомендовали себя при преобладании минерального осадка. И в этом случае их применение является самым дешевым и надежным способом очистки сточных вод. Они предпочтительны также для рекуперации технологической воды в промышленных установках. Эти пруды рассчитывают так, чтобы осадок мог накапливаться в них в течение многих лет. В первые годы эксплуатации время протекания через них составляет несколько суток.

Для бытовых сточных вод шламонакопители взвешенных веществ неприменимы, так как при этом получается гниющий сток и очень большой вынос осадка. Однако, если эти сточные воды разбавлять промышленным стоком и обогащать их осадком, образующим незначительные количества газов, то такие пруды можно использовать и для этой цели. В крайнем случае можно выйти из положения, соорудив два пруда, которые можно эксплуатировать попеременно. Если в проточном пруду начинается вынос взвешенных веществ, то он выводится из эксплуатации на несколько недель, пока не прекратится образование газов.

Благодаря своим большим размерам шламонакопители могут принимать всю дождевую воду. Для этой цели они оснащаются на выпуске двумя водосливами, расположенными на разной высоте (см. раздел 5.11). Объем между двумя уровнями заполняется в дождливую погоду, и отстоявшаяся вода после дождя медленно вытекает в хорошо осветленном состоянии. Такие установки являются особенно ценными для поддержания в надлежащем санитарном состоянии водоемов в случае, если нужно защищать водопроводные станции от залповых нагрузок сточными водами из промышленных установок. Ко *второй группе* веществ, т.е. веществ, поддающихся биологическому разложению, относятся *фенолы* (карболовая кислота и дегтярные масла с высоким содежанием кислоты) из коксохимических, полукоксовых и газовых заводов. Содержание фенола 1 мг/л повышает потребность в кислороде ($БПК_5$) воды на 1,7 мг/л.

Хорошо зарекомендовали себя два способа удаления фенола: бензольно–щелочной способ и феноло–сольвантный способ. При *бензольно–щелочном способе* фенолы экстрагируются с помощью бензола, после чего нейтрализуются раствором едкого натра. Посредством дистилляции фенолятного раствора можно получить конечные продукты, которые пригодны для продажи. К.п.д. этого способа – около 93 %. При *феноло–сольвантном способе* в качестве растворителя используется диизопропиловый эфир. После экстракции растворитель отделяется от фенолов посредством дистилляции и может снова использоваться. К.п.д. этого способа – около 99 %. Остаточное содержание фенолов может быть ниже 10 мг/л (Bischofsberger, W., et al., Ind.–Abwaesser April 1960, 15, Wurm, GWF 1970, 95, Wurm, GWA, Bd. 13, Aachen 1973, GWA 1982, Bd. 60, 429). Сельскохозяйственное использование сточных вод газовых заводов предлагают Брюкнер и Вольф (Brückner, Wolf, GWF 1949, 378 und von W. Krüger, W. wirtsch.–W. t. 1959, 299). Штребель и др. рекомендуют уничтожать фенолсодержащую воду газовых заводов посредством выпаривания и сжигания (Stahl u. Eisen 1955, 346), Такого же мнения придерживаются Дирихс и др. (Dierichs, A., et al., Wasserwirtschaft–W. tech. 1956, 35, Tagung Leipzig). Фенолы можно также разрушать с помощью озона (Niegowski, S. J., Sew. a. I. W. 1956, 1266).

В водоеме фенол разрушается в течение 3 ... 4 суток. Разрушение происходит быстрее, если речная вода уже органически загрязнена, благодаря чему содержит достаточно питательных веществ для живых организмов в воде. Разрушение замедляется при температуре ниже 10 °С и полностью прекращается при температуре ниже 4 °С. Для рыб смертельным является содержание фенола 5 мг/л. Но даже самое незначительное содержание фенола в рыбном водоеме вредно из-за того, что рыба теряет вкусовые качества. По Эбелингу этого не происходит, если содержание фенола меньше 0,02 мг/л (Vom Wasser 14, 81). По Бееру в речной воде отсутствуют любые организмы кроме

бактерий, если содержание летучих фенолов больше 10 мг/л (Beer, W. D., W. wirtsch.–W. techn. 1954, 125).

В биологических очистных установках фенол разрушается, если в промышленную сточную воду добавляется такое количество бытовой сточной воды, при котором присутствует достаточно питательных веществ для существования бактерий. При работе с биофильтрами необходима многократная рециркуляция (см. раздел 5.7.5). В качестве питательных веществ можно также добавлять фосфаты и азот. Первые такие эксперименты провел Фаулер в 1910 году. В 1913 году они были проведены в Эссене (25 Jahre Emschergenossenschaft 1925, 270). По результатам, полученным в более позднее время, суточная нагрузка по фенолу может составлять в биофильтрах с рециркуляцией 0,7 кг на 1 $м^3$ биофильтра и в аэротенках, работающих по способу с активным илом, – 1,0 кг на 1 $м^3$ объема (Nolte, Staedtereinigung 1937, 467, Beitr. d. Flussw.–Unt.–Amts Magdeburg 1947, 3, Crotogino, GI 1949, 11, Vom Wasser 1949, 49, Teller, K., Wasser, Luft u. Betrieb 1958, 5, Bringmann, G., et al., GI 1960, 205, Richter, H., Wasserwirtsch.– W. t. 1961, 446). Для фенолсодержащей воды коксохимического завода, очищаемой по способу с активным илом, Ноак установил, что суточная нагрузка может составлять от 3 до 4 кг $БПК_5$ на 1 $м^3$ объема и что на 1 $м^3$ сточных вод нужно добавлять 25 г фосфата калия. При этом для приведения водородного показателя создавалась нейтральная среда с помощью 450 г/$м^3$ едкого натрия, и сточная вода охлаждалась до 20 – 25 ° (Wasser, Luft u. Betrieb 1961, 319).

Но наибольшие трудности доставляют фенолсодержащие сточные воды для водопроводных станций, если они осуществляют забор воды из реки, в которой содержится фенол даже в минимальных количествах. Если на водопроводной станции для обеззараживания используется хлор, то он образует с фенолом соединение, которое портит питьевую воду, придавая ей отвратительный вкус и запах (Meinck et al., GI 1947, 7). Проведения рекуперации фенола из сточ-

ных вод в этом сличае недостаточно, так как остаточное его содержание значительно. Таким образом, здесь необходима искусственная или естественная биологическая очистка сточных вод. Но и она не всегда помогает. Например, при сильном морозе естественная биолкогическая очистка не происходит, а искусственная ослабевает. Поэтому рекомендуется снабжать водопроводные станции средствами защиты, которые можно использовать в критические периоды, а именно, при сильном морозе, когда ухудшается очистка сточных вод, и во время паводков, когда подвергаются опасности естественные или искусственные фильтры водопроводной станции. В качестве средства защиты хорошо зарекомендовал себя активированный уголь. Его можно, например, добавлять в речную воду в виде порошка перед фильтром водопроводной станции или использовать в зернистом виде в качестве загрузки фильтров. (Imhoff und Sierp, Filter aus Aktivkohle zur Verbesserung des Geschmacks von gechlortem Trinkwasser, GWF 18. Mai 1929, Public Works Aug. 1929, Water a. Sew. W. 1958, 197, Wolber, GWF 1938, 236; 1941, 257). Иногда может иказаться достаточным перехлорирования с последующим дехлорированием. Для этих целей использовался также озон. Способы, применявшиеся в Виттене, Эссене и Мюльхайме, обсуждались на конференции "Гигиена городов 1982" (Koetter, K., 198; Reicherter, U. F., 201; Heilker, E., 206).

Биологические способы очистки можно использовать также для сточных вод предприятий *пищевой промышленности*: молочных заводов, винокуренных заводов, дрожжевых и крахмальных фабрик, скотобоен, сахарных заводов. Это действительно также для предприятий, на которых перерабатываются продукты растительного и животного происхождения: белильни, красильни, бумажные фабрики, льнопрядильни, шерстомойки, кожевенные заводы. Все сточные воды этих предприятий (иногда с определенными предосторожностями) можно отводить в городские очистные сооружения. Но если такие сточные воды нужно очищать отдельно, то очистная

установка для них подобна городской установке. Применение *биологических* способов очистки в аэротенках и перегнивателях при обработке промышленных сточных вод иногда затрудняется из-за отсутствия в них некоторых питательных веществ, необходимых для жизнедеятельности микроорганизмов. Эти способы становятся применимыми только в случае, если промышленные сточные воды смешивать с бытовыми или с соответствующими искусственными питательными веществами (азотом, фосфатами), как это уже упоминалось при описании очистки фенольной воды (стр. 379, 380). По Хелмерсу азота требуется 3 ... 4 % и фосфора 0,5 ... 0,7 % от снижения $БПК_5$ в виде питательных солей (Helmers, C. N., Sew. a. Ind. W. 1952, 496). Килгор и др. указывают на 4,7 ... 7 % азота и 0,36 ... 1,25 % фосфора от снижения БПК (Kilgore, H. D., et al., Sew. a. Ind. W. 1953, 596). В среднем можно принять следующее соотношение между снижением БПК5, азотом и фосфором: $БПК_5 : N : P = 100 : 5 : 1$. По опытам, проведенным Гауди и его сотрудниками, *питательные соли* можно подавать в меньших количествах, если при очистке активным илом применить регенерацию ила. В этом случае питательные соли добавляют в резервуар дополнительной аэрации, где аккумулированные илом углеводы при поглощении азота преобразуются в протеин (JWPCF 1967, 251).

Сточные воды и ил с предприятий пищевой промышленности зачастую склонны к кислому брожению (стр. 320, 321), например, на винокуренных, крахмальных и молочных заводах. Кислое брожение можно использовать для предварительной очистки сточных вод в больших бродильных резервуарах, стоки которых следует известковать прежде, чем они попадут в биологическую аэрационную установку. Возможен также вариант подавления кислого брожения хлором (см. раздел 5.6), чтобы предотвратить газообразование в сточной воде на период осаждения ила.

Если промышленные сточные воды очень концентрированные, то их можно разбавлять. Так же, как и разбавление действует рециркуля-

ция очищенной сточной воды при применении биофильтров и рециркуляция возвратного ила на аэрационных установках. Рециркуляция также предотвращает или подавляет уже упоминавшееся кислое брожение, особенно если в систему циркуляции включен первичный отстойник (см. раздел 5.7.5). При органически загрязненных сточных водах наиболее надежными биологическими установками являются почвенные фильтры, если имеются достаточные площади песчаной почвы.

При очистке в *септиках* (см. раздел 5.7.12) может потребоваться уменьшение объема подаваемых промышленных сточных вод, т.е. их концентрирование, чтобы не делать слишком большую камеру сбраживания с учетом необходимой длительности процесса. Этого можно добиться путем повторного использования сточных вод через систему циркуляции до тех пор, пока не потребуется их сливать.

При расчете очистных станций можно использовать параметры, принятые для городских сточных вод, если промышленные сточные воды по содержанию органических веществ, или лучше по потребности в кислороде, соотнести с эквивалентным количеством городских сточных вод. Таким образом, загрязнение промышленных сточных вод выражают в "*эквивалентах числа жителей*". Эта единица соответствует пятидневной потребности в кислороде суточного количества сточных вод, приходящихся на одного жителя, для условий Германии это в среднем 60 г (см. раздел 5.1). Примеры эквивалентов числа жителей для промышленных сточных вод в пересчете на $БПК_5 = 60$ г/(чел • сут), по американским предписаниям, которые частично дополнены цифрами из соответствующих германских документов, см. в таблице ниже.

Эти эквиваленты числа жителей, рассчитанные по потребности в кислороде сточных вод, говорят о том, что, например, крахмальная фабрика, ежедневно перерабатывающая 1 тонну кукурузы, нагружает очистную установку или водоем столь же сильно, как и 500 ... 900 городских жителей. Для отдельно взятого предприятия это чис-

ло тем меньше, чем тщательнее задерживаются и утилизируются отходы. Если в сточных водах предприятия содержится вещество, чье суточное количество и биологические свойства известны, то эквивалент числа жителей можно рассчитывать, соотнося это вещество с ежесуточными 60 г на городского жителя.

Эквиваленты числа жителей для разных сточных вод

Вид сточных вод		Эквиваленты числа жителей
Молочный завод без сыроварни	на 1 000 л молока	25 – 70
Молочный завод с сыроварней	на 1 000 л молока	45 – 230
Скотобойня	на 1 корову = 2,5 свиньи	20 – 200
	на 1 т живого веса	130 – 400
Коровник	на 1 корову	5 – 10
Свинарник	на 1 свинью	3
Птицефабрика	на 1 курицу	0,12 – 0,25
Силосная башня	на 1 т силоса	4 – 11 чел/сут
	или в общем	200 – 650
Картофелезапарник	на 1 т картофеля	25 – 50
Рыбоводство	на 100 кг форели	80
Сахарный завод	на 1 т свеклы	45 – 70
Солодовый завод	на 1 т зерна	10 – 100
Пивоваренный завод	на 1 000 л пива	150 – 350
Спирто-водочный завод	на 1 000 л спирта	2000 – 3500
Дрожжевая фабрика	на 1 т дрожжей	5000 – 7000
Крахмальный завод	на 1 т кукурузы или пшеницы	500 – 900
Винодельня	на 1 000 л вина	100 – 140
Винодельня	на 1 га виноградника	35 – 60
Кожевенный завод	на 1 т шкур	1000 – 3500
Шерстомойка	на 1 т шерсти	2000 – 4500
Белильня	на 1 т товара	1000 – 3500
Красильня с использованием сернистых красителей	на 1 т товара	2000 – 3000
Мочка льна	на 1 т льна	700 – 1000
Фабрика по производству сульфитной целлюлозы	на 1 т целлюлозы	3500 – 5500
Древесномассный завод	на 1 т древесной массы	45 – 70
Бумажная фабрика	на 1 т бумаги	200 – 900
Текстильная фабрика	на 1 т штапеля	300 – 450
Прачечная	на 1 т белья	350 – 900
Маслобойня	на 1 т масла	11000
Мусорная свалка	на 1 га площади	45

По многочисленным публикациям (см. Liebmann, H., Münchner Beitraege 1963, Bd. 10, und Viehl, K., Veroeff. des Inst. f. Siedlw. TH Hannover 1964, H.14, 343) можно принимать нижеследующие значения $БПК_5$.

Значения $БПК_5$ для разных концентратов

Кровь (количество крови около 7 % от живого веса)	160 – 210 г/л
Навозная жижа	7 – 18 г/л
Молочная сыворотка	45 г/л
Просачивающийся из силосной башни сок свекловичной ботвы	80 г/л
Стекающая вода для промывания масла	17 г/л
Конденсат картофелезапарников	4 – 9 г/л
Фенол	1,7 г/г

Пример. Со сточной водой предприятия ежесуточно выносится 1 000 кг фенола. Один грамм фенола имеет 1,7 г $БПК_5$. 1 000 кг имеют 1000 • 1000 • 1,7 = 1 700 000 г $БПК_5$. Это соответствует эквиваленту числа жителей 1 700 000 : 60 = 28 000 человек.

Если имеются достоверные данные о среднесуточном значении БПК для городских сточных вод, то, исходя из этого, можно оценить долю промышленных сточных вод:

Пример: Город со 120 000 жителей и большим количеством промышленных предприятий ежесуточно сбрасывает 27 000 $м^3$ сточных вод. Потребность в кислороде сточной воды через два часа отстаивания по среднесуточным данным составляет по $БПК_5$ = 295 г/$м^3$. Это ежедневно 27 000 • 295 = 7 950 000 г/сут. Для усредненных отстоявшихся городских сточных вод $БПК_5$ = 40 г/ (чел • сут) (стр. 133), т.е. для 120 000 жителей = 120 000 • 40 = 4 800 000 г/сут. Разность 7 950 000 – 4 800 000 = 3 150 000 г/сут показывает промышленную нагрузку. Она соответствует эквиваленту числа жителей 3 150 000 : 40 = 79 000 человек. Его нужно прибавить к 120 000 человек.

"Эквиваленты числа жителей" для промышленных сточных вод по таблице на стр. 384 справедливы и сравнимы с "жителями", учтенными при расчете городских сточных вод, только тогда, когда речь идет о потребности в кислороде сточных вод, т.е. о биологических

очистных сооружениях или о рыбных водоемах. Если же речь идет большей частью об *осадках*, выделяемых из промышленных сточных вод, т.е., например, о расчете отстойника, то целесообразно было бы исходить не из эквивалентов числа жителей, основанных на потребности в кислорода, а из других значений, основывающихся на содержании взвешенных веществ в промышленных сточных водах. Тогда это содержание взвешенных веществ таким же образом соотносится с рассчитанным для одного жителя содержанием взвешенных веществ в городских сточных водах (стр. 132). Исходные данные приведены в нижеследующей *таблице*. Относительно растворенных загрязняющих веществ можно предположить, что дополнительно на кг снижения $БПК_5$ образуется 0,8 кг сухого вещества ила.

Средние значения удельного количества взвешенных веществ в сточных водах промышленных предприятий разного профиля по Нимитцу (Niemitz, W., Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, Bd. III, 1978)

Предприятие, сбрасывающее сточную воду	Единица продукции или другая единица	Удельное количество взвешенных веществ, кг/ед
Пивоваренный завод	1 000 л пива	2,5–5
Солодовый завод	1 000 кг солода	1–3
Крахмальный завод	1 000 кг зерна	2–4
Изготовление фруктовых соков	1 000 л продукта	1–2
Дрожжевой завод	1 000 кг мелассы	10
Молочный завод	1 000 л молока	0,5–1
Молочный завод без использования сыворотки	1 000 л молока	2
Скотобойня	1 000 кг мяса	2,5–10
Мясоконсервная фабрика	1 000 кг продукта	1–2
Прачечная	1 000 кг белья	3–5
Маргариновая фабрика с рафинированием	1 000 кг продукта	4
Овощеконсервная фабрика	1 000 кг продукта	3–5
Кожевенный завод	1 000 кг кожи	3–60
Изготовление бумаги из целлюлозы	1 000 кг бумаги	5–20
Изготовление бумаги из макулатуры	1 000 кг продукта	30–50

Для промышленных сточных вод существуют еще и некоторые другие признаки загрязнения, например, содержание ядовитых веществ, кислот, солей, которые могут нанести вред водоемам или привести к дополнительным расходам при их устранении на общей очистной станции. Поэтому Вагнером был предложен общий термин *коэффициент загрязнения* (Wagner, H., Die Bewertung der Abwassereinleitungen, GI 1950, 73). Если речь идет об органически загрязненной сточной воде, то коэффициенты загрязнения соответствуют обсуждавшимся выше "эквивалентам числа жителей" (Meinck, GI 1955, 225). Хорошо зарекомендовал себя расчет по потребляемому сырью или по выходу продукции, или – при однопрофильных предприятиях – по числу работающих.

Ноак описывает, как для имеющихся канализационных сетей определяют нагрузку по сточным водам промысловых и промышленных [x)] предприятий по общему и удельному количеству работающих в виде *кадастра сточных вод* (Erich Schmidt–Verlag, Berlin 1985). Букштег и Тиель обнаруживают торможение разложения в присутствии ядовитых веществ и устанавливают влияние его на уменьшение разложения органических веществ (GWF 1957, 909). Кноп использует в качестве критерия разбавление сточных вод, требующееся для обеспечения жизнедеятельности рыб (KA 1962, H. 3, 7). Новейшие попытки разработать общую таблицу пока не увенчались успехом. В третьем издании "*Закона об отведении сточных вод*" (Bundestags-drucksache 11/4942, 1989) приведен список 11 вредных веществ и соответствующие единицы измерения для вычисления *единиц вредности* [xx)].

При этом показатель G_F – токсичность для рыб, выраженная коэффициентом разбавления для самой низкой ступени разбавления, при которой сточные воды перестают быть токсичными для рыб по специальному тесту (стр. 151). При $G_F = 2$ подставляется нуль.

Обложение налогом началось с 1.01.1981 г из расчета 12 марок ФРГ/единица вредности. До 1.01.1986 г налог возрос до 40 марок

ФРГ/единица вредности. Начиная с 1.01.1991 г, предусмотрено 50 марок ФРГ/единица вредности, а с 1.01.1993 г – 60 марок. Ставка налога снижается на 75 % в тех случаях, когда несмотря на соблюдение минимальных требований нельзя избежать повышенного значения единиц вредности.

Перечень вредных веществ	1 единица вредности соответствует
Окисляющиеся вещества	50 кг ХПК
Фосфор (проект)	3 кг P
Азот (проект)	25 кг N
Органически связанные галогены	2 кг AOX
Ртуть	20 г Hg
Кадмий	100 г Cd
Хром	500 г Cr
Никель	500 г Ni
Свинец	500 г Pb
Медь	1 000 г Cu
Токсичность для рыб	3 000 $м^3$: G_F

5.10.2. Разные сточные воды

После общих соображений можно перейти к рассмотрению *возможностей очистки* некоторых из важнейших видов промышленных *сточных вод.*

1. *Молочные заводы.* Сточные воды здесь ничто иное, как промывная вода с остатками молока, которые быстро переходят в состояние кислого брожения. Для определения степени загрязнения нужно знать, сколько обрабатываемого молока перерабатывается в сыр и стекает ли образующаяся в сыроварне сыворотка вместе со сточными водами или же она в большей или меньшей степени используется. При этом получаются разные эквиваленты числа жителей (стр. 384). При экономной переработке молока можно значительно уменьшить загрязнение сточных вод (Bandt, H. T., Beitraege aus dem Flusswasser–Untersuchungsamt Magdeburg, H. 3, 1948, 3; Eldridge, E. F., Sew. W. J. 1949, 668, GI 1950, 196, Agar, C. C., Sew. and Ind.

Wastes 1950, 77, Viehl, K., ATV Münchener Tagung 1960, H. 12, 341, Rüffer, H., KA 1978, 114).

Отстойники перестают действовать, если кислое брожение не подавляется обильным известкованием или хлором (Strell, M., Staedtereinigung 1940, 85). Септики также нельзя использовать, потому что щелочное метановое брожение не идет, если в них не добавить достаточное количество городского осадка. Таким образом, отстойники и септики, как правило, не могут обеспечить успешной очистки. Остаются только биологические аэрационные способы. Органы власти рекомендуют, прежде всего, использование таких сточных вод в сельском хозяйстве в соответствии с директивами "Государственной службы контроля за качеством воды и воздуха" (Kl. Mitt. 1942, 142, und Heilmann, GI 1942, 434; Schulz–Falkenhain, H., Molkerei–Zeitung, Hildesheim 1947). Подземное орошение полей затруднительно (Nolte, E., Beitraege aus dem Flusswasseruntersuchungsamt Magdeburg, H. 3, 1948, 9). Лучше использовать дождевание на больших площадях, если в морозную погоду можно обойтись без очистки сточных вод (McKee, F. J., Sew. a. I. W. 1957, 157; Lowton, G. W., et al., Sew. a. I. W. 1959, 923; Jüttner, R. R., Wasser u. Boden 1987, 114). Но при этом существует опасность передачи туберкулеза (Haack, GI 1954, 226) и эпизоотии (Dedie, K., Tierseuchenerreger im Abwasser, Staedtehygiene 1955, 177, und Bayer. Landwirtschaft. Jahrbuch 1956, 284). Технически хорошо зарекомендовали себя биофильтры с достаточной рециркуляцией сточных вод (Eldridge, E. F., Sew. Works Eng. 1940, 599; Imhoff, K., Tropfkoerper mit Wasserrücklauf für Molkereiabwasser, GI 1941, 367; Bloodgood, D. E., Sew. Works J. 1948, 695; Preuss, Wasser u. Boden 1952, 272) и способ с активным илом (Kessener, H., et al., Sew. W. J. 1934, 318; Eldridge, Sew. W. J. 1949, 668; Hauer, G. E., Sew. a. Ind. W. 1952, 1271; Zack, S. I., Sew. a. Ind. W. 1953, 177; McKee, F. J., Sew. a. Ind. W. 1950, 1041; Horton, J. P., et al., Sew. a. I. W. 1953, 941; Trebler, H. A., et al., 1955, 1369; Viehl, K., Molkerei– und Kaeserei–Zeitung, Hildesheim, 1961,

369; Müller, K., Veroeff. Inst. Siedl. TH Hannover 1964, 35; Doedens, H., Veroeff. Inst. Siedl TU Hannover 1969, H. 32). В аэротенке желательна температура 30 °С. Если сбрасывается много сыворотки, то может понадобиться добавление азота как питания для бактерий (стр. 382). Рекомендуется также добавление железа. Для самой сыворотки уже предлагалась обработка в камерах сбраживания (см. раздел 5.7.12) (Reinhold, F., GI 1955, 15, Manus, L. J., Wastes Eng. 1957, 342). Избыточный ил из аэротенков или ил из биофильтров подают в камеры сбраживания в сгущенном виде. Количество ила незначительное.

2. *Скотобойни.* Крупные отбросы нужно измельчать или задерживать с помощью сеток. Кровь и жир нужно утилизировать. В жироловках с каждой забитой коровы получают 1,24 кг жира, а с каждой забитой свиньи – 0,36 кг жира (Müller, E., Staedtereinigung 1942, 138). В Америке количество уловленного жира считают равным 0,1 % от живого веса забитой коровы. Сточную воду можно очищать как городские сточные воды. Из-за того, что она очень концентрирована, при использовании биофильтров нужна рециркуляция осветленной воды, а при использовании активного ила нужно возвращать большое количество ила (Mohlman, F. W., Proc. Amer. Soc. Civ. Eng. 1948, 1052, Research Conference, Amer. Meat Inst., Univ. of Chicago 1949; Eldridge, E. F., Sew. Works. Eng. 1949, 27; Stecher, E., GI 1940, 151; Bradney, L., et al., Sew. and Ind. Wastes 1950, 807; Lutz, GI 1954, 29; Liebmann, H., Münchner Beitraege Bd. 8, 1970, 9–114; Forstner, M. J., Münchner Beitraege Bd. 11, 1964, 302, ATV "Hinweise für das Ableiten von Schlahthofabwasser in ein oeffentliches Kanalnetz". ZfGW–Verlag, Frankfurt, Okt. 1963; Weber, W., Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft, Bd. 14, 1964; ATV–Merkblatt M 767, Entwurf 1988).

Но возможно также и перегнивание сточной воды. (Rudolfs, W., et al., Water a. Sew. Works 1953, 60, GWF 1954, 394, Steffen, A. J., Sew. a. I. W. 1955, 1364, Wastes Eng. 1957, 401).

В городах в большинстве случаев на очистную станцию подают сточную воду вместе с измельченными веществами. Из-за наличия содержимого желудков животных в камерах сбраживания может образовываться плавающая корка.

Сточная вода из *бойни для больных животных* содержит особенно много патогенных микроорганизмов. Обеззараживание можно проводить термическим путем при 110 °С в течение 15 минут (Scharfe, O., Wasserw.–Wassertechnik 1965, 366).

3. *Сельскохозяйственные предприятия.* Сельское хозяйство все больше стремится к образованию крупных предприятий и к специализации. Животные в больших количествах содержатся в общих коровниках. Выгон скота на пастбища ограничен. Зеленый корм хранится в силосохранилищах и оттуда подвозится в коровник.

Из-за таких условий содержания в больших количествах скапливается навоз, моча, сок свекловичной ботвы и др. (стр. 385). Более точные данные см. у Бланкена (Blanken, G., u. Mitarb., Abfaelle aus Massentierhaltungen, Müll und Abfall 1972, 37; Middlebrooks, E. J., Water Research 1974, 697. LAWA: Einflüsse von Düngern auf die Gewaeesergüte, Druckerei Appel, Bremen 1982; ATV–Merkblatt M 754, 1986).

С помощью биофильтров и аэротенков удовлетворительная очистка невозможна. Кроме того, при централизованной системе канализации в сельском хозяйстве отведение сточных вод очистных станций в среднем по стране увеличилось бы во много раз. Наши водоприемники не могли бы выдержать такого остаточного загрязнения. Поэтому концентрированные сельскохозяйственные стоки после перегнивания или избыточной аэрации нужно хранить в достаточно больших накопителях и в нужное время использовать их в качестве удобрения для полей.

4. *Консервные заводы* (для овощей и фруктов). Все, что можно отделить на ситах, целесообразно компостировать или использовать в качестве сырья для производства кормов или спирта.

Сточная вода и осадок склонны к кислому брожению, которое связано со зловонием. Поэтому иногда используется химическое осаждение. Особенно хорошо зарекомендовали себя биологические очистные пруды, в которых самоочищение воды поддерживается с помощью добавки натриевой селитры (см. раздел 5.7.11). (Miller, L. B., Public Works 1947, 19; Sanborn, N. H., Chem. and Eng. News 1946, 1059; Siebert, C. L., et al., Water and Sew. Works 1948, 227; Sanborn, N. H., Sew. Works Eng. 1949, 199; Eldridge, E. F., Ind. and Eng. Chem. 1947, 619, GI 1949, 348; Agar, C. C., Sew. and Ind. Wastes 1950, 778; Templeton, Sew. a. Ind. W. 1951, 1540; Schmidt–Bregas, Staedtehygiene 1961, 231). Об использовании при незначительных нагрузках способа с активным илом с добавлением питательных веществ сообщают Эсвельт и Харт (Esvelt, Hart, JWPCF 1970, 1305). Штальцер установил, что при объемной нагрузке 150 г $БПК_5$/($м^3$•сут) возникает очень легкий ил, который можно утяжелить посредством добавки сульфата железа (Oesterr. Abwasserrundschau 1975, 102).

О сточных водах картофелеперерабатывающей промышленности см. ATV–Merkblatt M 753, Entwurf Maerz 1985.

5. *Сахарные заводы.* Вода, использовавшаяся для мойки свеклы, направляется через отстойник и снова используется в обороте. Гниение при этом предотвращается с помощью хлора. Речь здесь идет о зернистом осадке. Брукнер указывает допустимую удельную нагрузку 0,9 м/ч (Bruckner, B., Zukker 1954, H. 4). Вода из диффузионных аппаратов и вода из жомовых прессов также вовлекается в оборот (Kramer, D., Wasser, Luft u. Betr. 1958, 87). При этом избыток воды на первой стадии подвергается кислому брожению, которое впоследствии прерывается посредством известкования, чтобы вторая стадия могла проходить в условиях щелочного метанового брожения. Сток должен поступать на поля орошения с возможно большей площадью орошения или дождевания. Целесообразно использовать большие пруды, в которых в течение длительного времени на-

капливаются сточные воды и затем медленно расходуются. Возможна дополнительная очистка способом с активным илом (Nolte, E., Beitraege aus dem Flusswasser–Untersuchungsamt Magdeburg, H. 1, 1946, 24; Brandon, T. W., Int. Sugar Jour. 1947, 98, 154; Kramer, D., Wasser, Luft u. B. 1958, 87, und Wasserwirtsch.- W.t. 1962, 65, Offhaus, K., Münchner Beitraege Bd. 11, 1964, 223, und Engelbert, F., ebenda 1964, 240, Offhaus, K., Zucker 1965, 539, Kollatsch, D., Wlb. 1968, 236, Viehl, K., u. Mitarb., Die Reinigung von Zuckerfabrikabwasser mit Hilfe des Umpumpverfahrens, GWF 1974, 141; Shore, M., et al., JIWPC 1984, 499; Naehle, C., et al., GWF 1986, 215). Изменение условий разложения с анаэробных на аэробные является при этом решающим, так как брожение приводит к образованию органических кислот, которые, в свою очередь, разлагаются аэробным путем. При добавке фосфора удается разложение способом с активным илом (Kroiss, H., Wiener Mitt., Bd. 25, 1978; Rüffer, H., et al., KA 1979, 156).

6. *Пивоваренные заводы.* При этих сточных водах вопрос заключается в том, чтобы по возможности рекуперировать и использовать все улавливаемые вещества (Nissen, B. H., Indust. Waste Conf. Purdue Univ. Ext., Series 60, (1945) 2. 82). А все, что уходит со сточными водами, хорошо очищается вместе с городскими сточными водами (Stecher, E., GI 1939, 394, Mohlman, F. W., Sew. W. J. 1939, 721, Hale, F., Sew. a. Ind. W. 1953, 1187, Seyfried, C. F., Münchner Beitraege Bd. 16, 1969, 258, Rüffer, H., et al., KA 1977, 182, Rosenwinkel, K. H., Veroeff des Inst. f. Siedl., TU Hannover, H. 56, 1984). Азот должен составлять 10 % БПК, чтобы избежать вспухания ила.

7. *Спиртово-водочные и дрожжевые заводы.* Здесь основное внимание нужно уделять внутризаводским мерам по уменьшению загрязнения сточных вод (Rüffer, H., KA 1978, 322). Если в качестве сырья используется зерно или картофель, то отходы нужно улавливать и использовать на корм скоту (Klassen, C. W., et al., Proc. Third Ind.

Waste Conf., Purdue Univ. 1947, 153). Меласса таких выжимок не содержит (Boruff, C. S., et al., Sew. a. Ind. W. 1953, 1179).

Для очистки этих сточных вод, в принципе, подходят биологические способы. При этом предпочтительна высокая температура, но этому препятствует высокое содержание серы. Если есть возможность смешивать эту сточную воду со значительно большими количествами городских сточных вод, то способ с активным илом подходит для очистки так же хорошо, как и биофильтры. Если городских сточных вод недостаточно, то лучше всего использовать предложенный Бусвеллом септик (см. раздел 5.7.12) с последующим капельным биофильтром с рециркуляцией. Подробно этот способ описывают Рудольфс и др. (Rudolfs, W., et al., Sew. W. J. 1948, 1084, 1949, 100, 294, 491, 700, 1028, GI 1949, 346, 347, 418, 1950, 164), и Гем и др. (Gehm, H. W., et al., Sew. W. J. 1949, 851, 855, GI 1950, 163). Септиктенк в большинстве случаев делают двухступенчатым. Время брожения составляет всего трое суток. Объемная нагрузка – 7,2 кг/ ($м^3$•сут) обезвоженных веществ, соответственно – 5,5 кг органических веществ либо 2,1 кг БПК или 0,27 кг органического азота. По полученным позже результатам эксплуатационных испытаний Бусвелл дает объемные нагрузки септика по органическим веществам всего от 1,6 до 2,2 кг/$м^3$ (Proc. Purdue Un. Nr. 72, Nov. 1949, 168). Уже в камере сбраживания потребность в кислороде сточной воды уменьшается на 85 %. Во многих случаях эта степень очистки оказывается достаточной. Полная биологическая очистка производится в биофильтре. Его целесообразно содержать закрытым. Количество газа брожения составляет 468 л на 1 кг подающихся органических веществ. Газ состоял из 72,5 % метана, 25 % углекислоты и 2,5 % сероводорода. Соответствующее количество ила небольшое. Сточная вода полностью устраняется посредством выпаривания. Остатки при этом сжигаются (Jackson, C. J., Journal a. Proc., The Inst. of Sew. Pur. Part 3, 1956, 206).

По Веллеру при изготовлении 1 л коньяка получается около 20 л

жмыха. Лучше всего отводить жмых отдельно, нейтрализовывать его известью и подавать непосредственно в камеру сбраживания (KA 1986, 937).

8. *Другие бродильные производства.* На заводах, где изготавливается *пенициллин* и *стрептомицин*, также нужны септиктенки. Уменьшение потребности в кислороде составляет 80 %. Полная очистка достигается последующей аэрацией и фильтрацией с помощью песчаных фильтров (Heukelekian, H., Ind. and Eng. Chem. 1949, 1535; Knoedler et al., Ind. and Eng. Chem. 1947, 578, GI 1949, 389; Hilgart, A. A., Sew. and Ind. Wastes 1950, 207, GI 1950, 225).

При очистке сточных вод *крахмальных заводов* хорошо зарекомендовали себя биофильтры, а также способ с активным илом (Hatfield, W. D., Sew. W. J. 1934, 489; Greenfield, R. E., et al., Ind. and Eng. Chem. 1947, 583, GI 1949, 389; Seyfried, C. F., Veroeff. d. Inst. f. Siedlungswasserw. der TH Hannover H. 10, 1962). Возможно орошение полей.

Винодельни должны задерживать осадок, полученный при изготовлении вина. Его нужно складировать или компостировать, либо отправлять непосредственно в камеры сбраживания. В этом случае предварительно очищенные сточные воды лучше всего обрабатывать вместе с бытовыми сточными водами. Химическое коагулирование приводит только к частичной очистке (Klotter, H. E., et al., Vom Wasser 1965, 310; Rüffer, H., et al., KA 1981, 656).

Фабрики, занимающиеся квашением капусты. Переработка производится с сентября по февраль. Приготовление квашеной капусты основано на сбраживании фруктозы в капусте с помощью молочнокислых бактерий. Сточные воды состоят из жидких остатков свежих и бланшировочных рассолов, а также из потерь настоя и промывочной воды. Рассолы высококонцентрированные с $БПК_5$ 10 ... 55 г/л и ХПК 15 ... 85 г/л. Они могут успешно предварительно очищаются сбраживанием. Последующая очистка производится по аэробному способу с активным илом (Gockel, Vom Wasser, 1970, 216;

Binding, Wasserwirtschaft 1975, 265; ATV–Merkblatt M 751, 1988).

9. *Кожевенные заводы.* Сточные воды кожевенных заводов чрезвычайно сильно загрязнены. Кроме загнивающихся веществ они содержат также ядовитые соли, щелочи и сернистые соединения. Отстаивание в отстойниках нужно осуществлять с предварительной коагуляцией. Подготовленные таким образом сточные воды можно обрабатывать биологическим путем, если их смешать с большим количеством бытовых сточных вод. Осадок можно сжигать после искусственной сушки или сбраживать при высокой температуре (Künzel–Mehner, GI 1944, 73; Sutherland, R., Ind. and Eng. Chem. 1947, 628, GI 1949, 348, McKee, J. E., et al., Sew. and Ind. Wastes 1950, 803, Merkel, W., in Handbuch der Gerbereichemie, 3. Band, 2. Teil, Springer–Verlag, Wien 1955, Hamm, A., Münch. Beitr. Bd. 11, 1964, 247, Rüffer, H., KA 1980, 473).

Способ окислительной сгонки шерсти приводит к меньшей загрязненности сточных вод. При разбавлении 1 : 20 можно очищать остаточные дубильные соки биологическим путем (Liebmann u. Mitarbeiter, Gerbereiwissenschaft u. Praxis 1967, H. 3).

10. *Шерстомойки.* Содержащаяся в сточной воде грязь, которая прилипла к овечьей шерсти, осаждается в отстойнике. После этого нужно произвести отделение жира. Для этого можно использовать высокоскоростные центрифуги. На установке Кеттвиг в Рурской области для этой цели использовались аэрируемые биофильтры, и вспененный жир снимался сверху (Mahr, Techn. Gem. bl. 5. April 1928). В Бредфорде шерстный жир отделяется с помощью серной кислоты (Wontnner–Smith, H., Eng. News–Rec. 1941, 411, Hillier, W. H., Surveyer 1946, 769). Фабер для отделения шерстного жира использует хлористый кальций (Faber, H. A., Sew. W. J. 1947, 248). Маккарти поддерживает этот процесс отделения, добавляя предварительно углекислоту (McCarthy, J. A., Sew. W. J. 1949, 75, GI 1950, 34, Sew. and Ind. Wastes 1950, 801, 1952, 473). Можно использовать также септик (см. раздел 5.7.12) (Singleton, M. T., Sew. W. J.

286; Jung, H., Vom Wasser 1949, 38; Spies, P., Veroeff. U. over 1986, Heft 65).

ктильная промышленность и *красильни*. Подробно об этом Кера–Виферига (Kehr–Wieferig, Veroeff. d. Inst. f. Siedlungs-erwirtsch. d. TH Hannover, H. 7, 1961, und Beitelsmann, D., GWA Bd. 97).

сильни являются сильными загрязнителями, особенно если они гают с сернистыми красителями. Для очистки нужны большие йники, в которых хорошо смешивать сточные воды разных ов. Хлор усиливает действие и даже разрушает некоторые кра-ели. Можно использовать химические соединения, а именно, железа. С успехом применяется также аэрирование с железны-опилками, причем в сточной воде образуется гидроксид железа в естве коагулянта (Jung, H., et al., Textilpraxis 1950, 534). Биоло-ческие способы перспективны особенно тогда, когда их можно полнять химическими, например, с помощью солей железа, до-вляя при этом некоторое количество бытовых сточных вод. При ственной обработке нужны большие площади (McCarthy, J. A., . and Ind. Wastes 1950, 77, GI 1950, 260, Kehren, M., Berichte ATV 57, 110, Scherb, K., Münch. Beirt. Bd. 11, 1964, 259, Kehr, D., et al., tschr. Spinner, Weber, Textilveredelung 1964, 784). Аэрационные уды с 48-часовой выдержкой также хорошо себя зарекомендовали практике (Kuisel, H. F., Oesterr. Abwasserrundschau 1966, 80). 12. *нозаводы (мочильни)*. Для обработки сточных вод можно исполь-вать биофильтры вместе с известкованием или почвенной очист-ой. В Англии предложили снабжать аэраторами бассейны, служа-щие для замочки льна, и применять в них одну из разновидностей способа с активным илом (Eng. News–Rec. 6. Jan. 1949, 75). Нольте также предложил способ с активным илом с добавлением фосфатов Beitraege aus dem Flusswasser–Untersuchungsamt Magdeburg, H. 4, 949, 3). Мейер указывает, что при биологической очистке нужно обавлять 4 кг азота на тонну льна (Meyer, H. J., W. wirtsch.-W.techn.

1954, 195). О способах очистки, принятых в Чехословакии, сообщает А. Петру (W. wirtsch.–W. techn. 1954, 96).

13. *Целлюлозные фабрики.* Сильнейшими загрязнителями рек в Германии являются сточные воды заводов сульфитной целлюлозы (Liebmann, Berichte ATV 1952, 118, v. d. Emde et al., Wiener Mitt., Bd. 13, 1973). Сточные воды разлагаются в естественных водоемах. Очистка при этом происходит в две ступени на длинных участках водоема. На первой ступени устраняется только треть органических веществ благодаря жизнедеятельности бактерий, а на второй ступени очистка происходит благодаря росту грибов, которые впоследствии отмирают и разлагаются. Экономично провести искусственную биологическую очистку весьма затруднительно (Holderby, T. M., et al., Sew. and Ind. Wastes 1950, 61, GI 1950, 333, Pearman, B. V., et al., Sew. a. I. W. 1957, 1145). Возможно дождевание (Crawford, S. C., Sew. a. I. W. 1058, 1266).

На 1 т целлюлозы приходится 10 $м^3$ отработанного щелока. Он содержит 88 % воды и 12 % или 1,2 т сухого остатка. Из переработанной древесной массы (1 + 1,2 = 2,2 т) больше половины поступает в сточные воды. Сухой остаток на 90 % является органическим. По потребности сточных вод в кислороде целлюлозную фабрику средних размеров можно приравнять к крупному городу (эквивалент числа жителей, стр. 384).

Для реки, принимающей неочищенные сточные воды, самоочищение в значительной степени облегчается, если расход щелочного стока согласовывать с расходом воды в реке. Для этого необходимы накопительные бассейны, которые в состоянии принимать щелочные стоки в течение 3 месяцев. При этом нужно также учитывать промывную воду, так как в ней содержится большое количество щелочей. Это количество можно значительно уменьшить, если промывку производить в противотоке. Если эти меры оказываются недостаточными, остается выпаривать щелока и сжигать их (Sander, P., Wasser u. Abw. 1941, 57, Kl. Mitt. 1941, 35; Peggau, A., Berichte

ATV 1952, 111, Hanselmann, Berichte ATV 1958, 193; Luonsi, A. A. O., et al., Wat. Sci. Techn. Vol. 20 (1988), Nu. 1 u. Nu. 2). Предлагается также мокрое сжигание (стр. 368) (Schmidt, E., Berichte ATV, 1965, 78, Schopp, R., Münchn. Beitr. Bd. 11, 1964, 192). Образующийся конденсат может быть подвегнут предварительной анаэробной и последующей аэробной очистке (Rantala, P., et al., Wat. Sci. Techn. Vol. 17 (1985), Nu. 1; v. d. Emde, Wiener Mitt. 1986, Bd. 65).

Остаточную лигнисульфоновую кислоту можно химически осаждать при водородном показателе pH=12 и задерживать в иле. Возможна последующая биологическая обработка стока вместе с бытовыми сточными водами (Klee, O., Wasserwirtschaft 1983, 183).

При экспериментах в Бейенфурте проводилось адсорбционное извлечение загрязняющих веществ в сточных водах целлюлозных фабрик с помощью оксида алюминия. Использованный оксид алюминия может регенерироваться термическим способом (Ullrich, H., Progress in Water Techn. 1978, 89).

На заводах сульфатной целлюлозы целесообразным и экономически выгодным всегда является выпаривание и сжигание варочного щелока. О всех способах очистки, принятых в Америке, сообщает Мурдок (Murdock, H. R., Sew. a. Ind. W. 1954, 71).

14. *Фабрики по производству соломенного картона и волокнистых плит.* Посредством отстаивания можно удалить всего 60 % взвешенных веществ. 50 % БПК обусловлено растворенными веществами. Биологическая очистка возможна только при добавлении азота (Bloodgood, D. E., et al., Sew. W. J. 1947, 1021). Хорошо зарекомендовали себя септиктенки (Bloodgood, D. E., et al., Paper Trade Journ. 1948, 22, 43). В объединении "Нирсфербанд" также с успехом применяли септиктенки (Jung, H., Schnellfaulung, Vom Wasser, 1949, 38; Zeitschr. f. d. Erzeugung von Holzstoff 1950, 101). Бусвелл и др. описывают очистную установку на фабрике по производству волокнистых плит. Она состоит из двухступенчатого метантенка и уравнительного резервуара на выпуске. При температуре 37,5 °С БПК

сточных вод в течение 24 часов снижается на 85 ... 90 % (Sew. W. J. 1948, 687; vergl. auch Voigt, G., Wasserwirtsch.–W. t. 1962, 96). Об экспериментах по очистке таких сточных вод с активным илом сообщает Шмидт (Schmidt, G., Veroeff. Inst. f. Siedl. TH Hannover 1964, H. 15, 145).

15. *Бумажные фабрики.* Двумя важнейшими требованиями являются: повторное использование сточных вод в обороте и рекуперация свежих волокон. За этим следует отстаивание в отстойниках и, в особых случаях, биологическая очистка совместно с бытовыми сточными водами. Содержащаяся в сточных водах каолиновая пыль лучше всего отделяется посредством осаждения с помощью сульфата железа и извести при аэрации (Warrick, L. F., Sew. W. J. 1947, 1098, Rudolfs, W., et al., Sew. Works Eng. 1948, 63, 245, Water and Sew. Works 1948, 219, 268, 329, 419, Rudolfs, W., et al., Paper Trade Jour. 1948, 20, 31, und 21, 27; Ehemann, G. C., et al., Sew. a. Ind. W. 1950, 1572, Knack, M. F., Sew. a. Ind. W. 1951, 1533, Rüffer, H., et al., KA 1977, 360). Возможно также дождевание на сельскохозяйственных площадях (Koch, H. C., Bloodgood, D. E., Sew. a. I. W. 1959, 827, Liebmann, H., Münchn. Beitr. Bd. 11, 1964, 207, Seyfried, C. F., Industrieabwaesser 1970).

Сильно загрязненную оборотную воду, образующуюся при переработке макулатуры, можно очищать анаэробным путем (Boeck, H. J., Veroeff. U. Hannover 1987, Bd. 69).

16. *Мусорохранилища* выделяют, особенно в первые годы, очень загрязненную просачивающуюся воду, количество и качество которой сильно колеблются, к тому же она имеет неприятный запах, если ее вводить в городскую канализацию без предварительной обработки. Годовое количество сточных вод можно рассчитать по площади хранилища плюс 20 % на атмосферные осадки. По исследованиям в Англии для таких сточных вод можно принимать следующие концентрации загрязнений: ХПК = 10 000 мг/л, $БПК_5$ = 5 000 мг/л, $NH_4 - N$ = 100 мг/л. См. также Weitzel, H., et al., KA 1988, 82.

Обратное перекачивание просачивающейся воды и разбрызгивание над хранилищем уменьшает ее количество и загрязнение (Cord–Landwehr, K., Veroeff. U. Hannover 1986, Heft 66; Robinson, H. D., Water Research, 1988, 733). Однако при климатических условиях Европы этот способ не обеспечивает достаточной очистки. Возможна очистка в аэрируемых прудах или способом с активным илом с нагрузками на ил </= 0,15 кг $БПК_5$/(кг сухого вещества • сутки). При этом нужно добавлять фосфор. В этом случае может достигаться снижение ХПК и БПК более чем на 90 % (Kayser, R., TU Braunschweig 1982, H. 33; Robinson, H. D., et al., JIWPC 1982, 465; Water Research 1983, 1537; Kayser, R., Veroeff. TU Braunschweig 1985, Heft 39, 305; Kayser, R., et al., GWA 1985, Bd. 75, 511; Harrington, D. W., et al., JIWPC 1986, 45; Quentmeier, V., Veroeff. U. Hannover 1988, Heft 72).

17. *Химическая промышленность.* Здесь очистку производить сложнее, так как характер продукции часто изменяется. В первую очередь нужно отдельно отводить незагрязненные сточные воды. Технологическую сточную воду нужно предварительно обрабатывать, если она имеет высокую концентрацию на выходе, если можно рекуперировать исходные материалы и если она ядовита. Используются преимущественно физико–химические способы. В этом отношении см. сообщения "Химического промышленного союза", Франкфурт, Карлштрассе 21, о: 1) сжигании сточных вод; 2) выпаривании сточных вод; 3) адсорбционной очистке сточных вод; 4) обратном осмосе и ультрафильтрации; 5) экстракции; 6) мокром окислении; 7) осаждении; 8) озонировании. Остаточное загрязнение часто устраняется биологическим путем. При этом могут потребоваться усреднение стока, регулирование водородного показателя (pH) и добавление питательных веществ. Если улетучиваются растворители или возникает неприятный запах, то предпочтение отдается закрытым установкам (Koppernock, F., Berichte der ATV Nr. 19, 85, Engelhardt, H., et al., Industrieabwaesser 1978, 1, Lemke, J. R., GWA,

Bd. 25, Aachen 1978, 567, Begert, A., Wiener Mitt., Bd. 24, 1978, Malle, K. G., KA 1980, 511, Mann, T., et al., KA 1988, 799, Hulpke, H., DVWK Schriften 1988, Bd. 85, 159).

18. *Угольные шахты.* Угольный шлам нужно задерживать и использовать. Отстойники для зернистого угольного шлама рассчитываются, как правило, по площади поверхности (см. раздел 5.4.1). Пригодны все типы отстойников, включая шламонакопители (стр. 377) и бассейны инфильтрации (см. раздел 5.14) (Levin, P., et al., Civil Eng. (USA) 1954, 435, Müller–Neuhaus, GWF 1954, 573, Wlb. 1959, 247, Die Abwaesser der Bergbaubetriebe, ZfGW–Verlag, Frankfurt, 1961, Husmann, W., Münchner Beitraege Bd. 11, 1964, 67).

19. *Металлургические заводы.* Особенно вредной является сточная вода, образующаяся в результате абсорбционной очистки доменного газа и содержащая фенол и циан. Здесь с успехом используется *оборотная вода* (см. раздел 6.4), что экономит чистую воду и уменьшает вредность сточных вод (Poehlmann, H., GWF 1954, 37, Techn. Mitt. 1954, 128, Kommunalwirtschaft 1954, 390, Harr, R., Stahl u. Eisen 1954, 1006, Glückauf 1957, 684, Breitling, V., GWF 1960, 73, Montens, A., Kommunalwirtsch. 1960, 394, Wasser, luft u. Betr. 1960, 265). В этом случае говорят о "сухих металлургических заводах" (Schewe, Münch. Beitr. Bd. 11, 1964, 92; Steuer, J., GWA 1986, Bd. 87). Дополнительно додтигается также значительная экономия воды (Moehring, H. G., et al., DVWK–Schriften 1988, Bd. 85, 207).

20. *Коксохимические заводы, газовые заводы, печи полукоксования.* Самым важным здесь является содержание фенола. Об этом см. на стр. 379. Наряду с этим нужно также обращать внимание на цианистый водород (Bischofsberger, W., et al., Techn. wiss. Mitt. der Emscherg. 1960, H. 2). Шлам и смола задерживаются в отстойниках (Wiegmann, Ber. ATV 1952, 81, Prüss, GI 1939, 587, Müller–Neuhaus, Glückauf 1957, 684, Müller–Neuhaus, G., et al., Wasser, Luft u. Betr. 1959, 247). О почвенной обработке сточных вод газовых заводов см. Krüger, W., Wasserwirtsch.–W. t. 1961, 203.

21. *Травильные цехи.* Волочильные станы, прокатные цехи и металлообрабатывающие заводы дают большие количества использованных травильных растворов. На городских очистных станциях растворы для протравливания металла мешают сбраживанию ила, если ежесуточный расход кислот больше 2 т на 15 000 городских жителей. Использованные кислотные травильные растворы рекомендуется перерабатывать в соли железа (сульфат железа или хлорид железа) и спускать только промывную воду (Sierp, Technilogie des Wassers 1939, 636, Ber. ATV 1952, 42; Moehle, Staedtereinigung 1942, 22 und 31, Archiv für Wasserwirtsch. 1942, H. 69). Эти соли являются коагулянтами для городских сточных вод (см. раздел 5.5) и для ила (стр. 358). Сульфат железа путем обжига можно переработать в серную кислоту или нейтрализовать с помощью извести (Haucke, Stahl und Eisen 1963, 859).

Соли меди замедляют жизнедеятельность микроорганизмов в биологических очистных сооружениях (стр. 375). Эксплуатация метантенков невозможна, если содержание меди в иле превышает 1 %. Соли легко рекуперируются (Sierp, Vom Wasser 1939/40, 230, Ber. ATV 1952, 42).

О нейтрализации кислот см. стр. 376 (Hoak, R. D., Sew. W. J. 1945, 940, Heise, L. W., et al., Sew. a. Ind. W. 1955, 190). Сильного загрязнения сточных вод можно избежать, если металлические изделия не протравливать химическим путем, а механически удалять с них окалину.

22. *Металлообрабатывающие заводы, нанесение гальванических покрытий, плакирование.* Наряду с содержанием солей металлов и кислот сточные воды особенно сильно загрязнены ядовитым цианом. Уже в процессе производства нужно осуществлять разделение сточных вод на циансодержащие, хромсодержащие и прочие. Сточные воды, содержащие циан, приводятся к водородному показателю 10,5 путем добавления раствора едкого натрия. После этого при добавлении гипохлорида натрия или газообразного хлора достигается

окисление ядовитого цианида до цианата. Сточные воды, которые содержат шестивалентный хром, доводятся до pH = 2,5 посредством добавления серной кислоты. Бисульфит натрия или диоксид серы приводят шестивалентный хром к его трехвалентной форме. Для дальнейшей обработки обезвреженные сточные воды смешиваются, и их водородный показатель доводится до 8,5. В этом случае содержащиеся в них ионы металлов осаждаются в виде гидроксидного осадка (см. раздел 5.5) (Ridenour, G. M., Sew. W. J. 1948, 1059; Corcoran, A. N., Sew. a. Ind. W. 1950, 228, Sierp, Ber. ATV 1952, 42, Kraffczyk, K., Metall-Reinigung und Vorbehandlung 1963, 39, Bucksteeg, W., Spezielle Probleme der galvanischen Industrie, Metall-Reinigung-Vorbehandlung, H. 10, 181, Bucksteeg, W., Berichte ATV H. 16, 1963, 93, Ammon, v., Münchner Beitr. Bd. 11, 1964, 11; Hartinger, L., KA 1986, 396; ATV-Merkblaetter M 765, 1988). Незначительные количества циана до 4 мг/л можно устранить в биофильтре (Boehnke, B., Vom Wasser 1965, 291).

С *помощью ионообменников* можно полностью очищать сточные воды, так что становится возможным их повторное использование. Это особенно выгодно для крупных предприятий. Элюаты ионообменников нужно обогащать (Marquardt, K., Wlb. 1972, 317, Brunner, R., Vom Wasser 1972, 195; Hartinger, L., KA 1986, 895). Все это достаточно полно описывает Хартингер в "Справочнике по обработке сточных вод в металлообрабатывающей промышленности" (Hartinger, L., Taschenbuch der Abwasserbehandlung für die metallverarbeitende Industrie, Carl Hanser Verlag, München 1977). На небольших предприятиях можно использовать ионообменные кассеты, которые централизованно регенерируются.

По "Общим предписаниям по очистке сточных вод, Приложение 40" сток заводской очистной установки должен удовлетворять нижеследующим условиям (gemeinsames Ministeriablatt 1989, 518):

Минимальные требования в соответствии с Приложением 40 (фрагмент)

Азот	100 мг/л	Хром VI	0,1 мг/л
Токсичность для рыб в виде		Железо	3 мг/л
коэффициента разбавления GF	6	Медь	0,5 мг/л
		Никель	0,5 мг/л
Кадмий	0,2 мг/л	Цинк	2 мг/л
Свинец	0,5 мг/л	Серебро	0,1 мг/л
Хром	0,5 мг/л	Цианид	0,2 мг/л

Обработку шламов можно производить в централизованных *установках для обезвреживания.* На 100 м^3 промывной воды получается примерно 1 м^3 жидкого шлама с 1 % твердых веществ (Born, R., Industrieabwaesser 1967, 38, GWA 1968, 261, Rincke u Born, Industrieabwaesser 1969, 17, Imhoff, K. R., IWL–Forum 1970, Bd. 1/II, 1, Progress Wat. Tech. Vol. 10, 1978, Nos. 1/2, 419).

23. *Радиоактивные сточные воды.* В связи с развитием атомной энергетики появились радиоактивные сточные воды. Сточным водам при этом нужно достаточно места и времени, чтобы они потеряли свои вредные свойства или передали эти свойства взвешенным веществам, которые затем можно удалить. Речь идет о химическом осаждении, ионном обмене, адсорбции, выпаривании, накоплении в бетонных резервуарах и в соляных рудниках (Gorman, A. E., et al., Sew. W. J. 1949, 63; Sierp, F., GI 1949, 337, Newell, F., et al., Sew. a. Ind. W. 1951, 661, Liebermann, J. A., et al., Proceedings Am. Soc. Civ. Eng. 1954, No. 422, Kumpf, W., et al., H. 2, 2. Aufl. 1960 der Schriftenreihe GWF Wasser–Abwasser, Holluta, Wasser, Luft u. Betrieb 1957, 69, 1958, 12, Wieselsberger, Berichte ATV 1958, 217, Dieterich, B., Ber. ATV 1958, 365, Krawczynski, GWF 1959, 906, Dieterich, B., Vom Wasser 25 (1958), 163, Heitmann, H. G., Vom Wasser 38 (1971), 373, DIN 25416, Teil 1, 1981 u. Teil 2, 1983; Strahlenschutzverordnung Bundesgesetzblatt 1976, Nr. 125; Kruger, P., JASCI 1982, EE 1, 1). Воздействия на донные отложения в водоемах исследует Мундшенк (Mundschenk, H., DGM 1985, 134).

24. *Синтетические моющие средства (детергенты).* Моющие средства, применяющиеся в текстильной промышленности и домашнем хозяйстве, сильно затрудняют эксплуатацию очистных станций (Sperry, W. A., Sew. a. I. W. 1951, 1469; Manganelli, R., Sew. a. I. W. 1952, 1057; Dieterich, B., GWF 1955, 391, Winter, W., Wasserwirtsch.–W. t., 1959, 15). Затрудняющее очистку вспенивание в аэротенках биологических очистных станций можно подавлять при помощи опрыскивания водой (Imhoff, GWF 1952, 512, Wastes Eng. 1952, 414, Sierp, F., u. Thiele, H., Vom Wasser 21, 1954, 197, Lockett, W. T., Jour. a. Proc., The Inst. of Sew. Pur. Part 3, 1956, 225, Husmann, W., Berichte ATV 1960, H. 12, 53, Flett, L., Wasser, Luft u. Betr. 1961, 21, Eckenfelder, W. W., et al., Water a. Sew. W. 1961, 347). В метантенках могут достигаться концентрации детергентов более 1 %. В этом случае начинается замедление метанового (анаэробного) брожения. Подавить вредное воздействие можно путем добавления длинноцепных алифатических аминов (Swanwick, J. D., JIWPC 1969, 190, Wood, A. A., JIWPC 1970, 675).

Еще более нежелательным и вредным, чем на очистных станциях, является вспенивание моющих средств в водоеме и в районе водопроводных насосных станций. Обычные очистные станции малоэффективны против жестких детергентов. Однако от хорошо работающей установки с активным илом можно ожидать задержания примерно половины пенистых веществ. Этот эффект можно усилить, если вспенивание поддерживать, после чего пену улавливать и уничтожать или использовать (McGauhey, P. H., et al., Sew. a. I. W. 1959, 877, Bucksteeg, W., et al., Industrieabwaesser, Mai 1961, Komm.–Verlag, Düsseldorf). Полностью же избежать такого нежелательного вспенивания можно только при условии, что используются только те моющие средства, которые можно легко разрушать биологическим путем на очистных станциях или в водоеме, как это имеет место при использовании мыла (Stuewer, Kommunalwirtschaft 1959, 355, Berichte ATV 1960, H. 12, 354, Balke im Bundestag, Korrespon-

denz Abwasser, Mai 1960, 3, Malz, F., Industrieabwaesser–Dtsch. Komm.–Verlag, April 1960, 58, Reploh, H., GI 1960, 210).

Мягкие детергенты, предписанные для использования в ФРГ с 1964 года, разрушаются в биологических установках на 80 % (Husmann, W., GWF 1966, 39, und JIWPC 1968, 80, Malz, F., Int. Abw. Konf. Jerusalem 1972, A/16/12, Pergamon Press, Dinkloh, L., GWA 1982, Bd. 50, 73).

25. *Минеральное масло* всегда и везде нужно рекуперировать ("Дискуссия в Баден–Бадене", Aussprachetagung Baden–Baden, GWF 1959, 203, Husmann, Informationsblatt Nr. 2 der Foederation Europaeischer Gewaesserschutz, Juli 1959, 29, Wagner, H., ebenda 33, Holluta, J., Vom Wasser 1960, 198). Все отстойники очистной станции должны эксплуатироваться как маслоуловители (см. раздел 5.3) (Meinck, F., Berichte ATV 1960, H. 12, 70, Rincke, G., Vereinigung Dtsch. Gewaesserschutz, H. 7, 1961, 7, Vater, W., GWF 1964, 1045). В портах вытекающее масло можно локализовать с помощью пневматических заслонов. Для этого в порту прокладываются воздухопроводные рукава, и по ним подается воздух в таком количестве, чтобы на поверхности возникла воздушная струя в 0,3 м/с (Stehr, E., Münchner Beitraege, Bd. 9, 1967, 175; Krolewski, H., Die Wasserwirtschaft 1966, 333). В проточных водоемах масло можно удалять посредством устройства погруженных перегородок и разработанного Граббе устройства для отвода нефти с поверхности (Koenig, H. W., und Rincke, G., Wasser und Boden 1966, 159). Оставшиеся количества масла можно устранять разными способами (Boye, E., GWF 1966, 159, Klein, K., Deutsche Gewaesserkundl. Mitt. 1970, 73). Устройство, сигнализирующее о наличии масла в воде, описывает Граббе (Grabbe, F., Industrieabwaesser 1968, 45). Меры защиты на магистральных нефтепроводах см. у Базана (Bazan, A., et al., Gewaesserschutz in Bayern, Harbecke Verlag München 1966, 89).

Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов можно полностью

очистить способом с активным илом, если их предварительно обработать солями железа и добавить фосфаты, как это делается при очистке от фенола (стр. 382) (Emde, GWF 1963, 94, Huber, L., Münch. Beitr. Band 11, 1964, 146, Wasser- und Abwasserforschung 1968, 180, Blokker, P. C., GWF 1972, 356; ATV-Arbeitsblatt A 701, 1986; Almeida, S. A. S., Wat. Sci. Tech. 1988, Nu. 10).

26. *Охлаждающая вода.* Для современных тепловых электростанций при охлаждении свежей водой на каждые 100 МВт мощности требуется около 4 $м^3/с$ охлаждающей воды. При этом температура охлаждающей воды повышается на 6 °. Это значение допустимо лишь в самых крайних случаях. Таким образом "нагреваются" почти все реки. Для защиты рыб и животных, являющихся кормом для рыб, температуру воды, сбрасываемой обратно в реку, нужно ограничивать 28 ... 30 °С. Контроль осуществляется с помощью самописцев. Максимальная температура в реке должна составлять 26 – 28 °. Возможен предварительный расчет (Flinspach, D., et al., Wasserwirtschaft 1972, 127). Средняя скорость охлаждения составляет 1 кВтч/($м^2$•°С•сут). Это действительно для рек с регулируемым подпором и озер. В быстротекущих реках достигаются более высокие значения.

Может допускаться только ограниченный нагрев. Башенные градирни используются для охлаждения сбрасываемых вод или включаются в замкнутый цикл. Потери воды составляют 0,5 - 0,8 $м^3/с$ на каждые 1 000 МВт электрической мощности (Krolewski, H., Zeitschrift f. Binnenschiffahrt Nr. 3, 1975, Marotz, G., et al., Wasserwirtschaft 1985, 5).

При нагреве снижается растворимость кислорода, а, с другой стороны, ускоряются процессы разложения (Knoepp, H., Sonderheft Deutsche Gewaesserkundl. Mitt. 1969, 63). Поэтому может возникнуть недостаток кислорода. В этом случае реку нужно искусственно аэрировать (раздел 6.3). Воздействие на водоснабжение рассматривает Хаберер (Haberer, K., GWF 1973, 565).

Нужно избегать недопустимых нагрузок на водоемы при обработке отходящего воздуха тепловых электростанций (удаление серы и азота) (Krolewski, H., VGB Kraftwerkstechnik 1985, 801, und Wasser u. Boden 1986, 550).

5.11. Дождевая вода

Если городская канализация сооружена по *раздельной системе* с двумя раздельными сетями, то сеть, используемая при сухой погоде, пропускает очень мало дождевой воды. Поэтому колебания по притоку на очистную установку незначительные, и вся поступающая сточная вода может пропускаться через очистную станцию также и в дождливую погоду. Сеть ливневой канализации, как правило, не имеет очистной станции. Однако иногда и для этой сети при раздельной системе канализации требуются отстойники. Они работают с длительными перерывами, и периодичесли их нужно отключать.

При *общесплавной системе* канализации устраиваются ливнеспуски, через которые может пропускаться смешанная вода в случае, если превышаются принятое для сети разбавление или критический модуль дождевых осадков (см. раздел 1.3.2). Раньше полагали, что на очистных станциях нужно уделять внимание только притоку в сухую погоду, так как сточная вода во время дождя настолько разбавляется, что ее не нужно очищать. Однако сегодня общеизвестно, что смешанная вода при дожде сильно загрязнена (Krauth, Kh., Stuttgarter Ber. zur Siedl. Bd. 45, 1971). Это объясняется тем, что в канализационных сетях в сухую погоду, как правило, образуются отложения осадка, которые смываются в дождь.

Уже несколько десятилетий в Англии требуется предусматривать биологическую очистку для трехкратного по сравнению с сухой погодой притока и шестикратный расход подавать для обработки в отстойнике. В ФРГ исходят из того, что ливнеспуски, в соответствии с инструкцией ATV–Arbeitsblatt A 128, рассчитываются по критическому модулю дождевых осадков, и во время дождя в очистную уста-

новку попадает не больше удвоенного количества притока в сухую погоду. После дождя опорожняют уравнительные резервуары, распределенные по канализационной сети. Расход воды, поступающей в очистную установку, регулируется до двукратного притока в сухую погоду. Смешанная вода должна очищаться биологически. В старых канализационных сетях это условие не везде выдерживается. В этих случаях очистным установкам приходится принимать большие количества воды.

Отстойники, рассчитанные только на приток в сухую погоду с временем протекания, например, 2,0 часа, в дождливую погоду могут кратковременно выдерживать пятикратный приток сточных вод. Производительность отстойников, рассчитанных на приток в сухую погоду, во время дождей можно повысить, подняв в них уровень воды. Для этой цели на стоке оборудуются два водослива: первый для сухой погоды и второй, более высокий, для дождливой погоды (рис. 5.76). В запорном устройстве второго водослива сделаны регулируемые отверстия, которые пропускают только то количество воды, которое характерно для сухой погоды с незначительной добавкой. В начале дождя объем между двумя уровнями воды служит для приема избытка сточных вод. Если дождь идет долго, то вступает в действие второй водослив, и отстойник работает с увеличенным проточным поперечным сечением до тех пор, пока снова не уменьшится количество воды. Такого же эффекта можно достичь и с помощью прорезей или отверстий в перепускной стенке. В аварийных случаях этот объем можно использовать для улавливания масла.



Рис. 5.76. Двойной водослив в отстойнике

Если в отстойнике нужно обрабатывать большие количества дождевой воды, например, соответствующие шести- или восьмикратному разбавлению, а также если нужно повысить эффект очистки, то сооружают специальные *отстойные резервуары для ливневых вод* (см. пример 7 раздела 5.16). Они вводятся в эксплуатацию только в дождливую погоду, и отложившийся в них осадок после дождя выпускается или перекачивается вместе со всей водой в приток очистной станции. При кратковременном дожде эти резервуары действуют как *отстойники для приема избытка сточных вод в период дождя* (см. раздел 1.4); и тогда речь вообще не идет о стоке через ливневыпуск. Это дает особые преимущества. Они состоят в том, что предотвращается сброс сильно загрязненной смешанной воды, образующейся в начальный период дождя.

По конструкции любой отстойник можно использовать как отстойный резервуар для дождевых вод. Обычно сооружаются однотипные общепринятые отстойники, чтобы обеспечить их взаимозаменяемость. Так как они заполняются только во время дождя, они должны быть надежны относительно подпора грунтовых вод.

Хороший эффект при эксплуатации отстойных резервуаров для дождевых вод достигается, если они принимают такое количество воды, которое соответствует двухчасовому притоку в сухую погоду. В этом случае, если отстойник для стока в сухую погоду при дожде испытывает четырехкратную нагрузку, то для дождевых резервуаров ливневой канализации из восьмикратно разбавленного притока остается, соответственно, четырехкратное количество воды по сравнению с поступающей обычно при сухой погоде, а время заполнения при этом в самом неблагоприятном случае составляет 30 минут (пример 7 раздела 5.16).

В Англии обычно сооружаются отстойные резервуары для дождевых вод, имеющие размеры, рассчитанные на 6-, 12-часовый приток сточных вод в сухую погоду. Такие большие резервуары можно использовать также в качестве аккумулирующих емкостей для

приема избытка сточных вод в период дождя (см. разделы 1.4 и 5.4.5).

В Швейцарии отстойные резервуары для дождевых вод рассчитываются на время протекания 10 минут при модуле дождевых осадков 15 л/(с • га) (см. раздел 1.3.2). Через эти отстойные резервуары направляются ливневые воды при модуле дождевых осадков до 40 л/(с • га). При больших модулях ливневые воды направляются в обводные каналы.

На некоторых очистных станциях предпочитают поддерживать резервуары для ливневых вод (как и все другие отстойники) в эксплуатационном режиме, не опорожняя их с помощью насосов. Если, например, в отстойниках для приема сточных вод в сухую погоду время протекания составляет 1,5 часа и кроме них имеются в распоряжении отстойные резервуары таких же размеров для ливневых вод, то время протекания в сухую погоду увеличивается до 3 часов. Это дает определенные преимущества, выражающиеся, прежде всего, в удешевлении и упрощении эксплуатации очистных сооружений. Однако при этом пренебрегают необходимостью полного задерживания загрязненной воды, поступающей после кратковременных ливней. Кроме того существует опасность, заключающаяся в том, что при длительном времени протекания в сухую погоду может появиться неприятный запах из отстойников. Об эксплуатации отстойных резервуаров для ливневых вод сообщает Аннен (Annen, G. W., KA 1986, 204).

Отстойные резервуары для ливневых вод увеличивают на 25 % количество осадка, задержанного на очистной станции (см. раздел 5.9.3). Примерно в такой же пропорции нужно увеличивать сооружения для обработки осадка (см. раздел 5.9.9) и оборудование для его обезвоживания (стр. 360).

Решетки для задержания отбросов из сточных вод на ливнеспусках не дают большого эффекта. Они действуют, главным образом, только как измельчительные установки. Однако иногда этого оказыва-

ется достаточно, так как задерживаются и не уносятся дальше крупные отбросы. Если перед ливнеспусками устанавливаются решетки или сита, то их снабжают автоматическими очистителями и обеспечивают, чтобы они в аварийном случае автоматически освобождали весь проход для воды.

5.12. Домовые отстойные установки

Бывают случаи, когда домовладельцу самому приходится решать вопрос очистки сточных вод, когда ему нужно решать задачу отведения фекалий, мочи, кухонной воды и моечной воды от жильцов. В простейших условиях строят уборную без приспособлений слива, а кухонную воду и моечную воду отводят в сточную яму.

Такие уборные можно сооружать простейшим способом, если не нужно уплотнять вырытые под них ямы (Fair und Imhoff, Trokkenaborte und Hausklaeranlagen in Nordamerika, GI 1941, 79). Яму накрывают сверху, а дно и боковые стенки делают водопроницаемыми. Тогда в яме собираются только фекалии, а моча просачивается. Считается, что количество фекалий за год для взрослого составляет 40 л/чел, а для ребенка – половину этого количества. Можно обходиться небольшими ямами. Торфяная засыпка может сводить до минимума неприятный запах, исходящий от уборной. Из-за этого увеличивается количество остатков.

Труднее приходится, если яму нужно уплотнять по санитарным соображениям, например, для защиты близлежащих колодцев питьевой воды. В этом случае моча также остается в яме, и нужно учитывать дополнительное количество жидкости 1,5 л/чел за сутки или 45 л/чел за месяц. Если яма опорожняется всего два раза в год, то она должна иметь емкость из расчета 300 л/чел.

Это решение нельзя считать удовлетворительным, если дом подключен к водопроводной сети. В этом случае необходимо оборудовать санузел со сливом. При наличии слива возрастает потребность в воде, и ее количества становятся настолько большими, что опорожнением ямы и вывозом нечистот уже нельзя обойтись.

Обычно (если это разрешено) в этом случае делается водослив из ямы в уличную сточную канаву или в уличную канализационную трубу. Эта яма с водосливом и является основной формой *домовой отстойной установки* (DIN 4261).

Там, где такие проблемы касаются многих и дома находятся недалеко друг от друга, задачей общины является сооружение не только канализационной сети, но одновременно и общей отстойной установки, чтобы не строить большого количества домовых отстойных установок.

Общую отстойную установку нельзя заменять домовыми отстойными установками. Строительство и эксплуатация домовых отстойников обходится намного дороже, они создают неудобства жильцам каждого отдельного дома, они могут угрожать здоровью людей и не обеспечивают надежную защиту вод. Самым большим их недостатком является то, что их не обслуживают специалисты. При этом нельзя рассчитывать даже на отвод ила. Когда же, в конце концов, принимается решение о сооружении общей отстойной установки, домовладельцы вынуждены тратить деньги на устранение своих домовых отстойников и на прокладку новых трубопроводов к общему отстойнику. Решение администрации устранить, наконец, эти недостатки и сооружать одну общую отстойную установку, запретив домашние отстойники, является вполне оправданным и своевременным.

В принципе, домовые отстойные установки должны сооружаться только там, где нет общей канализационной сети или же в случае, когда отдельный дом расположен очень далеко от такой сети, т.е. их нужно сооружать для отдельно стоящих загородных домов, домов отдыха, исправительных домов, фабрик.

Известные автору публикации о домовых отстойных установках – Teschner, Abwasser–Hausklaeranlagen, W. Ernst & Sohn, Berlin 1950, W. C. Schubert, Kleine Klaeranlagen, VEB–Verlag Technik, Berlin, 2. Aufl. 1958, und Bauverlag, Wiesbaden 1958, und Poenninger, R., Ab-

wasserbeseitigung in kleinen Verhaeltnissen, Verlag d. Oest. Abwasserrundschau, Wien 1964. В новых ведомственных директивах ФРГ имеется стандарт DIN 4261. Опытом эксплуатации установок по этому стандарту делится Хесс (Hess, F., Münch. Beitr. Bd. 10, 1963, 23). Хорошие рекомендации дают американцы – Individual Sewage Disposal Systems. Reprint 2461, Publ. Health Service 1949, Studies on Household Sewage Disp. Syst., Cincinnati 1950, McKenzie, V. G., Jour. Pub. Health 1952, 411, а также Salvato, J. A., Environmental Sanitation, John Wiley, New York 1958, Coulter, I. B., et al., Sew. a. I. W. 1959, 900, Thomas, A., et al., JWPCF, Feb. 1960, 113. "Индивидуальные установки для очистки сточных вод", директивы Швейцарского союза специалистов по очистке сточных вод, Берн, 1965; Bernhart, A. P., Treatment and Disposal of Wastewater from Houses by Soil Infiltration and Evapo–transpiration, University of Toronto Press 1973.

Так как количество сточных вод трудно предсказать и их распределение в течение суток также не поддается расчету, то домовые отстойные установки рассчитывают по числу жителей. Для школ и предприятий можно принимать 1 житель = 10 школьников = 2 служащих или гостя, а для летних ресторанов – 1 житель = 10 посадочных мест. Дождевая вода не должна попадать в такие домовые отстойные установки. Если это происходит, то сильный дождь может смыть в сток накопившийся осадок.

Существуют нижеследующие типы домовых отстойных установок:

1. *Поглощающие колодцы.* Колодцы, как и люфтклозеты, имеют прочную крышку, а дно и нижняя часть стенок являются проницаемыми для жидкостей. Крышка съемная или же имеет люк. Для предварительной очистки сточных вод необходима выгребная яма. Необходимая площадь водопроницаемой поверхности дна и стенок может составлять 1 $м^2$/чел. Более подробно об этом см. пункт 4 "Подземное орошение".

2. *Выгребные ямы* (септиктенки, раздел 5.7.12). Они соответствуют

уже упоминавшимся выгребным ямам со сливом. Обычно они выполняются как показано на рис. 5.77, с двумя или тремя камерами, чтобы осадок задерживался, главным образом, в первой камере и меньше попадал в сток. Перегородки имеют отверстия или щели ниже уровня воды. Обычная вместимость – 300 л/чел. Ежедневный расход воды 150 л/чел соответствует двухдневной полезной емкости. Минимальная емкость – 3 000 л. При этом предполагается, что яму опорожняют два раза в год. Исходя из этих условий, яма не нуждается в специальном обслуживании. Она проста и, как правило, достаточна, особенно если ее сделать по возможности большой. Выгребные ямы вместимостью 1 500 л/чел можно рассчитывать как "камеры сбраживания" "биологических" очистных сооружений (см. раздел 5.7.12). В этом случае их минимальная емкость – 6 000 л. О результатах эксплуатационных испытаний сообщают Отис (Otis, R. J., Journal EED 1976, 175) и Швайцер (Schweizer, V., KA 1983, 473). Подлежащий вывозу ил лучше всего использовать в сельском хозяйстве. Выпуск в близлежащую канализационную сеть приводит к сильным залповым нагрузкам в очистной установке. При отсутствии земляного хранилища содержимое ассенизационных автомобилей нужно разгружать в подогреваемые камеры сбраживания (Imhoff, K. R., GWA, Aachen 1971, Bd. 4, 141, Imhoff, K. R., und Bucksteeg, K., Ber. d. ATV, Nr. 34, 1982, 233 und 241, ATV–Arbeitsblatt A 123: Behandlung und Beseitigung von Schlamm aus Kleinklaeranlagen; Klauwer, E., et al., KA 1982, 319).

3. *Двухъярусные отстойники.* Еще применяются небольшие Эмшер-колодцы (стр. 417). Поверхностям сползания в отстойнике придается наклон 1,4 : 1. Щели между отстойником и камерой сбраживания делают шириной 12 см. Отстойная камера рассчитывается на 30 л/чел, минимальная емкость – 1 500 л. Камера сбраживания рассчитывается на 60 л/чел. Минимальная емкость – 3 000 л. К отстойной камере и камере сбраживания нужно добавить еще камеры для плавающего ила, рассчитанные на 30 л/чел, минимальная

емкость которых составляет 1 500 л. Двухъярусные домовые отстойники лишены характерного для крупных городских установок преимущества, заключающегося в поддержании стока "свежим", так как сточные воды поступают очень неравномерно. Кроме того вся верхняя отстойная камера легко пополняется плавающими веществами. Так как нет все же возможности поддерживать сбрасываемый сток "свежим", то правильнее в таких установках притекающие сточные воды с плавающими веществами сначала пропускать через короткий отрезок камеры сбраживания, чтобы надежно задерживать там плавающие вещества, как это представлено на рис. 5.78. Для установок на 50 жителей и меньше в принципе следует рекомендовать только одноярусные выгребные ямы по п. 2 (Kohlschütter, H., GI 1948, 130, Heins, GI 1952, 326, Baldinger, F., GI 1956, 40).

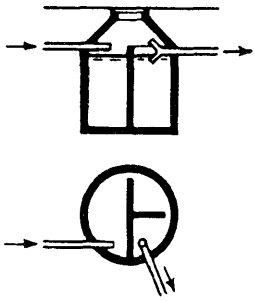


Рис. 5.77. Выгребная яма

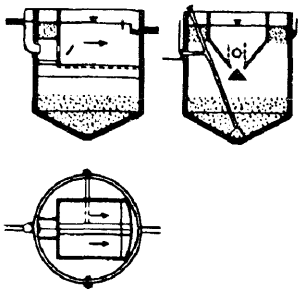


Рис. 5.78. Эмшер-колодцы для небольших установок

4. *Подземное орошение* (очистка сточных вод посредством фильтрации) – это наилучший способ очистки при небольших количествах сточных вод. Однако он возможен только при водопроницаемом грунте и большой глубине залегания грунтовых вод и только при наличии огорода или сада. По сравнению с поглощающими колодцами (п. 1) подземное орошение имеет то преимущество, что оно более надежно и при этом меньше загрязняются грунтовые воды.

При таком способе очистки сточные воды по специальным трубам, проходящим вблизи поверхности земли, распределяются на большой площади и при опускании до грунтовых вод биологически очищаются. Для предварительной очистки используется выгребная яма (рис. 5.77). При небольших установках достаточно естественного изменения притока, чтобы очистить трубы посредством промывания. При более крупных установках нужна какая-нубудь автоматическая промывка, например, с помощью сифонной камеры. Промывной резервуар должен иметь размеры, соответствующие емкости всех промываемых трубопроводов.

При этом способе очистки используются керамические трубы диаметром 10 см. Стыки остаются открытыми и на 2/3 окружности перекрываются толем. Траншеи для труб имеют ширину 0,5 м и глубину 0,6 ... 0,9 м. Трубы засыпаются гравием или щебнем. При крупных установках прокладывается уплотненный керамический магистральный трубопровод. От него ответвляются отводные трубы. При наклонном участке магистральная ветка прокладывается по наибольшему уклону. Она прерывается колодцами, от которых ответвляются отводные трубы, проходящие почти горизонтально. Расстояние между отводными трубами – 2 ... 3 м. Они прокладываются с уклоном от 1 : 400 до 1 : 500. Уклон не может быть больше, так как при гидравлическом ударе трубы должны одновременно наполняться и затем опорожняться посредством просачивания. В крупных установках промываемая сеть состоит из двух частей, которые эксплуатируются попеременно. В конечных точках к оросительным трубам присоединяются воздушные трубы.

Длина оросительных труб по рекомендациям стандарта ФРГ составляет:

при гравийном и песчаном грунте	10 м/чел
при супеси	15 м/чел
при песчаной глине	20 м/чел

Закупорку при подземном орошении описывают МакГохи и др. (McGauhey, P. H., et al., JWPCF 1964, 593). О степени очистки сообщают Шудель и др. (Schudel, P., et al., Gas–Wasser–Abwasser (Schweiz) 1988, 450).

5. *Дрены с песчаными фильтрами* (дренажные грунтовые фильтры) можно наполнять песком с величиной зерен от 0,3 до 0,5 мм (см. раздел 5.7.3) при толщине слоя 0,6 м. На дне укладываются слой гравия толщиной 0,15 м и дренажные трубы. Такой же слой гравия с оросительными трубами укладывается на слое песка. Длина дрены должна составлять 6 м/чел.

6. *Биофильтры* (см. раздел 5.7.5). В средних по размеру установках, имеющих достаточный уклон или не вызывающих сомнений в том, что для них не требуются насосы и механизмы, можно в виде исключения применять также биофильтры (DIN 4261, Teil 2). Биофильтры рассчитываются на объемную нагрузку по $БПК_5$: </= 0,15 кг $БПК_5$/($м^3$•сут), минимальный объем – 2 $м^3$. Погружные биофильтры рассчитывают на удельную нагрузку 4 г $БПК_5$/($м^2$•сут). Минимальный размер – 45 $м^2$.

7. *Установки с избыточной аэрацией* с объемными нагрузками </= 0,25 кг $БПК_5$/($м^3$•сут) и иловыми нагрузками </= 0,05 кг $БПК_5$/(кг сухого веещества • сутки).

8. *Другие способы очистки.* Люди, занимающиеся садоводством или огородничеством, могут с успехом использовать компостные борозды (см. раздел 4.7), которые регулярно увлажняются сточными водами и удобряются ими. В борозды поступают все отходы из дома и сада.

Больницы, подключенные к канализационной сети, снабжаются дезинфекционными установками, которые работают с известью, хлорной известью, газообразным хлором или термически. Стандарт ФРГ DIN 19520, апрель 1959 г, Liebmann, H., Münchner Beitraege zur Abwasserbiologie Bd. 8, 1970, 163–253.

Для расчета отстойных установок для *мотелей* разработаны собст–

венные принципы, так как залповые нагрузки здесь особенно велики (ATV-Arbeitsblatt A 109, St. Augustin 1983).
Отвод сточных вод из *домов отдыха* и *гостиниц для иностранных туристов* см. ATV-Arbeitsblatt A 129, St. Augustin 1979.

5.13. Малые очистные станции [1)]

При сооружении малых очистных станций можно руководствоваться правилами, указанными для домовых отстойных установок или выбрать соответствующую конструкцию из обычных крупных очистных станций, наиболее простых в эксплуатации. При этом объемы емкостных сооружений всегда рассчитываются с полуторной надежностью по сравнению с крупными установками (см. раздел 5.7). В качестве отстойника подходит как септиктенк, так и Эмшер-колодцы (двухъярусные отстойники). Но их нужно сооружать так, чтобы добиться наибольшей простоты эксплуатации. Пример изображен на рис. 5.78. Здесь притекающая сточная вода сначала проходит через имеющийся в камере сбраживания отсек для отделения плавающих веществ. Малые двухъярусные отстойники сооружаются также вместе с вторичным отстойником биофильтра (Boehnke, B., Münch. Beitr. Bd. 10, 1962, 63, Kommunalwirtsch. 1964, 371).

Примеры для барачного лагеря на 220 человек со смывными санузлами. Количество сточной воды = 150 л/(чел•сут) = 150 • 220 : 1 000 = 33 $м^3$/сут. Пиковая нагрузка днем = 33 : 10 = 3,3 $м^3$/ч = 1 л/с. Дождевая вода отводится отдельно.

Пример 1. Выгребная яма с отстойным эффектом (стр. 416). Объем камеры = 300 л/чел = 300 • 220 : 1 000 = 66 $м^3$.

Пример 2. Выгребная яма с биологическим эффектом (стр. 416). Объем камеры = 1 500 л/чел = 330 $м^3$.

Пример 3. Двухъярусный отстойник (Эмшер-колодец по рис. 5.78).

[1)] WHO: Appropriate technology for the treatment of wastewaters for small rural communities, Euro Reports and Studies 90, Lyon 1982; ATV-Hinweis H. 254, 1986.

Отстойная камера 30 л/чел = 30 • 220 : 1 000 = 6,6 $м^3$. Время протекания = 6,6 : 3,3 = 2,0 ч. Камера сбраживания ила 60 л/чел = 60 • 220 : 1 000 = 13,2 $м^3$.

Пример 4. Биофильтр (раздел 5.7.5). В качестве первичного отстойника используется двухъярусный отстойник (рис. 5.78). Удельная нагрузка биофильтра (при слабой нагрузке) – 5 чел/$м^3$. Объем камеры 220 : 5 = 44 $м^3$, глубина – 1,7 м, площадь 44 : 1,7 = 26,0 $м^2$, диаметр = 5,8 м, бетонное дно с уклоном 1 : 20. Дно, обеспечивающее аэрацию, из кирпича, радиальная кладка толщиной в полкирпича со стальными лентами. Снизу по кругу отверстия 6/12 см для воздуха и воды. Вращающийся ороситель. Перед ним опрокидывающаяся бадья на 100 л. При пиковой нагрузке опрокидывается каждые 100 : 1 = 100 с = 1,7 мин.

Пример 5. Поля фильтрации (раздел 5.7.3). В качестве первичного отстойника используется двухъярусный отстойник (рис. 5.78). Предполагается песчаный грунт и глубокое залегание грунтовой воды, удельная нагрузка – 2 000 чел/га = 5 $м^2$/чел. Площадь = 220 : 2 000 = 0,11 га = 1 100 $м^2$. Нагрузка по сточным водам = 33 : 0,11 = 300 $м^3$/(га•сут) = 300 • 365 : 10 000 = 11 м/год. Четыре фильтрующие карты по 1 100 : 4 = 275 $м^2$ (по 10 × 27,5 м). Каждая карта каждые двое суток получает 33 : 2 = 16,5 $м^3$. Высота подпора = 16 500 л на 275 $м^2$ = 60 л/$м^2$ = 6 см. Аккумулирующий резервуар воспринимает нагрузку = 16,5 $м^3$, глубина = 0,3 м, площадь = 16,5 : 0,3 = 55 $м^2$ (10 × 5,5 м). Отвод стока через дренажные трубы диаметром 10 см, глубина заложения — 1 м. Обслуживание: в полдень и вечером содержимое аккумулирующего резервуара выпускается на карты.

Пример 6. Подземное орошение (стр. 417, 418). Предполагается песчаный грунт и глубокое залегание грунтовых вод. Для предварительной очистки – выгребная яма по примеру 1. Аккумулирующий резервуар 33 : 2 = 16,5 $м^3$, глубина = 0,3 м, площадь = 16,5 : 0,3 = 55 $м^2$ (10 × 5,5 м). Нагрузка на единицу площади орошаемой местности (пашни) – 500 чел/га. Площадь = 10 000 : 500 = 20 $м^2$/чел =

= 20 • 220 = 4 400 м^2 = 0,44 га. Площадь (длина 100 м, ширина 44 м) разделена на две половины по 100 × 22 м. Две подводящие трубы – 30 см, уклон – 1 : 300, подача – 50 л/с при скорости 0,7 м/с. Через одну трубу аккумулирующий резервуар опорожняется за 16,5 • 1 000 : 50 = 330 с = 5,5 мин. Отводные трубы расположены поперек горизонтально, диаметр – 10 см, длина – 22 м, глубина – 0,5 м, обложены гравием, стыки перекрыты толем. Необходимая длина труб 10 м/чел = 220 • 10 = 2 200 м на расстоянии 2 м (2 • 50 • 22 = 2 200 м). Концы ответвляющихся труб соединены с двумя воздухопроводами диаметром 20 см с пятью вентиляционными шахтами по 20 см. Вместимость отводных трубопроводов – 8 л/м, вместимость всех трубопроводов одной части (половины) площади – 1 100 • 8 : 1 000 = 8,8 м^3, кроме того подводящая труба длиной 100 м на 71 л = 7,1 м^3, вместе это составляет 8,8 + 7,1 = 15,9 м^3. Таким образом, в трубопроводах вмещается как раз одно заполнение аккумулирующего резервуара (16,5 м^3).

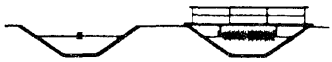
Обслуживание: ежедневно в полдень и вечером содержимое аккумулирующего резервуара сливается на одну половину площади, если установлен автоматический сифон; каждую неделю, изменяя положение заслонки, меняют рабочую половину.

Пример 7. Биологические очистные пруды (раздел 5.7.10). Прудотстойник: вместимость – 0,5 м^3/чел. 220 чел = 110 м^3, глубина – 1,50 м, площадь – 110 : 1,50 ~ 75 м^2, ширина – 5 м, длина – 15 м. Неаэрируемые очистные пруды: площадь – 10 м^2/чел • 220 чел = 2 200 м^2. Выбирают два пруда, расположенные один за другим, по 1 100 м^2 и глубиной 1 м.

Пример 8. Спиральные лотки (см. раздел 5.14). В качестве первичного отстойника используется двухъярусный отстойник (рис. 5.78). Неглубокие каналы на местности длиной 600 м, ширина потока воды в канале 20 см, глубина воды 5 см. За ними копаный (земляной) резервуар площадью 20 м^2 для улавливания вымытой грибковой массы.

Пример 9. Окислительные каналы на 600 жителей. Требующийся объем 600 • 0,3 = 180 м^3, глубина канала до уровня воды = 1 м. Откосы укрепленные – 1 : 1,5, ширина дна – 0,65 м. Поперечное сечение воды – 2,15 м^2, длина канала 180 : 2,15 = 85 м. Длина щеток – 1,5 м (рис. 5.79). Кроме решетки никакой предварительной очистки. Сточная вода аэрируется с помощью щеток и циркулирует со скоростью 0,3 м/с. Активный ил осаждается в воронкообразном вторичном отстойнике (рис. 5.18) и перекачивается обратно с помощью винтового насоса. Избыточный ил сгущается и используется в сельском хозяйстве.

Рис. 5.79. Поперечное сечение окислительного канала



Когда в 50-е годы даже для небольших количеств сточной воды требовалась биологическая очистка, то использовались аэрационные установки без предварительного осветления, но с большой длительностью аэрации. Их преимущество — отсутствие неприятного запаха и надежность очистки. В США этот способ называли "продленной аэрацией" (Porges, H., et al., JWPCF 1961, 1260). В Голландии он был введен Пасвеером в виде окислительного канала (Pasveer, A., Bauamt u. Gemeindebau, 1958, H. 3; Kommunalwirtschaft 1960, 364; Oesterreichische Abwasserrundschau 1965, H. 2; Muskat, J., GI 1960, 14; Viehl, K., et al., GI 1963, 260; Kienzle, H., Der Oxidationsgabe, Eigenvertrieb 6140 Bensheim 3, 1977; Muskat, J., KA 1987, 504).

Из рис 5.48 видно, что при уменьшении нагрузки на ил органические составные части активного ила продолжают разрушаться микробами, так что уменьшается количество возникающего избыточного ила. Результаты эксплуатации показывают, что для прохождения одновременно с очисткой сточных вод параллельной стабилизациии ила является достаточной нагрузка на ил </= 0,05 г $БПК_5$/ (г сухого

вещества • сутки) при соответствующем возрасте ила 40 дней. В этом случае ил можно без труда подвергать последующей обработке в иловых прудах или на иловых площадках. Так как в фазе аэрации образовались нитраты, то при недостатке кислорода во вторичном отстойнике выделяются пузырьки азота. При таких условиях ил всплывает и попадает в сток. Поэтому его нужно своевременно отводить и накапливать отдельно.

Следует подчеркнуть, что аэрационные установки с одновременной (параллельной) стабилизацией ила отличаются своей буферностью относительно резких увеличений концентрации. При достаточных размерах вторичного отстойника в определенной степени безболезненно воспринимаются также резкие увеличения количества сточных вод. Так как вода и зимой редко охлаждается до температуры ниже 10 °С, то этот способ одновременной стабилизации можно рассматривать как "обеспечивающий нагрев", подобно тому, как это происходит в гнилостной камере двухъярусного отстойника.

Для расчета очистных сооружений на 500 ... 10 000 жителей, работающих по способу с активным илом с одновременной стабилизацией ила, специальная комиссия ATV "Малые очистные установки" рекомендует нижеследующие расчетные параметры (ATV–Arbeitsblatt A 126, St. Augustin 1987):

Расчетные параметры малых очистных установок

Поступление сточных вод	0,004 л/(чел•с)
Удельная нагрузка	</= 250 г БПК5/(м3•сут)
Содержание ила	</= 5 г сухого вещества/л
Нагрузка на ил	</= 0,05 г БПК5/ (г сухого вещества•сут)
Количество избыточного ила	1 кг сухого вещества/кг снижения БПК5
Удельный расход кислорода	>/= 2,5 кг O2/кг БПК5

В соответствии с этим, если принять 60 г БПК5/(чел•сут), нагрузку на ил 0,05 г БПК5/(г сухого вещества•сутки) и содержание ила 4 г сухого вещества/л, то на одного жителя требуется аэрационная камера емкостью 300 л. Руководствуясь этим параметром, Пасвеер уже рассчитал свои первые окислительные каналы.

Очистные установки, поставляемые сегодня фирмами ФРГ в готовом виде или в виде готовых узлов, описаны в следующих публикациях: Boehnke, B., Kommunalwirtschaft 1964, 171, Berichte der ATV, Typenbauweisen kleiner Klaeranlagen, H. 21, Udo Pfriemer Verlag 1966, Brühne, A., und Mitarbeiter, KA 1966, H. 4 und 5, Kalbskopf et al., GWF 1970, 455, Bischofsberger, W., Stand und Entwicklung von biologischen Kleinklaeranlagen mit Abwasserbelüftung, Münchner Beitraege, Bd. 24, 1973, S. 256, Schaal, H., Betrieb und Ueberwachung kleiner Klaeranlsgen, Berichte der ATV, Nr. 27 (1974), 235, ATV–Arbeitsblatt A 122, Imhoff, K. R., Wiener Mitt. Bd. 22, 1977, Bucksteeg, K., KA 1977, 61; Begert, A., Wiener Mitt. 1985, Bd. 63, Reincke, H., Wasser u. Boden 1988, 248.

Особенно нужно отметить нижеследующее:

а) *Очистная установка Шрайбера.* Она состоит из желоба Эмшера для предварительного удаления осадка, устройства тонкой очистки и гнилостной камеры с подпорной камерой, капельного биофильтра и вторичного отстойника (Lohr, M., GWF 1967, 337).

б) *Очистная установка Дорра.* Эмшер-колодец с горизонтальным дном, горизонтальной перегородкой и скребками.

в) *Аэратор Лурги*, коробчатый резервуар, но без первичного отстойника.

г) *Окислительная очистная установка.* В одной установке объединены аэротенк и вторичный отстойник. Осадок минерализуется при большой продолжительности аэрации (продленная аэрация) (стр. 423).

д) *Полная очистная установка Кеера.* То же, что и в п. "г", но с меньшей продолжительностью аэрации (Kehr, D., GWF 1962, 844).

е) *Погружной биофильтр* по Пёпелю и Хартману (раздел 5.7.6).

ж) *Окислительные каналы* по Пасвееру (стр. 423). Установку с циркуляцией, обеспечиваемой винтовым насосом, и аэрацией посредством разбрызгивания сточной воды описывает Бёнке (Boehnke, GWF 1970, 206, u. Int. Abw. Kon. San Francisco 1970, II–9).

з) *Эссенский резервуар* (рис. 5.80). Малая очистная установка, изготовленная экологическим союзом Липпена, с *аэратором "симплекс"*, с минерализацией осадка при продолжительности аэрации 16 часов и последующей очисткой в течение 5 часов. Вторичный отстойник расположен в виде кольца вокруг аэрационной камеры.

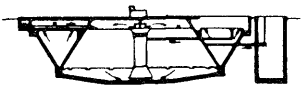


Рис. 5.80. Эссенский резервуар

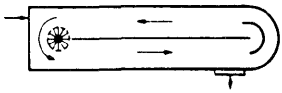


Рис. 5.81. Карусель

и) *Противоточный круглый резервуар* Шрайбера, в котором аэрационная часть располагается вокруг вторичного отстойника.

к) *Карусель* (рис. 5.81). Циркуляционный резервуар, подобный упомянутому в п. "ж". Аэрация и циркуляция здесь осуществляется с помощью одного или нескольких аэрационных рабочих колес, расположенных вертикально (van Schagen, F. P., et al., Wasserwirtschaft 1975, H. 10; Koot, A. C. J., GWA Bd. 25, Aachen 1978, S. 503; Eggert, W., Industrieabwasser 1985, 17). Наряду с конструкциями, указанными в пп. "г, д, ж, з, и, к", имеются и другие типы, которые работают с продленной аэрацией, т.е. с аэробной стабилизацией осадка. Поставляются готовые установки из стали на 50 ... 1 200 жителей.

5.14. Вспомогательные установки

Осуществление организованного водного хозяйства в городе с применением смывных санузлов всегда связано с затратами на городские очистные сооружения. Для всех ступеней очистки существуют приемлемые дешевые вспомогательные решения, которые хотя и связаны иногда с выделением неприятного запаха, но по своему очистному эффекту приближаются к сооружениям с завершенной очисткой (Imhoff, Bautechnik 1936, 351 und GI 1942, 307; Liebhold, D., Wass.wirtsch. 1942, 562; Kunze et al., GI 1942, 374; Sattler, Wasserversorgung von Behelfsheimen, GWF 1944, 47, Steinvender,

Behelfsmaessige Chlorung, GWF 1944, 49, Ortleb, W., GI 1949, 370). Такие дешевые вспомогательные установки полезны в переходные периоды. Настоятельно советуем указанные ниже конструкции применять во временных жилищах, барачных лагерях, в небольших деревнях при затруднениях с деньгами или строительными материалами. Такие вспомогательные установки в некоторых случаях могут полностью заменять малые очистные установки (стр. 413).

Бассейны инфильтрации (рис. 5.82). Они устроены как иловые площадки (стр. 351,352), однако через них протекает сточная вода (Imhoff, Sickerbecken und sparsame Ortsentwaesserung, Techn. Gem. Bl., 5. Juni 1925). Дренажная система секций работает не постоянно, ее держат закрытой, когда в секциях осуществляется процесс осаждения и открывают только тогда, когда осаждение закончено и осадок нужно подсушивать. Таким образом, каждая из секций бассейна может попеременно работать как отстойник, а затем снова как площадка для подсушивания ила. Всегда целесообразно эксплуатировать две расположенные рядом секции, чтобы в первой задерживалась основная масса взвешенных веществ, в то время как вторая обеспечивала бы хорошее осветление. Чтобы оставалось время для сушки и удаления осадка, нужно сооружать по меньшей мере три пары таких секций, как это показывает расчет по количеству воды: например, на рис. 5.82 секции 3 и 4 эксплуатируются, в то время как остальные четыре пустуют. Для угольного шлама такие бассейны делаются глубиной от 2 до 4 м. Для городского осадка можно строить бассейны с очень маленькой глубиной от 0,2 до 0,4 м, так как иначе осадок не высыхает.

Из бассейна инфильтрации выгружают осадок, обезвоженный до состояния, позволяющего грузить его лопатой. Из-за незначительных расходов на строительство и простоты эти бассейны пригодны в качестве временных очистных сооружений на период, когда система канализации города еще находится в стадии разработки. Позже их можно использовать в качестве иловых площадок или как конечную ступень очистных сооружений (пример 1 раздела 5.16).

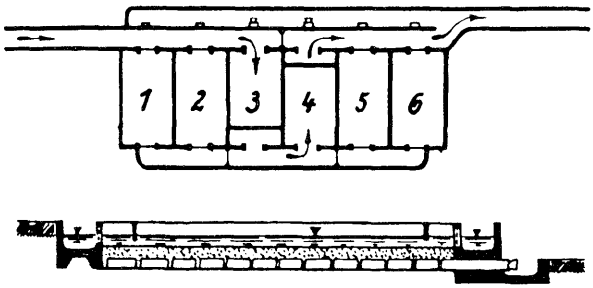


Рис. 5.82. Бассейн инфильтрации

2. *Земляные (копаные) отстойники* по примеру 2 (раздел 5.16) с временем пребывания около 10 часов. Сточная вода остается с малым содержанием кислорода. Осадок скапливатся на дне и уменьшает емкость отстойника. Примерно через 10 месяцев переходят ко второму отстойнику.

3. *Шламонакопители* с большим временем пребывания можно рассматривать как вспомогательные установки в случае, если городской осадок изменяется промышленными сточными водами настолько, что перегнивает очень медленно.

4. *Земляные отстойники в качестве септиков.* От проточных камер сбраживания в качестве городских очистных установок отказались потому, что сток из них содержит сероводород и имеет неприятный запах (цм. раздел 5.7.12). Для вспомогательных установок требования, касающиеся запаха, не столь строги. Кроме того, этот недостаток проявляется тем меньше, чем больше время протекания, т.е. чем дольше продолжается биологическое разложение с помощью гнилостных микробов. Земляные отстойники, которые можно создавать почти в любом месте между земляными валами или в имеющихся на местности впадинах, дают возможность при малых затратах сооружать большие септики со временем протекания в несколько суток. Запах, исходящий с поверхности воды, можно

ослабить, соорудив первичный отстойник со временем протекания около суток, в котором с помощью полупогружной перегородки задерживается всплывший ил, так что через короткое время он образует лишенную запаха плавающую корку и предотвращает выделение запаха. При многодневном (например, шестидневном) гниении сток хорошо осветляется, и органические вещества разрушаются настолько, что устанавливается равновесие между потребностью и поступлением кислорода с поверхности воды или из разбавляющей воды (Weicker, Staedter. 1941, 21, Kunze et al., GI 1942, 374, Steidle, L., Münch. Beitr. Bd. 10, 1963, 145). Сток улучшается, если ежегодно перед наступлением лета удалять гниющий донный ил.

5. В *биологических очистных прудах* (раздел 5.7.10), в отличие от обсуждавшихся септиктенков, нужно с самого начала поддерживать кислородное равновесие и непременно избегать гниения и выделения запаха. Они пригодны в качестве вспомогательных установок для биологической очистки сточных вод, если для этого имеются необходимые площади.

Чтобы бесполезно не загружать пруды гниющим осадком, нужно предварительно очищать подаваемые сточные воды. Это можно осуществлять в земляных отстойниках, описанных выше в п. 2. При достаточных размерах такие пруды можно использовать для рыбоводства. В Германии и Америке все большее распространение находят аэрируемые биологические очистные пруды, а именно, для промышленных сточных вод и для небольших селений.

6. *Поля орошения* (раздел 5.7.2) как вспомогательные установки иногда можно оборудовать в небольших селениях при незначительных затратах на это. При этом целесообразно выдвигать на первый план интересы сельского хозяйства. Особо следует обратить внимание на орошение лугов.

Поля фильтрации (раздел 5.7.3) простейшего типа на песчаном грунте получают тогда, когда на второй ступени двухступенчатого бассейна инфильтрации устанавливают дренажные трубы такого

размера, чтобы они могли отводить весь сток воды. Тогда вода, из которой взвешенные вещества удалены на первой ступени, подвергается поверхностной фильтрации на второй ступени. Шмидт предложил периодически изменять место расположения таких бассейнов инфильтрации на местности, оставляя заиленные и ставшие непроницаемыми для воды площади и устраивая новые бассейны на "чистом" грунте. Таким образом достигается простое сельскохозяйственное использование осадка сточных вод (GI 1948, 234).

Спиральные каналы по Райхле (Reichle, Kl. Mitt. d. Vereins f. W. B. L. 1940, 9) в небольших масштабах можно сооружать на тяжелых почвах. Вода, поступающая в количестве, например, 2 л/с, в течение 1 часа биологически очищается в каналах с шириной дна 20 см при глубине 5 см и длине около 600 м. Витки расположены на расстоянии 3 м, так что на полоске земли между ними можно выращивать овощи. На этой полоске земли используется также появляющийся ил. При этом требуется примерно 1 га на 6 000 жителей. Этот способ очистки может заменять грунтовые фильтры, если грунт непроницаем для воды (стр. 421, 422).

5.15. Порядок проектирования очистных станций

Важнейшим здесь является правильный *выбор места сооружения* очистной станции. При этом нужно учитывать подключение как можно большего количества канализационных сетей, так как это дает возможность компенсировать пиковые нагрузки крупных установок при меньших затратах (см. раздел 4.6). Однако нужно учитывать и расходы на перекачивание по трубопроводам. При этом можно непосредственно сравнить капиталовложения. При расчете эксплуатационных расходов нужно учитывать динамику цен (Annen, G. W., Prog. Wat. Techn. 1980, No. 3, 123). Правильным было бы удвоить сегодняшние эксплуатационные расходы и только после этого производить осмечивание. При сравнении нескольких установок можно учесть качество отводимого стока, влияние на водопри-

емник, увеличение общох затрат, в результате чего может быть сделана окончательная оценка (Imhoff, K. R., Prog. Wat. Techn., 1980, No. 3, 119, ISWW–Karlsruhe, H. 22, 1980, 69).

Степень очистки сточных вод устанавливается по расчетному расходу воды в водоприемнике и его использованию (см. раздел 4.3). Иногда может потребоваться дополнительная очистка сточных вод (см. раздел 5.8.1) или же изменение места выпуска сточных вод.

В разделе 4.6 названы размеры площадей, которые приемлемы для проведения предварительных изысканий. *Участок земли* должен подходить по размерам, грунту, подготовленности (подъезды, вода, река). Нужно также учитывать влияния на ближайшее окружение (см. раздел 4.8.1). Часто очистная установка располагается в пойме реки, так как канализационные сети прокладываются довольно глубоко. В этом случае местность не должна быть затопляемой паводковыми водами. Необходимо документальное подтверждение безвредности паводкового стока для планируемого очистного сооружения.

Кроме того, при заданных характеристиках сточных вод, ближайшего окружения и участка земли нужно определить *оптимальную технологическую цепочку* обработки сточных вод и ила. Нужно произвести ориентировочные расчеты разных вариантов решения, начертить в соответствующем масштабе очистные сооружения, дать нужные сечения и привязать эти разрабатываемые варианты к местности, снабдив их соответствующими отметками (горизонталями). Нужно принимать во внимание обычный сток с обычным составом веществ. Высотное положение сооружений нужно оптимизировать в зависимости от условий устройства фундамента, выемки грунта, затрат на перекачку водоотлива. Для характеристики схемы движения воды и осадка (Q_{min}, Q_{tr}, Q_{max}) нужно представлять гидравлические продольные профили (Dohmann, M., et al., KA 1984, 125).

Подземные сооружения. Речь идет, главным образом, о разных ре-

зервуарах для воды и ила. Вспомогательные установки (стр. 426) сооружаются в виде земляных (копаных) резервуаров с глиняным уплотнением или с тонким бетонным покрытием. Для крупных централизованных установок обычным строительным материалом является железобетон. Можно применять также листовую сталь.

Важно также принять решение о том, какие делать резервуары: с плоским дном и малой глубиной или глубокие. Не всегда оказывается верным представление о том, что резервуары с малой глубиной обходятся дешевле. Очистные станции в большинстве случаев находятся в поймах рек, где при паводке может сильно повышаться уровень грунтовых вод. Поэтому неглубокие резервуары нужно снабжать анкерным креплением или толстым бетонным дном, предохраняющим от всплывания, если дно нельзя снабдить достаточными проходными отверстиями для грунтовых вод. Расход строительных материалов на глубокие резервуары, как правило, меньше. При сооружении глубоких установок можно не обращать внимание на необходимость понижения уровня грунтовых вод, так как это составляет очень незначительную часть строительных расходов.

Глубокие резервуары являются наиболее дешевыми в случае, если их можно сделать круглыми (в плане) и поднять над уровнем земли. Это касается, как правило, камер сбраживания ила, в которые ил закачивается насосом, так как уровень воды в них не связан с определенным уровнем очистного сооружения. *Емкости для осадка* заиливаются в процессе эксплуатации. Их нужно опорожнять один раз в год.

Все сооружения должны быть многосекционными, чтобы при какомлибо нарушении не пришлось отключать всю установку.

Водоснабжение необходимо. Промывные трубопроводы лучше всего подключать с помощью съемных шлангов. Так можно предотвратить отсос сточной воды и потери чистой воды.

При малых установках *наземных сооружений* требуется немного. В качестве производственного помещения и лаборатории достаточно

одной комнаты в диспетчерской или в насосной станции. По-другому обстоят дела с крупными установками. Здесь нужны бытовки, рабочие и санитарные помещения, а также помещения для производственного контроля, мастерская, аппаратная, машинное отделение, трансформаторная, распределительный щит, газоизмерительная станция, система отопления и лаборатория для проведения исследований сточных вод.

Для передвижения сточных вод на очистной станции рекомендуется использовать открытые лотки. Они имеют прямоугольное сечение и выполняются так, чтобы скорость освобожденной от песка сточной воды составляла не менее 0,4 м/с для предотваращения отложения шлама. Перед песколовкой скорость должна составлять не менее 0,6 м/с[x)]. В местах *разделения* лотков, где сточная вода подается в отдельные резервуары, устанавливаются струенаправляющие язычки (рис. 5.83), делящие поток сточной воды на одинаковые части даже при изменении уровня воды. Тот же эффект достигается и с помощью круглого распределительного резервуара (рис. 5.84), который может оснащаться регулируемыми водосливами. Если установки очень большие и сточную воду нужно разделять на много частей, то лучше всего предусматривать большие сечения лотков с малыми скоростями протекания воды, а отложение шлама предотвращать путем вдувания сжатого воздуха во все подводящие лотки. Таким образом, выполнение требования по правильному разделению воды можно совместить с предварительной аэрацией (см. раздел 5.7.7). Равномерное распределение ила по разным отстойникам также необходимо, особенно тогда, когда все отстойники оборудованы одинаковыми камерами для сгущения осадка.

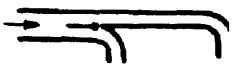


Рис. 5.83. Язычковый распределитель

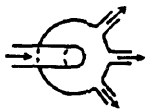


Рис. 5.84. Круглый распределитель

Крупные составляющие шлама задерживаются решетками или раздробляются. При соблюдении этого условия можно перекачивать практически любой осадок. Но если осадок нужно перекачивать на очень большие расстояния, то лучше дать ему перед этим перегнить. При централизованной обработке осадка зачастую достигаются определенные преимущества (Doenges, H. J, GWF 1977, 484, Irmer, H., Dissertation TH Darmstadt 1977).

В качестве *шламовых насосов*, как и канализационных, применяются центробежные насосы с большим условным проходом и без лопастей. Они не чувствительны к крупным составляющим, если имеют большой диаметр, т.е. большую мощность. Поэтому время перекачивания должно быть коротким. Всасывания осадка всегда нужно избегать из-за содержания газа (Schiegler, L., GI 1954, 93, Kommunal-wirtschaft 1959, 367, Schroeder, W., Staedtehygiene 1955, 102, Pickert, F., GI 1957, 363).

Для *жидкого осадка* используются такие же лотки, как и для сточных вод, однако уклон, учитывая потери на трение, должен быть вдвое больше, чем для сточных вод (Merkel, Die Fliesseigenschaften von Abwasserschlamm, Oldenbourg, München 1933, Annen, G., GWF 1959, 1025, 1963, 342, und Doktorarbeit Karlsruhe 1961). Это все действительно для общепринятых скоростей от 0,5 до 1 м/с [x)]. При меньших скоростях уклон с учетом потерь на трение по Аннену должен быть намного больше. При большем напоре нужны короткие спускные трубы из осадочной части отстойных резервуаров, а именно, из резервуаров с воронкообразным дном, в которых из-за скопления песка может задерживаться также осадок. Здесь целесообразно иметь также возможность промывания или проталкивания, как это изображено на рис. 5.26. Если речь не идет о камерах сбраживания с получением газа, то для разрыхления нужно использовать также сжатый воздух. В трубопроводах осадок должен иметь достаточно большую скорость (1 м/с), чтобы не выпадал песок. В трубопроводах должен быть отвод воздуха, так как из ила выделяется газ.

Не вызывает сомнения, что в *развивающихся странах* при обслуживании решеток, песколовок и площадок для подсушки перегнившего ила используется ручной труд. Однако время идет, и ручной труд постепвнно заменяется *механизированным*. Претерпела изменения также техника и технология очистки сточных вод. Так, появились водораспределители в капельных биофильтрах, разгрузочные механизмы, работающие под водой в неглубоких отстойниках, пневматические и перемешивающие устройства в аэротенках, нагреватели камер сбраживания с газом брожения и устройства искусственного обезвоживания осадка. Газ брожения используется для выработки энергии на очистной установке (Doenges, H. J., KA 1982, 888). Развитие продолжается и набирает темпы. И инженер по очистке сточных вод должен быть к этому подготовлен.

С некоторых пор все больше и больше стремятся измерять, исследовать и автоматически регистрировать воду, ил, газ (его количество), качество, температуру в разных точках, так что работу очистных сооружений можно контролировать с диспетчерского пункта, как на большом промышленном предприятии (Hruschka, H.: Prozessführung auf Klaeranlagen durch Einsatz elektronischer Rechner, Ber. Wassergüte, TU München, Nr. 39, 1983; Züllig, H., VSA–Verbandsbericht 1984, 284; Wienhusen, A., GWA 1985, Bd. 75, 139; Lohmann, J., KA 1987, 1145; Schlaegel, S., KA 1987, 1168; Valentin et al., KA 1987, 1205; ATV–Merkblatt M 256, 1988). Здесь нужно предостеречь от излишеств, связанных с чрезмерными расходами, и учитывать, что речь идет о крупных установках, изобилующих разнообразнейшими техническими устройствами. Желательны измерения количества воды, водородного показателя при химическом коагулировании, содержания кислорода в аэротенке, температуры в септике и количества газа (Londong, D., Die Selbstüberwachung von Klaeranlagen und die zugehoerige Ausrüstung, GWA, Aachen 1970, Bd. 4, 153; ATV–Hinweis H 260, Erfassen, Auswerten, Darstellen von Betriebsdaten, 1989). Нужно учитывать

также расходы на электроэнергию, которые составляют около 25 % эксплуатационных расходов (ATV–Hinweis H 259, 1988).

В ФРГ требуется высокая *эксплуатационная надежность* очистных сооружений. Требуется два независимых щита подключения электроэнергии или возможность использования агрегата аварийного энергоснабжения, прокладка по двум или нескольким линиям, регулярный контроль всех частей установки и наличие важнейших запасных частей (Baumgart, H. Ch., GWF 1987, 569; Feyen, H. A., GWA 1987, Bd. 101).

Контроль установки наиболее надежен, если он не ограничивается теоретическими результатами исследований и заполненными ведомостями, а квалифицированно проводится во время эксплуатации. Например, внушает сомнения установка с недостаточными расчетными размерами или же установка, теоретически неспособная переработать и устранить все количество осадка. Постоянно высокий выход газа из камер сбраживания является лучшим доказательством того, что из сточных вод действительно выделена масса веществ, способных к гниению. Образец инструкции по обслуживанию и эксплуатации для персонала очистных сооружений разработан в ATV (ATV–Arbeitsblatt A 124, Entwurf 1988).

Проектирование очистной установки проводится несколькими этапами. Различают предварительные расчеты, предварительный проект, утвержденный проект и строительный проект (Wienhusen, A., et al., KA 1979, 378, KA 1982, 335, und KA 1985, 197). *Предварительные расчеты* касаются соответствующих предписаний, канализационной сети, населения и развития промышленности, количества сточных вод и их качества, индивидуальной или общей очистной установки, места сооружения, водоприемника, выделений в окружающую среду, степени очистки, способа устранения осадка.

Предварительный проект включает в себя разные варианты обработки сточных вод и ила. Для предложенного решения ориентировочно рассчитываются размеры сооружения. Представляются на об-

щем плане и на высотной схеме. Ориентировочная смета. Для промышленных сточных вод при необходимости нужно провести испытания на эффективность очистки.

Утвержденный проект включает в себя общий вид, план земельного участка, генплан, высотную схему, план привязки к местности и пояснительную записку. В пояснительной записке указываются исполнители и заказчики мероприятия, прежние проекты, общая ситуация, обоснование предложенного решения, основные положения проекта, количество и качество отводимых сточных вод, влияние на водоприемник, гидравлический расчет.

Строительный проект содержит все сооружения в деталях, как правило, в масштабе 1 : 50. Обязательное установление всех размеров, механизмов, трубопроводов, кабелепроводов. Статический расчет, опалубочные и арматурные чертежи со всеми разрезами. Грунт под сооружения, характеристики грунтовых вод, фундамент сооружений, подпор грунтовых вод. Описание строительных мощностей, план по срокам строительства, трассировочный чертеж. Строительный проект настолько многогранный, что в его разработке, как правило, принимают участие разные специалисты. Планирование и строительство должны проводиться так, чтобы обеспечить небольшие последующие затраты на содержание сооружений в исправном состоянии (Müller, R. O., Korrosionsprobleme in Abwasseranlagen, VSA–Bericht 381, Zürich, 1988 ung Gas–Wasser–Abwasser (Schweiz) 1989, 121).

5.16. Примеры расчета очистной станции

Городские очистные станции рассчитывают не по максимальному часовому притоку, как трубопроводы для сточных вод, а по среднему часовому притоку. Однако при этом принимают не среднесуточное значение, т.е. не 1/24, а среднее значение для дневных часов, например, 1/18 из количества сточных вод за 24 часа; это значение

примерно на 1/3 больше, чем среднесуточное значение. В зависимости от хода кривой суточного притока (рис. 5.1) можно рассчитать разные варианты [x)].

Загрязнение также подвержено колебаниям. До сих пор расчет производился по суточным значениям (стр. 133) с добавкой на дождевые воды при смешанных системах. Имеется опыт динамического моделирования нагрузки в процессе очистки (Tschui, M., et al., Gas–Wasser–Abwasser (Schweiz) 1988, 437).

Приведенные ниже примеры расчетов касаются:

1. Бассейнов инфильтрации.
2. Земляных (копаных) резервуаров.
3. Отстойников с нагреваемой камерой сбраживания.
4. Слабонагружаемых капельных биофильтров.
5. Высоконагружаемых капельных биофильтров.
6. Установок с активным илом.
7. Отстойных резервуаров для дождевых вод.
8. Полей фильтрации.

Кроме того нужно принять во внимание примеры расчета 2 и 8, касающиеся биологических очистных прудов в разделе "Самоочищение водоемов" (раздел 7.3) и примеры в разделе "Малые очистные станции" (стр. 420, 421).

Пример 1.

Бассейны инфильтрации (стр. 427).

Селение, насчитывающее 5 000 жителей, имеет местную канализацию при небольшом количестве санузлов со сливом; домовые очистные установки не строятся, зато оборудуются новые санузлы. На переходный период, пока в селении ощущается недостаток средств, нужно соорудить недорогую очистную установку.

При 100 л/(чел•сут) почасовое количество в дневные часы составляет (100 • 5 000) : (18 • 1 000) = 28 $м^3$/ч. При полезной глубине воды 0,10 м (0,30 м с осадком) и времени протекания 20 мин осветлитель-

ная площадь составляет 28 : (3 • 0,10) = 93 м^2. При ширине 4 м два бассейна имеют длину 93 : (4 • 2) = 11,6 м. Допустимая скорость протекания (см. раздел 5.4.1) = (2 • 11 600) : (20 • 60) = 19,5 мм/с. Четыре других бассейна нужны для подсушивания осадка, т.е. общая площадь бассейна составляет 3 • 93 = 280 м^2 и отсюда 280 : 5 000 = 0,056 м^2/чел. В дальнейшем этого будет достаточно для иловой площадки механической очистной установки (стр. 355).

Количество влажного осадка (стр. 314) 0,90 л/(чел•сут). Отсюда половина в переходный период = (0,90 • 5 000) : (2 • 1 000) = 2,25 м^3/сут. Ежесуточное осаждение ила в бассейне составляет 2,25 : 93 = 0,024 м. За 7 дней – 7 • 0,024 = 0,17 м, однако из-за уплотнения получается около 0,10 м. Нужно всегда эксплуатировать два расположенных рядом бассейна. Первый из них отключается для сушки осадка через 14 дней эксплуатации, после того, как в нем отложатся 0,20 м уплотненного осадка. Второй бассейн становится теперь первым, и к нему добавляется новый соседний бассейн. В остальных четырех бассейнах осадок сушится в течение 28 дней.

Пример 2.

Земляные (копаные) резервуары.

В переходный период до окончания строительства постоянной очистной установки нужно механически очищать сточные воды, поступающие от 10 000 жителей во вспомогательные установки.

Общесплавная канализация, 10 000 жителей, 150 л/(чел•сут).

Приток в сухую погоду – 150 • 10 000 : 1 000 = 1 500 м^3/сут.

Часовой приток в среднем за 18 часов – 1 500 : 18 = 84 м^3/ч.

За время дождей приток может доходить до 84 • 5 = 420 м^3/ч. Выбор: два расположенных рядом земляных резервуара объемом до 900 м^3 каждый. Уклон откосов внизу – 2 : 3, вверху – 1 : 1. Максимальная глубина воды – 2,75 м, размер водных поверхностей – 2 × 15 × 30 м. Сточная вода поступает сначала в один из резервуаров по поперечному лотку в тремя впусками. Решетка и песколовка не требуются. Водослив в трех местах напротив впуска осуществляется с помощью

дырчатой перегородки. Время пребывания составляет сначала 900 : 84 = 10,7 ч. При этом сточная вода содержит кислород в ограниченном количестве. В теплое время года можно осуществлять освежение притока путем перекачивания в него отводимой воды. Ежедневно осаждается 0,90 • 10 000 : 1 000 = 9 $м^3$ осадка (стр. 314), причем это количество уменьшается до 3 $м^3$/сут в результате сгущения и процессов перегнивания. За месяц отстойная часть резервуара уменьшается на 3 • 30 = 90 $м^3$. Примерно через 8 месяцев производится переход на второй резервуар. Последующее обезвоживание осадка облегчается с помощью водоотводной шахты. Через несколько месяцев осадок удаляется с помощью автокрана и грузовика. Для этого необходимы соответствующие подъезды к резервуарам.

Пример 3.

Отстойники с нагреваемой камерой сбраживания (см. разделы 5.4.5 и 5.9.8).

50 000 жителей, 200 л/(чел•сут), смешанный способ, без дождевых резервуаров, незначительное количество промышленных сточных вод.

Приток в сухую погоду – 200 • 50 000 : 1 000 = 10 000 $м^3$/сут.

Часовой приток в среднем за 18 часов – 10 000 : 18 = 556 $м^3$/ч

(556 • 1 000) : (60 • 60) = 155 л/с.

Механически очищаемые решетки и песколовка как в примере 6.

Отстойник по рис. 5.20 или 5.24. Время протекания – 2 часа. Полезный объем отстойной камеры – 2 • 556 = 1112 $м^3$. Выбор: один радиальный резервуар диаметром 28 м и глубиной 2 м или два прямоугольных резервуара шириной 6 м, длиной 50 м и глубиной 2 м. При дождливой погоде возможна обработка двойного количества воды, характерного для сухой погоды, при времени пребывания 60 мин.

Принимается шламовый насос производительностью 30 л/с. Количество осадка (стр. 314) составляет 0,90 л/чел = 0,90 • 50 000 : 1 000 = 45 $м^3$/сут. Один раз или несколько раз в день через опреде-

ленные промежутки осадок перекачивается в камеру сбраживания.
Камера сбраживания ила нагревается до 37 °С. Размер – 20 л/чел (раздел 5.9.9) 20 • 50 000 : 1 000 = 1 000 м^3. К этому нужен газгольдер емкостью 50 м^3.
Количество газа – 13,5 л/(чел•сут) (раздел 5.9.9) 13,5 • 50 000 : 1 000 = 675 м^3/сут. Часть его используется для нагрева, а остальное, по возможности, идет на продажу.
Иловые площадки. Необходимая площадь (стр. 355) – 50 000 : 13 = 3 846 м^2. Выбор: пять механически очищаемых площадок шириной 8 м и длиной 100 м.
Пример 4.
Слабонагружаемые капельные биофильтры (см. раздел 5.7.5) с первичным отстойником, камерой сбраживания и вторичным отстойником.
50 000 жителей, 200 л/(чел•сут), общесплавная система канализации, без дождевых резервуаров, небольшое количество промышленных сточных вод.
Приток в сухую погоду – 200 • 50 000 : 1 000 = 10 000 м^3/сут.
Часовой приток в среднем за 18 часов – 10 000 : 18 = 556 м^3/ч = (556 • 1 000) : (60 • 60) = 155 л/с.
Механическая очистка решеток и песколовки как в примере 6.
Первичный отстойник с отдельной камерой сбраживания по примеру 3. Объем камеры сбраживания (50 000 • 30) : 1 000 = 1 500 м^3.
Количество газа на 25 % больше, чем в примере 3.
Капельный биофильтр (раздел 5.7.5)
Объем – 5 чел/м^3 = 50 000 : 5 = 10 000 м^3.
Выбор: три капельных биофильтра диаметром 36 м с рабочей высотой наполнения 3,60 м.
Вторичный отстойник по рис. 5.20 или 5.24. Время протекания – 3 ч. Полезный объем отстойной камеры – 3 • 556 = 1 668 м^3. Выбор: один радиальный резервуар диаметром 30 м и глубиной 2,40 м или два прямоугольных резервуара шириной 8 м, длиной 45 м и глуби-

ной 2,40 м. В дождливую погоду можно биологически обработать двойное количество сточных вод, характерное для сухой погоды. Осадок непрерывно откачивается насосом, имеющим производительность 10 л/с, и подается в приток первичного отстойника.

Иловый пруд. Количество перегнившего влажного ила с 3 % сухого вещества (стр. 314) – 1,5 • 50 000 : 1 000 = 75 $м^3$/сут = 27 375 $м^3$/год. Через 5 лет содержание твердых веществ увеличивается примерно до 20 %. В этом случае годовое количество составляет всего 27 375 • 3 : 20 = 4 106 $м^3$. Необходимая площадь (стр. 355) – 0,3 $м^2$/чел • 50 000 жителей = 15 000 $м^2$. Выбор: два иловых пруда площадью по 7 500 $м^2$ каждый и глубиной 3 м. При емкости 45 000 $м^3$ и 20 % сухого вещества в иле время их заполнения – 45 000 : 4 106 = 11 лет.

Пример 5.

Нормально нагружаемые капельные биофильтры (см. раздел 5.7.5) с первичным отстойником, камерой сбраживания и вторичным отстойником (рис. 5.85).

Условия как в примере 4. Первичный отстойник как в примере 3, камера сбраживания и иловый пруд как в примере 4.

Капельный биофильтр.

Объем 10 чел/$м^3$ = 50 000 : 10 = 5 000 $м^3$.

Глубина: а) 4,0 м, площадь поверхности – 5 000 : 4 = 1 250 $м^2$.

Выбор: два капельных биофильтра диаметром 28 м с А = 1 240 $м^2$.

Поверностная нагрузка – 556 $м^3$/ч : 1 240 $м^2$ = 0,45 м/ч в дневные часы. Этого достаточно, но без запаса. Для улучшения степени очистки необходима рециркуляция.

Глубина: б) 3,5 м, площадь поверхности – 5 000 : 3,5 = 1 430 $м^2$.

Выбор: два капельных биофильтра диаметром 30 м с А = 1 420 $м^2$.

Поверхностная нагрузка – 556 $м^3$/ч : 1 420 $м^2$ = 0,39 м/ч.

Удваивается при рециркуляции 556 $м^3$/ч. В этом случае нужно сооружать вращающийся ороситель не на 556 $м^3$/ч, а на 1 112 $м^3$/ч.

Вторичный отстойник: время протекания – 3 часа. Полезный

объем – 3 • 556 = 1668 м^3. Выбор: два радиальных резервуара диаметром 22 м с глубиной 2,20 м. Во время дождя рециркуляция не производится.

Дождевой резервуар по примеру 7.

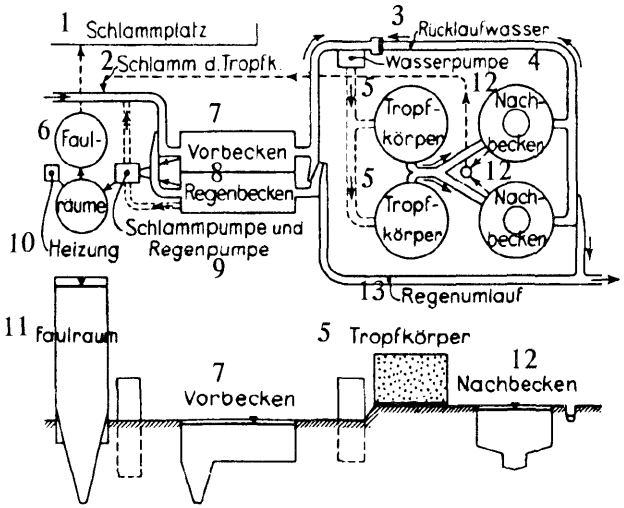


Рис. 5.85. Биофильтровальная установка с насосом для рециркуляции воды между первичным отстойником и биофильтрами

1 – иловая площадка; 2 – ил из капельных биофильтров; 3 – рециркуляционная вода; 4 – водяной насос; 5 – капельный биофильтр; 6 – камеры сбраживания; 7 – первичный отстойник; 8 – дождевой резервуар; 9 – иловый насос и насос для дождевых вод; 10 – нагреватель; 11 – камера сбраживания; 12 – вторичный отстойник; 13 – ливнеотвод

Пример 6.

Установка с активным илом (см. раздел 5.7.8) одноступенчатая, слабонагружаемая, с первичным отстойником, камерой сбраживания и вторичным отстойником (рис. 5.86).

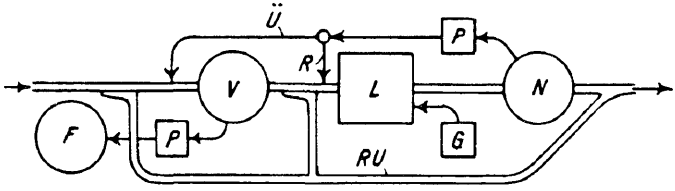


Рис. 5.86. Установка с активным илом
V – первичный отстойник; L – аэротенк;
N – вторичный отстойник; F – камера сбраживания;
P – насосная станция; G – воздуходувная установка;
R – возвратный ил; U – избыточный ил;
RU – ливнеотвод

Снижение БПК на 90–95 %.

50 000 жителей, 200 л/(чел•сут), смешанный способ, без дождевого резервуара, небольшое количество промышленных сточных вод.

1. Приток в сухую погоду – 200 • 50 000 : 1 000 = 10 000 м^3/сут. Часовой приток в среднем за 18 часов 10 000 : 18 = 556 м^3/ч, соответствует (556 • 1 000) : (60 • 60) = 155 л/с.

2. *Решетка с крупными отверстиями* шириной 100 мм.

3. Механически очищающаяся *решетка с мелкими отверстиями* 25 мм и с расположенной вверху опрокидывающейся бадьей (рис. 5.8). Задержанные решеткой отходы – 10 • 50 000 : 1 000 = 500 м^3/год.

4. Аэрируемая *песколовка* (см. раздел 5.4.2). Количество песка – 4 • 50 000 : 1 000 = 200 м^3/год = 3,9 м^3/неделю.

5. Водомер Вентури с поплавковым колодцем для *измерения количества воды.*

6. *Первичный отстойник* радиальный или прямоугольный как в примере 3.

7. *Насосы* для осадка в первичном отстойнике. Количество свежего смешанного осадка из первичного отстойника составляет (стр. 314) 2,00 л/(чел•сут) или 2,00 • 50 000 : 1 000 = 100 м^3/сутки. Он перекачивается в сгуститель один раз в неделю или несколько раз в день через определенные промежутки.

8. *Сгустители.* В соответствии с суточным количеством осадка требуется два сгустителя объемом по 100 $м^3$ каждый, поплавковое водоспускное устройство и донный водоспуск.

9. *Камера сбраживания*, нагреваемая до 37 °С. Размер – 40 л/чел (см. раздел 5.9.9) или 40 • 50 000 : 1 000 = 2 000 $м^3$.

10. *Газгольдер* по причинам безопасности необходим с полезной емкостью 100 $м^3$ в соответствии с суточным количеством свежего ила.

11. *Количество газа* – 20 л/(чел•сут) или 20 • 50 000 : 1 000 = 1 000 $м^3$/сутки.

12. *Иловые пруды.* Количество перегнившего ила (стр. 314) составляет 2 л/(чел•сут) при 2,5 % сухого вещества: 2 • 50 000 : 1 000 = 100 $м^3$/сутки = 36 500 $м^3$/год. В течение 5 лет содержание твердых веществ возрастает примерно до 20 %. Годовое количество в этом случае составляет всего 36 500 • 2,5 : 20 = 4 563 $м^3$. Требуемая площадь илового пруда (стр. 355) – 0,4 $м^2$/чел • 50 000 жителей = 20 000 $м^2$. Выбор: два иловых пруда площадью по 10 000 $м^2$ каждый и глубиной 3 м. Время их заполнения составляет при емкости 60 000 $м^3$ и 20 % сухого вещества в иле 60 000 : 4 563 = 13 лет.

13. *Фильтр-пресс*, если нет площадей для иловых прудов. Количество перегнившего ила 100 $м^3$/сутки при 2,5 % сухого вещества. При пяти рабочих днях в неделю нужно обезвоживать 100 • 7/5 = 140 $м^3$/раб. день. Кондиционирование с помощью 8 кг $Ca(OH)_2$ и 4 кг 40-процентного раствора хлорида железа на каждый кубический метр перегнившего ила (стр. 361). Тогда содержание твердых веществ составляет около 3,5 %. Требуется два реакционных сгустителя емкостью по 150 $м^3$. После суточной выдержки осадок сгущается наполовину, соответственно составляет 70 $м^3$/раб. день с 7 % сухого вещества. Производительность фильтр-пресса по обезвоживанию составляет 40 л/($м^2$•ч) (стр. 361), продолжительность обезвоживания – 7,5 ч/раб. день. Требуемая площадь фильтра – (70 • 1 000) : (40 • 7,5) = 233 $м^2$. Выбор: фильтр-пресс с разме-

ром плиты 1,50 • 1,50 м и свободной поверхностью фильтрования 2 м^2. Число камер: 233 : (2+2) = 59. Выбор: 65 камер глубиной 30 мм. При 45 % сухого вещества количество фильтрационного кека составляет (70 • 7) : 45 = 11 м^3/раб. день. Его можно складировать в штабелях. В выходные дни ил накапливается в сгустителях по п. 8. Иловая вода постепенно добавляется в очистную установку. Для этого требуется еще один уравнительный резервуар емкостью 70 м^3. Для случаев ремонта фильтр-пресса предусматривается аварийная иловая площадка объемом 6 000 м^3.

14. *Аэротенки.* Нагрузка на единицу объема – 12 чел/м^3 (см. раздел 5.7.8). Размер – 50 000 : 12 = 4 166 м^3. Необходимое количество воздуха при аэрации мелкими пузырьками и при глубине нагнетания 3,00 м – 1,75 • 50 000 = 87 500 м^3/сут. При глубине нагнетания 4,5 м подается полуторное количество кислорода по сравнению с глубиной нагнетания 3 м. Это необходимо из-за возможной нитрификации (дополнительное окисление соединений азота). Максимальная производительность воздуходувки – (87 500 • 1,5) : (24 • 60) = 90 м^3/мин. Длительность аэрации в среднем за 18 часов без возвратного ила – 4 166 м^3 : 556 м^3/ч = 7,5 ч. Нагрузка на единицу объема – 12 чел/м^3 • 40 г $БПК_5$/(чел•сут) = 480 г $БПК_5$/(м^3•сут). Содержание ила – 3 000 г сухого вещества/м^3. Влажность (рис. 5.51) – около 50 % при винтовых насосах. Нагрузка на единицу объема – 480 : 3 000 = 0,16 г $БПК_5$/(г сух. вещ.•сут). Степень очистки – около 92 % (рис. 5.48), возраст ила – 10 суток. Выбирается три резервуара соответственно с полезным поперечным сечением 25 м^2 и длиной 56 м.

Возможны также *лопастные аэраторы*: две линии соответственно с тремя расположенными один за другим резервуарами площадью 15 • 15 м и глубиной воды 3,10 м. J = 6 • 15 • 15 • 3,10 = 4 185 м^3. Суточная нагрузка по $БПК_5$ – 40 г/(чел•сут) или 50 000 • 40 : 1 000 = 2 000 кг $БПК_5$/сут. Удельный расход кислорода – 2,5 кг O_2/кг $БПК_5$. Производительность по подаче кислорода – 2 000 • 2,5 =

= 5 000 кг O_2/сут, соответственно 5 000 : 24 = 208 кг O_2/ч. Мощность шести приводных двигателей – 208 кг O_2/ч : 1,5 кг O_2/кВтч = 140 кВт, т.е. каждый двигатель имеет мощность 25 кВт.

15. *Вторичные отстойники.* В дождливую погоду обрабатывается удвоенное количество сточных вод по сравнению с сухой погодой. Нагрузка на единицу площади по иловой смеси в этом случае не должна превышать 300 л/($м^2$•ч) (см. раздел 5.7.8). Для сухой погоды - соответственно 150 л/($м^2$•ч). В аэротенке устанавливается содержание ила 3,0 кг сухого вещества/$м^3$. Иловый индекс не должен превышать 100 л/кг сухого вещества. Объем активного ила – 3,0 • 100 = 300 л/$м^3$. Допустимая гидравлическая нагрузка при последующем осветлении в сухул погоду – 150 : 300 = 0,50 м/ч. Требуемая площадь поверхности – 556 : 0,50 = 1 112 $м^2$. Средняя глубина – 3,00 м. Объем – 1 112 • 3,00 = 3 336 $м^3$. Время пребывания в сухую погоду – 3 336 : 556 = 6 ч, в дождливую погоду – 3 ч. Два радиальных отстойника диаметром 27 м. Очищающие устройства располагаются по всему диаметру и имеют щитовые скребки с двух сторон. Если выбирается два горизонтальных отстойника, то они должны иметь ширину 10 м, длину 62 м и глубину 3,50 м.

16. *Избыточный ил.* Количество избыточного ила составляет около 5 л/(чел•сут) (стр. 314) или 5 • 50 000 : 86 400 = 2,9 л/с. Избыточный ил непрерывно отбирается и подается на вход аэрируемой песколовки.

Пример 7.

Дождевые резервуары (стр. 411).

Очистные сооружения в соответствии с примерами 3 – 6 нужно дополнять дождевыми резервуарами.

50 000 жителей. Приток в сухую погоду – 200 л/(чел•сут) = 10 000 $м^3$/сут.

Часовой приток в среднем за 18 дневных часов составляет 10 000 : 18 = 556 $м^3$/ч. Во время дождя нужно обрабатывать восьмикратное количество сточных вод по сравнению с их количеством в сухую

погоду = 556 • 8 = 4 448 $м^3$/ч. Для этого объем резервуара, по примеру 3, удваивается: 1 112 • 2 = 2 224 $м^3$. Время пребывания – 2 224 : 4 448 = 0,5 ч. При этом резервуары, рассчитанные на сухую погоду, и дождевые резервуары принимают примерно одинаковые количества сточных вод. Обычно же дождевые резервуары пустые. Во время дождя в самых экстремальных случаях они заполняются за 30 мин. После этого приток преимущественно сбрасывается, чтобы не вытеснялась накопившаяся, более загрязненная смешанная вода начальной фазы дождя. Дождевые резервуары без перегрузки резервуаров для стока в сухую погоду опорожняются в течение 3 часов со всеми взвешенными веществами в приток очистной станции. В этом случае количество воды составляет 556 + (1 112 : 3) = 927 $м^3$/ч. Эту воду можно очищать и биологическим способом.

Пример 8.

Поля фильтрации (см. раздел 5.7.3).

Условием является наличие песчаного дна. Исследование грунта дало положительный результат относительно значений "эффективной крупности зерен" и "степени равномерности распределения".

50 000 жителей, 200 л/(чел•сут), смешанный способ, полная биологическая очистка.

1. Приток в сухую погоду – 200 • 50 000 : 1 000 = 10 000 $м^3$/сут. Часовой приток в среднем за 24 часа – 10 000 : 24 = 417 $м^3$/ч. Часовой приток в среднем за 18 дневных часов – 10 000 : 18 = 556 $м^3$/ч = 556 • 1 000 : (60 • 60) = 155 л/с.

2. *Решетка с крупными отверстиями, решетка с мелкими отверстиями* и *песколовка* как в примере 6 (установка с активным илом).

3. *Отстойник, иловая гнилостная камера и иловые площадки* как в примере 3.

4. *Поля фильтрации*, принимаемая нагрузка – 4 000 чел/га (см. раздел 5.7.3). Полезная площадь – 50 000 : 4 000 = 12,5 га.

Нагрузка по сточным водам

10 000 : 12,5 = 800 м^3/(га•сут) = 800 • 365 : 10 000 = 29,2 м/год.

40 площадок площадью по 12,5 • 10 000 : 40 = 3 120 м^2. Карты, например, шириной 40 м и длиной 78 м. В резерве 10 карт для дождевых вод и еще 10 для "ночных" сточных вод. В дневные часы, например, с 8 до 20 часов (рис. 5.1) поочередно подтопляются 20 карт. Часовой приток в это время – 556 м^3/ч, а за 12 часов – 12 • 556 = 6 672 м^3. На одну карту поступает в среднем 6 672 : 20 = 334 м^3, а через каждые 12 • 60 : 20 = 36 мин вводится в действие новая карта. Высота воды – 334 : 3 120 = 0,11 м.

5. *Аккумулирующие (накопительные) резервуары.* Размер соответствует объему для одной иловой карты, т.е. 334 м^3.

6. *Водоводы.* Одна карта должна заполняться за 10 мин. Подводящая линия должна обеспечивать (334 • 1 000) : (10 • 60) = 557 л/с. Диаметр – по таблице 1, например, 0,8 м при уклоне 1 : 200.

Выпуск должен длиться 2 часа. Отвод на последнем участке – (334 • 1 000) : (2 • 60 • 60) = 46 л/с. Диаметр водоотвода = 0,30 м при уклоне 1 : 200.

Часть III

ОХРАНА ВОДОЕМОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

6. Сброс сточных вод в водоемы

6.1. Требования к состоянию водоемов

Необходимая степень очистки сточных вод должна отвечать требованиям общественного водоема, к которому подведен выпуск очистной станции. Ранее при этом указывали, чему равен "коэффициент разбавления" [x)] среднесуточного стока очистной станции водой реки в сухую погоду в период средней межени. В Англии в различных речных бассейнах законом установлены предельные значения содержания загрязнений в очищенной воде. Эти предельные значения для образующихся там сточных вод, по Паркеру (A. Parker, Vortrag Glasgow September 1938), обычно достигаются с помощью следующих методов очистки:

— разбавление свыше 1 : 500 решетки и песколовки,
— разбавление от 1 : 500 до 1 : 300 отстойники,
— разбавление от 1 : 300 до 1 : 150 отстойники с коагуляцией,
— разбавление менее 1 : 150 полная биологическая очистка.

При этом в выпуске из отстойника допускается 150 мг/л взвешенных веществ, в выпуске из отстойника с коагуляцией – 60 мг/л и при полной биологической очистке – 30 мг/л взвешенных веществ и 20 мг/л БПК (Royal Commission on Sewage Disposal, Eighth and Final Report, H. M. Stationary Office, Feb. 11. 1915, Müller, W., GWF 1959, 1247). Высокие требования к разбавлению в Англии возникли потому, что обычно многочисленные выпуски сточных вод расположены один за другим и приведенные требования относятся к каждому из них. В последнее время требования ужесточены.

В Германии биологическая очистка применяется при разбавлении 1 : 20. Это может быть выведено из расчета содержания кислорода (см. пример 6 раздела 7.3.2), при условии, что к данному водоему

подведен только один канализационный коллвктор. По коэффициенту разбавления нельзя судить о содержании загрязнений в сточных водах, как и о загрязнениях, ранее поступивших в водоем из других источников.

Если необходима большая точность, то требуется полное представление о содержании кислорода в водоеме. В последующем разделе обсуждаются пять различных методов, позволяющих вычислить изменение кислородного баланса при определенной нагрузке сточными водами на водоем. С помощью таких расчетов можно вычислить необходимую степень очистки для данной очистной станции в том случае, когда речь идет об обеспечении самоочищения водоема при достаточном содержании кислорода, т.е. о сохранении жизни рыб в водоеме и о надежной профилактике опасности заражения воды.

В реках с многочисленными выпусками сточных вод и водозаборами расчет содержания кислорода дает лишь ориентировочные величины, так как исходит из упрощенных допущений и не полностью учитывает влияние водных растений. В подобных случаях полезны *измерительные станции*. Например, на реке Огайо постоянно проводятся измерения, передача и электронный анализ содержания кислорода. Полученные при этом кривые дают точное представление о состоянии водоема (Jahresbericht 1966 der Ohio River Sanitation Commission, Cleary, E., ORSANCO Story, Johns Hopkins Press, Baltimore 1967). Сеть измерительных станций имеется также в низовьях Рура. Анализы публикуются в сообщениях о качестве воды в реке Рур с 1973 года.

Однако, в отдельных случаях определения содержания кислорода недостаточно, например, если речь идет о реке, вода которой используется для городского водоснабжения. В этих случаях необходимо учитывать различные суммарные показатели и многочисленные отдельные вещества, перечисленные в DVGW–Arbeitsblatt W 151, Juli 1975. Соответствующие инструкции выпущены Европейским Советом (Abteilung gefaehrlicher Stoffe, EG–Amtsblatt Nr. L 129/23 vom

18. 5 1976; Oberflaechenwasser für die Trinkwassergewinnung [x)], EG–Amtsblatt Nr. L 194/34 vom 25. 7 1975; Gewaesser für Badezwecke, EG–Amtsblatt Nr. L 31/1 vom 5. 2. 1976). Рушау опубликовал обзор (Wasser u. Boden 1989, 274). См. также Quentin, K. E., et al., KA 1981, 317; Schadstoffe im Wasser–Metalle, Reichert, J. , et al., Deutsche Forchungsgemeinschaft, Bonn 1982; Algebürtige Schadstoffe im Wasser, Müller, D., et al., Deutsche forchungsgemeinschaft Bonn 1982. Опасность *инфекции при купании*, согласно сообщениям с английских курортов, очень незначительна (Referat Goeschel, Archiv für Badewesen, Mai 1963).

Еще более обстоятельный анализ водоемов как экосистем приводят в своей книге Куммерт и Штумм (Kummert, K., Stumm, W., Verlag der Fachevereine, Zürich 1988).

Поскольку зачастую количество данных о важных отдельных веществах недостаточно, в качестве вспомогательных используются упрощенные *классификации по качеству* в соответствии с использованием участков водоема.

Примером может служить *мюнхенский метод*, разработанный Либерманном и его сотрудниками в виде комбинации биологических, биохимических и токсикологических данных (Die Wasserwirtschaft 1965, 308; Münchner Beitraege, Bd. 15, 1969; Int. Abw. Konf. München 1966, 1 – 7, Pergamon Press; Barndt, G., et al., VDG 1987, S. 53).

Рабочая группа "Карта качества водоемов" Земельного союза вод преобразовала мюнхенскую классификацию качества и дополнила ее добавочными химическими параметрами (LAWA, Die Gewaessergütekarte in der BRD, Mainz 1976, Jaeger Druck, Speyer).

В таблице 6.11 представлены показатели, по которым проведена классификация водоемов в ФРГ. Поверхностные водоы, которые очищают до питьевой природными способами, должны соответствовать, по меньшей мере, II классу качества [xx)]. Другая классификация по качеству была разработана в Англии (National Water Council, Review of Discharge Consent Conditions, July 1977) [xxx)].

Таблица 6.12 содержит соответствующие данные. С учетом статистических зависимостей предельные значения были увязаны с определенной повторяемостью и приведены средние. Сравните: Imhoff, K. R., и Albrecht, D., Anmerkungen zur Gewaessergüteein-teilung nach dem Sauerstoffgehalt, GWF 1978, 578.

Все предложения относительно способов очистки касаются только значительных по размеру объектов. Отдельно построенные дома по практическим причинам часто могут ограничиваться простой обработкой в септиках (стр. 416).

На *последней третьей ступени* [x)] очистки может еще потребоваться удаление из очищеной воды солей удобрений (нитратов, фосфатов) (стр. 278) и предотвращение попадания их в водоемы (Imhoff,K., Die letzte Stufe der Abwasserreinigung, GWF 1954, 561, The Final Step in Sewage Treatment, Sew. a. Ind. W. 1955, 322, Howard, A., GI 1947, 139, Müller, W., GI 1951, 80, 1953, 256, Mahr, GI 1941, 500, Finsen, P. O., et al., Water a. Waste Treatment Journal 1959, 298, Bringmann, G., et al., GI 1959, 364, Rohlich, G. A., JWPCF 1962, 233, Stumm, W., et al., Stream Pollution by Algal Nutrients. Transact., 12. Ann. Conference, Un. of Kansas 1962, 16, Thomas, E. A., Die Veralgung von Seen und Flüssen. Monatsbulletin d. Schweiz. Ver. v. Gas- u. W.fachm. 1963, Nr. 6 u 7, Dietrich, B., GI 1963, 305, Hunken, K. H., Stuttgarter Ber. 1966, H. 19, 3, Stumm, W., Water Research 1973, 131, Bernhardt, H., et al., Technische Massnahmen gegen die Eutrophierung von Ober-flaehengewaessern, Vom Wasser 1972, 53, Bernhardt, H., Phosphor–Wege und Verbleib in der BRD, Verlag Chemie, Weinheim 1978; Wolf, E., KA 1987, 1215; Rheinheimer, G., et al., Stickstoffkreislauf im Wasser, R. Oldenbourg, München 1988; DVWK–Merkblatt 213/1988; Bührer, H., et al., Wasser–Energie–Luft 1986, 43).

При скоростях течения менее 0,3 м/с и достаточном освещении отмечается массовое *развитие водорослей*, если в воде содержится более 0,01 мг/л фосфора и более 0,3 мг/л азота. В результате фото-

Таблица 6.11. Подразделение водотоков по классам качества согласно LAWA

Класс качества	Степень загрязнения органическими веществами	Сапробность [x)] (степень сапробности)	Сапробный индекс	Химические БПК$_5$, мг/л	А
I	От отсутствия до очень малого количества загрязнений	Олигосапробность [xx)]	1,0–<1,5	1	максим
I – II	Малое содержание загрязнений	Олигосапробность с бета-мезосапробами	1,5–<1,8	1–2	около
II	Умеренное содержание загрязнений	Компенсированная бета-мезосапробность	1,8–<2,3	2–6	< 0,3
II – III	Критическое содержание загрязнений	Пограничная альфа-бета-мезосапробная зона	2,3–<2,7	5–10	< 1
III	Сильно загрязненный	Выраженная альфа-мезосопробность	2,7–<3,2	7–13	от 0,5 мг N/л
III – IV	Очень сильно загрязненный	Полисапробность с альфа-мезосапробной примесью	3,2–<3,5	10–20	нескол
IV	Чрезвычайно загрязненный	Полисапробность	3,5–4,0	> 15	нескол

* Пределы значений часто встречающихся концентраций

Таблица 6.12. Подразделение водотоков по классам качества в Англии

Класс качества	Предельные значения (исходя из 95 % случаев, χ_{95})	Примечания	Примен
1 A	Относительное содержание кислорода > 80 % БПК5 *) < 3 мг/л Аммоний (NH4) < 0,4 мг/л Неядовита для рыб **)	Среднее БПК5, по возможности, < 1,5 мг/л, отсутствие видимых загрязнений	Вода высокого ка стве питьевой и д ности для отдыха
1 B	Относительное содержание кислорода > 60 % БПК5 *) < 5 мг/л Аммоний (NH4) < 0,9 мг/л Неядовита для рыб **)	Среднее БПК5, по возможности, < 2 мг/л Средняя концентрация аммония, по возможности, 0,5 мг/л, отсутствие видимых загрязнений	Вода немного бол 1 A, но в основно лей
2	Относительное содержание кислорода > 40 % БПК5 *) < 9 мг/л Неядовита для рыб **)	Среднее БПК5, по возможности, < 5 мг/л, отсутствие видимых загрязнений кроме легкого окрашивания за счет гумуса и небольшого пенообразования ниже плотины	Пригодна в качес большой физико- Рыболовство возм ценность средняя
	Относительное содержание кислорода > 20 %, незнаробная		Рыбы отсутствую

синтеза происходит изменение содержания кислорода с максимальными значениями днем (см. раздел 7.2) и минимальными ночью. Эти колебания тем значительнее, чем больше водорослей, проявляющих жизнедеятельность. Отмирание водных растений и планктона сопровождается дополнительным потреблением кислорода (Imhoff, K. R., u. Albrecht, D., GWF 1974, 355; Nusch, E. A., Verh. Internat. Verein. Limnol. 1978, 1837, und WAF 1982, 103). Особенно отрицательное действие оказывает растительная масса донного ила, так как здесь в результате гниения высвобождаются фосфаты, способствующие размножению водорослей в следующем году.

Штумм (Stumm, W., Internationale Abwasserkonferenz London 1962, Pergamon Press) указывает, что 1 г фосфора в описанном круговороте вызывает полное потребление кислорода – 160 г. Согласно цифрам таблицы раздела 5.7.1 это соответствует полному потреблению кислорода для неочищенных сточных вод 2,8 • 160 = = 448 г/(чел•сут) и для стоков после биологической очистки 1,7 • • 160 = 272 г/(чел•сут).

Эти процессы могут привести к полному потреблению запасов кислорода. Особенной опасности подвергаются глубокие озера с малым притоком (Baccini, P.: VSA–Verbandsbericht Nr. 262, Phosphorhaushalt u. Gewaesserschutz). Кроме того водоросли мешают водоочистке, забивая фильтры. Они могут также ухудшать вкус питьевой воды.

Зная среднюю концентрацию фосфора $[\bar{P}]_i$ в притоке озера и время пребывания воды Tw, можно с помощью найденных Волленвейдером и др. статистических зависимостей прогнозировать среднюю концентрацию фосфора, среднюю концентрацию хлорофилла-а и степень трофности водоема (OECD, Eutrophication of Waters, Monitoring, Assessment and Control, Paris 1982; Classen, J., et al., GWA 1982, Bd. 50, 743; Vollenweider, R. A., EWPCA–Congress, Rome, 1985, 15). На рис. 6.1 в сокращенном виде представлены результаты. Для того, чтобы, например, озеро со средней концен-

трацией фосфора 8 мкг/л оставалось олиготрофным [x)], общая концентрация фосфора в притекающей воде со временем пребывания воды 1 год не должна превышать 15 мкг/л. Соответственно должны планироваться мероприятия по санированию [xx)]. Предельный случай представляет собой река с регулируемым подпором (Nusch, E. A., WAF 1982, 103).

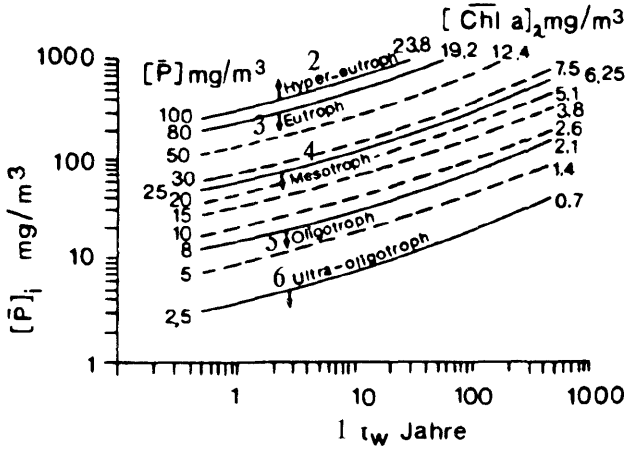


Рис. 6.1. Зависимости между поступлением фосфора $[\bar{P}]_i$, временем пребывания Tw и содержанием фосфора $\bar{P}$ и хлорофилла–а в непроточном водоеме по Волленвейдеру
1 – годы; 2 – гиперэвтрофия; 3 – эвтрофия; 4 – мезотрофия [x)]; 5 – олиготрофия; 6 – ультраолиготрофия

Удобрения поступают не только с бытовыми сточными водами. Значительная доля принадлежит также сельскому хозяйству (Novotny, V., et al., Handbook of Nonpoint Pollution, van Nostrand Reinhold Co. New York 1981; LAWA, Einfluss von Düngern auf die Gewaessergüte, Druckerei Appel, Bremen 1982). Букштеег на сельскохозяйственных площадях допускает вынос 3,2 г фосфора/(чел•сут) и

500 г P/(га•год). Количество азота составляет 13,5 г/(чел•сут). На примере реки Рур он показал, что при удалении 90 % бытового количества фосфора предотвратить рост водорослей не удалось (Vortragsveroeffentlichungen HdT, Vulkan Verlag Essen, 1966, H. 83, 14). Нуш и Коппе, однако, доказывают, что можно по меньшей мере ограничить столь нежелательное массовое развитие водорослей (Nusch, Koppe, GWA 1978, Bd. 29, 47).

В тяжелых случаях необходимо вообще не сбрасывать в водоемы биологически очищенные сточные воды. Это удается при применении дождевания на больших площадях или в случае озер путем сооружения *кольцевой канализации* (Hanisch, B., GWF 1963, H. 48, und Stuttgarter Ber. Bd. 55, 1976, Stimmelmayr, F., Oesterr. Wasserwirtschaft 1965, 9, Gartner, G., GWF 1972, 410; Dippold, W., et al., Wasserwirtschaft 1987, 584). Алвин Зайферт уже десятки лет рекомендует распылять очищенные сточные воды в ивовых и тополевых лесах (Staedtehygiene 1964, 228).

Каким образом можно поддерживать на низком уровне содержание фосфора, азота и углерода в выпуске очистных станций путем применения доочистки сточных вод, описано на стр. 278.

Все эти требования, предъявляемые к очистным станциям городов и промышленности при сбросе сточных вод в водоемы, касаются в основном защиты от разложения органических веществ и болезнетворных микроорганизмов. К этому следует добавить также поступающие со сточными водами яды и кислоты, минеральные масла, радиоактивные вещества и моющие средства (стр. 388, 406, 407).

6.2. Способы сброса сточных вод и забора воды

Разложение в водоемах веществ, поступающих со сточными водами облегчается, если сточные воды остаются свежими. Загнившие сточные воды потребляют намного больше кислорода, чем свежие (см. раздел 4.8.1). Если же сточные воды сильно разбавляются в богатом кислородом водоеме, то и загнившие сточные воды не причиняют вреда.

При отведении различных видов сточных вод производственного происхождения их не следует подавать в водоем раздельно. Перед выпуском их следует вначале *смешать* и предоставить им возможность взаимодействия.

Важным является *территориальное распределение* мест выпуска. Так, в водоеме со слабым течением состояние прилегающего к выпуску участка трубы ухудшается из-за недостатка кислорода. Необходимо заранее подавать в сточные воды возможно большее количество чистой воды и перемешать их. Можно, например, выпускать сточные воды небольшими количествами в нескольких местах, а лучше подавать чистую или очищенную воду и смешивать ее со сточными водами уже в отводящей трубе (Müller, W., Steigerung der Selbstreinigung durch Flussbelebung, GI 1951, 299). При наличии у водоема курортов или мест с особенно высокими требованиями к водозаборам следует выпускать сточные воды ниже этих зон.

Еще более важным, чем территориальное, является распределение выпуска сточных вод *во времени* с учетом переменного расхода воды в реке. Регулирующие резервуары, в которых сточные воды с течением времени достигают нужной степени чистоты и равномерно выпускаются после этого, намного упрощают проблему. Если к выпуску канализационного коллектора предъявляются жесткие требования из-за расположенного ниже участка водозабора, то во многих случаях можно проводить выпуск и забор по соглашению в различное время суток. Сброс особенно сложных для очистки производственных стоков может иногда проводиться только во время паводкового расхода воды.

Целесообразно, чтобы забираемая из реки вода для производственных нужд подавалась в накопительные пруды. В этом случае можно брать воду из реки только в то время, когда она достаточно чистая, и прерывать забор, когда вода загрязнена. Регулирующие резервуары для сточных вод и накопительные пруды для чистой воды могут в этом случае использоваться по согласованному графику, чтобы

сточные воды не загрязняли воду для производственных нужд (Weicker, Der Muldenstausee bei Glauchau, GI 1938, 582). *Степень очистки* сточных вод также может быть согласована с изменяющимися во времени требованиями к выпуску в водоем.

На *канализационных выпусках со сбросом в море* часто устанавливают только надежные решетки и песколовки. Выпуски должны быть спроектированы с учетом морских течений, глубины расположения и гидравлических условий так, чтобы происходило достаточное перемешивание сточных вод с морскими (Ludwig, R. G., et al., Marine Disposal of Wastewater [x)], Wat. Sci. Techn. 1986, Nu. 11; Moore, J. G., et al., JWEM 1987, 185).

6.3. Мероприятия по оздоровлению водоемов

Каждый водоем обладает в месте выпуска сточных вод определенной способностью к самоочищению, которая даже поддается расчету (см. раздел 7.3). До тех пор, пока количество и концентрация загрязнений в сточных водах остаются ниже допустимого предела, водоем справляется с ними самостоятельно, а поступление питательных для рыб веществ дает некоторую пользу ("удобряют" рыбоводные пруды). Если удается с помощью технических мероприятий изменить этот предел и повысить способность к самоочищению, то этим достигается тот же эффект, что и при очистке сточных вод (Ortleb, Deutsche Wasserwirtsch. 1938, 225, Müller, W., GWF 1956, 944).

Примером таких мероприятий является сооружение *водохранилища*, которое увеличивает водную поверхность на своем участке реки, продлевает время пребывания, обеспечивает осаждение и задержание в виде осадка (см. раздел 5.7.10). Пруд с плотиной или водохранилище с плотиной представляют собой ничто иное, как естественное биологическое очистное сооружение. Оно может уменьшить потребность в искусственных очистных сооружениях. Правда, его способность выдерживать нагрузку по взвешенным веществам ограничена. Поэтому и при наличии водохранилища обойтись без

отстойника для сточных вод нельзя. Водохранилища можно применять лишь до определенной степени загрязнения реки, пока может поддерживаться кислородное равновесие (Imhoff, K. R., Ueber die Reinigungs-leistung der Ruhrstauseen, GWF 1965, 1264; Wolf, P., et al., Auswirkungen von Flussstauhaltungen auf die Gewaesser-beschaffen-heit, Wasserwirtschaft 1986, 314). Если загрязненность слишком велика относительно расхода воды и поверхности водохранилища, все процессы жизнедеятельности в нем могут быть "перевернуты". Озеро в этом случае потребляет больше кислорода, чем может быть возмещено, вода теряет кислород, начинает загнивать, все нуждающиеся в кислороде гидробионты погибают, и водохранилище оказывается не столько полезным, сколько вредным.

Поэтому в случае сильно загрязненных рек иногда применяют другое техническое средство - каналы. Они прямо противоположны водохранилищу. В этом случае водная поверхность уменьшается, время пребывания укорачивается и, благодаря гладким стенкам и соответствующей скорости течения, осаждение загрязняющих веществ предотвращается. По таким гидроканалам (см. раздел 2.3) неочищенные сточные воды отводятся на произвольное расстояние, не создавая нагрузку на водоем. Вода регулярно поглощает кислород, который постепенно разлагает загрязняющие вещества. Такие каналы позволяют отводить сильно загрязненную воду до водоема с более высокой способностью к самоочищению и тем самым предотвратить существенный вред для водоема. Прокладка каналов на заболоченных водотоках является также средством борьбы с малярийными комарами (Proc. Am. Soc. C. E. 1939, 229). Малц и др. в своих исследованиях показали, что содержание микроорганизмов в воздухе вблизи открытых каналов для сточных вод не возрастает (Staedtehygiene 1966, 249) [x)].

Третьим мероприятием является искусственное *увеличение расхода в период меженного уровня воды*, то есть *разбавление* чистой водой смеси сточных вод с речной водой. Это мероприятие действует так

же, как очистка сточных вод. Допустимые пределы в водоеме обеспечиваются за счет определенного соотношения между чистой водой и загрязнениями. Для процесса самоочищения не имеет значения, снижается ли количество загрязнений в результате очистки сточных вод или благодаря сопоставимому увеличению количества чистой воды, при условии, что крупнодисперсные вещества удалены и соблюдаются гигиенические требования.

Разбавление чистой водой воздействует на водоем двумя путями: чистая вода приносит с собой определенное количество растворенного кислорода, который может быть использован для переработки загрязняющих веществ, и увеличивает объем воды, где происходит самоочищение. Вода для разбавления может быть подана из другого вышерасположенного речного бассейна или перекачана насосами из нижерасположенного (Imhoff, Wasser schaffen durch Rückpumpen, D. Wass. wirtsch. 1943, 124, Prüss, M., Staedtehygiene 1954, 210, Knop, E., Wasserwirtsch. 1954/55, 141, Zander, H., GWF 1970, 584, Schmidt, F., Wasserwirtschaft 1973, 277; Londong, D., GWA 1982, Bd. 60, 273; Forum Staedtehygiene 1982, 167; Krolewski, H., DVWK–Schriften 1988, Bd. 85, 331), либо ее можно получать в том же речном бассейне, используя накопительные резервуары (приплотинные водохранилища) для паводковых вод (Prüss, M., GWF 1952, 276, Moehle, H., Wasserwirtschaft 1954/55, 4, Knop, E., Kommunalwirtschaft 1955, 382, Elektrizitaetswirtschaft 1956, 651, Koenig, H. W., GWF 1962, 661, Imhoff, K. R., Wasserwirtschaft 1977, H. 7/8). Такие водохранилища, доставляя воду для разбавления, могут снизить необходимость в очистных сооружениях. Однако таким же образом искусственные или природные очистные сооружения в долине реки могут сократить количество накопителей, так как они удаляют из сточных вод загрязнения, не расходуя воду для разбавления, и позволяют повторно использовать их в обороте (см. раздел 6.4).

Четвертым мероприятием является *промывка.* В природе река очищает собственное русло благодаря регулярно повторяющимся па-

водкам. Если во время паводка вода выходит из берегов или отводится по специальным каналам, то промывка не происходит. В этом случае реке приходится перерабатывать в течение года в процессе самоочищения намного большее количество ила, чем регулярно промываемой реке.

Искусственная промывка заиленных участков реки может быть очень эффективной. При этом необходимо вымыть склонный к загниванию донный ил незадолго до начала жаркого времени года, чтобы в этот опасный период он не мог истощать запасы кислорода. Открывая затвор плотины, увеличивают напор и, по возможности, расход воды настолько, чтобы вода приобрела достаточную скорость течения. При этом взаимосвязанными затворами необходимо управлять так, чтобы они действовали по согласованному плану. Промывка может оказаться целесообразной также на участках пополнения запасов подземных вод, если необходимо, чтобы дно реки сохраняло проницаемость для просачивания речной воды в грунтовые воды. Поскольку взмученный донный ил потребляет кислород, необходимо с помощью расчетов (см. раздел 7.3.1) определить, не будет ли причинен вред водоему.

Вместо промывки можно в качестве пятого мероприятия использовать *удаление* донного ила. Целесообразно воспользоваться для этого плавучими землесосными снарядами (Buysch, H.-P., GWA 1982, Bd. 60, 17; Imhoff, K. R., GWA 1985, Bd. 75, 859).

В качестве шестого мероприятия используется искусственная аэрация. Так, если содержание кислорода в рыбных водоемах угрожает летом снизиться до предельной для рыб концентрации 3 ... 4 мг/л, можно сразу же принять меры по предотвращению гибели рыб, подавая воздух. Это достигается при помощи средств, известных из методов очистки активным илом: при помощи распыления воды на поверхности или приведения ее в движение другим способом, нагнетания воздуха в воду, например, через перфорированные трубы, уложенные на дно. Распыление было применено Вупперским объе-

динением в биологическом пруду в Леннепе (Imhoff, Vortrag Berlin 21. 6. 1938, und Jahresberichte des Wupperverbandes 1938 und 1941), а также в Лак де Брет, используемом для водоснабжения Лозанны (Jaag, Schweizer Baublatt, 9. Mai 1952, S. 8).

О нагнетании сжатого воздуха сообщают Tyler, R. G., Civil Eng. (USA) 1946, 348, Sew. Works Jour. 1947, 240, а также по реке Фламбо, штат Висконсин, журнал Eng. News–Record (1946, 76, GI 1949, 419), Bartsch, A. F., et al., Am. Assoc. Adv. Science 1949, 33, Sew. and Ind. Wastes 1950, 639, Riddick, T. M., Water a. Sew. W. 1957, 231). Союз Липпе в засушливое лето 1959 года добивался ликвидации скверного запаха на сильно загрязненном участке реки, закачивая сжатый воздух (Knop, E., Tech.-Wiss. Mitt. die E. G. 1962, H. 5, 5, GWF 1962, 1373). Действие аэрации тем эффективнее, чем меньше кислорода в воде, т. е. чем больше дефицит кислорода. Измерения, проведенные при распылении лишенных кислорода сточных вод через спринклеры, показали, что при однократном прохождении через воздух на расстоянии 1 м вода поглощает 3 мг/л кислорода (Anderson, W. G., Sew. and Ind. Wastes 1950, 118). При падении воды было установлено такое же поступление кислорода. Поскольку в турбинах электростанций поступление кислорода в речную воду невозможно, рекомендуется в периоды недостатка кислорода давать воде возможность низвергаться с плотины (Londong, D., GWA Bd. 12, Aachen 1973). Об аэрации речной воды в турбинах см. Wagner, H. D., Gewaesserkundl Mitt. 1958, H. 4, 73, Scott, R. H., et al., Sewage a. I. W. 1958, 1496, Kittrell, F. W., Sew. a. I. W. 1959, 1065, Eckoldt, M., Dtsch. Gewaesserk. Mitt. 1962, 1 und 1966, 1, Wiley, A. T., et al., JWPCF, Feb. 1960, 186, Wagner, H., in Wasser, bedrohtes Lebenselement, Montana–Verlag, Zürich 1964, 226. Различные методы описывают Thackston, E. L., et al., JWPCF 1966, 1614, Hunter, J. V., et al., JWPCF 1970, R. 249. Об аэрации биологических прудов и окислительных каналов см. разделы 5.7.10 и 5.13.

При аэрации озера Бальденезее и нижнего Рура хорошо зарекомен-

довали себя плавучий ротационный аэратор, шланговые водометы, турбинные аэраторы водосливные плотины. Если исходить из 30 рабочих дней в году и 50 % дефицита кислорода в аэрируемой воде, затраты при турбинной и плотинной аэрации составляют 1, в то время как при ротационном аэраторе они равны 3, а при шланговых водометах- 6 (Imhoff,K.R., Grabbe, F., und Albrecht, D., Vom Wasser 1968, 284, Imhoff, K. R., GWF 1969, 543, Albrecht, D., u. Imhoff, K.R., GWF 1973, H. 3).

Перемешивание воды в озере, забор глубинных вод или отдельная аэрация глубинных вод вполне пригодны для повышения содержания кислорода и предотвращения обратного растворения фосфора, железа и марганца (Bernhardt, H., GWA, Bd. 1, Aachen 1968, 129, Symons, J. H., Water Quality Behaviour in Reservoirs, US Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati 1969, Symons, Jour. AWW Ass. 1970, Nr. 5, Bernhardt, H., GWF 1978, 177, Bucksteeg, K., et al., GWF 1978, 65, Bernhardt, H., et al., Wat. Sci. Tech., Vol. 14 (1982), 397, Prien, K. J., et al., GWF 1989, 206).

Накопленный тем временем обширный опыт искусственной аэрации был обобщен ATV/DVGW Merkblatt W 250 Massnahmen zur Sauerstoffanreicherung von Oberflaechengewaessern, Eschborn 1985. Расчеты могут быть выполнены как указано в разделе 7.3.5. В борьбе с гибелью рыб можно применять перекись водорода (Sperling, F., GWF 1988, 587).

Седьмым мероприятием является *добавление нитратов* к речной воде. Оно действует аналогично аэрации, внося в воду кислород, однако с тем отличием, что нитраты эффективны в качестве носителей кислорода только после того, как израсходован последний растворенный кислород . Таким образом, нитратный метод (раздел 5.7.11) не способствует сохранению рыб в реке, а лишь предотвращает возникновение анаэробных условий и процессов гниения.

Большой опыт существует в области применения нитратов в американских биологических прудах (разд. 5.7.10). Об их применении в

речной воде (в реке Андроскоггин) сообщают Lawrance, W. A., Water and Sew. Works 1949, 454, Sew. and Ind. Wastes 1950, 820 и Chase, E. S., Jour. Boston Soc. Civ. Eng. 1949, 357, Sew. and Ind. Wastes 1950, 637. Агар обращает внимание на то, что в результате восстановления нитрата натрия в щелочных сточных водах может образовываться аммиак, смертельный для рыб уже в концентрации 2 мг/л (Sew. and Ind. Wastes 1950, 776).

Количество нитрата натрия, добавляемого в американские биологические пруды, выбиралось таким, чтобы покрыть 20 % пятидневной потребности в кислороде (см. раздел 5.7.10).

В качестве восьмого мероприятия следует назвать хлорирование речной воды (см. раздел 5.6). Хлор разрушает сероводород, окисляет часть органических загрязнений и делает речную воду на определенном отрезке стойкой и лишенной запаха. Жизнь рыб в хлорированном участке реки невозможна.

Следует упомянуть еще борьбу с избыточным ростом водорослей (цветением воды) при помощи *сульфата меди* или *хлора* (Kaempffe, GI 1953, 256; Monie, W. D., Water a. Sew. W. 1957, R 198, Maclenthun, K. M., JWPCF 1962, 1077). Добавление сульфата меди свыше 0,5 мг/л может оказаться вредным (Czensny, Vom Wasser, 19, 1952, 92). Обычной дозой является 1 мг/л. Об уменьшении количества удобрительных солей сообщается в разделе 5.8.1.

Наконец, благоприятное действие может оказать также *охлаждение* воды, так как при этом процессы разложения замедляются.

6.4. Круговорот воды

Любое техническое использование воды должно исходить из представления о круговороте. Города включены в постоянный круговорот путем их водоснабжения и отведения их сточных вод. Нельзя решать вопросы канализации, исключая водоснабжение. Цикл "вода – сточные воды" почти всегда в той или иной мере присутствует в городском водном хозяйстве. Каждый город, использующий для во-

доснабжения речную воду, не может избежать того, чтобы в его питьевой воде не присутствовали частично примеси из стоков вышележащего города. В прежние годы избегали говорить об этом. Неверно полагать, что можно где-либо получить чистую, нетронутую воду и отвести сточные воды в какое-нибудь место, откуда они не попадут в соприкосновение с человеком. Напротив, любые воды из источника и любые грунтовые воды когда-то были поверхностными водами и, следовательно, уже в какой-то мере загрязнены, а любые сточные воды вновь попадают в водоток, вода которого вновь используется человеком, в том числе и для питья. Таким образом, избежать круговорота нельзя. Можно лишь позаботиться, чтобы он не был слишком коротким.

Развитие этой мысли можно найти в статьях Imhoff, K., "Die Wiederverwendung von staedtischem Abwasser", GI 21. Nov. 1931, 699, und "Possibilities and Limits of the Water–Sewage–Water–Cycle", Eng. News–Recoed 28 Mai 1931. Эти статьи были написаны, когда сухое лето 1929 года показало на питьевом водотоке Рура, что значительная часть речной воды в то время циркулировала трижды без малейшего ущерба для качества. Тогда во втором цикле участвовали 25 %, в третьем – 10 % воды. Некоторые немецкие специалисты резко выступили против этих статей. Возражение высказано в книге Brix–Imhoff–Weldert, "Die Stadtentwaesserung in Deutschland" 1934, Bd. 2, 136. С тех пор кратность использования воды постоянно возрастала. Случай трехкратной циркуляции, описанный для Рура, был тем временем значительно превзойден на реке Вердригис в Канзасе, где в летнюю засуху 1948 года имел место 17-кратный цикл (Veatch, N. T., Sew. Works Jour. 1948, 3, Jour. Amer. Water Works Ass. 1948, GI 1941, 105). Во время 5-месячной засухи в Чануте (Канзас) при 8-кратном использовании было установлено низкое качество питьевой воды (Jour. Am. Water W. Ass. 1958, 102).

На Руре нехватка воды летом 1959 года была еще больше, чем в 1929 году. Использование возвращенной в оборот воды длилось 4 месяца.

Указывается, что объем обратной перекачки воды из Рейна составил 109 млн м3. Такое тяжелое положение возникло, главным образом, потому, что как раз этим летом для ликвидации последствий войны было оставлено пустым Зорпское водохранилище емкостью 70 млн м3 (Koenig, H. W., DVGW-Bericht 1960, Koenig, H. W., Rincke, G., Imhoff, K. R., Der Sonderfall des Wasserkreislaufes an der Ruhr im Trockenjahr 1959, GWF 1970, 369, und Int. Abw. Konf. San Francisco 1970, 1–4). Качество питьевой воды во время обратной подкачки было низким. Это особенно затронуло город Эссен, так как здесь встретились вода из Рура и оборотная рейнская вода. Содержание хлоридов достигало 490 мг/л, нитратов – 35 мг/л и моющих средств – 1,7 мг/л. В декабре 1959 года от 5 до 10 % населения Эссена страдало бактериальным гастроэнтеритом. Хотя питьевая вода была бактериологически чистой, предполагалась ее плохая химическая характеристика (Trüb et al., Archiv f. Hygiene u. Bakteriologie 1961, H. 4). Повторение этих критических показателей исключено после ремонта Зорпского водохранилища и сооружения нового Биггского водохранилища. Из опыта, полученного на реке Рур, был сделан вывод о том, что, пользуясь методами очистки того времени, можно допустить круговорот "вода–сточные воды" до 50 % без ухудшения качества воды (Imhoff, K. R., GWA 1973, Bd. 10, 257). Поэтому соотношение между очищенными стоками и нетронутой водой для разбавления в реках, используемых для питьевого водоснабжения, не должно и в сухие периоды превышать 1 : 1.

Следует указать еще на статьй: Imhoff, Wasser schaffen durch Rückpumpen, D. Wasserwirtsch. 1943, 124, Poepel, F., GWF 1949, 393, Ludwig, R. G., Sew. a. I. W. 1950, 289, GI 1950, 259, Hedger, H. E., Civil-Eng. (USA) 1950, 323, Rawn, A. M., Civil-Eng. (USA) 1950, 324, Whitney, H. W., Water and Sew. Works 1949, 393, GI 1950, 196, Müller, W., GI 1951, 80, Krone, R. B., et al., ASCE Journal San. Eng. Div. Aug. 1957, Rawn, A. M., et al., Sew. a. I. W. 1957, 134, Koenig, H. W., GWF 1959, 1366, Hartmann, L., et al., Wasser ist Gold in Süd-Kalifornien,

GWF 1963, 645, Stanbridge, H. H., Journal I. S. P. 1965, 20, Müller, W. J., GWF 1968, 33, Van Vuuren, L. R. J., und Mitarb., Int. Abw. Konf. San Francisco 1970, 1–32, Müller, W. J., Nutzung und Wiederverwendung von Abwaessern, Erich Schmidt Verlag, 1976, Clayton, A. J., et al., Wat. Sci. Tech., Vol. 14 (1982), 339; Pettygrove, G. St., et al., Irrigation with reclaimed municipal wastewater, Lewis Publishers Inc. Chelsea 1985; Asano, T., Artificial recharge of ground water, Butterworth, Boston 1985; California State Water Control Board, Ground Water Recharge with Reclaimed Wastewater, Sacramento 1987.

В процессе круговорота часть воды всегда теряется. Согласно Шроедеру (Schroeder, D. Wass.wirtsch. 1941, 344), теряется:

в случае использования воды для охлаждения – очень мало,
в случае городского водоснабжения – 20 %,
в случае сельского водоснабжения без местной канализации – 70 %,
в случае поверхностного полива – 40 %,
в случае полива дождеванием – 100 %.

Очистка сточных вод значительно облегчается, если есть возможность брать воду для водоснабжения из участка реки с малым сбросом сточных вод и отводить сточные воды в другую реку, вода которой используется только для второстепенных целей или которая настолько многоводна, что можно обойтись небольшой степенью очистки.

Если один и тот же участок реки должен служить для обеих целей — забора воды и сброса стоков, — то степень очистки определяется, исходя из нужд водоснабжения. Такое положение обычно существует на "промышленных реках". В большинстве случаев суммарный забор воды, в частности, электростанциями, превышает меженный расход реки. В этом случае потребность в воде вообще не может быть удовлетворена без многократного использования. Каждый водопотребитель обязан в этом случае возвратить сточные воды в реку после надлежащей очистки. В то же время опыт, приобретенный на многочисленных примерах из городского водоснабжения, совершенно

неприменим, если на пути в водоем имеются объекты, на которых может быть осуществлена искусственная или естественная очистка, особенно почвенная фильтрация. В густонаселенных индустриальных странах поддержание чистоты водоемов путем хорошей очистки сточных вод является наилучшей основой для того, чтобы население и промышленность были обеспечены надежным и дешевым водоснабжением.

При многократном использовании воды соли и некоторые конечные продукты разложения остаются в воде и накапливаются тем больше, чем чаще повторяется цикл. В результате могут возникнуть отрицательные последствия, например, коррозионное действие на материалы угольной кислоты и кислорода, либо избыточный рост водорослей под действием питательных веществ для растений. Особенно опасными в скотоводческих районах и в населенных пунктах без централизованного водоснабжения является попадание мочи человека и животных в питьевые колодцы. Согласно Хеттче, урохром (пигмент мочи) вызывает эндемический зоб и базедову болезнь (Staedtehygiene 1955, 1). Эта опасность определяется содержанием нитратов в колодезной воде (Bucksteeg, W., et al., GWF 1957, 26).

С точки зрения водоснабжения вопрос круговорота воды часто рассматривается под названием "искусственные грунтовые воды". Укажем здесь на статьи: Thiem, A., Journ. Gas und Wasser 1898, 207, Reichle, Journal Gas und Wasser 1910, 699, Keller, Zentr. bl. d. Bauv., 31. 5. 1919, Koenig, A., und Bruns, H., GI 1930, 662, 740, Nerreter, GWF 1932, 653, Schmick, GWF 1932, 637, Kring, GWF 28. 2. 1931, Wolber, GWF 1938, 236, 1941, 257, Haase, GI 1942, 17, und Wasserwirtschaft 1950, 251, Kazmann, R. G., Proc. Am. Soc. Civil Eng. 1947, 837, Potrykus, F., GWF 1952, 116, Imhoff, F., GWF 1952, 569, Koenig, H., GWF 1952, 33, Helb, W., et al., Veroeff. d. Inst. f. Siedlungswasserwirtschaft, Hannover, H. 2, 1958, Schwing, V., GWF 1959, 934; Schmidt, W. D., Grundwasseranreicherung an der Ruhr, Zbl. Hyg. 188 (1989), 1. О технических возможностях получения питье-

вой воды из поверхностных вод см. Dieterich, B., "Die Einordnung des Oberflaechenwassers in die Wassergütewirtschaft", Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft 1957, H. 1, Hünerberg, K., Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in Berlin, GWF 1963, 1203.

Согласно исследованиям Примавеси, вирусы и патогенные микроорганизмы удаляются из поверхностных вод при подготовке питьевой воды посредством флоккуляции и хлорирования. Особенно благоприятно влияет подземная фильтрация (GI 1970, 266).

В статьях Хаасе содержится превосходный обзор по проблемам *коррозии*, связанной с круговоротом воды. Согласно этим статьям, в случае природных грунтовых вод полезна аэрация, так как при этом наряду с железом и марганцем удаляются также угольная кислота и сероводород, а обогащение кислородом способствует образованую защитного слоя. В случае искусственных грунтовых вод причиной коррозии являются органические вещества, а именно, вещества из промышленных стоков, например, целлюлозных фабрик. Эти органические вещества уменьшают содержание кислорода и образуют в почве угольную кислоту, которая оказывает корродирующее действие. Хлорирование повышает коррозионную способность. Для речной воды имеет значение любое загрязнение, повышающее содержание угольной кислоты, нитратов, хлоридов, аммиака или фенола. Все они разрушают материалы.

7. Самоочищение водоемов

В природе загрязненная вода очищается самостоятельно. Самоочищение проходит двумя путями: первый – это разложение загрязнений при недостатке кислорода, для второго необходим кислород.

Способ разложения при недостатке кислорода иногда используется в искусственной очистке сточных вод (процесс сбраживания). Для водоемов это путь непригоден, так как он требует намного больше времени, сопровождается гибелью растительных и животных организмов и появлением неприятного запаха. Разложение веществ без доступа кислорода не оказывает вредного воздействия на водоем только в том случае, если оно ограничивается "донным илом" и не влияет на протекающую над ним воду, содержащую кислород.

Второй путь – разложение в аэробных условиях - используется на всех очистных станциях, так как они не должны быть источником распространения неприятных запахов. Наличие кислорода при разложении загрязняющих веществ еще более необходимо в естественных водоема, так как его отсутствие вызывает гибель рыб.

Ниже рассматривается только такое самоочищение — в аэробных условиях. Если кислород присутствует постоянно, очистка происходит за счет естественных процессов, в которых участвуют гидробионты растительного и животного происхождения, в основном, бактерии.

Совокупность живых организмов, находящихся во взвешенном состоянии в природной воде, в биологии называется "*планктоном*". Он участвует в процессе самоочищения. Потребление кислорода планктоном водоема было измерено Кнёппом (Knoepp, H., D. Gewaesserkundlische Mitt. 1959, 139 und GWF 1960, 667, und Schweiz. Ztschr. f. Hydrologie, Bd. 22, Fasc. 1, 1960, 152). Кнёпп показал, каким образом, пользуясь термином "дополнительное потребление", можно определять биологическим методом способность к самоочищению и эффект самоочищения (GWF 1964, 92). Для инженера по сточным водам планктон соответствует "активному

илу" в сооружениях искусственной очистки, в которых он постоянно возвращается в аэротенк. Отсюда следует, что способность к самоочищению воды, слабо населенной планктоном, невелика и только благодаря присутствую некоторых органических веществ, используемых микроорганизмами в качестве источника питания, количество планктонных организмов может увеличиться настолько, что повышается способность к самоочищению и ускоряются его процессы (Müller, W., Steigerung der Selbstreinigung durch Flussbelebung, GI 1951, 299, Imhoff, K., Soll man staedtisches Abwasser überall biologisch reinigen? Kommunalwirtschaft 1955, 357).

Однако активизация жизненных процессов требует опять-таки большего количества кислорода. Они могут протекать без нарушений лишь в том случае, если содержание кислорода в воде не падает ниже установленной для рыб предельной концентрации от 3 до 4 мг/л. В сложные периоды можно аэрировать речную воду искусственно (стр. 463).

При технических расчетах самоочищения водоема стремятся определить *кислородный баланс*. При этом вычисляют *потребление кислорода* при процессах жизнедеятельности (расход) по отношению к *поступлению кислорода* (приход). В реках с регулируемым подпором часто создается критическая нагрузка при отмирании водорослей после их массового развития (Imhoff, K. R., u. Albrecht, D., GWF 1982, 140, Wat. Sci. Techn. Vol. 14 (1982), 185).

7.1. Потребление кислорода

Согласно ряду наблюдений на крупных американских реках разложение органических веществ подчиняется тем же законам, которые были выведены химиками из понятия "потребность в кислороде" (см. раздел 5.1) (Streeter u. Phelps, U. S. Public Health Bulletin 1925, 146, und Streeter, Sewage W. J. 1935, 251, 534; 1936, 282). Потребление кислорода зависит от количества загрязнений, продолжительности и от температуры.

В качестве единицы загрязнения здесь, как и при расчете очистных сооружений, следует использовать суточное потребление кислорода сточными водами в расчете на одного жителя в граммах. Оно составляет (стр. 133) при 20 °C за 5 дней для средних условий Германии:

по осаждающимся взвешенным веществам — 20 г $БПК_5$/(чел•сут)
по неосаждающимся и растворимым — 40 г $БПК_5$/(чел•сут)
всего: $БПК_5$ = 60 г $БПК_5$/(чел•сут)

Влияние времени разложения и температуры подробно рассмотрено в разделе 5.1. Ежедневный расход кислорода при температуре 20 °C составляет 20,6 % общей оставшейся к этому времени потребности в кислороде. В разделе 5.1 поясняется, что данное определение касается только первой ступени разложения и этого, как правило, достаточно (рис. 5.4). Полное разложение на первой ступени заканчивается примерно через 20 дней. $БПК_{20}$ относится к $БПК_5$ как 100 : 68,4 или 146 : 100. Эти соотношения при других температурах приведены на рис. 5.5 и в следующей за ним таблице. При этом нужно учитывать возражение Виеля. Только в том случае, если время протекания превышает 10 дней или если речь идет о сточных водах после биологической очистки, в которых первая ступень разложения уже закончилась, следует заинтересоваться разложением на второй ступени согласно рис. 5.4. Для этой цели О'Коннор и сотрудники разработали математическую модель (Int. Abw. Konf. San Francisco 1970, III–9). Вольф приводит уравнения (GWF 1971, 200, Wasserwirtschaft 1973, 273).

В случае *мелких водоемов* (небольших ручьев или мелких прудов глубиной менее 0,5 м) время разложения сокращается. Загрязняющие вещества чаще контактируют с растениями и бактериями и, таким образом, быстрее разлагаются. Следовательно, за единицу времени потребляется больше кислорода. Однако одновременно на единицу поверхности поступает больше кислорода, так как размножающиеся в нижних слоях воды водные растения лучше освещены и выделяют больше кислорода и, кроме того, при небольшой глубине

кислород быстрее диффундирует ко дну. Суточное потребление по Фейру составляет вместо 20,6 % примерно от 37 до 50 %, и время разложения соответственно меньше (Imhoff and Fair, Sewage Treatment 1940, 297). Майнк предлагает (Meinck, GI 1950, 216) вводить в расчет глубину водоема при помощи следующих коэффициентов:

глубина 2,0 м и выше — коэффициент 1
глубина 1,0 м и выше — коэффициент 0,5
глубина 0,5 м и выше — коэффициент 0,25
глубина 0,25 м и выше — коэффициент 0,125 и т.д.

Время разложения уменьшается в том случае, если река в месте выпуска сточных вод уже не является чистой и слабонаселенной организмами, а содержит выше выпуска допустимые количества органических загрязнений и сформировавшийся планктон.

Однако и в наиболее благоприятном случае время разложения в природных условиях намного больше, чем при искусственной очистке. Разложение на 90 % по БПК, для которого в глубокой реке или озере требуется при 20 °С 10 суток при очистке активным илом (стр. 253), когда мельчайшие частицы ила взвешены в воде, заканчивается через 3 ... 10 часов, а в капельном биофильтре (где сточная вода просачивается между биологическими пленками) – уже через 1 час. Из *взвешенных веществ* большая часть во время разложения остается во взвешенном состоянии, отчасти потому что 1) эти частицы столь малы, что не тонут, и 2) течение воды препятствует оседанию на дно. Предельные скорости течения известны из очистки сточных вод. Об отстойниках известно, что скорость течения 0,05 м/с еще не препятствует оседанию мелких взвешенных частиц на дно. И согласно опытам Стритера с мелкими лотками (Streeter, Sewage Works J. 1936, 315) 0,05 м/с является *предельной скоростью*, начиная с которой равномерное течение воды переходит в вихревое с циркуляцией воды. Относительно песколовок было установлено, что при скорости течения 0,3 м/с осаждается только чистый песок, в то

время как органические взвешенные вещества проходят дальше. Из этого можно заключить следующее: при скоростях течения менее 0,05 м/с все взвешенные вещества остаются в воде во взвешенном состоянии лишь до тех пор, пока они не достигнут дна в процессе протекания. В диапазоне скоростей от 0,05 до 0,3 м/с в воде находится более или менее значительная часть органических взвешенных веществ, а при скоростях выше 0,3 м/с все взвешенные вещества находятся во взвешенном состоянии. Они разлагаются в воде так же, как растворенные вещества, и потребление ими кислорода безусловно не превышает его потребление растворенными веществами. Таким образом, при расчетах растворенные и взвешенные нерастворенные вещества можно учитывать одинаково.

Взвешенные вещества, достигшие дна в процессе оседания и не поднятые вновь со дна в результате действия течений, накапливаются в виде *донного ила* (Imhoff, Der Bodenschlamm in verschmutzten Gewaessern, GI 1942, 154). Лишь самый верхний тонкий слой этого ила (4 мм по Фейру) доступен для кислорода из объема воды над ним. К остальному илу нет доступа кислорода, аэробные бактерии погибают. Их заменяют гнилостные бактерии, которые продолжают разлагать ил. Разложение происходит так же, как в гнилостной камере. Однако газы содержат намного больше азота, например, по Фейру, в них 14 % угольной кислоты, 17 % метана и 69 % азота. На разложение до технического предела перегнивания требуется при 20 °С в зрелой камере сбраживания 45 дней, а в незрелой – 6 месяцев, так как добавляется время на созревание. В донном иле реки затравка старым илом не происходит, так как каждая частица остается на том месте, где она осела. Поэтому время разложения такое же, как в незрелой камере сбраживания, а большей частью, еще продолжительнее. Разложение идет медленнее потому, что ил обычно содержит лишь 30 % органических веществ, в то время как свежий городской ил – 70 % (см. раздел 5.9.2).

Бетге установил на пробе ила без затравки, хранившейся в погребе

в течение 14 лет в десятилитровой бутыли, что из количества газа, образовавшегося за все это время, в первый год образовалось 34 %, во второй – 27 %, в третий – 11 %, а в последние годы ежегодно образовывалось от 1 до 4 %. Исходя из оставшегося количества целлюлозы, он пришел к выводу, что газообразование будет продолжаться еще десятки лет (Kl. Mitt. d. Vereins f. W. B. L. 1938, 20).

О степени разложения ила можно судить по его потребности в кислороде. Для этого пробу ила, разбавленную водой, насыщенной кислородом, оставляют на 5 дней для определения потребления кислорода. $БПК_5$ при этом служит показателем содержания органических веществ, которые еще могут быть разложены бактериями. Использование при определении БПК аэробных бактерий вместо гнилостных анаэробных имеет то преимущество, что определение заканчивается уже через 5 дней, а при использовании гнилостных бактерий процесс длится несколько месяцев. Фейр, Мольман, Рудольфс и др. наблюдали таким путем за разложением ила в течение длительного времени. Мольман (Mohlman, Sew. Works J. 1938, 613) установил, что $БПК_5$ ила, гниющего при 20 °С, выражаемое в мг/г органического сухого остатка, изменяется следующим образом:

0	40	80	120	200	400	600	700	дней
380	270	210	170	140	105	97	96	мг/г

Если пересчитать эти числа в процентах от начального $БПК_5$ = 380 мг/г (округленно 0,4 г/г) и нанести их на график, то получится кривая снижения потребления кислорода, представленная на рис. 7.1, которая подобна кривой газа в камере сбраживания (рис. 5.61) с тем отличием, что она проходит через 20-кратное время.

При температурах, отличных от 20 °, форма кривых примерно та же, что на рис. 5.61. Она имеет также сходство с рис 5.5, только влияние температуры в сторону повышения или снижения скорости процесса примерно на треть сильнее, чем при разложении в присутствии кислорода (по Фейру, примерно на 2,7 % для 1 ° вместо 2 %).

Разложение ила каждый год прерывается зимой и зависит от климата. Для примера на рис. 7.2 принято допущение, что каждый год за

четырьмя летними месяцами с температурой 20 °С следует зимняя пауза на 8 месяцев. В первое лето разлагается 55 %, во второе – 11 %, в третье – 5 %. В результате за 2,5 года или, скорее, за 3 лета может разложиться 71 % первоначального потребления кислорода. Дальнейшее разложение растягивается на долгие годы.

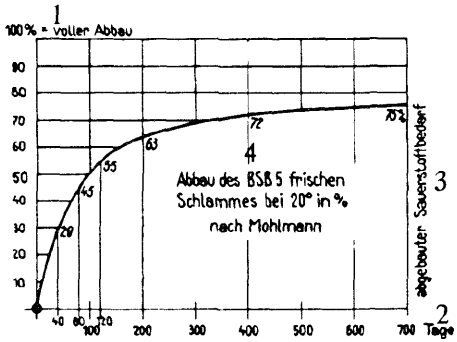


Рис. 7.1

1 – полное разложение; 2 – дни; 3 – снижение БПК;
4 – снижение $БПК_5$ свежего ила при 20 °С в % по Мольману

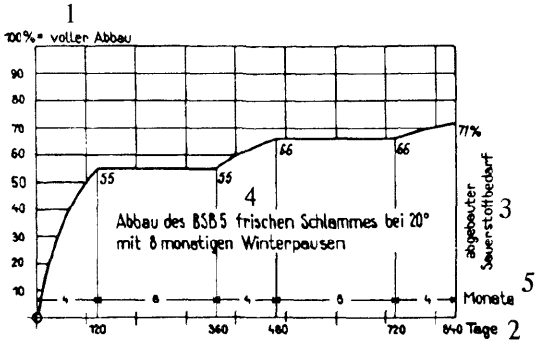


Рис. 7.2

1 – полное разложение; 2 – дни; 3 – снижение БПК;
4 – снижение $БПК_5$ в свежем иле при 20 °С с 8-месячными зимними паузами; 5 – месяцы

Значительная часть органических веществ, например, 30 % от определяемых прокаливанием, вообще не подвергается воздействию бактерий.

Теперь возникает вопрос, как влияет разложение донного ила на *протекающую над ним воду.* Пока ил лежит неподвижно, это влияние невелико. Часть газов, растворяющихся в воде (например, азот), незначительна. Остается лишь потребление кислорода самым верхним слоем ила и некоторыми другими продуктами разложения (например, сероводородом) из нижележащих слоев, которые могут выделяться наружу в небольших количествах.

Фейр провел исследования в этом направлении (Fair, G. M., et al., Sew. Works Jour. 1941, 270, 756, 1209). Он выражает потребление кислорода донным илом через "поверхностную нагрузку органическими веществами" в кг/м^2. Для различных нагрузок и, соответственно, различной толщины илового слоя он установил следующие значения потребности в кислороде:

Потребление кислорода донным илом

Поверхностная нагрузка органическими веществами за счет донного ила	3,8	1,4	0,5	0,2	кг/м^2
Толщина слоя свежего ила, содержащего 90 % воды и 30 % органических веществ	127	47	17	7	мм
Ежедневное потребление O2 за 1-е сутки	4,7	3,1	1,7	1,1	г/(м^2•сут)
Ежедневное потребление O2 за 100 суток	2,2	1,2	0,7	0,4	г/(м^2•сут)
Ежедневное потребление O2 за 200 суток	1,2	0,6	0,3	0,2	г/(м^2•сут)
Ежедневное потребление O2 за 400 суток	0,4	0,2	0,1	0,07	г/(м^2•сут)

Как видно из таблицы, потребление кислорода при 20-кратном увеличении нагрузки возрастает примерно в 5 раз, так как с увеличением толщины слоя донного ила влияние содержащихся в нем органических веществ на находящуюся или протекающую над ним воду уменьшается. Если ил не свежий, а разлагающийся, то показатели значительно ниже. По измерениям Макерета потребление кислорода донным илом в водоемах составляет от 0,5 до 1,3 г/(м^2•сут) (Journal Inst. Public Health Eng. 1964, 248). Макдоннел и Халл при-

водят в качестве максимума цифры от 3,3 до 11,2 г O_2/(м^2•сут). Наряду с температурой играет роль и содержание кислорода (JWPCF, 1969, R. 353). В запруженной реке распределение ила по длине русла можно вычислить из кривой осаждения (рис. 5.16) на основе зависимости между временем протекания и временем осаждения (Janza et al., Sew. W. J. 1941, 551, u. Water a. Sew. W. Sept. 1954, u. Akerlindh, G., Water a. Sew. W. 1954, 412).

Иначе обстоит дело, если *донный ил приходит в движение.* При этом резко возрастает потребность в кислороде, которая должна покрываться кислородом из воды. Согласно Фейру, она может составлять 28 % $БПК_5$ ила. Однако, кроме того, мелкие частицы ила в этом случае уносятся водой и большей частью уже не оседают на дно. В проточной воде они продолжают быстро разлагаться, как известно из определения БПК в разделе 5.1, и потребляют кислород из воды. Олдакер называет цифру 6 г $БПК_5$ на 1 кг ила, содержащего 10 % органических веществ (Journal Inst. Publ. Health Eng. 1964, 253). Другие измерения дали для взмученного донного ила значения от 0,5 до 3 г O_2/(кг сух. вещ. • сут) или 6 ... 20 г O_2/(кг орган. сух. вещ. • сут) (Isaac, P., Biological Problems in Water Pollution, Public Health Service, Cincinnati 1965).

Если ил приходит в движение под действием паводковых вод, вред в большинстве случаев не причиняется, так как паводок приносит с собой большое количество воды и, следовательно, кислорода. Вследствие вымывания ила участок реки на некоторое время даже освобождается от дополнительного потребления кислорода этим илом (стр. 463).

Опасным является взмучивание донного ила летом, когда температура воды впервые достигает примерно 20 °С. Газообразование тогда столь бурное, что газы приводят в движение сильно разлагающийся ил, накопившийся в предшествующие зимние месяцы. Нарушение кислородного баланса реки в этом случае особенно велико, так как река в это время обычно несет меньше воды, а следовательно, и

кислорода. В приведенном ниже примере 2 (раздел 7.3.1) показано, как можно вычислить влияние донного ила на потребление кислорода текущей водой. Эти расчеты базируются на многочисленных допущениях, а потому неточны.

На *запруженных участках реки* избежать отложения донного ила невозможно даже при самой совершенной очистке сточных вод, так как ил поступает из ливневыпусков и в результате самоочищения образуются донные отложения, содержащие органические вещества, способные разлагаться. Поэтому при расчетах следует все время помнить о донном иле. Искусственно можно значительно уменьшить нагрузку на кислородный баланс в запруженном участке реки путем вымывания или чистки отложившегося за зиму ила еще до наступления жаркого и маловодного времени года (стр. 463). Такую же роль выполняет на многих реках весенний паводок.

7.2. Поступление кислорода

В определенном месте воды водоема имеют три источника растворенного киалорода: они содержат первоначальный запас кислорода, поглощают кислород из воздуха через водную поверхность и получают его из водных растений под воздействием солнечного света.

Из воздуха вода поглощает кислород лишь до "насыщения". Насыщение зависит от температуры. Под влиянием водных растений насыщение может быть даже превзойдено. При интенсивном солнечном освещении отмечались значения содержания кислорода в 4 раза выше значений, соответствующих насыщению. Однако при технических расчетах влияние водной растительности обычно не учитывают, так как оно может и отсутствовать. В ночное время и после отмирания растения потребляют кислород.

По Кнёппу (GWF 1960, 667), кислород поступает от водных растений (планктон, стр. 472) лишь с апреля по октябрь, особенно в августе и сентябре, и только до глубины 2 м от поверхности. В Рейне это поступление биологического кислорода составляло в конце июля

1959 года 1,6 г/м^3 ежедневно. Это составило почти половину вычисленного в приводимом ниже примере физического поступления кислорода — 4,1 г/м^3 в день. Адема и Титема приводят по поглощению кислорода значения от 1,2 до 7,3 г на 1 м^2 поверхности в день. Крафт находил для реки Липпе от 2 до 13 г O_2/(м^2•сут) (Vortragsveroeff. HdT, Vulkan-Verlag Essen 1966, H. 83, 72).

Выделение кислорода растениями зависит от биологического состояния водоема, которое можно оценить по степени сапробности (Knoepp, H., GWA, Aachen 1968, Bd. 1, 161).

Невероятно большое поступление кислорода может быть связано с движением судов, так как гребные винты судов, особенно при небольшой глубине, сильно турбулизуют воду и смешивают с воздухом. Так, в Рейне в засушливое лето 1959 и 1961 гг благодаря дополнительному поступлению воздуха в результате работы гребных винтов не произошло снижение содержания кислорода до "полного замора рыб" (Bericht des Landwirtschaftsministers von Nordrhein-Westfalen 1964).

При расчете поступления кислорода часто исходят из расхода воды. Поступление кислорода тем больше, чем выше дефицит кислорода в воде, т.е. чем больше фактическое содержание кислорода отличается от его содержания при насыщении для данной температуры. Кроме того поступление кислорода зависит от вида водоема, особенно от течений, и от его доступности для ветра и волнения.

Фейр в приведенной ниже таблице для шести групп водоемов вычисляет суточное поступление кислорода в процентах от дефицита при 20 °С. Колонка а) справедлива при условии допущения, что первоначальный дефицит уменьшается в той мере, в которой происходит поступление кислорода. Однако колонка б) предполагает, что дефицит остается постоянным на протяжение дня, т.е. что содержащиеся в воде реки вещества постоянно потребляют столько же кислорода, сколько его поступает. Дефицит в колонке б) в среднем за день ниже, а поступление в общем выше, чем в колонке а). Разность приведена в последней колонке.

Поступление кислорода в воду

Группы водоемов	Суточное поступление кислорода при 20 °С в % от дефицита		Отношение $\frac{б}{а}$
	а) от начального дефицита при уменьшении дефицита	б) от постоянного дефицита, когда он не изменяется	
1. Небольшой пруд	10,9–20,6	11,5–23,0	1,08
2. Большое озеро	20,6–29,2	23,0–34,5	1,15
3. Река с медленным течением	29,2–36,9	34,5–46,0	1,22
4. Большая река	36,9–49,9	46,0–69,0	1,31
5. Водоток с быстрым течением	49,9–68,4	69,0–115	1,55
6. Быстрина	свыше 68,4	свыше 115	свыше 1,55

Пример: Река несет 28,3 $м^3$/с воды с содержанием кислорода 2 $г/м^3$ при температуре 20 °С. Сколько кислорода поступает в нее в день, если дефицит в течение дня не изменяется? — Значение при насыщении равно 9,1 $г/м^3$. Дефицит равен 9,1 - 2 = 7,1 $г/м^3$. Поступление кислорода в группе 4, согласно колонке б), составляет от 46,0 до 69,0, поступление – 57,5 % или 0,575 • 7,1 = 4,1 $г/м^3$ в день. Таким образом, ежедневно поступает и вновь потребляется 28,3 • 4,1 • 24 • 60 • 60 : 1 000 = 10 000 кг кислорода.

Вместо расхода протекающей воды в основу расчета поступления кислорода может быть положена *поверхность воды.*

Поступление кислорода через поверхность воды

Значение при насыщении	100	80	60	40	20	0 %
1. Небольшой пруд	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5 г/($м^2$•сут)
2. Большое озеро	0	1,0	1,9	2,9	3,8	4,8 г/($м^2$•сут)
3. Река с медленным течением	0	1,3	2,7	4,0	5,4	6,7 г/($м^2$•сут)
4. Большая река	0	1,9	3,8	5,8	7,6	9,6 г/($м^2$•сут)
5. Водоток с быстрым течением	0	3,1	6,2	9,3	12,4	15,5 г/($м^2$•сут)
6. Быстрина	0	9,6	19,2	28,6	38,4	48,0 г/($м^2$•сут)

Приведенными в этой таблице данными можно пользоваться для ориентировочной оценки *поступления кислорода через поверхность воды* при 20 °С (без участия водных растений). Эти значения

верны для безветренной погоды. При сильном волнении они иногда возрастают более чем в 10 раз.

Оуэнс и др. посредством немногочисленных измерений в водоемах и сравнения с данными литературы вывели закономерность поступления кислорода в зависимости от скорости течения и глубины водоема (Int. Journal Air and Water Pollution, Pergamon Press, 1964, 469; Wilson, et al., Water Research 1974, 341). Результаты приведены на рис. 7.3 (Imhoff, K. R., GWF 1969, 543). Ученые указывают, что моющие средства и другие компоненты сточных вод могут уменьшать полученные значения почти вдвое. Поэтому больших различий с оценочными значениями приведенной выше таблицы нет.

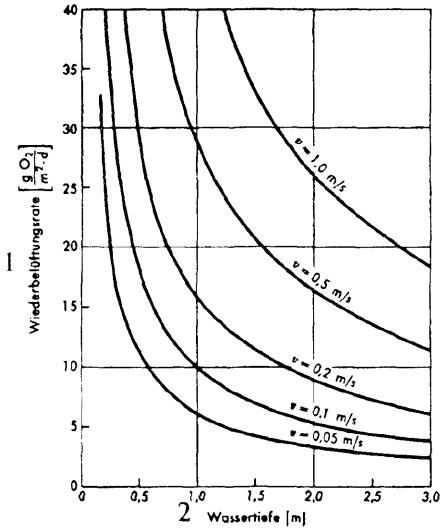


Рис. 7.3. Поступление кислорода с поверхности воды в зависимости от скорости течения и глубины водоема при 20 °С и дефиците 100 %

1 – коэффициент реаэрации ($\frac{г\ O_2}{м^2 \cdot сут}$); 2 – глубина воды (м)

Между 5 и 30 °С коэффициент реаэрации возрастает в геометрической прогрессии на 2,4 % на каждый °С (по сравнению с 4,7 % для БПК. American Society of Civil Engineers, Jour. Sanit. Eng. Div. 1961, 87, SA 6, 59).

7.3. Расчет кислородного баланса

Первоначальное содержание кислорода в водоеме, потребление кислорода загрязнениями и поступление кислорода в процессе аэрации – вот три главных фактора, на которых базируется *кислородный баланс* водоема. Цель расчета самоочищения состоит обычно в том, чтобы заранее вычислить ожидаемое содержание кислорода в определенном месте, чтобы можно было проверить, достаточно ли планируемых способов очистки. При более обширных задачах стремятся определить "кислородную кривую", представляющую содержание кислорода в реке в зависимости от времени протекания (загрязнений). Это позволяет увидеть, на каком участке реки содержание кислорода будет наименьшим, и установить "допустимую нагрузку" (Imhoff, Die Sauerstofflinie in verschmutzten Gewaessern, D. Wass.–wirtsch. 1941, 388).

Ниже приводятся пять методов расчета, поясняющие основные положения.

7.3.1. Потребление и поступление кислорода

Потребление и поступление кислорода на ограниченном участке водоема сопоставлены в приведенных ниже примерах 1, 2 и 3.

Пример 1: Город с населением 80 000 человек расположен на небольшой, богатой рыбой реке, ширина водного зеркала которой 17 м, глубина – 2 м, расход – 10 м3/с. Требуется проверить, может ли река справиться с переработкой растворенных веществ сточных вод, т.е. можно ли обойтись отстойниками без биологической очистки. Через одни сутки река достигает крупного водотока.

Пятидневное БПК за счет растворенных и неоседающих веществ

составляет (стр. 133) 40 г/(чел•сут). Из них в течение первых суток должны быть переработаны 30 % = 12 г/(чел•сут) или в сумме 12 • 80 000 = 960 000 г/сут. Скорость течения равна 10 : (2 • 17) = 0,3 м/с. Вода реки покрывает за одни сутки площадь 17 • 0,3 • 86 400 = 440 000 $м^2$. Таким образом, нагрузка за счет растворенных веществ составляет 960 000 : 440 000 = 2,2 г/($м^2$•сут). Поступление кислорода можно принять по данным таблицы на стр. 483 для 4 группы водоемов. Там указана величина 2,2 г/($м^2$•сут) при насыщении 77 %. Это соответствует при 20 °С содержанию кислорода 0,77 • 9,1 = 7,0 мг/л в несодержащей солей воде.

При этом предполагается, что потребление кислорода за счет собственно речной воды не происходит и содержание кислорода в речной воде не падает. Допускается также, что на дне русла свежий донный ил не откладывается. Однако, если из 7,0 мг/л также вычесть приведенное выше потребление кислорода водой реки и донными отложениями, содержание кислорода остается все же выше предельной для рыб концентрации от 3 до 4 мг/л (стр. 463). Таким образом, отстойников достаточно, если биологическая очистка не предписана нормативами.

Пример 2: Большое водохранилище с поверхностью 1 700 000 $м^2$ и глубиной 2 м находится на сильно нагруженной сточными водами, но богатую рыбой реке. Шлам сточных вод задерживается в надежных отстойниках. Стоки от какого числа жителей могут быть биологически очищены в этом водохранилище?

Расчет 2а без учета донного ила: Пятидневное потребление кислорода за счет растворенных и неосаждающихся веществ в сточных водах равно 40 г/(чел•сут) (стр. 133). Поступление кислорода с поверхности, согласно таблице на стр. 483, если содержание кислорода упало до 60 % насыщения, равно 1,9 г/($м^2$•сут) в группе 2. Таким образом, водохранилище очищает стоки от 1 700 000 • 1,9 : 40 = округленно 80 000 жителей, при условии, что время пребывания равно 5 дням. Если удалению подлежат не только вещества, разла-

гающиеся в течение 5 дней, но, например, 90 % от разлагающихся в течение 20 дней, то необходимо время пребывания 10 дней при 20 °С. Если время пребывания составляет всего 1 день, то возможна лишь частичная очистка, а именно: снижение БПК на 30 % по сравнению с $БПК_5$. В этом случае водохранилище способно лишь частично очистить стоки от 80 000 • 100 : 30 = 270 000 жителей.

Расчет 2б с неподвижным донным илом: Расчет будет полным лишь в том случае, если в нем учтен и донный ил, оседающий в водохранилище, несмотря на наличие хороших отстойников, частично за счет взвешенных веществ из ливневыпусков, частично в результате самоочищения от растворенных компонентов сточных вод и частично из веществ, принесенных рекой сверху. Для этого требуется ряд произвольных допущений. Шлам, осевший в отстойниках, составляет, согласно стр. 314, при 80 000 жителей 80 000 • 0,90 : 1 000 = 72 $м^3$/сут при содержании 95 % воды. Органическая сухая масса составляет при этом 70 % или 72 • 0,05 • 0,7 = 2,5 т/сут. Далее принимается, что в водохранилище (по сухой массе) откладывается дополнительно такое же количество ила, но с содержанием 90 % воды и 30 % органических веществ. Следовательно, количество донного ила составляет 2,5 • [100 : (100 - 90)] • (100 : 30) = 83 $м^3$/сут. Принимается, далее, что ежегодно в феврале проходит очищающий паводок и критическое время наступает в июле при температуре 20 °С и расходе воды 20 $м^3$/с = 20 • 86 400 = 1 730 000 $м^3$/сут. Глубина водохранилища равна 2 м, емкость – 2 • 1 700 000 = 3 400 000 $м^3$ и время пребывания воды – 3 400 000 : 1 730 000 = 2 дня. К июлю накапливается 5 • 30 • 83 = 12 450 $м^3$ донного ила, содержащего 5 • 30 • 2,5 = 375 т органических веществ. Этот ил, будучи равномерно распределен, должен покрыть дно слоем толщиной 12 450 : 1 700 000 = 0,0073 м, и в тонком слое он вполне мог бы подвергнуться разложению кислородом, содержащимся в воде. Согласно стр. 479, спустя 100 дней при толщине 7 мм, ежедневное БПК этого ила составило бы 0,4 г/$м^2$. Эта величина вычитается из вычис-

ленного в примере 2а поступления кислорода – 1,9 г/(м^2•сут).

Расчет 2в при взмученном донном иле: Часть ила (принимается половина) откладывается в верхнем конце водохранилища, в глубоких местах и особенно ниже канализационного выпуска толстым слоем. Он изолирован от воды, содержащей кислород, гниет и вспучивается, как только температура оказывается достаточно высокой. Он содержит 375 : 2 = 188 т органических веществ. При этом (стр. 477) $БПК_5$ = 400 мг на 1 г органических веществ, из них (стр. 478) *55* % потребляется в первое лето, т.е. 188 • (400 : 1 000) • (*55* : 100) • 1 000 = 41 360 кг. Из них непосредственное потребление (стр. 480) 28 % = (28 : 100) • 41 360 = 11 580 кг. Остальное – потребление за *5* дней. Поскольку время пребывания составляет всего 2 дня, действительно потребляется лишь 54 % этого количества, т.е. (54 : 100) • 29 780 = 16 080 кг. Следовательно, потребление кислорода илом равно 11 580 + 16 080 = 27 660 кг. Введено допущение, что это потребление распределяется на *5* первых летних дней, т.е. на *5* • 1 730 000 м^3 = 8 650 000 м^3 речной воды. Потребление за счет ила равно 27 660 • 1 000 : 8 650 000 = 3,2 г/м^3.

Обычное потребление за счет сточных вод от 80 000 жителей (стр. 133) для неоседающих и растворенных веществ из расчета 40 г/(чел•сут) = 80 000 • (40 : 1 000) = 3 200 кг/сут или на 1 м^3 речной воды – 3 200 000 : 1 730 000 = 1,85 г/м^3. Дополнительное потребление O_2 за счет гниющего ила при принятых допущениях в первые летние дни в 3,2 : 1,85 = 1,7 раза выше, чем потребление за счет сточных вод, очищенных в отстойниках. Потребление сточными водами, как указывалось выше, может быть покрыто за счевт потребления через поверхность воды. Дополнительная потребность в кислороде донного ила может, однако, покрываться за счет кислорода притекающей речной воды. Если эта последняя поступает, например, насыщенной при 20 °С, то она содержит 9,1 г/м^3 кислорода. При расходе 3,2 г/м^3 остаются еще 5,9 г/м^3, что вполне достаточно. Однако в критические летние дни следует учитывать также

выделение кислорода водными растениями, и соотношения оказываются более благоприятными, чем вытекающие из расчета.

Пример 3: *Рыбоводный биологический пруд* (см. раздел 5.7.10). Поверхность 1 га = 10 000 $м^2$ на 2 000 жителей или 5 $м^2$/чел. Удаление шлама из сточных вод – 0,2 $м^3$/(чел•сут). Вода для разбавления – 5 • 0,2 = 1,0 $м^3$/(чел•сут), чистая, насыщенная кислородом. Смешанная вода – 0,2 + 1,0 = 1,2 $м^3$/(чел•сут). Суточное количество – 2 000 • 1,2 = 2 400 $м^3$/(га•сут). Время пребывания смешанной воды – 2 дня. Полезная глубина – 2 • 2 400 : 10 000 = 0,48 м.

Потребление кислорода. Потребность в кислороде за счет неоседающих взвешенных и растворенных веществ равна (стр. 133) 40 г/(чел•сут). Часть ее покрывается в первые два дня. Она составляет 0,54 • 40 = 21,6 г/(чел•сут), но, вероятно, из-за малой глубины потребление кислорода выше (стр. 475).

Поступление кислорода. Если допустимо снижение содержания кислорода до 2 г/$м^3$ = 20 % насыщения, то поступление кислорода с поверхности (стр. 483) равно 1,2 г/($м^2$•сут) или 1,2 • 5 = 6,0 г/(чел•сут). Из насыщенной воды для разбавления поступают 1,0 • 9,1 = 9,1 г/(чел•сут). Чтобы насыщение оставалось на уровне 20 %, может быть израсходовано 0,8 • 9,1 = 7,3 г/(чел•сут). Поступление кислорода составляет 6,0 + 7,3 = 13,3 г/(чел•сут). То есть оно недостаточно. В летние дни присоединяется еще потребление кислорода донным илом, образующимся в процессе самоочищения. Если даже этот ил распределен тонким слоем по всей площади дна и, возможно, не будет подвергаться вспучиванию из-за протекания процессов гниения, он все же потребляет в критическое время больше кислорода, чем в предшествующие зимние месяцы.

Опыт показывает, что достаточная аэрация рыбоводных прудов при приведенной нагрузке со спокойной водной поверхностью невозможна. Для них требуется образование кислорода водными растениями. Поскольку это возможно только при солнечном освещении, то ночью в теплое время эти пруды оказываются под угрозой. При

необходимости следует либо снизить нагрузку, либо подать больше воды для разбавления, либо проводить искусственную аэрацию. Зимой эти пруды нужно чистить. В противном случае необходимо учитывать дополнительное потребление кислорода старым донным илом. Глубокие пруды получают меньше кислорода из водных растений (из-за худшего освещения) относительно количества воды.

7.3.2. Способ оценки по Фейру

Оценка допустимой нагрузки и кислородная кривая по Фейру (Sewage W. J. 1939, 445, und Imhoff–Fair, Sewage Treatment 1940, 323, u. 1956, 306).

Применение этого способа поясняется на примерах 4 – 8 (таблица на стр. 491. Для водоемов с медленным течением подходят группы 1–3, но при этом учитывается также влияние донного ила (стр. 476).

Пример 4: Чему равно допустимое потребление кислорода ($БПК_5$ при 20 °C) в большой реке ниже канализационного выпуска (т.е. после смешивания сточных вод с речной водой), если содержание кислорода на отрезке самоочищения при 25 °C должно оставаться не ниже 4 мг/л? — Показатель загрязнения (z) находится, согласно таблице, между предельными значениями 1,3 и 2,5. Значение насыщения составляет при 25 °C 8,3 мг/л. Допустимый дефицит кислорода (F) равен 8,3 - 4 = 4,3 мг/л. Допустимое $БПК_5$ при 25 °C составляет от 1,3 • 4,3 = 5,6 мг/л до 2,5 • 4,3 = 10,8 мг/л. 5,6 мг/л справедливо для предельного случая а), когда содержание кислорода уже составляет в низшей точке 4 мг/л, а 10,8 мг/л справедливы для предельного случая б), когда вода реки еще насыщена кислородом (при 20 °C эти цифры составляют 8,7 и 16,3 мг/л).

Пример 5: Если средние для Германии сточные воды (стр. 132) предварительно очищены в отстойнике и имеют $БПК_5$ = 200 мг/л, какое разбавление в водоеме необходимо для условий примера 4, предполагая, что в собственно речной воде БПК отсутствует? [x)]

— Кратность разбавления лежит между значениями для двух пре-

Способ оценки допустимой нагрузки и кислородная кривая для водоема по Фейру

$B = F \cdot z$

B = Допустимое БПК5 при 20 °C ниже канализационного выпуска
F = Допустимый дефицит кислорода в водоеме (4,3 мг/л по примеру 4)
z = Коэффициент нагрузки, согласно таблице, между предельными случаями а) и б)

Группы водоемов	а) *Нижний предельный случай*, когда содержание кислорода в водоеме ниже канализационного выпуска уже снижено до допустимого предела			б) *Верхний предельный случай*, когда водоем ниже канализационного выпуска насыщен кислородом, т.е. содержание кислорода равно 10,1 мг/л при 15 °C, 9,1 мг/л при 20 ° и 8,3 мг/л при 25 °			Время добегания до низшей точки кислородной кривой (критическое время t)			
	15 °	20 °	25 °	15 °	20 °	25 °	15 °	20 °	25 °	
1. Небольшой пруд	z = 0,6	0,5	0,4	z = 2,1	1,6	1,3	t = 5,9	5,0	4,3	дней
2. Большое озеро	1,1	0,9	0,7	2,7	2,1	1,6	4,5	3,9	3,3	
3. Река с медленным течением	1,6	1,2	0,9	3,2	2,5	2,0	3,8	3,2	2,8	
4. Большая река	2,2	1,7	1,3	4,0	3,2	2,5	3,0	2,6	2,3	
5. Водоток с быстрым течением	3,5	2,7	2,1	5,4	4,3	3,3	2,3	2,0	1,8	
6. Быстрина	22,0	17,0	13,0	25,0	20,0	15,0	0,6	0,6	0,5	

1 – Содержание кислорода

2 – Время добегания

дельных случаев и составляет 200 : 5,6 = 36 и 200 : 10,8 = 19. Это справедливо для 25 °С. При 20 °С разбавление должно быть от 23- до 12-кратного, в среднем примерно 20-кратное, т.е. 1 : 20 (ср. стр. 450). Если речная вода сама содержит БПК, то перед выполнением деления следует вычесть это $БПК_5$ из примера 4.

Пример 6: Если количество поступающих сточных вод равно 200 л/(чел•сут), то какой должен быть расход воды в реке для примера 5 в пересчете на 1 000 жителей? — Он составляет (200 • 1 000 • 36) : (60 • 60 • 24) = 83,3 л/с в предельном случае а) и (200 • 1 000 • 19) : (60 • 60 • 24) = 44 л/с в предельном случае б). Это справедливо для 25 °С. Для 20 °С он составляет 53 и 28 л/с, в среднем около 40 л/с. "*Нагрузка загрязнениями*" (см. раздел 7.4.1) в этом случае равна 1 000 : 40 = 25 жителей на 1 л/с расхода воды в реке.

Пример 7: Чему равно время добегания в большой реке до низшей точки кислородной кривой при 25 °С, если речная вода ниже канализационного выпуска еще насыщена кислородом? — Из таблицы определяем $t = 2{,}3$ дня.

Пример 8: Нужно рассчитать водохранилище согласно примеру 2 по способу Фейра. Содержание кислорода не должно падать ниже $G = 5$ мг/л. Насыщение кислородом при 20 °С равно 9,1 мг/л. Допустимый дефицит кислорода равен $F = 9{,}1 - 5 = 4{,}1$ мг/л. Допустимая нагрузка за счет предварительно очищенных в отстойнике городских сточных вод находится между значениями для двух следующих предельных случаев:

а) Нижний предельный случай. Приток в водохранилище за канализационным выпуском уже имеет максимально допустимый дефицит кислорода $F = 4{,}1$ мг/л. Допустимое $БПК_5$ при 20 °С, согласно стр. 491, $B = F \cdot z = 4{,}1 \cdot 0{,}9 = 3{,}7$ мг/л. Предварительно очищенные в отстойнике стоки, согласно стр. 132, имеют $БПК_5$ = 200 мг/л. Необходимая кратность разбавления в водохранилище равна 200 : 3,7 = 54. Приток в водохранилище должен составлять (54 - 1) • 200 : 1 000 = 10,6 $м^3$/(чел•сут). Вместимость водохранилища при глуби-

не 2 м составляет 2 • 1 700 000 = 3 400 000 м^3. Допустимая нагрузка загрязнения сточными водами равна 3 400 000 : (1 • 10,6) = 320 000 жителей, если время пребывания равно 1 день (при времени пребывания 5 дней она составляет 320 000 : 5 = 64 000 жителей).

б) Верхний предельный случай. Приток насыщен кислородом. Допустимое БПК$_5$ при 20 °С, согласно стр. 491, $B = F \cdot z = 4{,}1 \cdot 2{,}1 = 8{,}6$ мг/л. Время добегания до низшей точки кислородной кривой (критическое время), согласно стр. 491, $t = 3{,}9$ дней. Требуемое разбавление – 200 : 8,6 = 23-кратное или 22 • 200 : 1 000 = 4,4 м^3(чел•сут). Допустимая нагрузка составляет 3 400 000 : (3,9 • 4,4) = 198 000 жителей, если время пребывания равно 3,9 дня.

Примеры этого очень простого способа оценки касались одного единственного канализационного выпуска. Однако способ может быть применен и при наличии нескольких таких выпусков. В этом случае определяют кислородные кривые для отдельных выпусков, наносят их на продольное сечение реки и затем строят суммарную кривую дефицитов кислорода.

7.3.3 Вычисление кислородной кривой по Фейру

Файр определяет кислородную кривую по трем точкам: начальной, низшей и точке перегиба (Fair, G. M., Sew. Works J. 1939, 445, und Imhoff–Fair, Sewage Treatment 1940, 307) (рис. 7.4).

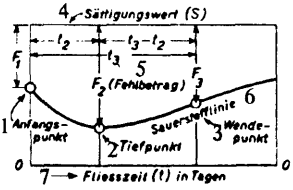


Рис. 7.4. Три точки кислородной кривой
1 – начальная точка; 2 – низшая точка; 3 – точка перегиба; 4 – значение при насыщении (S); 5 – дефицит; 6 – кислородная кривая; 7 – время добегания, суток

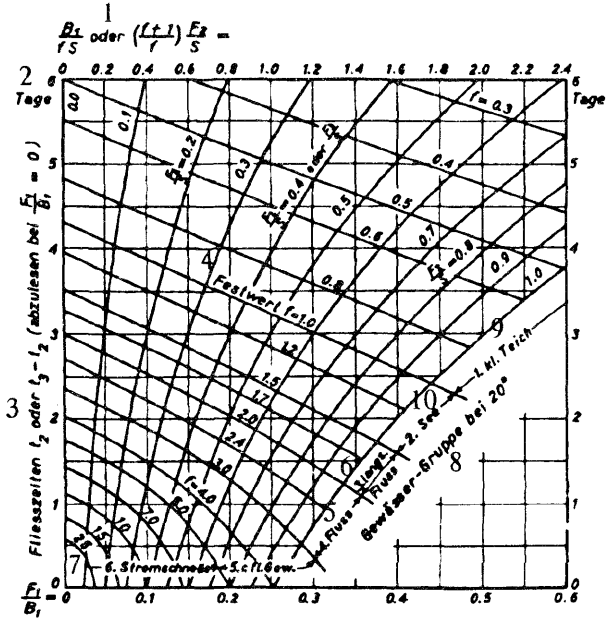


Рис. 7.5. Расчет кислородной кривой по Фейру
1 – или; *2* – сутки; *3* – время добегания t_2 или $t_3 - t_2$ (считывать при $F_1/B_1 = 0$); *4* – постоянная; *5* – большая река; *6* – река с медленным течением; *7* – быстрина; *8* – группы водоемов при 20 °С; *9* – небольшой пруд; *10* – большое озеро

Начальная точка соответствует дефициту растворенного кислорода в водоеме за выпуском сточных вод. Дефицит F_1 отложен на рис. 7.4 вниз от горизонтали, соответствующей значению насыщения S при данной температуре. Для низшей точки и точки перегиба из рис. 7.5 определены и также нанесены соответствующие времена добегания t_2 и t_3 и дефициты F_2 и F_3. При этом обозначают:
B_1 = потребление кислорода ($БПК_{20}$) в водоеме за зоной смешивания, f = постоянная самоочищения. Это – отношение суточного поступления кислорода (стр. 484) к суточной потребности в кислороде (т.е. к 20,6 % при 20 °С).

Для шести групп водоемов она находится примерно в следующих пределах:

1. Небольшой пруд	f = 0,5 – 1
2. Большое озеро	1 – 1,5
3. Река с медленным течением	1,5 – 2
4. Большая река	2 – 3
5. Водоем с быстрым течением	3 – 5
6. Быстрина	5 – 25

Значения, нанесенные на рис. 7.5, справедливы лишь для температуры 20 °С. При других температурах умножают t и f на следующие числа:

при	5 °С	10 °С	15 °С	20 °С	25 °С	30 °С
t на	0,50	0,63	0,80	1,00	1,26	1,58
f на	1,58	1,35	1,16	1,00	0,86	0,74

При всех указанных температурах для самоочищения принято, что при каждом повышении температуры на 1 ° постоянная разложения возрастает на 4,7 %, а постоянная самоочищения снижается на 3 %. Это допущение базируется на довольно непродолжительных американских экспериментах. Однако Виель установил, что бактерии со временем привыкают к температурам и в природных условиях различия между разложением при 5 °С и 30 °С не столь велики (Zentr. bl. f. Bakt. II, 1934, 14, GI 1950, 349). Это лучше согласуется также с наблюдениями при очистке активным илом. См. также Natermann, GWF 1952, 449, und Boehnke (Münch. Beitr. 1964, 449).

Порядок расчета показан на следующем примере (однако в водоемах со слабым течением, согласно группам 1 – 3, при этом учитывается еще влияние донного ила по стр. 476).

Пример 9: Река несет 1,02 $м^3/с$ воды с $БПК_5$ = 9,1 мг/л и содержанием кислорода 6,1 мг/л при 20 °С. Постоянно поступает

$$3\,790\ м^3 = 3\,790 : (24 \cdot 60 \cdot 60) = 0{,}044\ м^3/с$$

отстоянных сточных вод с $БПК_5$ = 120 мг/л и содержанием кислоро-

да 4,6 мг. Какова форма кислородной кривой при 20 °?

а) Постоянная самоочищения f, согласно рис. 7.6, расположена при 20 ° между 2,0 и 3,0. Принимаем f = 2,4.

б) Значение при насыщении при 20 ° S = 9,1 мг/л. Дефицит в речной воде равен 9,1 - 6,1 = 3,0 мг/л, в сточных водах – 9,1 - 4,6 = 4,5 мг/л. Тогда дефицит в речной воде за местом поступления стоков равен в среднем: $F_1 = (1{,}02 \cdot 3{,}0 + 0{,}044 \cdot 4{,}5) : (1{,}02 + 0{,}044) \approx 3{,}1$ мг/л.

в) $БПК_5$ водоема за местом поступления стоков составляет $БПК_5 = (1{,}02 \cdot 9{,}1 + 0{,}044 \cdot 120) : (1{,}02 + 0{,}044) = 13{,}7$ мг/л. Полное $БПК_{20}$ при 20 °C $B_1 = 1{,}46 \cdot 13{,}7 = 20{,}0$ мг/л.

г) Таким образом, величины, приведенные на рис. 7.5, равны:

$f = 2{,}4$ $\quad F_1 : B_1 = 3{,}1 : 20 = 0{,}16$

$S = 9{,}1$ мг/л $\quad (f + 1) : f = (2{,}4 + 1) : 2{,}4 = 1{,}42$

$F_1 = 3{,}1$ мг/л

$B_1 = 20$ мг/л $\quad B_1 : (f \cdot S) = 20 : (2{,}4 \cdot 9{,}1) = 0{,}91.$

д) Из рис. 7.5 получаем:

для $F_1 : B_1 = 0{,}16$ и $f = 2{,}4$ $\quad t_2 = 1{,}9$ дней,

для $t_2 = 1{,}9$ дней и $B_1 : (f \cdot S) = 0{,}91$ $\quad F_2 : S = 0{,}58$,

а также $F_2 = 0{,}58 \cdot S = 0{,}58 \cdot 9{,}1 = 5{,}3$ мг/л,

для $F_1 : B_1 = 0$ и $f = 2{,}4$ $\quad t_3 - t_2 = 2{,}7$ дней,

т.е. $t_3 = 2{,}7 + 1{,}9 = 4{,}6$ дней,

для $t_3 - t_2 = 2{,}7$ и $[(f + 1) : f] \cdot (F_2 : S) = 1{,}42 \cdot 0{,}58 =$

$= 0{,}82$ $\quad F_3 : S = 0{,}44$,

т.е. $F_3 = 0{,}44 \cdot 9{,}1 = 4{,}0$ мг/л.

е) В результате:

В начальной точке кислородной кривой при 20 °C существует дефицит $F_1 = 3{,}1$ при содержании кислорода 9,1 - 3,1 = 6,0. В низшей точке дефицит $F_2 = 5{,}3$ мг/л через $t_2 = 1{,}9$ дней добегания и в точке перегиба дефицит $F_3 = 4{,}0$ мг/л через $t_3 = 4{,}6$ дней.

7.3.4. Допустимая нагрузка по Фейру

Если оценка по способу раздела 7.3.2 не удовлетворяет, нужно про-

вести более точный расчет согласно рис 7.6 (Fair, G. M., Sew. Works J. 1939, 456, und Imhoff–Fair, Sewage Treatment 1940, 324). Обозначения те же, что в разделе 7.3.3.

Пример 10: Река со средней скоростью течения, относящаяся к группе 4 (стр. 495), имеет постоянную самоочищения при 20 °C f = 2,4. Содержание кислорода при 20 °C не должно падать ниже 4,0 мг/л. Значение при насыщении S = 9,1 мг/л. Допустимый дефицит в низшей точке $F_2 = 9,1 - 4,0 = 5,1$ мг/л.

Какова допустимая потребность в кислороде B_1 для речной воды ниже поступления сточных вод?

а) Верхний предельный случай. Речная вода насыщена. Начальный дефицит

$F_1 = 0$. Из рис. 7.6 определяем:

для $F_1 : F_2 = 0$ при $f = 2,4$ $B_1 : F_2 = 4,5$

т.е. $B_1 = 4,5 \cdot 5,1 = 23$ мг/л.

б) Нижний предельный случай. Начальный дефицит F_1 уже достиг допустимой низшей точки. $F_1 = F_2 = 5,1$ мг/л, для $F_1 : F_2 = 5,1 : 5,1 = 1$ определяем при $f = 2,4$ значение $B_1 : F_2 = 2,4$, т.е. $B_1 = 2,4 \cdot 5,1 = 12,2$ мг/л.

в) В промежуточном случае начальный дефицит $F_1 = 2,0$ мг/л. Из рис. 7.6 при $F_1 : F_2 = 2,0 : 5,1 = 0,39 = 1 : 2,6$ и $f = 2,4$ значение $B_1 : F_2 = 4,1$, т.е. $B_1 = 4,1 \cdot 5,1 = 20,9$ мг/л.

Дефицит F_3 в точке перегиба по рис. 7.6 равен $F_3 : F_2 = 0,76$ или $F_3 = 0,76 \cdot 5,1 = 3,9$ мг/л, и во всех трех случаях от а) до в) не имеет значения, чему равен дефицит в начальной точке.

Время добегания в этих трех случаях можно определить из рис. 7.5. При $f = 2,4$ оно составляет:

	Случай а) $F_1 : B_1 = 0 : 23 = 0$	Случай б) $5,1 : 12,2 = 0,42$	Случай в) $2,0 : 20,9 = 0,094$
	Случай а)	Случай б)	Случай в)
Значение на рисунке	$t_2 = 2,7$	0,0	2,3 дня
Значение на рисунке	$t_3 - t_2 = 2,7$	2,7	2,7 дня
Значение на рисунке	$t_3 = 5,4$	2,7	5,0 дней

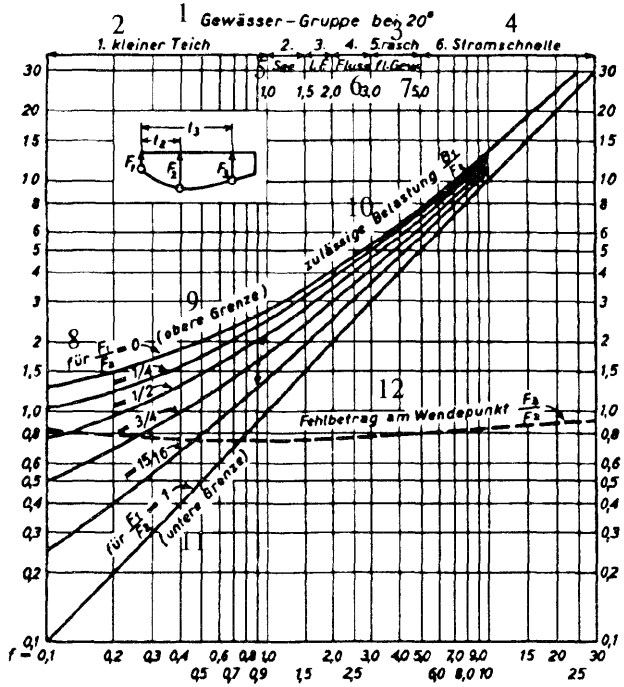


Рис. 7.6. Допустимая нагрузка загрязнениями по Фейру
1 – группа водоемов при 20 °С; 2 – небольшой пруд; 3 – быстрое; 4 – быстрина; 5 – озеро; 6 – река; 7 – водоем; 8 – для; 9 – верхний предел; 10 – допустимая нагрузка; 11 – нижний предел; 12 – дефицит в точке перегиба

Из рис. 7.5 и 7.6 можно вывести некоторые *простые правила кислородной кривой:*

а) Допустимая нагрузка, выраженная через потребность в кислороде в реке с низким содержанием кислорода (нижний предельный случай), равна f • допустимый дефицит кислорода. f – это постоянная водоема согласно стр. 495. Для обычной реки она равна от 2 до 3. Она тем выше, чем лучше естественная аэрация.

Таким образом, при допустимом дефиците 5 мг/л для загрязненной

речной воды обычно допускается потребность в кислороде ($БПК_{20}$) от 10 до 15 мг/л. Это соответствует $БПК_5$ от 6,8 до 10,3 мг/л.

б) Если река насыщена кислородом (верхний предельный случай), она может выдержать примерно вдвое большую нагрузку, чем в том случае, когда содержание кислорода ниже канализационного выпуска уже упало до минимально допустимого (нижний предельный случай).

в) Для всех групп водоемов дефицит в точке перегиба кислородной кривой равен примерно 3/4 дефицита в низшей точке.

г) В насыщенной кислородом реке (верхний предельный случай) время добегания до низшей точки составляет летом примерно 3 дня и до точки перегиба еще 3 дня. Чем больше постоянная f, тем лучше аэрация и короче это время.

Из примеров 5 и 6 следует:

д) Согласно расчету кислорода при очистке городских сточных вод можно ограничиться отстаиванием, если обеспечивается разбавление среднесуточного расхода сточных вод при среднем меженном уровне реки более, чем в 20 раз или, если на 1 л/с меженного расхода приходится "канализационная нагрузка" не более, чем от 25 жителей (стр. 492). В каждом отдельном случае это зависит от содержания кислорода, условий аэрации и температуры воды. При этом промышленные сточные воды следует учитывать в соответствии с эквивалентным условным числом жителей (стр. 384). При нескольких источниках сточных вод необходимо учитывать все выпуски на отрезке реки, соответствующем времени добегания около 6 дней. В водоемах со слабым течением необходимо принимать в расчет также донный ил (стр. 476).

7.3.5. Расчет искусственной аэрации водотоков

Этот способ исходит предпочтительно из найденной при измерениях критической кислородной кривой, которую следует сместить вверх в одном или нескольких участках посредством искусственной аэра-

ции. Вычисляют кислородную кривую, наблюдаемую при вводе в эксплуатацию аэрационных установок при прочих равных условиях (Imhoff, K. R., GWF 1969, 543).

Для аэрации водоемов в первую очередь можно использовать турбинные аэраторы и плотины. Однако применяются также плавающие роторные и пневматические аэраторы (стр. 464). Прирост кислорода в месте аэрации вычисляют при помощи уравнения (1), иллюстрируемого рис. 7.7.

$$\Delta C_0 = \frac{B_L \cdot D}{Q \cdot 3{,}6 \cdot 50} \cdot K \qquad (1)$$

где

ΔC_0 [г/м3] – прирост кислорода в месте аэрации,

B_L [кВт] – мощность использованного аэратора (для плотины 9,81 • расход воды [$м^3$/с] • высота падения [м]),

D [%] – средний дефицит кислорода,

Q [$м^3$/с] – расход воды,

K [кг O_2/кВтч] – коэффициент.

Этот коэффициент показывает, сколько внесено кислорода на 1 кВтч при среднем дефиците 50 % (между верхним и нижним бьефами при аэрации) и 20 °С. При невозможности выполнения точных измерений используют K из следующей таблицы:

Каскад	1,5 [кг O_2/кВтч]
Водосбросная плотина	0,6 [кг O_2/кВтч]
Водослив	0,4 [кг O_2/кВтч]
Турбинная аэрация	1,0 [кг O_2/кВтч]
Поверхностный аэратор	0,5 [кг O_2/кВтч]
Пневматическая аэрация	0,4 [кг O_2/кВтч]

Поглощение кислорода при пневматической аэрации почти не зависит от температуры. В других случаях значения K пересчитывают относительно соответствующих значений насыщения кислородом: $K_T = K_{20} \cdot C_{ST} : C_{S20}$ (Imhoff, K. R., u. Albrecht, D., GWF 1972, 264, Int. Abw. Konf. Jerusalem 1972, A/11/22, Pergamon Press).

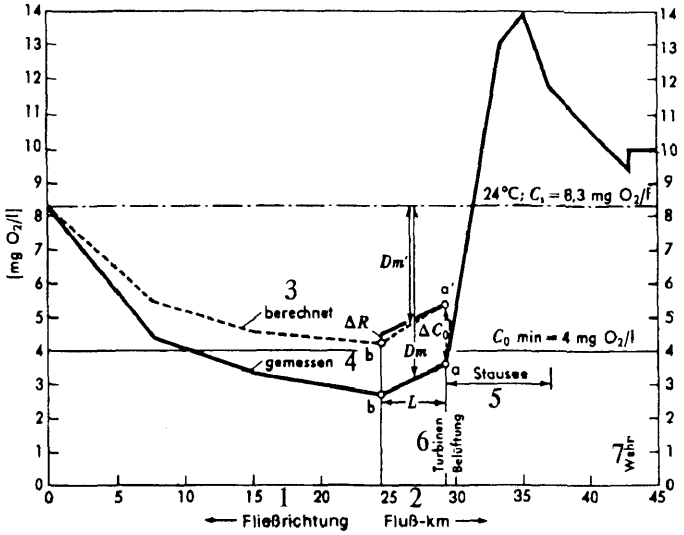


Рис. 7.7. Вычисление кислородной кривой ниже места аэрации на основе измеренного кислородного профиля
1 – направление течения; 2 – км реки; 3 – расчетная; 4 – измеренная; 5 – водохранилище; 6 – турбинный аэратор; 7 – плотина

Устанавливающуюся после аэрации *кислородную кривую* можно рассчитать поэтапно на основе критической кислородной кривой. Для этой цели измеренную кривую заменяют ломаной линией из отрезков прямой (рис. 7.7).

После выбора B_L ΔC_0 определяется из уравнения (1), *a'* расположена на рис 7.7 на ΔC_0 выше "*a*". *b'* можно вычислить из следующего основного уравнения:

$$b' = b + \Delta C_0 - \Delta R \qquad (2)$$

Расход воды, температура, разложение органических веществ, потребление донным илом и влияние водорослей одинаковы для обеих кривых. Различия в их ходе обусловлены только реаэрацией. Так как вследствие уменьшения среднего дефицита *Dm'* уменьшается

естественная аэрация, смещенная вверх кривая приближается к измеренной кривой на отрезке L на величину ΔR.

Это составляет

$$\Delta R = (Dm - Dm') \frac{bm \cdot L \cdot w}{Cs \cdot Q \cdot 24 \cdot 3600} \qquad (3)$$

где

ΔR [г/м^3] – уменьшение естественной реаэрации,

$Dm = Cs - \frac{a + b}{2}$ – средний дефицит кислорода для измеренной кривой [г/м^3],

$Dm' = Cs - \frac{a' + b'}{2}$ – средний дефицит кислорода для расчетной кривой [г/м^3],

bm [м] – средняя ширина участка реки,

L [м] – длина участка реки,

w [г O_2/(м^2•сут)] – естественная реаэрация при 100-процентном дефиците согласно рис. 7.3,

Cs [г O_2/м^3] – значение насыщения,

Q [м^3/с] – расход воды.

Пользуясь этими величинами, находят из уравнений (2) и (3) искомое положение точки b':

$$b' = \frac{Cs \cdot Q \cdot 48 \cdot 3600\,(b + \Delta C_0) + bm \cdot L \cdot w\,(b - \Delta C_0)}{Cs \cdot Q \cdot 48 \cdot 3600 + bm \cdot L \cdot w} \qquad (4)$$

Следующая точка перегиба кислородной кривой при аэрации вычисляется аналогичным способом с помощью уравнения (4), причем подставляют $\Delta C_0 = b' - b$.

Пример 11: В результате интенсивных процессов разложения в водохранилище кислородная кривая рис. 7.7 на 29,3 км реки оказывается ниже допустимой минимальной концентрации кислорода. Поэтому на электростанции запланирована *турбинная аэрация*, которая, согласно предварительным расчетам, должна при данных условиях повысить концентрацию кислорода на 1,8 мг/л. Кисло-

родную кривую ниже места аэрации вычисляют, варьируя измеренный критический кислородный профиль.

Для данного примера:

$Cs = 8{,}3$ [г/м^3]; $Q = 20$ [м^3/с]; $b = 2{,}7$ [г/м^3];

$\Delta C_0 = 1{,}8$ [г/м^3]; $bm = 95$ [м]; $L = 4\,800$ [м];

$w = 5$ [г O_2/(м^2•сут)] по рис. 7.3.

Из уравнения (4) получаем:

$b' = 4{,}25$ [г O_2/м^3].

Следующую точку кислородной кривой после аэрации определяют аналогичным способом с помощью уравнения (4) для 15,5 км. Вместо ΔC_0 подставляют значение для профиля 24,5 км, а именно, $\Delta C_0 = 4{,}25 - 2{,}7 = 1{,}55$ [г/м^3], вместо $b = 3{,}3$ [г/м^3] – измеренное содержание кислорода на 15,5 км – соответствующие bm и L. Можно без труда учесть и вторую аэрацию, однако в данном примере этого не требуется.

7.4. Модели качества воды водоемов

Процессы, происходящие в водоеме, намного сложнее, чем допускалось в разделе о вычислении содержания кислорода. Поэтому возникла потребность в более точном их представлении и описании. В этой связи говорят о "моделях качества воды водоемов", которые тоже не обходятся без упрощений (Wolf, P., KA 1977, 311; Baumgart, H., KA 1981, 227). Применяя электронные устройства обработки данных, можно увеличить объем вычислений. Варьируют состояния нагрузки и оптимизируют систему. При этом следует помнить, что полученные с помощью моделей могут отличаться от натурных. Наиболее надежным является поэтапное продвижение по хорошо продуманному общему плану и повторное наблюдение за водоемом.

7.4.1. Нормирование сброса сточных вод

Одной из первых моделей качества водоема является *схема загрязнения сточными водами* (Imhoff, K., GI 1950, 269). Под понятием

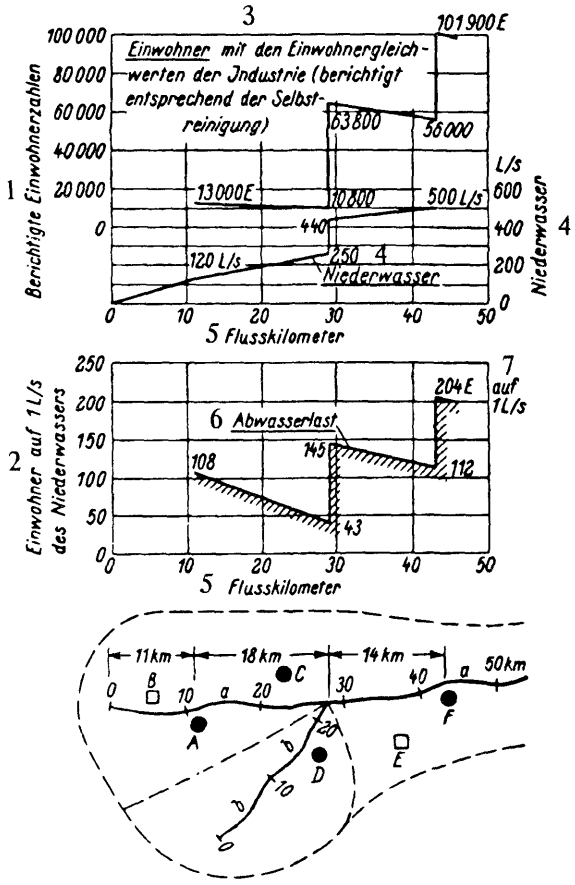


Рис. 7.8. Построение схемы загрязнения сточными водами реки a длиной 50 км с четырьмя городами A, C, D, F и двумя промышленными районами B, E

1 – расчетное число жителей; 2 – количество жителей на 1 л/с при меженном уровне воды; 3 – население и эквиваленты числа жителей для промышленности (приняты с учетом самоочищения); 4 – расход при меженном уровне воды; 5 – км реки; 6 – загрязнение сточными водами; 7 – на 1 л/с

"*показатель загрязнения сточными водами*" понимают число жителей, обслуживаемых местной канализацией, приходящееся на 1 л/с меженного уровня воды в реке. Промышленные сточные воды тоже переводят в эквивалентное количество жителей (стр. 384). Для жителей вышерасположенных районов делают поправку с учетом происходящих процессов самоочищения. Значения "показателя загрязнения сточными водами" дают ясную картину о нагрузке на водоем в любом месте. Они используются при планировании очистки или составлении программ по предотвращению загрязнения вод для всего бассейна реки.

Пример составления схемы загрязнения сточными водами приведен на рис. 7.8 (GI 1950, 269, und Sew. and Ind. Wastes 1950, 1614). Участок реки длиной 50 км принимает сточные воды четырех городов и двух промышленных районов. Население городов составляет в сумме 108 000 жителей, а сточные воды промышленных районов эквивалентны 3 900 условным жителям. При меженном уровне расход воды в реке составляет от 0 до 500 л/с.

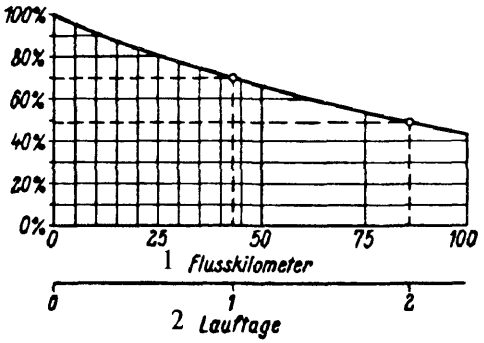


Рис. 7.9. Кривая самоочищения при скорости течения 0,5 м/с и ежедневном снижении потребности в кислороде на 30 %
1 – км реки; 2 – дни протекания

На рис. 7.9 представлена кривая самоочищения. При этом скорость

течения принята равной 0,5 м/с. Кроме того пришлось ввести также допущение относительно показателя самоочищения в соответствии с особенностями реки. По Стритеру уменьшение потребности речной воды в кислороде в больших реках и при температуре 20 °С составляет около 20 % за 24 часа. В небольших ручьях и мелких водоемах оно значительно больше. Фейр указывает величину 37–50 % за 24 часа (стр. 474). Однако уже наблюдались и намного более высокие значения, а именно, в солнечные дни и при интенсивном росте растений. В нашем примере принято ежедневное снижение потребности в кислороде на 30 %. В соответствии с этим кривая самоочищения представлена на рис. 7.9 в процентах от длины участка и времени протекания.

В расчетной таблице (стр. 507) приведен расчет, в котором участок реки разбит на три отрезка. На рис. 7.8 вверху приведена кривая числа жителей с учетом самоочищения, под ней – кривая расхода воды в период меженного уровня и, наконец, кривая загрязнения сточными водами, выраженная числом жителей, приходящихся на 1 л/с расхода воды в реке.

В одном из прежних примеров (стр. 492, пример 6) рассмотрен случай, в котором в реку поступают сточные воды города, предварительно очищенные в отстойнике. Расчет показал, что кислородная кривая при температуре воды 20 °С не опускается ниже предельного для рыб содержания кислорода 4 мг/л, если показатель загрязнения сточными водами не превышает 25 человек на 1 л/с. Однако кривая загрязнения сточными водами на рис. 7.8 везде расположена выше этого предельного значения 25 человек. Следовательно, в нашем примере везде требуется биологическая очистка.

В Северной Америке предельное значение ниже, примерно 10 – 15 человек на 1 л/с, так как потребление кислорода сточными водами, приходящееся на одного жителя, там выше, и принимаются в расчет более высокие температуры воды в реке. Мюллер принимает предельное значение 8 человек (GI 1953, 15).

Схема расчета показателя загрязнения сточными водами на основе числа жителей и расхода воды при меженном уровне

Скорость течения, м/с (км/день)	Расход при меженном уровне, л/с	Приток, населенный пункт или промышленность	Число жителей + эквивалент числа жителей	Число жителей + эквивалент числа жителей, итого	Отрезок	Поправка к предшествующей нагрузке по рис. 7.9	а) Предшествующая нагрузка б) Местное поступление Суммарная нагрузка в отрезке	Показатель загрязнения сточными водами, число жителей на л/с, столбец 8 : 2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,50 (43)	120	Населенный пункт A Завод B	10 000 3 000	13 000	11,0	–	а) – б) 13 000 Итого 13 000	108
	250	Населенный пункт C	35 000			83 % от 13 000	а) 10 800 б) 53 000	43
	440	Ручей B с населенным пунктом D	18 000	53 000	29,0		Итого 63 800	145
	500	Населенный пункт E Завод F	45 000 900	45 900	43,0	88 % от 63 800	а) 56 000 б) 45 900 Итого 101 900	112 204

На участках реки, на которых имеется *донный ил*, показатель загрязнения сточными водами в периоды низкого уровня воды летом выше, так как гниющий донный ил при повышении температуры приходит в движение и может дополнительно потреблять кислород из протекающей воды. Поэтому в запруженных участках реки над кривой загрязнения сточными водами, определенной для проточной воды, наносят также дополнительную нагрузку, обусловленную влиянием донного ила согласно изложенному на стр. 476 и 487. Если речная вода содержит много удобрительных солей, необходимы специальные расчеты (стр. 456) (Demoll, GI 1952, 174).

Схемы загрязнения сточными водами данного типа были составлены для германских рек Рейн, Везер, Эльба и Дунай Федеральным ведомством по изучению водоемов, Кобленц. Они опубликованы в статье Имхоффа "Показатели загрязнения сточными водами в германских реках" (GI 1947, 108). Однако за это время сильно возросла нагрузка за счет загрязнений, поступающих с промышленными сточными водами.

Германским рекам посвящены статьи: Imhoff, K., und Wagner, H., "Zur Reinhaltung der deutschen Flüsse", Die Wasserwirtschaft 1948/49, 7, Lippert, F., "Die Reinhaltung des Rheins, GI 1952, 242, Holluta, J., Niederrhein, GWF 1955, 449, Kommunalwirtschaft 1959, 223, Ebeling (Mittelrhein), Vom Wasser Bd. 22, 1955, 38, Berichte ATV, H. 10, 1959, 233, Internat. Kommission z. Schutz d. Rheins, Basel u. Stuttgart 1956 u. 1957, Arbeitsgemeinschaft Rhein–Wasserwerke Düsseldorf, Fünfjahresbericht 1959, Kopf, G., GWF 1962, 1118, Wehrmann, F., GWF 1959, 1144, Dieterich, B. H., GWF 1959, 114, Vom Wasser, Bd. 25, 1958, 163, Cleary, E. J., GWF 1960, 80, Knoepp, H., (Main), Wasserwirtsch. 1954/55, 9, Rhein, D. Gewaesserkundl. Mitt. 1957, 6, Sontheimer, H., GWF 1970, 420, Kaeding, J., et al., (Elbe), Wasserwirtsch.–W.t. 1960, 436, und Niemitz, W., (Elbe), Wasserwirtsch.–W.t. 1960, 449, Lehmann, H., (Elbe), GWF 1989, 181. О Саксонской Заале пишет Seethaler, L., (Wasserwirtsch. 1961, 327),

о Майне – Sturz, O., (Dtsch. Gewaesserkundl. Mitt. 1961, 135), о швейцарских озерах – Kuhn, H., (GWF 1962, 772), о Бодензее –Thorbecke, F., et al., (GWF 1962, 787). Особенно ссылаются на статьи Müller - Neuhaus, G., "Theorie und Praxis des Abwasserlastplanes, ausgeführt am Beispiel der Lippe" (Wasserwirtsch. 1950/51, 182), и Knoepp, H., "Abwasserlastplan und biologischer Gütelaengsschnitt –ein kritischer Vergleich" (Wasserwirtsch. 1955/56, 57). В случае реки Липпе наблюдалось хорошее совпадение расчетных показателей и данных биологического исследования реки. О Рейне пишут Koester, H., в Wasserwirtschaft 1964, 314, министр сельского хозяйства Земли Северный Рейн–Вестфалия в 1957 и 1964 годах и Kalweit, H., Wasserwirtschaft 1976, 14. О Везере – Neumann, H., Ber. der ATV Nr. 33, 1981, 725. Еще один пример показателя загрязнения сточными водами приводит Albrecht, D. R., KA 1982, 24. Защита окружающей среды Северного моря, Министерство охраны окружающей природной среды Земли Нижняя Саксония, Ганновер 1987.

Основные правила поддержания чистоты см. Knop, E., GWF 1964, 259, Kiess, F., GWF 1963, 1443, und Eckoldt, M., GWF 1964, 249.

7.4.2. Дальнейшие модели качества вод водоемов

Наряду со схемами загрязнения сточными водами в последнее время были разработаны новые *модели качества вод*, 12 из которых были применены в ФРГ. Сравнительное сопоставление опубликовали Эссер и сотрудники (KA 1987, 670). Описаны отдельные элементы моделей. Это позволяет выбрать модель для данного объекта.

Различные способы вычисления качества водоемов еще слишком мало применялись. Остановиться только на исследованиях речной воды нельзя, так как они отражают лишь состояние на данный момент. Только расчетные методы позволяют установить, в каком месте водоема и при какой степени очистки допустим сброс сточных вод города или промышленного предприятия (Meinck, F., GI 1955, 225).

Следует обратить внимание на следующие работы: Boehnke, B., Veroeff. TH Hannover 1965, Heft 20, GWF 1966, 612; Hahn, H. H.,Oesterr. Ing. und. Arch. Zeitscherift 1973, 1; Wolf, P., Stuttgarter Berichte 1974, Heft 53; Boës, M., GWF 1975, Heft 9; Poeppinghaus, K., Ermittlung des Abbaus als sauerstoffzehrender Teil der Selbstreinigung von Fliessgewaessern, GWA, Aachen 1976, Bd. 22; Esser, W., Reaktionskinetische Untersuchung der Selbstreinigungsvorgaenge in Fliessgewaessern, Dissertation TH Darmstadt 1977; Lehmann, H., GWF 1983, 24; Ergebnisse des Pilotprojektes Leine Deutsche Gewaesserkundl. Mitt. 1983, 168; Hahn, H. H.,: Planung im Gewaesserschutz unter besonderer Berücksichtigung von Flussgebietsmodellen, ISWW Karlsruhe, 1984, Bd. 35; Baumgart, H., Chr., KA 1985, 478; Müller, D., et al., DGM 1986, 152; Arbeitsbericht des ATV–Fachausschusses 2. 2, KA 1987, 670.

Все эти описания и расчеты, касающиеся самоочищения водоемов, относятся к преобладающим до настоящего времени видам загрязняющих веществ: поддающимся разложению органическим веществам, а также переносчикам болезней.

С ростом промышленности на водоемы в последнее время все большее отрицательное влияние оказывают другие загрязняющие вещества, устойчивые к процессам самоочищения. Примерами являются соли (стр. 377), радиоактивные вещества (стр. 405), моющие средства (стр. 406), минеральные масла (стр. 407) и некоторые яды (стр. 387). Для защиты водоемов требуется прекращение их сброса или замена другими веществами, поддающимися биологическому разложению в водоеме и на очистных сооружениях (стр. 374).

8. Стандарты и отраслевые инструкции в области канализации

8.1. Стандартизация и стандарты

Под стандартизацией мы понимаем планомерную разработку положений, обеспечивающих унификацию планирования, изготовления и применения предметов и установок для общего пользования. Существующее положение в водном хозяйстве и, в частности, в области канализации, в связи с объемом требуемых мероприятий и учетом разнообразных интересов при пользовании водой оправдывает систематическое проведение работ по стандартизации. Кроме того создание стандартов в указанном смысле является безусловной предпосылкой оптимального использования ограниченных финансовых ресурсов.

В стандартах кроме сведений из практики должны быть учтены также результаты специальных исследований. Поэтому необходимо время от времени согласовывать положения отдельных стандартов с изменившимися требованиями в соответствующих специальных отраслях. Эту необходимую работу – формирование новых и переработку существующих стандартов – выполняет действующее с 1950 г в Комиссии стандартов для воды специальное отделение V "Сточные воды".

В этой связи следует указать на содержание понятий стандартов. Стандарты — это инструкции, которые дают рекомендации, в большинстве случаев по экономическим соображениям. В отличие от этого предписания требуют учета или соблюдения определенных условий, при необходимости – правовым путем. Поэтому выражения "стандартное предписание" следует избегать.

В связи с действующими положениями содержание стандартов приобретает все большее значение для практики и юрисдикции. Положения стандартов уже частично введены в "Инструкции строительного надзора" (Строительные правила) [x)].

В рамках Европейского рынка необходимо устранять препятствия в

торговле. Поэтому национальные стандарты участников ЕЭС должны быть в ближайшие годы, если это еще не произошло, согласованы и объединены в европейские стандарты.

8.2. Стандарты в области "Канализационная техника"

Стандарты, действующие в области канализационной техники, составлены бюро стандартов по водоснабжению и канализации (NAW) и собраны в книге, опубликованной издательством Beuth Verlag*. Эта книга содержит по разделам 500 обязательных стандартов, имеющих номер, наименование и дату издания.

Общие стандарты

Канализация земельных участков

- Общие положения
- Трубы для канализационных линий, водосточные желоба
- Дворовые, погребные, кровельные и ванные выпуски
- Ловушки

Ливневая канализация

- Трубы и каналы для сточных вод
- Колодцы
- Уличный водоотвод

Предметы и арматура сантехнического оборудования

- Общие положения
- Уборные, смывные бачки, уплотнения
- Умывальники, столы для мытья посуды, кухонные раковины
- Моечные установки

Средства уплотнения

Обработка сточных вод

В опубликованных тем же издательством книгах "Справочники DIN

---

* "Стандарты и проекты стандартов по водоснабжению и канализации" ("Normen und Norm-Entwürfe Wasserwesen", Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstrasse 4 - 10, 1000 Berlin 30, Telefon (030) 26 01 - 1, Telex 01 83 622 bvb d

по водоснабжению" ("DIN–Taschenbüchern für das Wasserwesen (TAB)") собраны тексты наиболее важных стандартов для некоторых отраслей в малом формате (A5).

Имеются:

ДИН – справочник 13 (DIN–Taschenbuch 13)

Канализационная техника 1, № 11298 (Abwassertechnik 1, Beuth -Bestell-Nr. 11298)

Стандарты на канализацию земельных участков, предметы сантехнического оборудования, предметы для отведения сточных вод (Normen über Grundstücksentwaesserung, Sanitaer-Ausstattungsgegenstaende, Entwaesserungsgegenstaende)

ДИН – справочник 50 (DIN–Taschenbuch 50)

Канализационная техника 2, № 11238 (Abwassertechnik 2, Beuth -Bestell-Nr. 11238)

Стандарты на трубы, фитинги, дополнительные принадлежности (Normen über Rohre, Formstücke, Zubehoer)

ДИН – справочник 138 (DIN–Taschenbuch 138)

Канализационные стандарты 3, № 11138 (Abwassernormen 3, Beuth-Bestell-Nr. 11138)

Очистка сточных вод (Abwasserreinigung)

ДИН – справочник 152 (DIN-Taschenbuch 152)

Канализационная техника 4, № 11203 (Abwassertechnik 4, Beuth -Bestel-Nr. 11203)

Стандарты на канализационные каналы, канализационные трубопроводы (Normen über Abwasserkanaele, Abwasserleitungen)

За дополнительной информацией обращаться в издательство.

В этой связи следует указать на необходимость принимать во внимание изданные Германским институтом стандартизации "Законодательно утвержденные технические единицы" [x)], Haeder, W., und Gaertner, E., (Beuth Verlag).

8.3. Разрешение на применение материалов для устройства канализации

В целях гигиены, порядка и безопасности канализация земельных участков приобретает все большее значение. Поэтому так называемые "предметы для канализации земельных участков" подлежат проверке и допуску. По поручению Земель такую проверку осуществляет Институт строительной техники, который выдает "знак проверки". В настоящее время действуют комиссии экспертов в следующих специальных областях:

Канализационные трубы и фитинги

Уплотнения для канализационных трубопроводов

Предметы сантехнического оборудования

Устройства перекачки сточных вод и отстойники

Очистная техника

"Нормативы на подлежащие проверке строительные материалы, строительные детали и устройства" ("VO über prüfpflichtige Baustoffe, Bauteile und Einrichtungen", Prüfz VO in der Fassung vom Maerz 1982 - Musterentwurf) конкретно регулируют в § 1 обязательную проверку. Согласно этим положениям, допускаются применение и встраивание "следующих изготовленных надлежащим образом строительных материалов, строительных деталей и устройств лишь в тех случаях, если они имеют знак проверки" (выдержка из текста):

Группа 1: Канализация земельных участков

1.1 Трубы и фитинги для трубопроводов и колодцев для отведения канализационных и ливневых вод, включая средства уплотнения, за исключением наружных водосточных труб и напорных трубопроводов, а также средства уплотнения из белого шнура и свинца.

1.2 Унитазы, сифоны, раковины и водоотводы со встроенными или прикрепленными сифонами, водостоки для атмосферных осадков, выпадающих над помещениями.

1.3 Смывные бачки и аппараты для промывки подкладных суден.

1.4 Задвижки для предотвращения затопления помещений при возникновении подпора в наружной сети.

1.5 Станции перекачки сточных вод и устройства предотвращения обратного потока для этих станций.

1.6 Малые канализационные очистные станции, рассчитанные на среднюю норму бытовых сточных вод до 8 $м^3$/сут.

Группа 2: Ловушки и затворы

2.1 Ловушки и затворы для летучих жидкостей, например, бензина и мазута.

2.2 Жироуловители.

и т.д.

Группа 6: Строительные материалы, строительные детали и оборудование к установкам для хранения жидкостей, опасных для водоема

6.1 Улавливающие устройства из неметаллических материалов.

6.2 Средства уплотнения из пластмассы для улавливающих ванн и улавливающих камер.

6.3 Стационарные резервуары.

6.4 Внутренние покрытия из пластмассы для стационарных резервуаров.

6.5 Наружные обшивки из пластмассы для стационарных резервуаров.

6.6 Индикаторы утечки для резервуаров и для трубопроводов с двойными стенками.

6.7 Пластмассовые трубы и трубы в пластмассовом кожухе, фитинги и уплотнения к ним.

6.8 Переливные устройства для стационарных резервуаров.

Группа 7: Добавки к бетону

7.1 Добавки к бетонной смеси.

7.2 Наполнители бетонной смеси.

и т.д.

Безопасными для водоемов жидкостями являются:

1. Канализационные воды, дождевые воды и навозная жижа.
2. Жидкости, радиоактивность которых не превышает пределов, установленных в "Законе о защите от излучений".
3. Жидкие пищевые продукты, продукты на основе пищевых продуктов, за исключением пищевых масел.

За подробностями обращаться в Институт строительной техники (Institut für Bautechnik – Anstalt des oeffentlichen Rechts –, Reichpietschufer 72-76, 1000 Berlin 30, Fernruf (030) 2503-277, FS 185413).

8.4. ATV – Правовое регулирование – Сточные воды – Удаление

Канализационное техническое объединение (ATV) в сотрудничестве с VKS в издании "Регулирование – сточные воды – удаление" свело воедино отраслевые инструкции, указания и памятные записки, позволяющие оптимально решать эти задачи. По поводу дальнейших подробностей и заказа на это издание обращаться в Общество развития канализационной техники (Die Gesellschaft zur Foerderung der Abwassertechnik e. V., Markt 71, D-5205 St. Augustin, Tel. (02241) 2 40 21.

№ отраслевой инструкции	Наименование	Издание
без №	Указания по защитным покрытиям железных деталей в канализационных и очистных станциях Richtlinien für Schutzanstriche von Eisenteilen in Kanalisations- und Klaeranlagen	1961

№ отраслевой инструкции	Наименование	Издание
A 105	Указания по выбору способа отведения сточных вод (общесплавная система/раздельная система) Hinweise für die Wahl des Entwaesserungsverfahrens (Mischverfahren/Trennverfahren)	1/83
A 106	Инструкции по планированию очистной станции, новое издание 1971 г (текст не изменен) Merkblatt für die Planung eines Klaerwerkes Neuauflage 1971 (unveraenderter Text)	5/62
A 109	Инструкции по подключению автотранспортных предприятий к очистным сооружениям Richtlinien für den Anschluss von Autobahnnebenbetrieben an Klaeranlagen	1/83
A 110	Инструкции по выбору гидравлических параметров канализационных коллекторов и трубопроводов и их пропускной способности Richtlinien für die hydraulische Dimensionierung und den Leistungsnachweis von Abwasserkanaelen und -leitungen	8/88
A 115	Инструкции по вводу сточных вод в общественное очистное сооружение Hinweise für das Einleiten von Abwasser in eine oeffentliche Abwasseranlage	1/83
A 117	Инструкции по выбору размеров и формы и по эксплуатации камер ливнеспуска в дождевой сети Richtlinien für die Bemessung, die Gestaltung und den Betrieb von Regenrückhaltebecken	11/77
A 118	Инструкции по гидравлическому расчету коллекторов для канализационных, ливневых и смешанных вод Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Schmutz –, Regen- und Mischwasserkanaelen	7/77
A 119	Основы расчета канализационных сетей с применением электронных устройств обработки данных Grundsaetze für die Berechnung von Entwaesserungsnetzen mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen	10/84
A 120	Инструкции по проверке электронных вычислений Richtlinien für das Prüfen elektronischer Berechnungen	8/79
A 121	Оценка осадков – ливней по повторяемости и длительности Измерение количества осадков – анализ Niederschlag – Starkregenauswertung nach Wiederkehrzeit und Dauer Niederschlagsmessungen – Auswertung	12/85
A 122	Основы выбора размеров, строительства и эксплуатации малых очистных станций со ступенью аэробной биологической очистки для числа жителей от 50 до 500 Grundsaetze für Bemessung, Bau und Betrieb von Kleinen Klaeranlagen mit aerober biologischer Reinigungsstufe für Anschlusswerte zwischen 50 und 500 Einwohner	12/81

№ отраслевой инструкции	Наименование	Издание
A 123	Обработка и удаление ила малых очистных станций Behandlung und Beseitigung von Schlamm aus Kleinklaeranlagen	6/85
A 125	Продавливание труб Rohrvortrieb	12/75
A 126	Основы очистки сточных вод на очистных станциях активным илом с совместной стабилизацией ила при подключении от 500 до 10 000 жителей Grundsaetze für die Abwasserbehandlung in Klaeranlagen nach dem Belebungsverfahren mit gemeinsamer Schlammstabilisierung bei Anschlusswerten zwischen 500 und 10 000 Einwohnerwerten	11/87
A 127	Инструкции по статическому расчету канализационных коллекторов и трубопроводов, 2-е издание, 1988 г Richtlinie für die statische Berechnung von Entwaesserungskanaelen und -leitungen, 2. Auflage 1988	12/88
A 128	Инструкции по выбору размеров и формы ливнесбросов для коллекторов общесплавной канализации, 4-е исправленное издание, 1983 г Richtlinien für die Bemessung und Gestaltung von Regenentlastungen in Maschwasserkanaelen, 4. berichtigte Auflage 1983	7/77
A 129	Удаление сточных вод из мест отдыха и туризма Abwasserbeseitigung aus Erholungs- und Fremdenverkehrseinrichtungen	5/79
A 130	Перечень работ Водоотливные работы Musterleistungsverzeichnis Wasserhaltungsarbeiten	4/78
a 131	Основы выбора размеров одноступенчатых сооружений по очистке активным илом, обслуживающих свыше 10 000 условных жителей Grundsaetze für die Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen mit Anschlusswerten über 10 000 Einwohnergleichwerten	11/81
A 132	Книга стандартных работ "Область работ 911, раздавливание труб, раздавливание" Standardleistungsbuch "Leistungsbereich 911 Rohrvortrieb Durchpressungen"	8/81
A 133	Сбор данных, анализ и нарастающий итог пропускной способности коммунальных канализационных сооружений Erfassung, Bewertung und Fortschreibung des Vermoegens kommunaler Entwaesserungseinrichtungen	8/81
A 134	Планирование и строительство канализационных насосных станций с малыми притоками Planung und Bau von Abwasserpumpwerken mit kleinen Zuflüssen	8/82

№ отраслевой инструкции	Наименование	Издание
A 135	Принципы выбора размеров биофильтров и погружных биофильтров с подключением более 500 условных жителей Grundsaetze für die Bemessung von Tropfkoerpern und Tauchkoerpern mit Ansclusswerten über 500 Einwohnergleichwerten	3/89
A 136	Осадки: подготовка и передача данных регистрации осадков – оценка осадков – обработка данных Niederschlag – Aufbereitung und Weitergabe von Niederschlagsregistrierungen – Niederschlagsauswertung – Datenverarbeitung	12/85
A 137	Применение вспомогательных насосных устройств в сооружениях местной канализации Die Verwendung von Steighilfen in Bauwerken der Ortsentwaesserung	12/85
A 138	Строительство и выбор размеров установок для централизованной инфильтрации неочищенных атмосферных сточных вод Bau und Bemessung von Anlagen zur dezentralen Versickerung von nicht schaedlich verunreinigtem Nieder- schlagwasser	12/88
A 139	Инструкции по изготовлению канализационных коллекторов и трубопроводов Richtlinien für die Herstellung von Entwaesserungskanaelen und -leitungen	10/88
M 141	Профилактические мероприятия на случай экстренных ситуаций в общественных канализационных сооружениях Vorsorgemassnahmen für Notfaelle bei oeffentlichen Abwasseranlagen	5/87
H 144	Осадки: инструкции по наблюдению на метеорологических станциях Niederschlag – Anweisung für den Beobachter an Niederschlagsstationen	10/88
M 151	Общие основы соединения труб в подземных канализационных каналах и трубопроводах Allgemeine Grundsaetze für Rohrverbundungen von Entwaesserungskanaelen und -leitungen beim Rohrvortrieb	6/85
A 201	Основные принципы выбора размеров, строительства и эксплуатации биологических прудов для коммунальных сточных вод Grundsaetze für Bemessung, Bau und Betrieb von Abwasserteichen für kommunales Abwasser	12/86
A 241	Строительные сооружения местной канализации Bauwerke der Ortsentwaesserung	6/78
M 250	Мероприятия по обогащению поверхностных водоемов кислородом Massnahmen zur Sauerstoffanreicherung von Oberflaechenwaessern	9/85

№ отраслевой инструкции	Наименование	Издание
M 251	Ввод конденсатов из газовых и мазутных отопительных установок в общесплавные канализационные сооружения и малые очистные станции Einleitung von Kondensaten aus gaz- und oelbetriebenen Feuerungsanlagen in oeffentliche Abwasseranlagen und Kleinklaeranlagen	5/88
H 252	Рекомендации по составлению договоров на электроснабжение очистных станций Empfehlungen zur Gestaltung von Stromlieferungsvertraegen bei Klaeranlagen	11/85
H 253	Внедрение установок по обработке технологических данных на очистных сооружениях Einsatz von Prozessdatenverarbeitungsanlagen auf Klaerwerken	11/86
H 254	Общие критерии оценки очистных сооружений со специальной комбинацией способов или вариантов способов для их расширения до числа 10 000 жителей Allgemeine Beurteilungskriterien für Klaeranlagen mit besonderen Verfahrenskombinationen oder -varianten für Ausbaugroessen bis 10 000 Einwohnerwerte	11/86
M 255	Выделение запахов из канализационных сооружений Geruchsemissionen aus Abwasseranlagen	7/88
M 256	Применение промышленных измерительных устройств на очистных сооружениях Вступление: "Общие требования" Лист 1: "Требования к устройствам для измерения расхода" Einsatz von Betriebsmesseinrichtungen auf Klaeranlagen Vorblatt "Allgemeine Anforderungen" Blatt 1 "Anforderungen an Sauerstoffmesseinrichtungen"	3/89
H 258	Применение решеток с мелкими отверстиями и сит на малых коммунальных очистных станциях Einsatz von Feinstrechen und Sieben auf kleinen kommunalen Klaeranlagen	12/87
H 259	Снижать затраты на электроэнергию на очистных станциях! Auf Klaeranlagen Stromkosten sparen!	2/88
H 260	Сбор, анализ и представление эксплуатационных данных при помощи установок обработки технологических данных на очистных станциях Erfassen, Auswerten und Darstellen von Betriebsdaten mit Hilfe von Prozessdatenverarbeitungsanlage auf Klaerwerken	3/89
H 353	Совместная утилизация дождевых вод и осадка сточных вод Gemeinsame Verwertung von Gülle und Klaerschlamm	10/87
A 400	Принципы разработки регулирующего устройства Grundsaetze für die Erarbeitung des Regelwerkes	10/86

№ отраслевой инструкции	Наименование	Издание
A 701	Принципы выбора размеров и эксплуатации очистных сооружений на нефтеперегонных заводах Grundsaetze für Bemessung und Betrieb von Abwasserreinigungsanlagen in Erdoelraffinerien	4/86
M 751	Сточные воды фабрик по квашению капусты Abwasser der Sauerkrautfabriken	7/88
M 752	Сточные воды при производстве электрических аккумуляторов и первичных ячеек Abwaesser bei der Herstellung von elektrischen Akkumulatoren und Primaerzellen	4/86
M 754	Отходы при концентрированном содержании скота Abgaenge aus konzentrierten Tierhaltung	12/86
M 755	Расчет эффективности очистных сооружений Ermittlung des Wirkungsgrades von Klaeranlagen	8/88
M 756	Сточные воды при производстве удобрений Abwasser bei der Herstellung von Düngemitteln	9/86
M 757	Сточные воды промышленности минеральных красок Abwasser der Mineralfarberindustrie	9/86
M 758	Сточные воды предприятий по термообработке Abwasser aus Waermebehandlungsbetrieben	9/86
H 760	Строительство и эксплуатация пилотных канализационных очистных сооружений Aufbau und Betrieb von Pilotanlagen zur Abwasserbehandlung	4/86
M 761	Сточные воды при земляных работах и в камнеобрабатывающей промышленности Abwasser aus Betrieben der Steine- und Erden-Industrie	3/89
M 762	Сточные воды керамического производства Abwasser der keramischen Industrie	12/88
M 764	Сточные воды при производстве соды Abwasser bei der Herstellung von Soda	5/88

Проекты ("синьки") со сроком подачи отзыва

По состоянию на апрель 1989 г

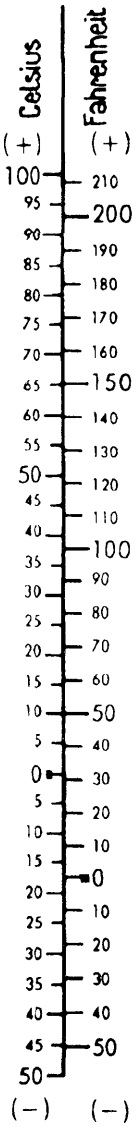
№ отраслевой инструкции	Наименование, издание
A 101	Планирование канализации населенных пунктов, декабрь 1987 Planung einer Ortsentwaesserung, Dezember 1987
A 102	Общие указания по проектированию сооружений для отведения сточных вод и очистных сооружений на промышленных предприятиях и в ремесленных мастерских Allgemeine Hinweise für die Planung von Abwasserableitungsanlagen und

№ отраслевой инструкции	Наименование, издание
	Abwasserbehandlungsanlagen bei Industrie- und Gewerbebetrieben
A 124	Служебная и производственная инструкция для персонала очистных станций, июль 1988 г Dienst- und Betriebsanweisung für das Personal von Klaeranlagen, Juli 1988
A 140	Правила эксплуатации коллекторов, Часть I: Коллекторная сеть, ноябрь 1987 г Regeln für den Kanalbetrieb, Teil I: Kanalnetz, November 1987
M 143	Основы инспекции, ремонта и обновления канализационных коллекторов и трубопроводов, Часть I, июнь 1988 г Grundlagen für die Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Entwaesserungskanaelen und -leitungen, Teil I, Juni 1988
A 161	Статический расчет проходческих труб, сентябрь 1987 г Statische Berechnung von Vortriebsrohren, September 1987
M 256	Применение промышленных измерительных устройств на очистных сооружениях Лист 2 "Требования к уровнемерам для измерения расхода", апрель 1988 г Лист 3 "Требования к устройствам для измерения pH", апрель 1988 г Лист 4 "Требования к устройствам для измерения содержания твердых веществ", апрель 1988 г Лист 5 "Требования к устройствам для измерения уровня и состояния заполнения в насосных приямках и резервуарах", август 1988 г Einsatz von Betriebsmesseinrichtungen auf Klaeranlagen Blatt 2 "Anforderungen an Pegelstandsmesseinrichtungen zur Durchflussmessung", April 1988 Blatt 3 "Anforderungen an Einrichtungen zur Messung des pH-Wertes", April 1988 Blatt 4 "Anforderungen an Messeinrichtungen zur Bestimmung des Feststoffengehaltes", April 1988 Blatt 5 "Anforderungen an Einrichtungen zur Erfassung von Pegel- und Füllstaenden in Pumpensümpfen und Behaeltern", August 1988
A 257	Принципы выбора размеров биологических прудов и промежуточных капельных или погружных биологических фильтров, февраль 1988 г Grundsaetze für die Bemessung von Abwasserteichen und zwieschegeschalteten Tropf- oder Tauchkoerpern, Februar 1988
A 301	Образование осадка очищенных вод в хранилищах, май 1987 г Klaerschlammeinbau in Deponien, Mai 1987
M 351	Обработка и удаление осадка карбидной извести, апрель 1987 г Behandlung und Beseitigung von Carbidkalkschlamm, April 1987
M 352	Обработка и удаление осадка скородитной [x)] извести, апрель 1987 г Behandlung und Beseitigung von Skoroditkalkschlamm, April 1987
M 753	Сточные воды промышленности по переработке картофеля, март 1985 г Abwaesser der Kartoffelveredelungsindustrie, Maerz 1985
M 763	Сточные воды стекольной промышленности, декабрь 1986 г Abwasser der Glasindustrie, Dezember 1986

№ отраслевой инструкции	Наименование, издание
М 765	Сточные воды металлообрабатывающей промышленности Лист 1 "Основы очистки", апрель 1988 г Лист 2 "Гальванизация и неэлектрическое осаждение металлов", апрель 1988 г Лист 3 "Травление, выжигание, химические и электролитические способы очистки поверхности", апрель 1988 г Лист 4 "Анодирование", апрель 1988 г Лист 5 "Механическая обработка", апрель 1988 г Лист 6 "Пламенное цинкование", июнь 1988 г Лист 7 "Эмалирование", апрель 1988 г Лист 8 "Лакирование и специальная предварительная обработка", апрель 1988 г Лист 9 "Изготовление печатных плат", декабрь 1988 г Abwasser, das in der metallverarbeitenden Industrie anfaellt Blatt 1 "Grundlagen der Behandlung", April 1988 Blatt 2 "Galvanisieren und stromlose Metallabscheidung", April 1988 Blatt 3 "Beizen, Brennen, chemisch und elekrolytisch abtragende Verfahren", April 1988 Blatt 4 "Anodisieren", April 1988 Blatt 5 "Mechanische Bearbeitung", April 1988 Blatt 6 "Feuerverzinken", Juni 1988 Blatt 7 "Emaillieren", April 1988 Blatt 8 "Lackieren und spezielle Vorbehandlung", April 1988 Blatt 9 "Leiterplattenfertigung", Dezember 1988
М 766	Сточные воды производства минеральных вод, освежающих напитков и фруктовых соков, октябрь 1987 г Abwasser der Mineralbrunnen-, Erfrischungsgetraenke- und Fruchtsaftindustrie, Oktober 1987
М 767	Сточные воды боен и мясокомбинатов, май 1988 Abwasser aus Schlacht- und Fleischverarbeitungsbetrieben, Mai 1988
М 769	Сточные воды фотографических предприятий (с массовым производством), октябрь 1988 г Abwasser fotografischer Verarbeitungsbetriebe (Grosslabors), Oktober 1988

А – отраслевая инструкция, Н – указания, М – памятная записка

9. Английские и американские меры



1 дюйм = 2,54 см

1 кв. дюйм = 6,45 $см^2$

1 фут = 12 дюймов = 0,305 м

1 кв. фут = 0,0929 $м^2$ = 9,29 $дм^2$

1 куб. фут = 7,48 галлонов США = 0,0283 $м^3$ = = 28,3 л, 1 $м^3$ = 35,4 куб. футов

1 куб. фут/с = 646 000 галлонов США/день = = 449 галлонов США/мин = 1,70 $м^3$/мин

1 куб. фут/фунт = 62,4 л/кг

1 ярд = 0,914 м

1 куб. ярд = 27 куб. футов = 202 галлона США = = 0,765 $м^3$ = 765 л

1 миля = 1,61 км

1 акр = 43 560 кв. футов = 0,405 га = 4 050 $м^2$

1 акр • фут = 1 230 $м^3$

1 галлон США = 3,79 л, 1 л = 0,264 галлона США

1 имперский галлон (англ.) = 1,2 галлона США = = 4,54 л

1 баррель = 117 л

1 бушель = 36,4 л

1 млн. галлонов США = 3 790 $м^3$

1 млн. галлонов США/день = 694 галлона США/мин = 1,55 куб. фута/с = 5 570 куб. футов/ч = 2,63 $м^3$/мин = 44 л/с

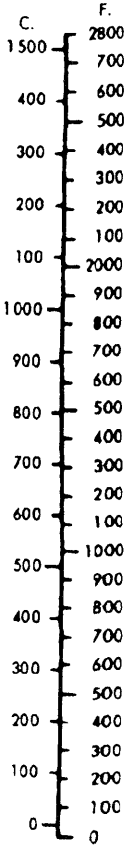
1галлон США/мин = 1 440 галлонов США/день = = 0,00223 куб. фута/с = 3,79 л/мин

1 галлон США/кв. фут = 0,0408 $м^3/м^2$ = 40,8 $л/м^2$

1 галлон США/кв. фут/мин = 2,45 $м^3/м^2$/ч =2,45 м/ч

1 млн. галлонов США/акр = 9 370 $м^3$/га = 0,937 $м^3/м^2$

1 млн. галлонов США/акр • фут = 3,08 $м^3/м^3$



1 галлон США/куб. фут = 0,134 $м^3/м^3$

1 куб. фут/галлон США = 7,48 $м^3/м^3$

1 галлон США/куб. ярд = 4,95 $л/м^3$

1 имперский галлон/куб. ярд = 5,93 $л/м^3$

1 гран = 0,0648 г

1 унция = 1/16 фунта = 28,35 г

1 фунт США = 0,454 кг = 454 г, 1 кг = 2,2 фунта США

1 галлон США воды весит 8,34 фунта

1 имперский галлон воды весит 10 фунтов

1 куб. фут воды весит 62,4 фунта

1 тонна США (короткая тонна) = 2 000 фунтов = 907 кг

1 англ. тонна (длинная тонна) = 2 240 фунтов = 1 016 кг

1 гран/куб. фут = 2,29 $г/м^3$ = 2,29 мг/л

1 часть на млн. = 1 мг/л = 1 $г/м^3$

1 мл = 1 $см^3$

1 бар = 14,2 фунтов на кв. дюйм, 1 фунт на кв. дюйм = = 0,0704 бар

1 фунт/кв. фут = 4,89 $кг/м^2$

1 фунт/1 000 кв. футов = 4,89 $г/м^2$

1 фунт/куб. фут = 16 $кг/м^3$

1 фунт/1 000 куб. футов = 16 $г/м^3$

1 БТЕ (Британская Тепловая Единица) = 0,293 Втч

1 фунт/акр = 0,112 $г/м^2$

1 фунт/акр • фут = 0,368 $г/м^3$

1 фунт/кв. дюйм = 705 $кг/м^2$ = 0,0705 $кг/см^2$ = = 1 фунт на кв. дюйм

1 фунт/куб. ярд = 593 $г/м^3$

1 фунт/млн. галлонов США = 0,12 $г/м^3$

1 фунт/куб. фут = 16,02 $кг/м^3$

1 БТЕ/куб. фут = 10,4 $Втч/м^3$

1 л. с. = 0,746 кВт

1 °C = (5 : 9) (°F - 32°)

1 °F = 32° + (9 : 5) C

1 миллиграмм = $1 \cdot 10^{-3}$ г

1 микрограмм = $1 \cdot 10^{-6}$ г

1 нанограмм = $1 \cdot 10^{-9}$ г

1 пикограмм = $1 \cdot 10^{-12}$ г

Номер Z меш сита = Z ячеек сита на 1 погонный дюйм:

Пример:

Номер сита на 1 погонный дюйм	Число ячеек на		Диаметр германской проволоки	Диаметр ячеек в свету (размер зерен)
	1 см	1 $см^2$	мм	мм
10	4	14	1,0	1,5
20	8	58	0,5	0,75
30	12	130	0,34	0,5

10. Журналы и серийные издания

Важнейшие журналы, названия которых приведены в сокращенном виде, имеют следующие полные названия:

"Berichte der Abwassertechnischen Vereinigung" (ATV), Verlag: Gesellschaft zur Foerderung der Abwassertechnik e. V., Markt 1, D–5205 St. Augustin

"Berichte zur Abwasser- und Abfalltechnik", Technisch-wissenschaftliche Schriftenreihe der ATV, Herausgeber: Gesellschaft zur Foerderung der Abwassertechnik e. V., Markt 1, D–5205 St. Augustin

"Das Gas- und Wasserfach" (GWF), Verlag: R. Oldenbourg, Rosenheimer Strasse 145, D–8000 München 80

"Deutsche Gewaesserkundliche Mitteilungen" (DGM), Kaiserin Augusta-Anlagen 15, D–5400 Koblenz

"Die Wasserwirtschaft", Franckh'sche Verlagsbuchhandlung, Pfitzerstrasse 5 - 7, D–7000 Stuttgart 1

"Dokumentation Wasser" (DW), Deutscher Arbeitskreis Wasserforschung, Prinz-Georg-Strasse 100, Erich Schmidt Verlag, D–4800 Bielefeld

"Forum Staedtehygiene", früher "Staedtehygiene" und "Forum Umwelthygiene", Patzer Verlag GmbH & Co., KG, Alter Flughafen 15, D–3000 Hannover 1

"Gas–Wasser–Abwasser", Herausgeber: Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches, CH–8027 Zürich, Grütlistrasse 44

"Gesundheits–Ingenieur" (GI), Verlag R. Oldenbourg, Rosenheimer Strasse 145, D–8000 München 80

"Industrieabwaesser", Deutscher Kommunal–Verlag GmbH, Rosegger-strasse 5a, D–4000 Düsseldorf

"Journal of the Institution of Water and Environmental Management (JIWEM)", früher "Journal of the Intitute of Water Pollution Control" (JIWPC), früher The Institute of Sewage Purification, Journal and Proceedings, 15 John Street, London WC 1 N2EB, Engl;and

"Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers (ASCE)", 345 East 57th Street, New York, N. Y. 10017, USA
"Journal Water Pollution Control Federation" (JWPCF), früher "Sewage Works Journal" und "Sewage and Industrial Wastes", 601 Wythe St., Aexandria, VA 22314–1994, USA
"Kommunalwirtschaft", Deutscher Kommunal–Verlag GmbH, Roseggerstrasse 5a, D–4000 Düsseldorf
"Korrespondenz Abwasser" (KA), Verlag: Gesellschaft zur Foerderung der Abwassertechnik, Markt 1, D–5205 St. Augustin
"Münchner Beitraege zur Abwasser-, Fischerei- und Flussbiologie", Verlag R. Oldenbourg, Rosenheimer Strasse 145, D–8000 München 80
"Oesterreichische Wasserwirtschaft", Springer–Verlag Wien, Moelkerbastei 5
"Progress in Water Technology" (Prog. Wat. Tech.), Journal of the International Association on Water Pollution Research and Control, Pergamon Press Limited, Headington Hill Hall, Oxford OX 3, OBW, England
"Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie", Birkhaeuser–Verlag, Basel
"Wasser und Abwasser in Forchung und Praxis", Erich Schmidt Verlag, Genthiner Strasse, D–4800 Bielefeld
"Wasser und Boden", Verlag Paul Parey, Spitalerstrasse 12, D–2000 Hamburg 4
"Wasser, Luft und Betrieb" (Wlb), Krauskopf Verlag für Wirtschaft GmbH, Lessingstrasse 12 - 14, D–6500 Mainz
"Wasserwirtschaft–Wassertechnik", VEB Verlag für Bauwesen, Franzoesische Strasse 13 - 14, D–1000 Berlin
"Water Research", The Journal of the International Association on Water Pollution Research and Control, Pergamon Press Limited, Headington Hill Hall, Oxford, OX 3, OBW, England
Water Science and Technology (Wat. Sci. Tech.), International Association on Water Pollution Research and Control, Pergamon Press, Headington Hill Hall, Oxford, OX 3, OBW, England

"Water Works and Wastes Engineering", 466 Lexington Ave., New York 10017, N. Y., USA
"Zeitschrift für Wasser- und Abwasserforchung" (WAF), Verlag Chemie, Postfach 1260/1280, D–6940 Weinheim

В книге упомянуты следующие серийные издания технических университетов:

Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen: "Gewaesserschutz — Wasser — Abwasser" (GWA), Templergraben 55, D–5100 Aachen
Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft Bochum (SIWAWI), Verein zur Foerderung des Lehrstuhls für Siedlungswasserwirtschaft an der Ruhr–Universitaet Bochum e. V., Postfach 102148, D–4630 Bochum
Veroeffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, Technische Universitaet Braunschweig, Postfach 3329, D–3300 Braunschweig
Institut für Wasserversorgung, Abwasserbeseitigung und Raumplanung der Technischen Hochschule Darmstadt, Dissertationen (WAR), Petersenstrasse 13, D–6100 Darmstadt
Veroffenlichungen des Institutes für Siedlungswasserwirtschaft der Technischen Universitaet Hannover, Welfengarten 1, D–3000 Hannover
Institut für Siedlungswasserwirtschaft Universitaet Karlsruhe (ISWW–Karlsruhe), Am Fasenengarten, D–7500 Karlsruhe
"Karlsruher Berichte zur Ingenieurbiologie", Verlag: Lehrgebiet Ingenieurbiologie der Universitaet Karlsruhe, Kaiserstrasse 12, D–7500 Karlsruhe
"Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen", Institut für Bauingenieurwesen V, Technische Universitaet München, Arcisstrasse 21, D–8000 München 2
Schriftenreihe der Gesamthochschule Kassel, Wasser—Abwasser—Abfall, D–3500 Kassel, Moritzstrasse 21

"Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft", Technishe Hochschule Stuttgart, Verlag R. Oldenbourg, Rosenheimer Strasse 145, D–8000 München 80

"Wiener Mitteilungen Wasser—Abwasser—Gewaesser", Herausgeber: Institut für Wassergüte und Landschaftswasserbau, Karlsplatz 13, A–1040 Wien

КОММЕНТАРИИ

Кандидат технических наук, доцент кафедры
водоснабжения, водоотведения и очистки вод
Харьковского института инженеров городского хозяйства
ВЫЧЕГЖАНИНА Галина Валериановна

Решение вопросов канализования населенных мест, промышленных предприятий, очистки и обезвреживания сточных вод и образующихся при этом отходов требует специальных технических знаний и навыков. В этом плане книга Карла и Клауса Р. Имхофф представляет интерес для специалистов, работающих в области водоотведения.

Авторы доступно и на высоком научном уровне представляют сведения, необходимые для проектирования и эксплуатации систем и сооружений канализации.

Некоторые нормативы и методики расчетов несколько отличаются от отечественных, однако должны быть полезны для специалистов-исследователей, эксплуатационников и разработчиков новых нормативов.

Большое внимание в справочнике уделено расчетам и рекомендациям по общесплавной системе канализации, что заинтересует специалистов, эксплуатирующих действующие на территории Украины и СНГ общесплавные системы в небольших населенных пунктах.

В СНиПе 2.04.03–85, действующем в настоящее время, такие системы не упоминаются, так как в отечественной практике бытует мнение, что они недостаточно надежны в санитарном отношении.

Ниже приводятся комментарии научного редактора, которые, по нашему мнению, сделают книгу более интересной и доступной для широкого круга специалистов и студентов, обучающихся по соответствующему профилю.

В тексте часто встречаются выражения "приток" и "сток", нетрадиционные для отечественной литературы, соответственно следует

читать "неочищенная вода или вода, поступающая на какое-либо сооружение" и "вода, очищенная или вытекающая из какого-либо сооружения".

Постраничные комментарии

Стр.	
15	х) Некоторые скорости в этом разделе отличаются от скоростей, рекомендуемых основным отечественным нормативным документом по проектированию систем канализации – СНиП 2.04.03–85 (п.п. 2.34 ... 2.37)
15	х) Имеются в виду трубы типа железобетонных
17	х) В отечественной практике расстояния между колодцами зависят от диаметра трубопроводов, см. п. 4.14 СНиП 2.04.03–85
17	хх) Диаметры труб принято обозначать в мм
18	х) Монтаж трубопроводов, в том числе соединения, выполняются в соответствии со СНиП 3.05.04–85. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации
19	х) Правила для производства строительных работ см. СНиП 3.05.04–85
22	х) Улитки – насосы типа винтовых
23	х) кгм – килограммометр – единица измерения работы и энергии в системе МКГСС
23	хх) Имеется в виду напорная канализация
28	х) Здесь и далее "дроссельный участок" – участок, регулирующий расход сточных вод
29	х) Коэффициент, характеризующий поверхность бассейна стока, отечественный коэффициент см. п. 2.17 СНиП 2.04.03–85
32	х) Q_t соответствует q_{20} - п. 2.12 СНиП 2.04.03–85
34	х) Выражение уклона (в настоящее время применяется и в отечественной практике) соответствует гидравлическому уклону 0,003
41	х) $Н/м^2$ – механическое напряжение или давление движущейся воды на трубу или канал
41	х) Разделительная перегородка устраивается таким образом, чтобы погасить энергию движущейся воды и равномерно распределить поток воды по сечению. Они могут быть плавающие, затопленные, установлены от верха на 1/3 по сечению, поток воды огибает их снизу, или затопленные под уровень воды, ото дна приблизительно также на 1/3 сечения, поток воды идет сверху

43 х) СНиП 2.04.03–85 не дает подробных расчетов ливнеспуска

50 х) В отечественной практике пользуются часовыми графиками притока сточных вод

56 х) В отечественной технической литературе применяется термин "днище", если речь идет о емкостных сооружениях

60 х) Норма водоотведения бытовых сточных вод соответствует норме водопотребления, принимается по СНиП 2.04.02–84. Водоснабжение

60 хх) Для расчета максимальных часовых или секундных притоков (расходов) сточных вод применяются коэффициенты неравномерности притока

60 ххх) В соответствии с п. 16.9 "Правил пользования системами коммунального водоснабжения и водоотведения в городах и поселках Украинской ССР", 1991 г, неучтенное количество ливневых сточных вод, попадающих в хозяйственно-бытовую канализацию, составляет 20 % от общего ливневого стока, указанного в "Паспорте водного хозяйства предприятия"

63 х) Изохронная кривая – кривая, по которой тяжелая частица движется так, что проекции проходимых ею в равные промежутки времени путей на вертикальную прямую равны между собой

66 х) Коэффициенты стока см. СНиП 2.04.03–85

76 х) Технические указания по проектированию и строительству дождевой канализации. – М.: Стройиздат. – 1985, 80 с

77 хх) Имеются таблицы для гидравлического расчета канализационных сетей авторов Н. Ф. Федорова, Л. Е. Волкова и А. А. Лукиных, Н. А. Лукиных

77 х) "А" – обозначена площадь сечений

97 х) Рис. 3.4, п. 2 – имеется в виду, что дно траншеи имеет круговое очертание, соответствующее четверти длины окружности, п. 6 – труба на предварительно сформированном бетонном дне, имеющем круговое очертание, соответствующее трети длины окружности

100 х) В отечественной практике имеются ГОСТы на трубы

103 х) Известно распространение водным путем ряда инфекционных болезней и вирусных заболеваний

119 х) То же, что приведенное число жителей

121 х) Норма накопления мусора на Украине утверждена Приказом Министра ЖКХ УССР от 15.11.77 № 423 и введена в действие с 01.01.81, зависит от уровня благоустройства и климатической зоны

122 х) Имеется в виду необходимость создания санитарно-защитной зоны (СЗЗ), принимается по СНиП 2.04.03-85

122 хх) Ольфактометрия – метод измерения остроты обоняния

131 х) В новом отечественном перечне ПДК загрязняющих атмосферный воздух веществ имеются водные аэрозоли

133 х) В отечественной практике сумму оседающих и неоседающих веществ называют взвешенными веществами. На одного жителя в сутки принимают расчетную норму, равную 65 г взвешенных веществ (табл. 25 СНиП 2.04.03-85). Норматив по БПК дается 75 г/чел в сутки $БПК_{полн}$ неосветленной жидкости и $БПК_{полн}$ осветленной 40 г/чел в сутки

136 х) В отечественной практике для этой же цели применяется шрифт "Снеллена"

139 х) Относительная стабильность или стойкость сточных вод – см. стр. 233-234 Канализация, 1968 г, авторов Федерова Н. Ф. и Шифрина С. М.

149 х) В мировой практике, в том числе и в отечественной, шкала окислительно-восстановительного потенциала или редокс-потенциала, измеряемого в милливольтах, называется шкалой Eh, измеряется активность электронов

151 х) Имеется идентичная методика Всесоюзного научно-исследовательского института по охране вод (в настоящее время – УКРНЦОВ)

152 х) В отечественной практике на канализационных насосных станциях применяются сороудерживающие решетки с прозорами от 16 до 125 мм, а на очистных сооружениях – 16 мм

153 х) Табл. 23 СНиП 2.04.03-85 дает норму 1,2 ... 8 л/год на человека

165 х) В СНиП 2.04.03-85, п. 6.31, дается норма 0,02 л/(чел•сут), что составляет 7,3 л/(чел•год)

187 х) Бар в метеорологии – единица атмосферного давления. 1 бар эквивалентен давлению ртутного столба – 750,08 мм при 0 °С. В технических единицах бар равен давлению в 1,019 кг/см^2, т.е. близко к давлению 1 атм

208 х) Табл. 36 СНиП 2.04.03-85 – крупность загрузочного материала биофильтров от 2 до 7 см в зависимости от типа биофильтра

209 х) Пластмассовая загрузка, применяемая в отечественной практике, имеет удельную поверхность 90 ... 110 м^2/м^3

209 хх) Высота загрузки биофильтров (типа капельных) принимается 2 ... 4 м

209 xxx) В отечественной практике эксплуатируются подобного типа биофильтры, их называют башенными – Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий, 1981 г

215 x) В отечественной практике их называют вторичными отстойниками

218 x) В отечественной практике коэффициент рециркуляции определяется расчетом в зависимости от значений БПКполн поступающей на биофильтр воды и БПКполн допустимого для данного типа биофильтра

239 x) Имеется в виду продолжительность активной деятельности населения в разрезе суток

240 x) В отечественной практике выражают отношением г БПК в сутки на 1 г беззольного вещества активного ила

242 x) ОС–Load, англ., соответствует понятию кислородная нагрузка

247 x) Детергенты в отечественной практике сокращенно обозначаются ПАВ или СПАВ, измеряются в мг/л
xx) Энергозатраты, характерные для сооружений отечественных конструкций, можно посмотреть в табл. 2.2 книги "Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений" /Ю.В.Воронов, В.П.Саломеев и др. под редакцией С.В.Яковлева. М. Стройиздат, 1990

249 x) Имеется в виду аэрация активного ила для восстановления его свойств, в отечественной практике применяется термин "регенерация"

251 x) В отечественной практике принято обозначение $см^3/г$

254 x) Соответствует отечественному понятию "влажность"

253 xx) p.p.m. – частей на миллион

253 xxx) Английский фут – 30,479 см, фунт – 453,6 г

260 x) Имеется в виду регенерация активного ила

264 x) Ил, содержащий большое количество не успевших еще окислиться или трудноокисляемых органических веществ, либо токсичных для микроорганизмов активного ила веществ, например, тяжелые металлы

277 x) В отечественной практике очистку сточных вод, осуществляемую после биологической очистки, называют доочисткой или третичной очисткой

278 x) Количество азотсодержащих веществ по азоту

356 x) Исследования по удобрительной ценности осадков и их санитарно-гигиенической оценке проводились Всесоюзным институтом удобрений и агропочвоведения, Центральной торфоболотной опытной станцией

НИИКВОВ АКХ им. К.Д.Памфилова, Институт гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана – см. их публикации, а также: Ю.В.Алексеев. Тяжелые металлы в почвах и растениях, А.И.Терещук. Исследование и переработка осадков сточных вод. Киев, Выща школа, 1988, и др.

372 x) Вывоз в море загрязняющих веществ у нас запрещен. Имеется ряд постановлений и правил по охране прибрежных вод морей

374 x) Отечественные промышленные предприятия при подключении к городской канализации должны руководствоваться "Правилами пользования системами коммунального водоснабжения и водоотведения в городах и поселках Украинской ССР", Харьков, 1991

376 x) В отечественной практике для сброса вод любого качества в водоем, даже условно чистых, необходимо выполнить проект ПДС и получить официальное разрешение на сброс в органах по охране природы
xx) Имеется система водно-санитарного законодательства, которая включает непосредственно водное и санитарное законодательства, а также различные постановления и правила по охране водных ресурсов и здоровья населения

387 x) В отечественной технической литературе сточные воды промыслового и промышленного происхождения принято обозначать одним термином "производственные сточные воды"

387 xx) В отечественной практике пользуются обозначением ПДК (предельно допустимая концентрация), измеряется мг/л

413 x) Люфт-клозет – уборная без приспособления для промывки унитаза
xx) Ватер-клозет – уборная с водопроводным приспособлением для промывки унитаза

433 x) По СНиП 2.04.03-85, п. 2.34, минимальная допустимая скорость движения неосветленных сточных вод составляет 0,7 м/с

434 x) По СНиП 2.04.03-85, табл. 17, скорость движения осадков и ила рекомендуется 0,8 ... 2,1 м/с в зависимости от консистенции осадка и диаметра труб

438 x) В отечественной практике нет единого подхода к выбору расчетного расхода для различных сооружений, например, песколовки рассчитываются на максимальный секундный приток, отстойники – на среднечасовой суточный максимальный приток и т.д.

450 x) В отечественной практике степень смешения и разбавления сточных вод с водой водного объекта следует определять согласно методическим указаниям по применению правил охраны поверхностных вод от загрязне-

ния сточными водами. Расчетными гидрогеологическими условиями считают для незарегулированных рек наименьший среднемесячный расход воды водоема 95-процентной обеспеченности

452 х) В отечественной практике применяется ГОСТ 2761-84. Источники централизованного водоснабжения

452 хх) ГОСТ 2761-84 предусматривает три класса водоемов, которые по качеству после тех или иных видов обработки могут быть применены для питьевого водоснабжения
ххх) Имеется также санитарная классификация водоемов по степени загрязненности (СанПиН № 4630-88)

454 х) Сапробность – степень насыщенности воды разлагающимися органическими веществами
хх) Олигосапроб – организм, населяющий чистые незагрязненные воды, биоиндикатор высокой чистоты вод

457 х) Олиготроф – растение, малотребовательное к плодородию почвы
хх) Санирование – система мероприятий по оздоровлению водоема

458 х) Мезотроф – организм (растение, гриб и др.) с умеренными потребностями в питательных веществах

461 х) В отечественной практике открытые системы канализационных коллекторов допускаются только для водостоков при соответствующем обосновании и согласовании с органами СЭС

490 х) Научному редактору при многолетней (около 30 лет) практике не прходилось сталкиваться с отсутствием БПК в водоемах. Минимальные значения $БПК_5$, которые встречались при исследовании водоемов и в литературных источниках, – 2,5 ... 3 мг O_2/л

511 х) В отечественной практике применяются Строительные нормы и правила (СНиПы) и Санитарные правила и нормы (СанПиН)

513 х) В отечественной практике по каждой отрасли, специальности и специализации, в том числе и в строительстве, имеется единая терминология, которая приводится в соответствующих ГОСТах и СНиПах

522 х) Скородит – минерал, соединение мишьяка с железом и кислородом

4 ТАБЛИЦЫ ПО ПРАНДТЛЮ–КОУЛБРУКУ

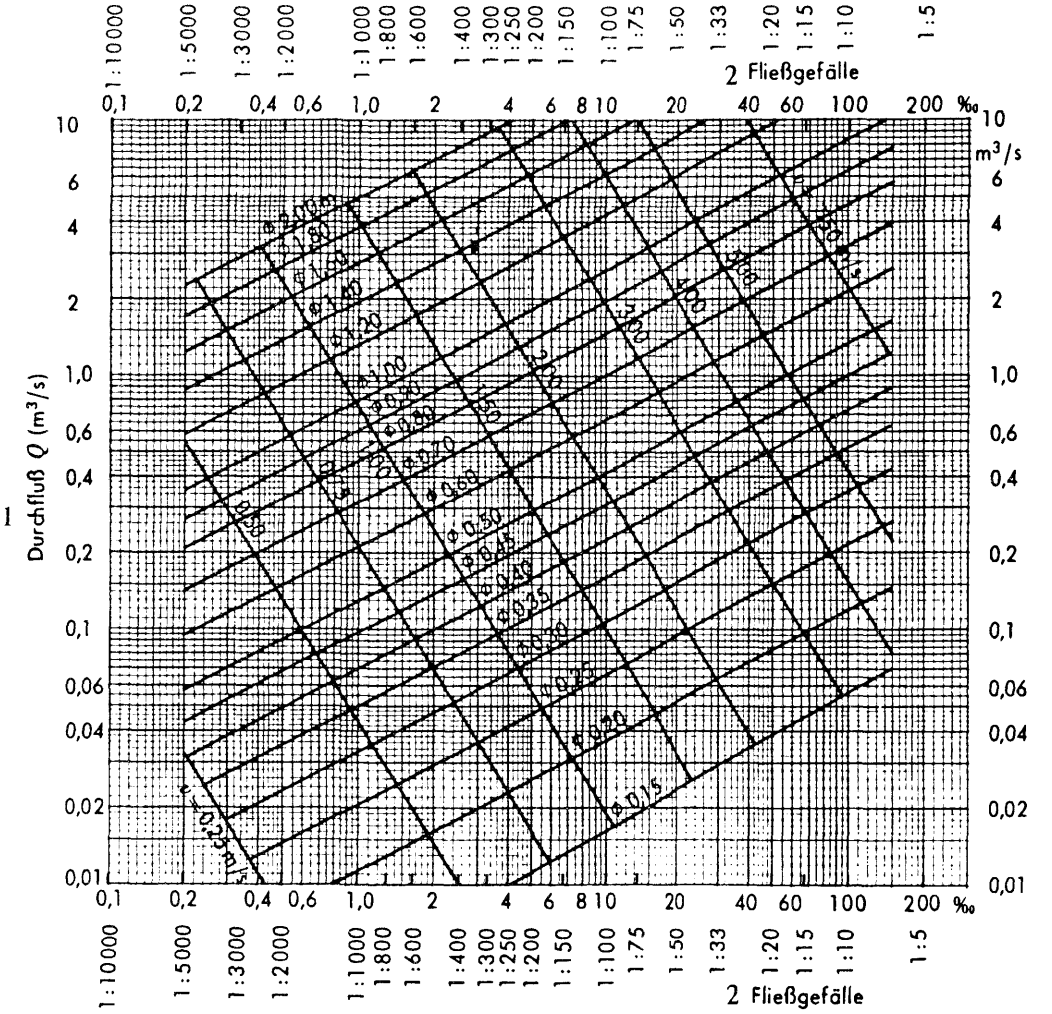


Таблица 1. Пропускная способность коллекторов круглого сечения с колодцами гидравлически благоприятной формы по Прандтлю-Коулбруку, $k_b = 0{,}75$ мм, $v = 1{,}31 \cdot 10^{-6}$ м^2/с

1 - расход Q (м^3/с); 2 - уклон

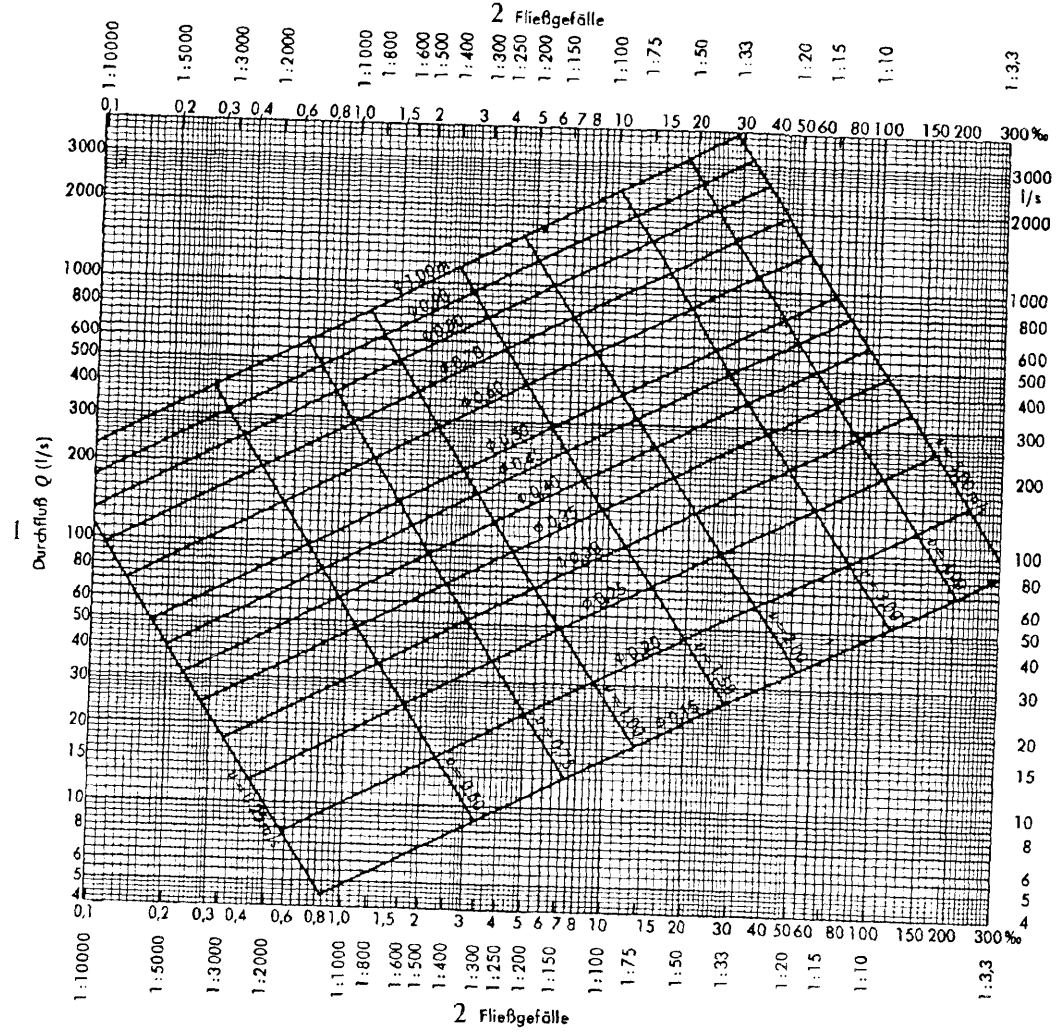


Таблица 2. Пропускная способность коллекторов круглого сечения по Прандтлю-Коулбруку, малые и средние количества воды,
$k_b = 1{,}5$ мм, $v = 1{,}31 \cdot 10^{-6}$ м^2/с
1 - расход Q (л/с); 2 - уклон

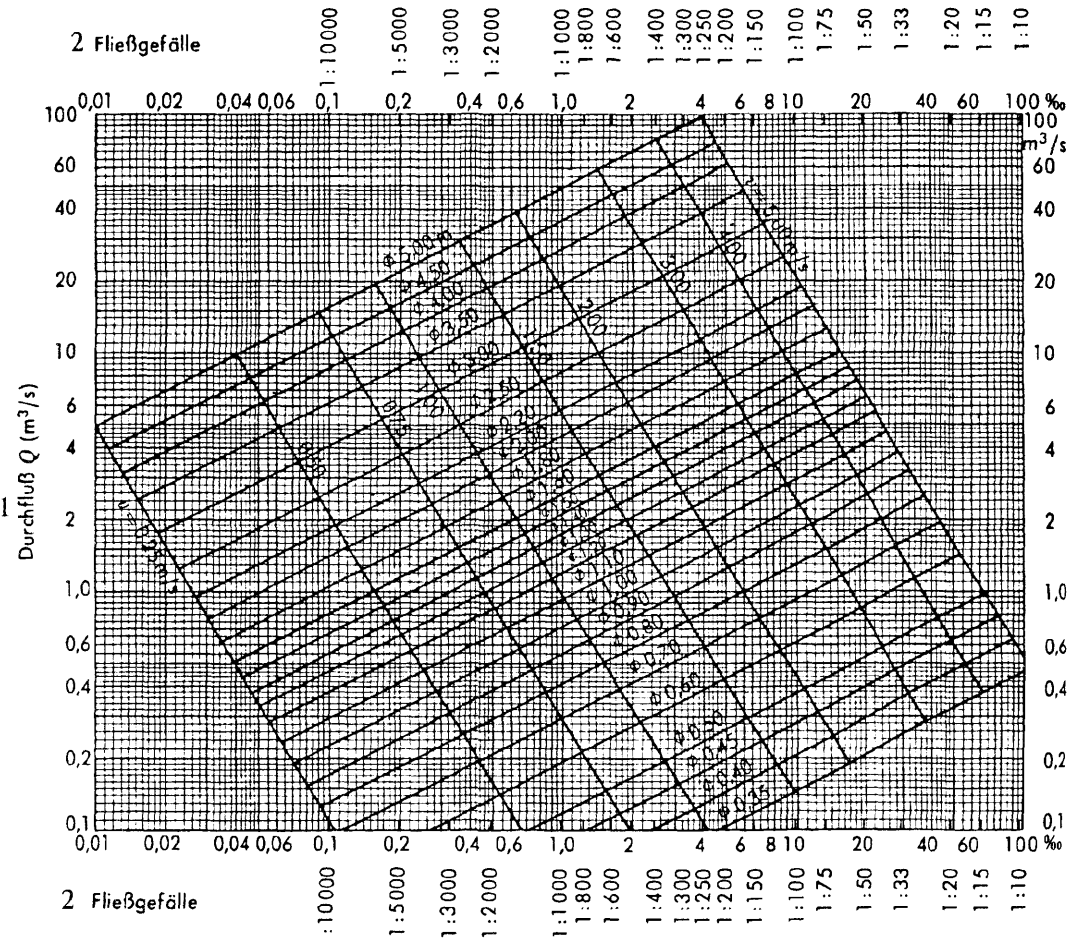


Таблица 3. Пропускная способность коллекторов круглого сечения по Прандтлю-Коулбруку, средние и большие количества воды,
$k_b = 1{,}5$ мм, $v = 1{,}31 \cdot 10^{-6}$ м^2/с
1 - расход Q (м^3/с); 2 - уклон

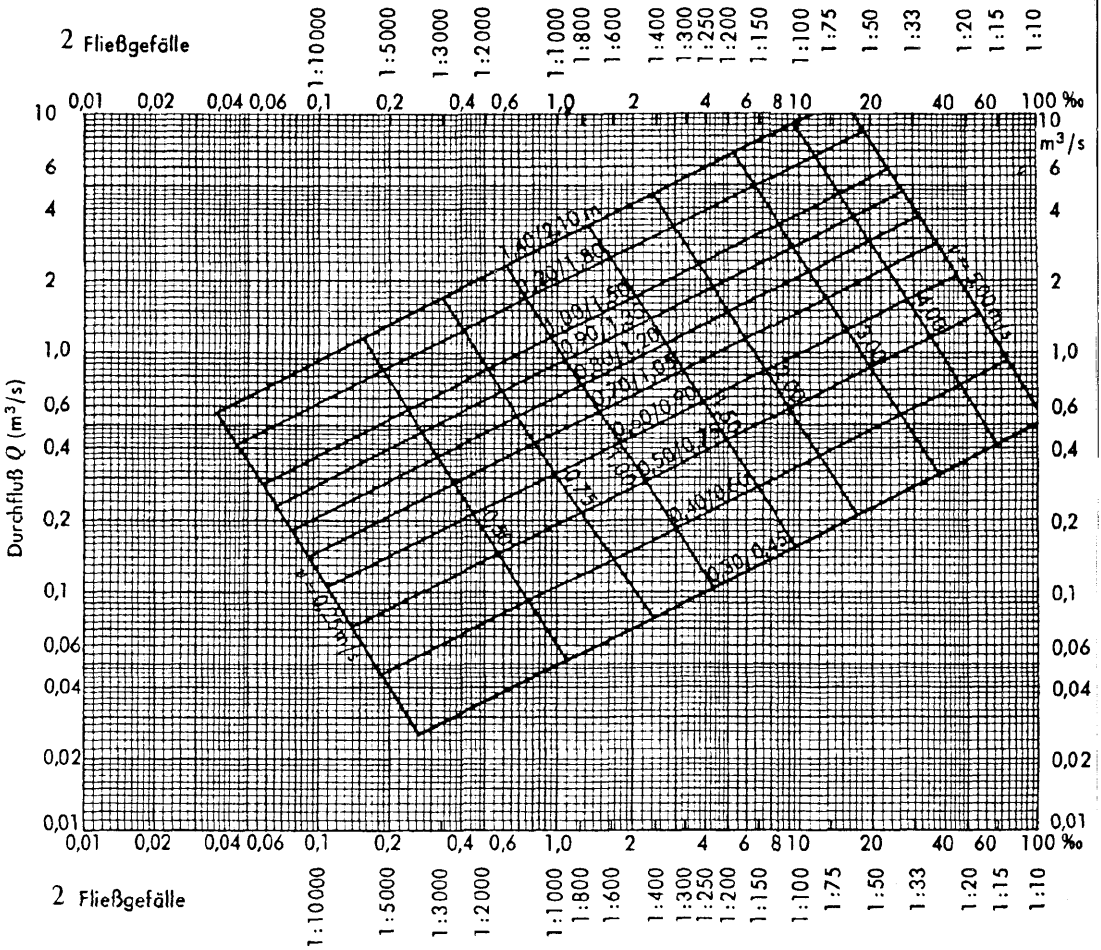


Таблица 4. Пропускная способность коллекторов овоидального сечения по Прандтлю-Коулбруку, $k_b = 1{,}5$ мм, $v = 1{,}31 \cdot 10^{-6}$ м^2/с
1 - расход Q (м^3/с); 2 - уклон

- Sludge treatment, anaerobic and aerobic
- Sludge dewatering
- Energy recovery by gas utilization
- Waste water treatment
- Waste water filtration
- Anaerobic industrial waste water treatment
- Organic waste digestion
- Pilot plants
- Mechanical effluent regulation systems
- Oil-soacked sludge conditioning
- General clarification equipment
- Instrumentation for measuring and regulation

- Consulting
- Project planning and design
- Supply
- Erection
- Commissioning



Oswald Schulze

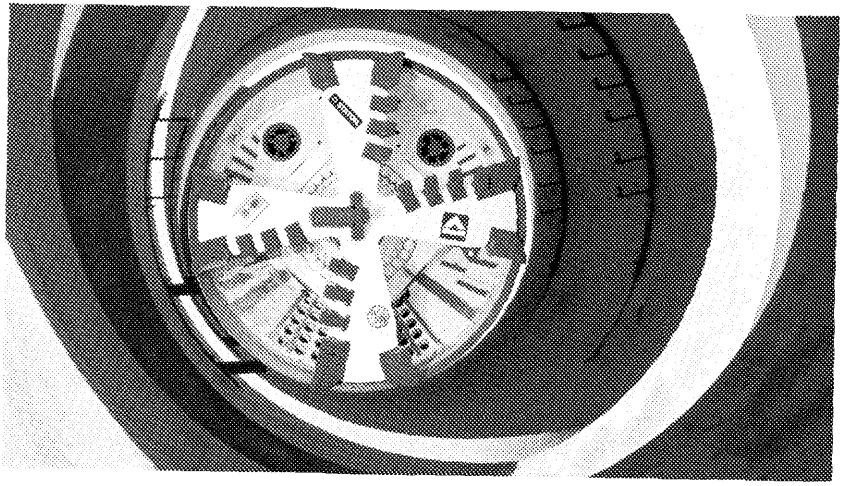
Process systems and treatment plants
for sewage, sludge and energy recovery

Oswald Schulze GmbH & Co. KG

Krusenkamp 22-24 · D-45964 Gladbeck
P.O. Box 565 · D-45955 Gladbeck
Phone ++(0)20 43/277-0 · Fax ++(0)20 43/277-133
Germany

Чрезвычайно конструктивно

73:03:94



Уже двенадцать десятилетий мы изумляем мир. В Германии – туннелем Ойропайп для транспортировки природного газа на побережье Северного моря. Во Франции – туннелем под реками Роной и Саоной для линии метро г. Лиона.

В Южной Африке – проектом снабжения водой ЮАР по водоподающему туннелю из высокогорного Лесото. И, может быть, скоро в Англии еще одним туннелем для высокоскоростной ж/д, соединяющей туннель канала между Францией и Англией с Лондоном.

За каждым удачным проектом стоит сперва видение. Наши специалисты с воодушевлением и знанием дела претворяют его в жизнь.

Они знают, что находится в пределах возможного, и делают очевидным бывшее до сих пор невозможным. Таким образом мы уже открыли новые поля деятельности:

например, модели финансирования и эксплуатации, разработку проектов, защиту окружающей среды и математическое обеспечение для всего этого.

Не только удивительно, но и чрезвычайно конструктивно!

Если Вы хотите узнать о нас больше, обратитесь, пожалуйста, в наше Представительство в Киеве: тел./факс: (044) 2 30 26 70 или в наше ГУ в Эссене: тел.: 02 01/ 8 24 24 69, факс: 02 01/ 8 24 27 46.

HOCHTIEF

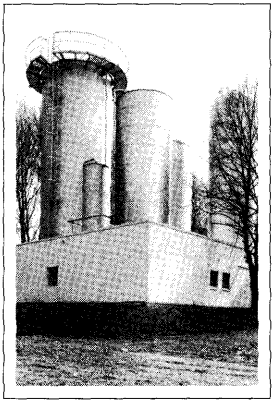
WABAG ESMIL

GMBH WASSER- UND ABWASSERSYSTEME
ANLAGENBAU · LIEFERUNG · INGENIEURLEISTUNGEN

➢ *Wirtschaftlicher läßt sich Abwasser kaum reinigen* ➣

Anaerobe Abwasserreinigung mit den anaeroben UASB-Verfahren BIOTHANE® und BIOBED® zur wirtschaftlichen Vorreinigung organisch hochbelasteter Industrieabwässer

Aerobe Abwasserreinigung und den aeroben Verfahren WSMS (getauchtes Unterdruck-Membran-Verfahren) und CARROUSEL® (Belebtschlamm-Verfahren) für die Direkteinleitung mit höchster Ablaufqualität



Anaerobe Abwasservorbehandlungsanlage (System BIOBED®) in platzsparender Turmbauweise

Anwendungsbereiche:

Abwässer und Prozeßwässer aus der **Getränke- und Nahrungsmittelindustrie, Papierindustrie und Chemiebetrieben** sowie überall dort, wo ein Wasserrecycling ermöglicht und produktionsintegrierter Umweltschutz realisiert werden soll

Wir lösen Ihre Probleme wirtschaftlich:

- niedrige Energie- und Betriebskosten
- stark reduzierter Schlammanfall
- Energiegewinn durch Biogas
- kompakte Bauweise
- höchste Ablaufqualität

Nehmen Sie uns beim Wort!
Nennen Sie uns Ihr Abwasserproblem
Wir beraten Sie gerne!

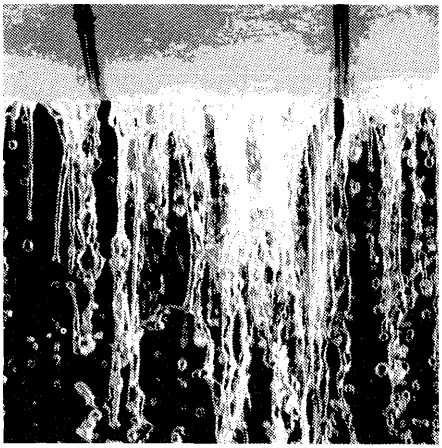
DEUTSCHE BABCOCK
WABAG ESMIL
GRUPPE BDAG

Lise-Meitner-Straße 4a
D-40878 Ratingen

Tel. 02102-4527-0
Fax 02102-4527-99

Passavant – Saubere Lösungen aus einer Hand.

Die Geschichte von Passavant ist die Geschichte der Abwassertechnik. Seit 1884 führten zahlreiche Innovationen zu einem umfassenden Programm systematischer Problemlösungen: in der „Entwässerungs- und Abscheidetechnik" vom Abdecken und Entwässern von Verkehrsflächen über die Gebäudeentwässerung bis zur Abtrennung von Schadstoffen in Abscheidersystemen. In der „Wasser-Schlamm-Technik" von Maschinen, Verfahren und kompletten Anlagen für die Trink-, Brauch- und Prozeßwasseraufbereitung über Kläranlagen für kommunale und industrielle Abwässer bis zu Hochleistungs-Kompostierungsanlagen.



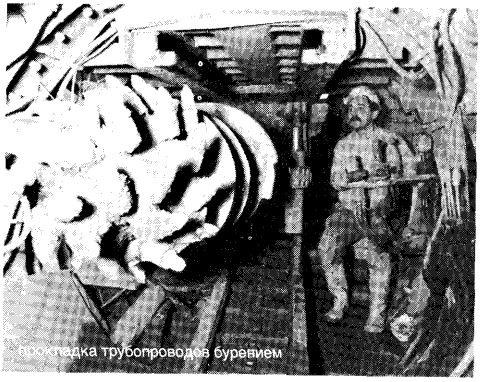
Das ist Passavant:
Produkte und Dienstleistungen zum Sammeln und Aufbereiten von Wasser und Abwasser sowie zum Behandeln und Verwerten von Abfallstoffen.

PASSAVANT

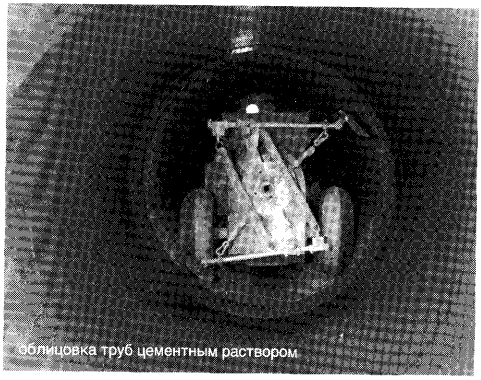
Technik für Mensch und Natur.

Passavant-Werke AG · D-65322 Aarbergen
Tel.: 0 61 20/2 81 · Fax: 0 61 20/2 83

HEITKAMP предлагает



прокладка трубопроводов бурением



облицовка труб цементным раствором



строительство канализационных очистительных сооружений

большой объём ноу–хау для строительства, содержания в исправности и санирования канализационных очистных сооружений, а также питьевых и канализационных трубопроводов.

К специальному оборудованию относятся, например, установки горизонтального бурения для прокладки трубопроводов и туннелей, в том числе и под сжатым воздухом, а также оборудование для облицовки труб цементным раствором.

HEITKAMP

Langekampstraße 36
D-44652 Herne
телефон +(2325) 57-00
факс +(2325) 57 37 55

КАРЛ и КЛАУСР. ИМХОФФ

СПРАВОЧНИК ПО ГОРОДСКИМ СТОЧНЫМ ВОДАМ

ISBN 3-486-31887-X

