

ЭН-03-239

Mémento technique  
de l'eau

«Дегремон»

**Технические  
записки  
по проблемам воды**



Дегремон



Технические записки по проблемам воды



Москва  
Стройиздат

„Дегремон“

# Mémento technique de l' eau

huitième édition

# Технические записки по проблемам воды

В двух томах

Том 2

Перевод с английского  
Е. И. Апельциной, А. А. Виницкой,  
Л. И. Гюнтер, Т. А. Карюхиной,  
В. А. Ксенофонтова, И. Н. Чурбановой

Под редакцией кандидатов технических наук  
Т. А. Карюхиной, И. Н. Чурбановой



Рекомендовано к изданию чл.-корр. АН СССР С. В. Яковлевым  
и д-ром техн. наук С. А. Шубертом

Авторы: К. Бараке, Ж. Бебен, Ж. Бернар,  
Ф. Берне, Ж. Бушар, Д. Бургиня, Ж. Дюро, Р. Фламион,  
Г. Фромон, А. Обри, Р. Олька, Ж. Лемер, Р. Любутэн,  
Ж. Мармане, Ж. Миньо, П. Муше, М. Паре, Б. Рольт,  
И. Ришар, Ж.-М. Ровель, В. Саваль, Ж. Гардивель, А. Тишит,  
П. Трей, Ж. Бешо

Т38 **Технические записки по проблемам воды:** Пер. с  
англ. В 2-х т. Т. 2 / К. Бараке, Ж. Бебен, Ж. Бернар  
и др.; Под ред. Т. А. Карюхиной, И. Н. Чурбановой — М.: Стройиздат, 1983. — с. 609—1064, ил.

Справочное издание фирмы «Дегремон» кратко можно охарактеризовать словами «все о воде». Обширный материал книги основан на обобщении последних достижений мировой практики в области обработки природных и сточных вод. В русском переводе книга издается в двух томах. Во 2-м томе рассмотрены вопросы взаимосвязи методов очистки воды, ее состава и назначения. Приведены сведения по обработке производственных сточных вод, а также данные справочного характера по химии и биологии воды, методам анализа воды, осадков и применяемых реагентов.

Книга предназначена для инженерно-технических работников.

Т 3206000000-320  
047(01)-83 КБ-43-51-82

ББК 38.761  
6С9.3

© Copyright by DEGRÉMONT, 1979  
Перепечатка, даже частичная, запрещена

© Предисловие к русскому изданию. Перевод  
на русский язык, Стройиздат, 1983

Предлагаемые вниманию советского читателя «Технические записки по проблемам воды» — первое издание на русском языке широко известной за рубежом книги французской фирмы «Дегремон».

Эта книга уникальна по широте охвата и освещению разнообразных проблем очистки воды и обработки осадков. Знакомство с ней позволяет составить полное представление об успехах в области водоснабжения и канализации, об уровне и глубине научных исследований в обосновании применяемых методов обработки воды, об огромном разнообразии конструкций сооружений одного и разных назначений, о направлениях развития науки и техники очистки воды в будущем.

В настоящее время технология обработки воды стала очень сложной, многоплановой отраслью инженерной техники. Она основывается на применении физических, химических и биологических процессов, а также самых различных их комбинаций. Трудно назвать такой химический и биохимический метод, который не был бы на вооружении инженерной технологии обработки воды. Вот почему стало насущной необходимостью дать специалистам своеобразный справочник, освещающий как теоретические, так и практические вопросы водной технологии. Этим потребностям в полной мере отвечает книга «Технические записки по проблемам воды» фирмы «Дегремон».

Авторы книги, с позиций самого высокого гуманизма обращаясь к читателям, напоминают:

вода не знает границ. Проблемы воды касаются всего человечества; без воды нет жизни. Вода — это ценнейшее сырье, необходимое для любого вида деятельности человека;

запасы свежей воды не беспредельны. Все источники питьевой воды должны быть инвентаризованы, должны тщательно контролироваться, охраняться и, по возможности, пополняться;

загрязнение воды может нанести вред человеку или другим живым организмам; вода должна иметь качество, соответствующее виду ее использования и требованиям органов здравоохранения. Если использованная вода возвращается в окружающую среду, она не должна ей вредить;

вода — общее наследство. Это должен понимать каждый и использовать воду бережно;

для решения сложных проблем водного хозяйства необходимо объединение усилий специалистов всех стран мира.

Книга «Технические записки по проблемам воды» выдержала восемь изданий. Впервые она вышла в свет в 1950 г. Развитие науки и техники в области обработки воды было так стремительно, а полезность этой книги оказалась столь очевидной, что уже в 1952 г. фирма «Дегремон» выпустила в свет второе ее издание, переработанное и дополненное. Последующие издания были осуществлены в 1954, 1958, 1963, 1966, 1972 гг. и, наконец, последнее погьмое появилось в 1978 г.

С 1955 г. каждое новое издание книги переводится на английский язык, с 1959 — на испанский, с 1973 — на немецкий и с 1978 г. на сербско-хорватский языки. Настоящий перевод сделан с пятого английского издания 1979 г.,

соответствующего восьмому французскому изданию 1978 г. Приведенный перечень — красноречивое доказательство всевозрастающей популярности книги у специалистов многих стран мира.

Частые переиздания книги позволяют ее авторам своевременно отражать новейшие достижения в технике обработки природных и сточных вод. В качестве примера приведем последнее восьмое издание, в котором достаточно полно представлены методы удаления азота и, в частности, биологические процессы нитрификации и денитрификации, отсутствовавшие в седьмом издании книги.

Можно уверенно сказать, что каждое издание книги точно отражает уровень науки и техники своего времени, и в этом смысле восемь изданий «*Méthode technique de l'eau*» являются своеобразной исторической энциклопедией развития методов обработки воды и осадков за последние тридцать лет.

Отметим, что книга широко популяризирует собственные разработки фирмы «Дегремон» — разнообразные конструкции очистных сооружений, рациональные их компоновки, приборы для контроля и управления работой сооружений. Особенно большие успехи в последние годы фирмой «Дегремон» достигнуты в области обработки производственных стоков; в соответствующих разделах книги читатель найдет материалы не только по методам очистки воды, применяемым в настоящее время, но и познакомится с наиболее перспективными направлениями развития этих методов в будущем.

В работе над русским изданием справочника приняли участие специалисты, много лет работающие в области водоснабжения и канализации. Было приложено немало усилий, чтобы максимально точно воспроизвести текст оригинала, что неизбежно повлекло за собой ряд трудностей, касающихся, в частности, терминологии. Мы полагаем, что свободное владение терминологией, применяемой в разных странах, необходимо для глубокого изучения специальной литературы.

Русское издание «Технических записок по проблемам воды» выходит в двух томах, каждый из которых содержит две части. Том 1 включает разнообразные сведения о воде, методах ее обработки и конструкциях очистных сооружений, а том 2 — обоснование выбора методов обработки воды в зависимости от ее исходного качества и назначения и обширный материал справочного характера.

Мы выражаем надежду, что советские читатели получат большое удовлетворение от знакомства со справочником фирмы «Дегремон».

Кандидаты технических наук  
Т. А. КАРЮХИНА  
И. Н. ЧУРБАНОВА

## ПРЕДИСЛОВИЕ ФИРМЫ «ДЕГРЕМОН» К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Фирма «Дегремон» и редакторы всех изданий «Технических записок по проблемам воды» счастливы и горды тем, что эта книга публикуется на русском языке.

«Технические записки по проблемам воды» — плод работы группы французских специалистов, инженеров, техников, лаборантов и рабочих, проведенной на основе опыта, накопленного в области обработки всех видов воды во всем мире.

Специалисты различных стран, занимающиеся проблемами обработки воды, сталкиваются с одними и теми же вопросами:

обеспечение всего живого на нашей планете чистой и приятной на вкус питьевой водой;

придание этому сырью, без которого невозможно развитие цивилизации, свойств, необходимых для каждого вида применения;

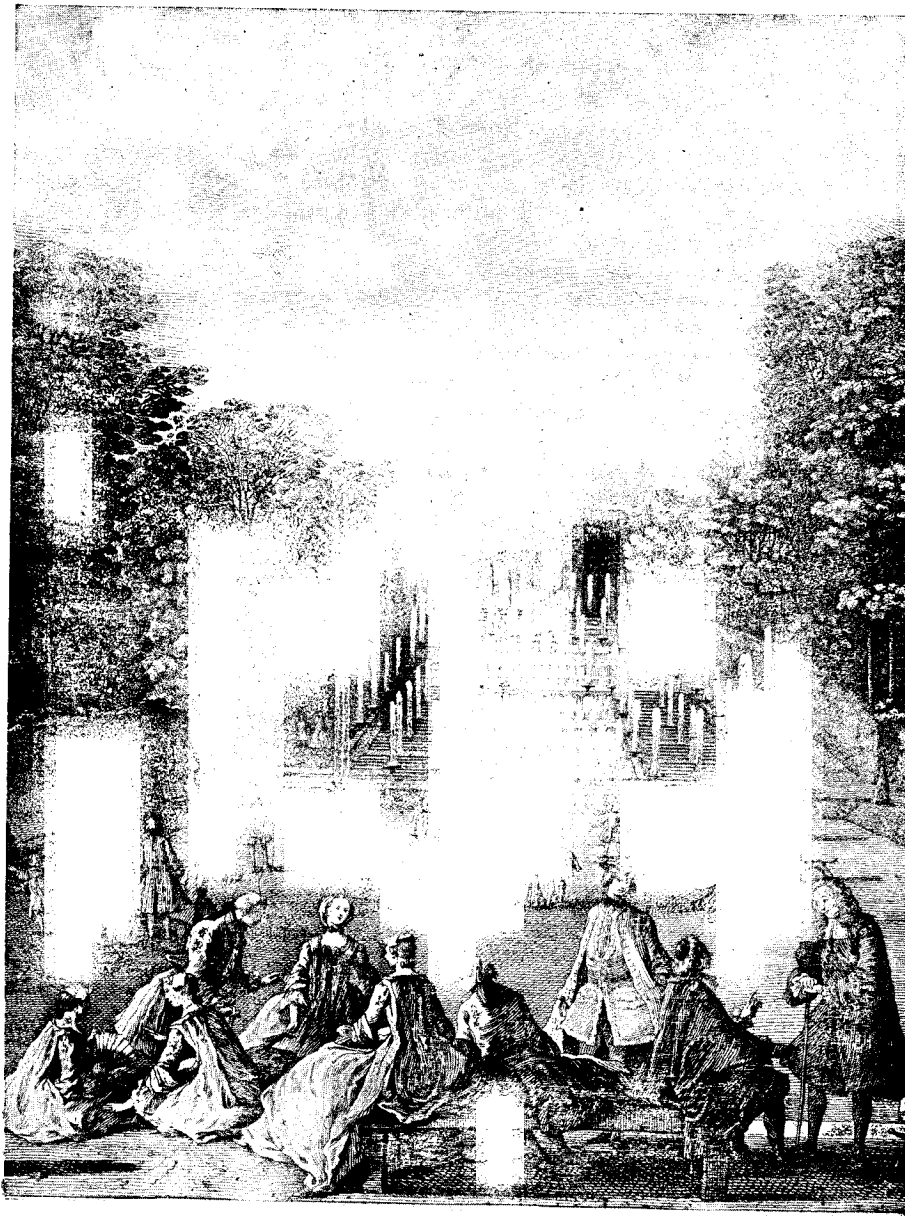
сброс отработанной воды в естественную среду, не нанося ей вреда, и возможность дальнейшего использования сбросов;

переработка шламов и отходов, поступающих с различных установок по очистке воды, с тем, чтобы они были полезными или, по крайней мере, безвредными для окружающей среды.

«Технические записки по проблемам воды» пытаются дать ответ на все эти вопросы.

Советские читатели уже знакомы с «Техническими записками» по предыдущим изданиям, но перевод на русский язык позволит ознакомить с ними более широкий круг людей, занимающихся проблемами обработки воды, и будет способствовать, как мы надеемся, сближению и сотрудничеству специалистов наших стран во имя общего дела — защиты жизни на Земле.





Часть третья  
**МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ ЕЕ СОСТАВА И ВИДА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**20. ОЧИСТКА ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ  
ДЛЯ ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ**

**20.1. ВЫБОР ИСТОЧНИКА ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Первая проблема, которую решают административные органы, ответственные за снабжение населения питьевой водой, заключается в выборе источника воды. Таким источником могут быть подземные воды, добываемые с различных глубин, поверхностные воды из рек или озер, а в некоторых случаях — морская вода.

Подобный выбор сделать не всегда легко, потому что в некоторых районах нет подземных вод в достаточном количестве и нужного качества или же они неудобно расположены и находятся на значительном расстоянии. Там, где имеются хорошие местные подземные источники, их выбор производится автоматически.

В некоторых районах, находящихся на побережье и не имеющих ни подземных, ни поверхностных вод, можно использовать морскую воду, не применяя длинных магистральных трубопроводов для подачи пресной воды или дорогостоящей системы привоза ее танкерами.

Когда выбор сделан, источник водоснабжения оценивается с позиций качества исходной воды, ее количества и стоимости обработки.

**20.1.1. КАЧЕСТВО ИСХОДНОЙ ВОДЫ**

Подземная вода — синоним «природной чистой» воды, а поверхностная вода — это вода, рано или поздно загрязняемая.

Подземную воду, имеющую постоянную температуру, по общему признанию, лучше использовать в качестве источника водоснабжения, чем поверхностную воду, которая подвержена загрязнениям отходами, создаваемыми современным миром. При выборе нужно принимать в расчет не только уже известные факторы, но и те осложнения, которые могут возникнуть в ближайшем будущем.

К сожалению, и подземные воды редко сохраняют одну и ту же степень чистоты на протяжении года; как для подземных, так и для поверхностных вод должен быть изучен период обиль-

ных дождей, потому что подземные воды могут стать очень мутными и может быть загрязнено водное зеркало ближайших рек. Подземные воды могут быть также загрязнены с поверхности пестицидами и сточными водами, содержащими физиологические отходы животных и человека. Такие загрязнения в подземных водах встречаются не часто, но зато они оказывают более длительное воздействие, потому что просачивание происходит медленно и нарушается баланс, который восстанавливается в течение длительного времени. Наконец, загрязнение подземных вод — медленный процесс, и в течение определенного времени он может быть и не обнаружен, если не проводить частые и систематические анализы воды. Следовательно, любые источники воды нужно оценивать по их свойствам в целом.

**Температура** является важной характеристикой питьевой воды наряду с прозрачностью и привкусом. Вода, забираемая из глубины земли, имеет фактически постоянную температуру и обычно остается холодной в течение года, за что она высоко ценится, в то время как температура поверхностных вод в зоне умеренного климата часто изменяется от 1 до 22 °С в соответствии со временем года. Температура — важный фактор при определении баланса карбоната кальция в воде и, вследствие этого, очистки, которая может потребоваться. Если температура воды снижается, то процессы химической флокуляции и осветления протекают более медленно и резко тормозятся при температуре ниже 10 °С. С другой стороны, высокая температура может стимулировать значительный рост планктона или приводить к пересыщению воды растворенными газами и к образованию «белой воды», что создает серьезные трудности в работе очистных сооружений.

Более чем какие-либо другие свойства воды, важно знать скорость и интервал изменения ее температуры.

**Содержание взвешенных веществ**, которое только частично оценивается мутностью, относится к наиболее легко обнаруживаемым качественным показателям воды. Питьевая вода не должна содержать каких-либо взвешенных веществ, выпадающих в осадок.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) допускает мутность, равную 5 ед., и рассматривает возможность ее превышения до 25 ед. Во Франции и вообще в Европе прилагаются усилия довести показатель мутности в водоснабжении до 5 капель мастики и менее, т. е. от 0,1 до 0,5 нефелометрических единиц мутности (НЕМ). Тем не менее, действующий в настоящее время во Франции стандарт допускает предел мутности, соответствующий 15 каплям растительной смолы.

Хорошая питьевая вода не должна иметь **цветность**, и сейчас стремятся установить предел, не превышающий 5 платинокобальтовых ед. (французский стандарт, действующий с 1977 г., допускает цветность 20 ед.).

Как и поверхностные воды озер, подземные воды иногда окрашены. Даже если вода, выходящая из земли, прозрачна, она может стать желтой, красной или даже черной, как только вступит в контакт с кислородом воздуха.

**Запах и привкус** также относятся к качественным показателям воды. Питьевая вода не должна обладать ни запахом, ни привкусом, и если при водоснабжении эти требования не удовлетворяются постоянно, то необходимо применить дорогостоящую очистку воды при условии, что она будет эффективна.

В воде содержатся **минеральные соединения**, которые обычно в подземных водах встречаются в большем количестве, чем в поверхностных. Избыток солей кальция вызывает неудобство, а избыток ионов свинца, мышьяка, фтора и т. д. может оказаться пагубным.

Содержание минеральных веществ определяет ряд химических свойств и показателей воды, в частности (см. гл. 27), удельное сопротивление и значение pH; общую, кальциевую и магниевую жесткость; карбонатную жесткость и щелочность; содержание свободного CO<sub>2</sub>; содержание аммонийного азота, нитритов и нитратов. Кроме того, оно характеризует количества сульфатов или хлоридов, измеренные отдельно или вместе (соли сильных кислот) и определяющие минерализацию воды, предназначенной для питьевых целей. Чрезмерные концентрации вредны не только для человека (хотя к солесодержанию выше рекомендуемого предела 250 мг/л можно со временем привыкнуть), но и вызывают коррозию металлических труб.

Для последнего случая важно, что при повышении минерализации воды должна быть выше и общая щелочность.

Подземные воды, забираемые с больших глубин, имеют высокое солесодержание, а поверхностные — низкое, и в этом заключается преимущество последних.

Железо и марганец сами по себе не опасны для человека, но должны быть удалены. Французские стандарты позволяют максимальное суммарное содержание железа и марганца 0,3 мг/л с предельным содержанием марганца 0,1 мг/л, но серьезные проблемы могут возникнуть и при более низких концентрациях; в трубах с низкими скоростями потока может быть обнаружена «черная вода» в системах перекачки воды, содержащей даже менее 0,05 мг/л марганца; то же относится и к железу. Следовательно, важно знать точную концентрацию этих металлов в воде (подземные воды часто содержат их в больших количествах) и осторожно подходить к использованию в качестве коагулянтов солей двух- или трехвалентного железа.

В воде, приятной для питья, должно быть достаточное количество **растворенного кислорода**, но он не должен способствовать коррозии металлических трубопроводов. Подземные воды, как правило, не содержат растворенный кислород, но это не означает, что они загрязнены; кислород присутствует в воде,



когда она поступает в землю, но расходуется в процессах самоочищения. В таких случаях воду перед использованием нужно проаэрировать.

**Содержание органических веществ** в воде, используемой для потребностей человека, необходимо точно учитывать. Подземные воды обычно содержат мало органических веществ (если они не связаны с источником загрязнений), что наряду с постоянной температурой составляет одно из главных преимуществ по сравнению с поверхностными водами. Обычно принимают, что окисляемость питьевой воды, определяемая в щелочной среде, не должна превышать 3 мг/л кислорода. Эта величина не является стандартом и не может считаться верхним пределом в районах, где в воде находятся безвредные органические вещества растительного происхождения. Например, вино и чай не следует признавать негодными на основании присутствия в них большого количества органических веществ.

Токсичные продукты должны быть удалены в процессе очистки. Количество минеральных и органических микрозагрязнений необходимо уменьшить до установленного уровня. Европейские стандарты, действующие в настоящее время, определяют максимально допустимые количества загрязнений.

Особое значение имеют биологические свойства воды.

**Планктон** может вызвать осложнения в работе очистных сооружений, магистральных трубопроводов и водонапорных башен. Планктон встречается главным образом в поверхностных водах, где фитопланктон (растительного происхождения) находится вместе с зоопланктоном (животного происхождения). Весной и летом фитопланктон размножается с большой скоростью и может привести к засорению плохо запроектированных очистных сооружений. Он придает воде неприятный привкус и, попадая в распределительные металлические трубы, может служить косвенной причиной их повреждения. Зоопланктон еще менее желателен. Если некоторые его виды интенсивно размножаются в водных системах, то их трудно удалить. Обнаружить зоопланктон в питьевой воде очень неприятно.

С **бактериологической** точки зрения воду лучше всего дезинфицировать перед поступлением ее в водопроводные трубы; это необходимо для того, чтобы уничтожить патогенные бактерии и микробы, находящиеся фактически во всех поверхностных водах. Для надежности лучше продезинфицировать и подземные воды, несмотря на то, что они в большинстве случаев бактериологически чистые. Вероятность обнаружения вирусов в поверхностных водах больше, чем в подземных, хотя в последнее время и подземные воды нельзя полностью от них обезопасить.

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что подземные воды менее загрязнены, чем поверхностные, но они имеют ряд других недостатков, которые часто оказываются более весомыми, чем достоинства.

ТАБЛИЦА 20.1. ОСНОВНЫЕ РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ПОВЕРХНОСТНЫМИ И ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

Характеристика	Поверхностные воды	Подземные воды
Температура	Изменяется в зависимости от времени года	Сравнительно постоянная
Мутность, взвешенные вещества	Изменяются, иногда бывают высокими	Невелики или равны нулю
Содержание минеральных соединений	Изменяется в зависимости от вида почвы, количества осадков, стока и т. д.	Большая часть постоянно, но обычно заметно выше, чем в поверхностных водах в том же районе
Железо (II) и марганец (в растворенном виде)	Обычно отсутствуют, за исключением дна озер или прудов при процессе эвтрофикации	Обычно присутствуют
Агрессивный диоксид углерода	Обычно отсутствует	Часто присутствует в больших количествах
Растворенный кислород	Часто приближается к уровню насыщения	Обычно отсутствует
Аммиак	Обнаруживается только в загрязненной воде	Встречается часто, но не всегда является индикатором загрязнения сточными водами
Сероводород	Отсутствует	Присутствует часто
Кремнекислота	Небольшие количества	Часто большие количества
Нитраты	Обычно небольшие количества	Иногда большие количества, риск заболевания метгемоглобинемией
Живые организмы	Бактерии (некоторые из них патогенные), вирусы, планктон	Часто встречаются железобактерии

Недостатки поверхностных вод более очевидны, чем подземных, но последние значительно труднее очищать (ср. в особенности п. 20.3.2.1 «Удаление марганца и железа»). В табл. 20.1 представлены основные различия между двумя видами вод. Некоторые подземные воды сравнительно легко могут быть загрязнены бактериями, а также минеральными и органическими микрозагрязнениями, если они недостаточно охраняются, тем не менее они вызывают меньше недоверия, чем поверхностные воды. Безопасность подземных вод может оказаться обманчивой, и перед использованием их необходимо подвергать такому же полному анализу, как и поверхностные воды.

Если подземные воды можно очистить, а потенциальный источник поверхностных вод не очень сильно загрязнен, то различие между ними незначительно; можно использовать как один, так и другой источник, так как четкого определения чистоты поверхностных и подземных вод не существует, и окончательная оценка производится для каждого частного случая.

### 20.1.2. КОЛИЧЕСТВО ИСХОДНОЙ ВОДЫ И ПОСТОЯНСТВО РАСХОДА

При выборе источника воды необходимо провести расчет требуемого количества воды и имеющегося в распоряжении в данном месте или на приемлемом расстоянии. Потребности в воде должны находиться в соответствии с запасами воды в глубоком водном пласте, которые могут быть уже в основном исчерпаны, а для поверхностных вод потребности должны быть увязаны с минимальным расходом воды в источнике при наиболее низком ее уровне, так как количество воды значительно уменьшается в течение засушливого времени года.

Постоянному снабжению водой необходимо уделять первостепенное внимание. Это гарантируется при использовании поверхностных вод, расход которых в различное время года можно легко измерить. Для подземных вод это не всегда возможно, так как требует проведения длительных исследований с использованием самой совершенной техники.

### 20.1.3. СТОИМОСТЬ ИЗЫСКАНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВКИ, ОБРАБОТКИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

Стоимость изыскания воды заслуживает особого рассмотрения при использовании глубоких подземных источников для получения большого количества воды.

В некоторых случаях стоимость транспортировки воды может быть одним из определяющих факторов при выборе источника водоснабжения. Подача подземных вод на большие расстояния экономически оправдана для воды хорошего качества, не требующей обработки, и при достаточной площади водосбора, а также если стоимость транспортировки воды экономически целесообразна.

## 20.2. ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Известны четыре основных источника загрязнения воды (первые три из них встречаются чаще):

сточные воды животного происхождения (навозные кучи, стоки животноводческих помещений и т. д.) или сточные воды, образующиеся в результате жизнедеятельности человека. Сточные воды животного происхождения часто влияют на качество воды в колодцах, близлежащих родниках или небольших водоемах. Бытовые сточные воды загрязняют реки, или непосредственно стекая в них, или за счет сброса в реки вод, обработанных на очистных сооружениях, но содержащих неразложившиеся вещества. Загрязнения в бытовых водах представлены взвешенными

веществами, детергентами, органическими веществами, фосфатами, бактериями и иногда вирусами;

производственные стоки или жидкие выбросы, которые весьма разнообразны и могут содержать все известные загрязнения, включая радиоактивные вещества, а иногда минеральные и органические канцерогены в соотношении, зависящем от предшествующей очистки;

поверхностный сток, содержащий такие сельскохозяйственные загрязнения, как удобрения, пестициды, детергенты и т. д.;

случайные загрязнения за счет концентрированного выброса, которые воздействуют на поверхностные и даже глубоко расположенные воды.

Многочисленные загрязнения и микрозагрязнения, обнаруживаемые в воде, которая используется для потребностей человека, можно разделить на три вида: минеральные загрязнения, органические загрязнения и вирусы.

Взвешенные вещества органического или минерального происхождения (пакеты из пластика, песок, глина и т. д.) также должны быть учтены; такие загрязнения должны быть удалены при предварительной очистке (улавливание загрязнений на решетках, удаление песка).

### 20.2.1. МИНЕРАЛЬНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И МИКРОЗАГРЯЗНЕНИЯ

К этим загрязнениям относятся:

нежелательные или токсичные вещества: тяжелые металлы, фтор, мышьяк и т. д. Воздействие некоторых из них рассмотрено в гл. 27. В национальных и международных стандартах установлены максимально допустимые пределы для некоторых из этих веществ;

железо, марганец, цинк и медь, которые воздействуют главным образом на органолептические свойства воды. Медь, которая необходима человеческому организму в малых количествах, становится токсичной, если накапливается в больших дозах;

фосфор и его соединения, благодаря которым размножаются водоросли и происходит эвтрофикация озер;

радиоактивные вещества (регистрация в целях контроля).

### 20.2.2. ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И МИКРОЗАГРЯЗНЕНИЯ

Эти загрязнения многочисленны и могут быть классифицированы как фенолы, углеводороды, детергенты и пестициды.

**20.2.2.1. Фенолы и их производные.** Присутствие фенолов и их производных является показателем промышленного загрязнения. В присутствии хлора даже очень малое количество этих веществ придает воде хлорфенольный привкус. Обычно вода не



имеет привкуса, если в ней содержится чистый фенол в концентрации менее 1 мг/л, но иногда незначительный привкус хлорфенола обнаруживается при концентрациях 0,1—0,01 мг/л.

Биоразложение производных фенола зависит от их структуры. Максимальное количество фенола, которое было обнаружено в речной воде, придает ей привкус, но не является токсичным (270 мкг/л в Рейне, 35 мкг/л в Маасе и 40 мкг/л в Сене).

**20.2.2.2. Углеводороды** появляются в поверхностных или подземных источниках водоснабжения вследствие сброса главным образом стоков с нефтеочистительных заводов, газоперерабатывающих заводов и других промышленных предприятий. Они могут содержать парафин, керосин, бензин, дизельные масла, мазут и другие масла и смазочные материалы.

Биоразложение углеводов происходит медленно. Случайное загрязнение углеводородами оказывает непродолжительное воздействие на речную воду, но может длительное время (до нескольких лет) сохраняться в подземных водах вследствие удержания углеводов почвой. Поэтому подземные водные источники должны строго охраняться во избежание риска загрязнения их углеводородами.

*Вредное и токсическое воздействие* углеводородов заключается в следующем:

они способствуют образованию пленки, которая мешает насыщению воды кислородом воздуха и протеканию природных процессов самоочищения;

препятствуют работе водопроводных очистных сооружений; присутствие углеводородов оказывает влияние на процессы флокуляции и отстаивания вследствие того, что эти вещества продолжительное время остаются в материале фильтра;

придают воде привкус и запах; пороговые величины привкуса и запаха изменяются в очень широких пределах в зависимости от загрязняющих продуктов (от 0,5 мкг/л для бензина до 1,0 мг/л для масел и смазочных материалов);

углеводороды токсичны, если их концентрация в питьевой воде превышает ту концентрацию, при которой появляются привкус и запах. Более опасны циклические углеводороды, которые могут оказывать канцерогенное действие (например, 3,4-бензпирен). В присутствии других соединений (поверхностно-активных веществ) опасность увеличивается.

**20.2.2.3. Детергенты** — это синтетические поверхностно-активные вещества, попадающие в воду с бытовыми и производственными стоками.

Торговый продукт содержит активные соединения в форме собственно поверхностно-активных веществ и вспомогательных добавок.

*Поверхностно-активные вещества* имеют структуру, которая влияет на физические свойства поверхности, снижая поверхно-

стное натяжение, что способствует проведению некоторых процессов очистки.

Различают следующие типы поверхностно-активных веществ (ПАВ).

*Анионоактивные ПАВ.* Длительное время наиболее широко использовались «жесткие» вещества, такие как алкилбензолсульфонаты (ABS) — слабо биоразлагаемые продукты, молекулы которых представляют собой разветвленные цепочки. С их присутствием главным образом связаны проблемы, возникающие при нахождении детергентов в воде. В странах, производящих 80—90% таких детергентов, органы здравоохранения приняли решение о замене их на линейные детергенты, которые разлагаются биохимическим путем на 80% (во Франции принят закон от 25 сентября 1970 г.). Линейные алкилбензолсульфонаты чаще всего заменяют прежние детергенты.

Концентрация анионоактивных ПАВ может быть легко определена анализом с метиленовым голубым. Их биоразрушение происходит сравнительно легко.

*Неионогенные ПАВ* (их получают на основе алкилфенолов). Они препятствуют образованию накипи, но до сих пор не решен вопрос их дозирования.

*Катионоактивные ПАВ*, состоящие из солей четвертичного аммония, используются мало и сохраняются для специального применения, связанного с их биостатическими свойствами.

*Вспомогательные средства* включают:

полифосфаты, карбонаты, силикаты;

стабилизаторы и комплексообразующие вещества (полифосфаты и др.);

активаторы, улучшающие действие активных составляющих (аминоксидов, карбоксиметилцеллюлозы, алканоламидов);

добавки: отбеливающие вещества, пероксобораты, оптические отбеливатели, красители, эфирные масла;

минеральные соли в качестве наполнителей, улучшающих внешний вид изделий;

ферменты, способствующие гидролизу определенных видов загрязнений.

*Концентрации детергентов в воде.* Прежде чем перешли к использованию биоразлагаемых веществ, концентрация анионоактивных детергентов в речной воде изменялась от 0,05 до 6,0 мг/л, теперь она уменьшается.

Концентрацию неионогенных детергентов трудно определить точно; существует много различных методов анализа, позволяющих установить концентрацию этих соединений с различной точностью.

*Вредное воздействие.* Детергенты, присутствующие в воде, оказывают следующее вредное воздействие:

образуют пену, которая препятствует процессам естественной и искусственной очистки, концентрирует загрязнения и соз-

дает возможность распространения бактерий и вирусов; для образования устойчивой пены достаточно присутствия анионоактивного детергента в концентрации 0,3 мг/л и выше;

образуют мешающую пленку на поверхности воды, которая замедляет перенос и растворение кислорода в воде, если даже пена на поверхности воды не образуется;

придают воде мыльный привкус при концентрациях, значительно превышающих пенообразующую концентрацию;

увеличивают содержание фосфатов за счет полифосфатов, что приводит к эвтрофикации озер и росту планктона в реках; в некоторых странах большая часть полифосфатов заменяется нитрил-триуксусной кислотой;

постепенно увеличивают содержание бора в поверхностных и подземных источниках воды из-за присутствия больших количеств пероксобората натрия, используемого в детергентах.

Детергенты не уничтожают бактерии, водоросли, рыбу и другие формы жизни в реке, пока их концентрация не превышает 3 мг/л.

Ферменты, которые сравнительно недавно стали добавлять в детергенты, не оказывают неблагоприятного воздействия на получаемую воду и на работу очистной станции.

*Влияние биоразлагаемых детергентов.* Использование детергентов, которые разлагаются биохимическим путем на 80%, заметно улучшило положение, по крайней мере с анионными детергентами, что отмечается повсеместно. Конечные продукты биологического распада линейных детергентов очень слабо токсичны.

В некоторых случаях промежуточные продукты неполного распада детергентов более токсичны для рыб, чем те детергенты, которые вообще биологически не разрушаются.

Присутствие неионогенных детергентов создает трудности, так как они стимулируют образование пены анионоактивными детергентами и затем стабилизируют ее. Сейчас используют неионогенные вещества, стойкие к биологическому разрушению, особенно при низких температурах.

Современные исследования дают возможность получать в будущем новые анионоактивные и неионогенные детергенты, которые будут почти полностью разрушаться (спирты с линейной цепью) и иметь усовершенствованные добавки.

В общем можно сказать, что сами по себе детергенты не вредны, и их косвенное вредное воздействие будет значительно уменьшено, если ограничить образование пены путем использования полностью биоразлагаемых веществ. В отношении применяемых до сих пор добавок нельзя сказать с полной уверенностью, что они не оказывают токсичного воздействия.

Сейчас во Франции нет стандарта, устанавливающего максимальное содержание детергентов в питьевой воде; тем не менее рекомендуется, чтобы в воде содержалось менее 0,2 мг/л

анионоактивных ПАВ. Подготавливается европейский стандарт, предусматривающий максимально допустимую концентрацию 0,1 мг/л.

**20.2.2.4. Пестициды и вещества, применяемые для оздоровления растений.** Пестициды — это вещества, используемые для борьбы с организмами, которые вредны для здоровья или поражают материалы, животных и растительные источники пищи. Они сами по себе вредны для здоровья и могут накапливаться в растениях и клетках животных, нанося ущерб окружающей среде.

Пестициды включают не только вещества, применяемые для оздоровления растений (инсектициды, фунгициды, гербициды), но и такие вещества промышленного происхождения, как дифенилполихлориды.

*Классификация.* Пестициды могут быть разделены на пять классов:

хлорорганические соединения, некоторые из них запрещены в ряде стран. Инсектициды этого класса включают такие устойчивые соединения, как ДДТ, НСН, альдрин, а гербициды — 2,4 D, 2,4 DT, МСРА, МСРР, а также дифенил- и трифенилполихлориды; сюда же относят менее устойчивые соединения, такие, как симазин;

фосфорорганические соединения, которые менее устойчивы, в связи с чем наблюдается тенденция замены их хлорпроизводными; в некоторых случаях образуются продукты неполного окисления типа оксониевых производных, более токсичные, чем исходные соединения (паратион);

азоторганические соединения включают неустойчивые соединения, например симазин, и устойчивые соединения, например DНОС;

металлоорганические соединения, включающие производные мочевины, тиоурацила, нитратов или тионитратов тиазенов, используемых для уничтожения сорняков; карбаматы и дитиокарбаматы применяются в качестве фунгицидов;

минеральные вещества, такие как сера, сульфат меди, арсенаты свинца и кальция; первые два до сих пор довольно часто используют для обработки пораженных растений.

*Источники загрязнения и факторы переноса.* Причина загрязнения стоком с поверхности водосбора — обильные дожди и инфильтрация. Например, в воде может быть обнаружен паратион на глубине 60 м. В этих случаях пестициды абсорбируются почвой и затем вследствие эрозии почвы переносятся к источникам воды. На перенос пестицидов влияют такие факторы, как их растворимость, трудность физического и биохимического разрушения, характер почв, объем и интенсивность осадков.

*Вредное и токсическое воздействие пестицидов.*

Органодептическое воздействие. Пестициды придают запах и привкус при пороговых концентрациях от 0,1



до 1000 мкг/л. Например, 1 мкг/л HCN придает воде привкус, тогда как пороговая концентрация привкуса у ДДТ — 1 мг/л.

Воздействие на водную фауну. Пестициды оказывают как прямое воздействие (медленное или острое отравление организмов), так и косвенное (наблюдаемое по исчезновению планктона), а именно, снижение содержания кислорода, изменение значения pH и содержания CO<sub>2</sub>. Хлорорганические инсектициды более токсичны для рыб, чем фосфорорганические соединения, в то время как гербициды вообще значительно менее ядовиты, чем инсектициды.

Воздействие на человека. Различают хронические и острые отравления. Обычно вода не бывает причиной острых форм отравления, но она может вызвать хроническое отравление путем кумулятивного воздействия пестицидов. Жировые ткани аккумулируют главным образом хлорорганические пестициды, а печень и почки наиболее чувствительны к ДДТ. В общем фосфорорганические пестициды более токсичны для человека и млекопитающих животных, чем хлорорганические соединения, за исключением малатиона, который является слабotoксичным фосфорным соединением, и эндрина — сильнотоксичного хлорсодержащего соединения, применение которого во Франции запрещено.

### 20.2.3. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И МИКРОЗАГРЯЗНЕНИЯ

**20.2.3.1. Микроорганизмы и вирусы.** Этот вид загрязнений связан с присутствием микроорганизмов и вирусов в различных видах отходов. Они могут воздействовать на поверхностные и подземные источники воды (см. гл. 28).

**20.2.3.2. Вещества, выделяемые в окружающую среду микрофауной и микрофлорой.** Многие организмы (водоросли и актиномицеты в особенности) могут развиваться в речной воде, особенно если она загрязнена органическими веществами или веществами, вызывающими эвтрофикацию, а также в резервуарах и распределительных системах. Их метаболиты, попадающие в природную среду в течение их жизни или после отмирания, вызывают ряд проблем.

*Привкус и запах:* наиболее обычные виды привкуса — ила, земли и плесени — вызваны присутствием в воде актиномицетов и некоторых сине-зеленых водорослей, которые выделяют в воду различные вещества, главным образом геосмин. Весьма неприятный привкус могут придавать основные категории водорослей: Chlorophyta, Chrysophyta (chrysophyceae, diatoms), Cyanophyta. Запахи воды могут меняться в широких пределах в соответствии с видом и концентрацией веществ, присутствующих в воде, от ароматных (запахи фруктов, цветов или овощей) до запахов рыбы, травы, гнили, тины, винной пробки и т. д.

*Токсичные вещества:* некоторые из сине-зеленых водорослей продуцируют вещества, которые токсичны для высших животных. Эти внутриклеточные вещества не представляют непосредственной опасности при условии, что водоросли удаляются в процессе очистки. Однако очень мало известно об их длительном воздействии (о накоплении в организме), если они остаются в воде в форме следов после отмирания и разложения водорослей.

*Внешний вид воды:* цветность или мутность воды вызваны жизнедеятельностью микрофлоры и физиологическими выделениями микрофауны.

### 20.2.4. ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ РЕАГЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ

Очень важно, чтобы реагенты, используемые в процессе очистки питьевой воды, не вносили в воду добавочные загрязнения, которые могут сохраняться в воде и после очистки.

Если, например, перед распределением воды по системе корректируется величина pH отфильтрованной воды путем применения каустической соды, то надо позаботиться о том, чтобы этот реагент не содержал ртути.

Составляемые сейчас нормы будут учитывать максимально допустимое содержание загрязнений в каждом реагенте.

### 20.3. ПРИНЦИПЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ПИТЬЕВЫХ ЦЕЛЕЙ

Решение о необходимости предварительной очистки питьевой воды принимается в зависимости от источника воды, а также от того, насколько физические, химические и бактериологические свойства воды и содержание в ней микрозагрязнений соответствуют основным требованиям, предъявляемым к ее качеству.

Глубина обработки зависит от состава и степени загрязненности воды. Для очистки воды могут потребоваться различные процессы, и на очистных станциях они должны быть скомбинированы наилучшим образом.

Первоначальные затраты и эксплуатационные расходы должны быть сведены к минимуму. Расчет должен обеспечивать при применении автоматики и сохранении надежной работы системы подачу в распределительную систему воды лучшего качества, без риска временного ее ухудшения.

#### 20.3.1. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ

**20.3.1.1. Очистка на водозаборах и насосных станциях.** Первая задача при использовании подземных вод — отделение песка или грунта, которые могут попадать вместе с водой в кап-

тажные или насосные станции. Необходимо также установить пределы охранной зоны.

При использовании поверхностных вод водозабор должен быть запроектирован так, чтобы предотвратить попадание в систему различных имеющихся в воде крупных предметов. Хорошо запроектированный водозабор — необходимое условие нормальной работы очистной станции.

*Проектирование водозабора.* При заборе воды из озера водозаборное сооружение должно быть расположено на такой глубине, чтобы количество взвешенных веществ, коллоидных частиц, железа, марганца и планктона в воде было минимальным в течение года. Наименьшей должна быть и температура воды. Например, если озеро довольно глубокое, то лучше расположить водозабор на глубине 30—35 м; на такой глубине воздействие света настолько мало, что рост планктона в период массового размножения будет ограничен. Однако водозабор следует располагать на расстоянии не менее 7 м от дна озера; в противном случае вода будет загрязняться вследствие передвижения осевших частиц и донных отложений. Наконец, нужно учитывать возможность стратификации озерной воды под воздействием температурных изменений.

То же самое явление принимают во внимание, когда водозабор располагают в русловом водохранилище с переменным уровнем воды в нем; башенный водозабор дает возможность отводить воду с различных глубин в соответствии со временем года.

Одно существенное предостережение — перед заполнением резервуара, предназначенного для питьевой воды, необходимо разрушить и удалить растительный покров с площади, которая будет в контакте с водой, чтобы предотвратить эвтрофикацию стоячей воды (см. п. 28.2.2).

Речной водозабор нужно предохранять от песка, грунта, листьев, тростника, травы, упаковочных материалов, особенно пластмассовых, плавающих предметов, пленки лишайника или углеводов, переносимых течением. Идеальной модели водозабора не существует, и его типы изменяются в соответствии с природой воды, изменениями расхода, судоходностью реки и степенью доступности ее берегов. Это может быть русловой водозабор, береговой, сифонный и т. д. В каждом случае необходимо специальное исследование.

Первичная очистка заключается в грубом фильтровании для удаления крупных частиц, которые служат препятствием на последующих стадиях очистки.

*Общая предварительная очистка* может включать следующее оборудование (см. гл. 4):

грубую сороудерживающую стержневую решетку с расстоянием между прутьями 8—10 см;

более мелкую решетку с расстоянием между прутьями 25—40 мм.

Грубую сороудерживающую решетку можно и не применять, если взвешенные вещества не нарушат работу более мелкой решетки и ее автоматическую систему очистки. Однако эта система необходима, если большое количество инородных частиц попадает вместе с водой. Если в воде имеются трава и листья, которые могут пройти через решетку, то необходимо добавить следующее оборудование:

вращающиеся барабанные сетки, если уровень воды изменяется незначительно, или плоские сетки, если уровень воды заметно изменяется. Размер ячейки таких сеток обычно от 1 до 5 мм. Очистка их должна быть автоматизирована, ее контролируют путем измерения потерь напора. Перерывы по экономическим соображениям в работе таких сеток часто вызывают серьезные нарушения в работе очистных станций, особенно в насосных системах;

систему для удаления песка, которая может быть расположена перед сетками или после них; ее конструкция меняется в зависимости от типа водозабора. Удаление песка необходимо, если вода подается по длинной трубе или каналу или перекачивается насосами, а также если значительное количество песка будет вызывать серьезные нарушения в работе очистных сооружений;

сетчатые микрофильтры, если количество планктона в воде невелико и если не применяется последующее осветление воды. Очистка с помощью микрофильтров дает незначительный эффект и редко используется на современных станциях (п. 9.2.1.1); систему для удаления нефтепродуктов с поверхности воды; систему для удаления взвеси (см. п. 4.4).

*Предварительная очистка с применением хлора или хлорсодержащих соединений* (хлорной извести, гипохлорита, диоксида хлора) может быть необходима для защиты магистральных трубопроводов, подающих необработанную воду.

Если воду с высоким содержанием планктона или органических веществ необходимо перекачать на большое расстояние к главной очистной станции, то необходима очистка с использованием окислителя, так как аккумуляция планктона на стенках труб быстро уменьшает их пропускную способность. Такая же очистка необходима для более коротких магистральных трубопроводов, если в пресной воде присутствуют моллюски (*Dreissena polymorpha*).

Железобактерии или сульфатовосстанавливающие бактерии могут разрушать железо в металлических трубах, в результате чего содержание железа в воде повышается, особенно в условиях застоя воды в трубопроводах. Этому можно воспрепятствовать путем добавления хлора.

**20.3.1.2. Хранение необработанной воды.** Такое хранение необходимо на случай длительной засухи (уменьшение расхода реки с одновременным ухудшением качества воды или случай-

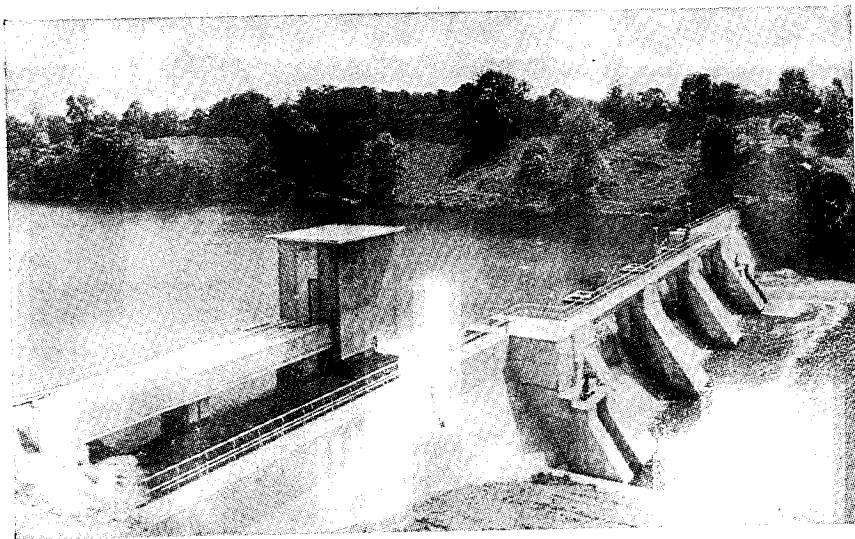


Рис. 20.1. Водозабор, установленный рядом с плотиной и подающий сырую воду на очистные сооружения производительностью 2000 м<sup>3</sup>/ч

ным загрязнением воды). Водозабор из реки можно тогда легко прекратить и использовать воду из хранилища.

Во время хранения некоторые характеристики воды могут быть улучшены (уменьшение количества взвешенных веществ, аммиака в процессе нитрификации и бактериальной флоры).

Хранение необработанной воды, однако, имеет и отрицательные стороны. Если географические и погодные условия способствуют росту планктона, водорослей и грибов, то эти организмы могут размножаться, и их метаболиты будут придавать воде неприятный привкус, ликвидация которого обходится очень дорого. К тому же системы хранения воды занимают большие площади земли, которые в черте города стоят очень дорого. Резервуары нужно регулярно очищать.

**20.3.1.3. Предварительное хлорирование.** Предварительное хлорирование перед очисткой обычно целесообразно применять как средство улучшения качества воды в период фильтрования и осветления. Хлор окисляет различные вещества, находящиеся в воде:

ионы железа (II) и марганца (II);

аммиак, образующий хлорамины, которые разрушаются после точки перелома (см. п. 27.8, № 708 А). Если содержание аммиака в воде очень велико, то предварительное хлорирование окажется нецелесообразным, так как это приведет к наличию большого количества остаточного окислителя и вызовет высокие эксплуатационные расходы;

нитриты, которые превращаются в нитраты;

окисляемые органические вещества;

микроорганизмы (бактерии, водоросли, планктон), которые способны развиваться на очистной станции и способствовать, например, процессам анаэробной ферментации.

Предварительное хлорирование не всегда уменьшает цветность воды (за исключением тех случаев, когда цветность воде придают гуминовые вещества).

Хлорирование может быть простым и за точкой перелома; применяют также перехлорирование (суперхлорирование).

При предварительном хлорировании всегда лучше хлорировать слегка дальше точки перелома, если это не влечет необходимости вводить слишком большие дозы хлора. Такая обработка обеспечивает уничтожение всей патогенной микрофлоры, максимальное снижение числа бактерий, в том числе и безвредных, планктона и разрушение хлораминов; применение данного процесса приводит также к снижению порога привкуса.

Эти преимущества особенно заметны в определенные времена года; когда качество исходной воды улучшается, то могут быть использованы дозы хлора меньше точки перелома.

Время контакта в основном определяется целью очистки. Хлор действует очень быстро и энергично в течение первых нескольких минут после его добавления, но в воде на длительное время создается устойчивое остаточное содержание хлора.

Время является важным фактором при дезинфекции, но оно имеет гораздо меньшее значение для процесса предварительного хлорирования, когда основной результат достигается очень быстро, даже если в осветлителе используется порошкообразный уголь.

Однако если вода, забираемая из поверхностного источника, содержит вирусы, то может быть необходимо хлорирование дозами хлора за точкой перелома с длительным контактом.

После предварительного хлорирования хлор иногда удаляется с помощью сернистого ангидрида или тиосульфата натрия.

**20.3.1.4. Аэрация** (см. гл. 13). Вода может быть аэрирована в следующих случаях:

1) если она содержит избыток газов:

сероводорода (H<sub>2</sub>S), который придает воде отвратительный привкус и легко удаляется аэрацией;

кислорода, при выделении из перенасыщенной воды вызывающего нарушение в работе осветлителя (хлопья поднимаются вверх, к поверхности воды) и фильтров, которые искусственно забиваются газом, проходящим через его загрузку;

диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), который делает воду агрессивной и может быть удален аэрацией при атмосферном давлении. Степень аэрации изменяется в соответствии с содержанием минеральных веществ в воде; в некоторых случаях необходимо удалить только часть CO<sub>2</sub>; остаточное количество поможет по-

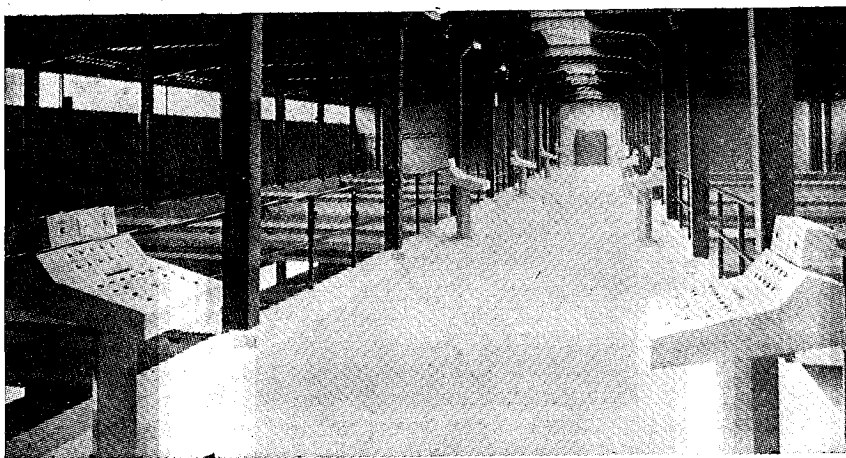


Рис. 20.2. Десять фильтров типа «Аквазер» (площадь поверхности каждого 80 м<sup>2</sup>) и их пульты управления. Общая производительность фильтров 4800 м<sup>3</sup>/ч. Очистные сооружения в Сент-Этьене, Франция

высить содержание минеральных веществ, реагируя с нейтральными веществами;

2) если в воде недостаточно кислорода; в этом случае воздействие аэрации следующее:

окисление ионов железа (II) и марганца (II);

нитрификация аммонийного азота при определенных условиях;

улучшение вкусовых качеств воды. Добавление кислорода в воду с большими количествами аммиака или сульфатов в некоторых случаях предотвращает анаэробные процессы и коррозию металлических труб.

**20.3.1.5. Осветление.** Степень осветления изменяется в зависимости от мутности и цветности воды и содержания в ней взвешенных, коллоидных и органических веществ. В соответствии с этим существуют два метода осветления:

полная коагуляция, флокуляция, отстаивание и фильтрование;

частичная коагуляция, микрофлокуляция и фильтрация.

Как уже упоминалось в гл. 3, добавление коагулянта снижает отрицательный электрический потенциал частиц в воде. По первому методу добавление достаточной дозы снижает практически весь потенциал; это обеспечивает полную коагуляцию коллоидов и оптимальное осветление после флокуляции, отстаивания и фильтрования.

По второму методу вводится небольшое количество коагулянта, что вызывает частичную коагуляцию коллоидов с образованием очень мелких хлопьев (микрофлокуляция), которые

могут быть отделены фильтрацией, с добавлением или без добавления коагулирующих вспомогательных веществ. Таким методом нельзя достигнуть минимальных значений цветности или содержания взвешенных и органических веществ, но можно добиться соответствия предъявляемым требованиям, если поступающая необработанная вода не слишком сильно загрязнена.

**А. Осветление с использованием полной коагуляции, флокуляции, отстаивания и фильтрования.** Эти процессы предназначены для обработки воды, имеющей один или несколько следующих качественных показателей:

содержание взвешенных веществ более 20—40 г/м<sup>3</sup> в течение всего или части года;

цветность более 30 мг/л по платино-кобальтовой шкале (другие процессы очистки, которые можно использовать, если цветность воды является единственным недостатком, обсуждаются далее);

высокое содержание органических веществ, которое должно быть сведено к минимуму;

концентрация тяжелых металлов выше максимально допустимых величин;

высокое содержание планктона, даже если он появляется только периодически; эта очистка комбинируется с предварительным хлорированием, количество планктона снижается на 95—99%, а остатки планктона удаляются фильтрованием. Как описано в гл. 9, с помощью микрофильтрации нельзя достигнуть такого результата.

Процесс осветления может изменяться в зависимости от количества взвешенных в воде веществ.

*Осветление очень мутной воды.* Если в воде содержится более 2000—3000 г/м<sup>3</sup> взвешенных веществ в течение длительного времени, необходимо применить один из следующих способов.

1. Одноступенчатое отстаивание и осветление во флокуляторе или осветлителе скребкового типа. Этот процесс возможен тогда, когда максимальное содержание взвешенных веществ не слишком велико, а осадок образуется не очень много. Обычно принимают скорость восходящего потока от 1 до 1,5 м/ч.

2. Двухступенчатое отстаивание (первичный и вторичный осветлители). Этот процесс используется для воды с очень высоким содержанием глины.

Для того чтобы первичный осветлитель работал эффективно, нельзя рассматривать его как сооружение для удаления частиц песка диаметром от 0,1 до 0,2 мм. Последние должны быть удалены на предшествующей стадии, иначе скребок будет заклиниваться или повреждаться.

При высоком содержании взвешенных веществ в воде очистные сооружения будут иметь очень большие размеры, если очистка должна быть обеспечена без применения реагентов. В случае же осветлителя малых размеров устойчивая эксплу-

атация сооружения имеет место при обработке воды со средней мутностью. Поэтому в пиковые периоды (свыше 5000—10 000 г/м<sup>3</sup>) при первичном осветлении в воду добавляют меньшую дозу коагулянта или флокулянта, определяемую джар-тестом; это обеспечивает необходимую степень предварительной очистки при относительно высокой восходящей скорости потока. Необходимая скорость устанавливается в зависимости от характера и количества веществ, подлежащих удалению, а также от объема образующегося осадка и количества добавляемых коагулянтов. В период внезапного разлива реки может возникнуть необходимость добавления нейтрализующих веществ для поддержания нужной величины рН воды; в другое время добавлять такие реагенты не нужно.

Во вторичный осветлитель поступает вода, качество которой изменяется в допустимых пределах, и после окончательной коагуляции и флокуляции выпускают осветленную воду хорошего качества.

В интересах здоровья потребителей после осветления применяется фильтрование как конечный процесс, совершенствование которого может еще повысить качество обработанной воды.

Можно отметить, что добавление реагентов в сверхдозах в две стадии в пиковые периоды не дает лучшего результата по сравнению с одностадийным процессом. Подача реагентов должна быть определена очень точно для обработки воды в пиковые периоды, которые могут изменяться из года в год. Поэтому необходимо хорошо знать все вопросы, связанные с водоснабжением, и иметь большой запас реагентов, используемых в процессах очистки.

*Осветление воды средней мутности* (от 20 до 2000—3000 г/м<sup>3</sup>). Коагуляция, скомбинированная с флокуляцией, и одностадийное отстаивание обычно вполне достаточны для этого случая. Процесс может быть проведен во флокуляторе, за которым следует отстойник периодического действия, или во флокуляторе-отстойнике скребкового типа со взвешенным слоем осадка или с рециркуляцией ила.

Для получения хорошего результата необходимо установить правильную дозу коагулянта и нужную величину рН флокуляции, которую можно корректировать добавлением нейтрализующего вещества.

Использование флокулирующих добавок рекомендуется почти всегда, потому что это не только увеличивает скорость осветления, но и обеспечивает получение лучшего качества осветленной воды. Однако опыт показывает, что не существует добавок, которые позволили бы уменьшить дозу коагулянта при таком же качестве воды.

Если допускается низкое качество воды, не соответствующее официальным стандартам, то доза коагулянта может быть

уменьшена с использованием или без использования вспомогательных средств для коагулирования.

В странах, где разрешено использование синтетических вспомогательных средств, пытаются уменьшить дозу коагулянта, добавляя катионитовые вспомогательные средства; перед добавлением вспомогательных средств выполняются лабораторные исследования и выбирается скорость дозирования.

Наконец, для различных реагентов максимальный эффект достигается, если флокуляция проходит в насыщенной хлопьями среде; это определяет размеры флокулятора-отстойника, в котором концентрация флокулируемого ила должна быть высокой.

Можно применить обычный флокулятор, за которым следует осветлитель с коротким временем пребывания в нем воды, что позволяет получить воду, удовлетворяющую стандартам, но не очень высокого качества.

Процесс с использованием коагуляции, флокуляции, одностадийного отстаивания и фильтрования широко распространен; он может сопровождаться одновременным проведением дополнительной очистки, например удалением железа и марганца, и доочистки. Такая схема имеет то преимущество, что может использоваться как целиком, так и частично; например, может быть временно исключена коагуляция. Тогда осветлитель используется как контактный отстойник перед фильтрованием, а при необходимости проводят предварительное хлорирование.

Наконец, для поверхностных вод, которые имеют высокое содержание органических веществ, ассоциированных со значительным количеством железа, может оказаться необходимой очистка в две ступени с проведением коагуляции и флокуляции при различных величинах рН. Этим методом можно снизить содержание органических веществ на 75—80% после фильтрования в тех случаях, когда простое отстаивание не дает эффекта более 50% из-за присутствия комплексов различных загрязнений. Но такие исключительные случаи встречаются редко.

Когда характеристики воды и осадков, образованных при флокуляции, удовлетворительны, осадок можно отделить с помощью флотации — процесса, который обуславливает высокую концентрацию осадка и позволяет снизить расход реагентов.

**Б. Осветление с использованием частичной коагуляции, флокуляции и фильтрования.** Если вода имеет высокую концентрацию примесей только в отдельные периоды (как правило, менее 20—40 г/м<sup>3</sup> взвешенных веществ), имеет небольшую цветность (менее 30 единиц) и содержит только небольшое количество органических веществ, железа и марганца, то она может быть очищена с использованием частичной коагуляции с последующим фильтрованием. Добавление коагулянта обычно требует определенного времени для его контакта с водой, подаваемой на фильтры, но вспомогательные добавки вводятся непосредственно перед поступлением воды на фильтр. Доза коагулянта



определяет конечную мутность воды после фильтрования, а вспомогательные средства замедляют проникание очень тонких легких хлопьев в загрузку фильтра. Этот тип очистки применяют для довольно ограниченной категории слабо загрязненной вод, иначе конечное качество воды не будет приемлемым, так как здесь удаляется меньше органических веществ, чем при полной коагуляции.

Применение рассматриваемого метода очистки ограничено также максимальной задерживающей способностью фильтрующего материала, которая может быть увеличена при использовании слоя очень большой глубины или загрузок из различных зернистых материалов (см. гл. 9).

Наконец, возможности метода можно расширить, используя двухступенчатые фильтры, но это не настолько эффективно, как осветление с использованием полной коагуляции, флокуляции, отстаивания и фильтрования. Если слабо загрязненная вода имеет большую цветность или содержит большое количество железа или марганца, то можно использовать частичную коагуляцию и фильтрование при условии, что им предшествовал процесс озонирования. В этом процессе озон действует как окислитель, а не как коагулянт; как показывает опыт, озон не изменяет дзета-потенциал воды. Использование двухслойного фильтра обычно удовлетворяет требованиям данного способа очистки.

#### 20.3.1.6. Дезинфекция

*Назначение дезинфекции.* Введение дезинфицирующего вещества в воду полностью обеспечивает отсутствие в питьевой воде гнилостных и патогенных бактерий в соответствии с официальными стандартами и исследованиями на *Escherichia coli*, фекальные стрептококки и сульфитвосстанавливающие *Clostridium*.

Минимальное время контакта составляет от 20 до 30 мин, а рекомендуемое — от 1 до 2 ч, концентрация остаточного хлора или диоксида хлора принимается в пределах 0,05—0,2 мг/л. Указанное время контакта и остаточное содержание изменяются в соответствии с количеством аммиака, природой дезинфицирующих веществ и степенью предварительного хлорирования воды.

При использовании озона время контакта может быть уменьшено приблизительно до 5 мин для такого же остаточного содержания озона, как указано выше для хлора, но доза озона не зависит от количества аммиака в воде.

Целью дезинфекции является также достижение более высокого качества воды, чем предписывают официальные стандарты, а также уничтожение всех безвредных бактерий, для чего в воду обычно вводят более сильную дозу дезинфицирующего вещества, которая обеспечивает значительное остаточное содержание этого вещества.

При использовании хлора и его соединений обычно применяют дозу за точкой перелома при времени контакта около 1 ч. Количество остаточного свободного хлора зависит от состава исходной воды и количества бактерий, которые необходимо уничтожить.

Опыт применения озона показывает, что достаточна доза, которая обеспечивает остаточное содержание озона 0,35 мг/л за 4 мин. Такое же соотношение справедливо для дезактивации вирусов.

Наконец, процесс суперхлорирования (перехлорирования) может уничтожить таких паразитов, как переносчики болезни. Может быть также использовано суперозонирование с остаточным содержанием озона 0,9 мг/л.

*Выбор дезинфицирующих средств* определяется техническими соображениями (обычная дезинфекция или дезинфекция выше официальных норм, проблема привкуса воды) и экономическими факторами.

**Хлор**, хлорную известь или гипохлорит кальция применяют в тех случаях, когда вода не содержит органических веществ или химических загрязнений, способных к образованию соединений, придающих воде неприятный вкус, который сводится к минимуму, если дезинфекция выполняется дозами за точкой перелома и при условии, что количество остаточного свободного хлора на выходе из очистной станции не будет слишком большим; привкус хлора может быть удален частичным связыванием хлора гипосульфитом или лучше диоксидом серы.

Хлор или гипохлориты могут быть использованы перед окончательной очисткой с гранулированным активным углем, который удаляет органические вещества, придающие привкус воде, и разрушает излишек хлора в процессе катализа. После фильтрации через активный уголь в воду может быть введено очень небольшое дополнительное количество хлора для поддержания его остаточного уровня в системе. Это не придает воде привкус, если его не придают сами облицовочные материалы и отложения в магистральных трубопроводах. Хлорамины или диоксид хлора могут быть использованы для дополнительного хлорирования.

Действие хлора в большой степени зависит от величины рН; чем выше значение рН, тем выше должна быть доза остаточного хлора для обеспечения равного эффекта обеззараживания при том же времени контакта. Этот фактор нужно учитывать, если оказывается необходимой нейтрализация, при которой увеличивается значение рН профильтрованной воды.

**Хлорамины** снижают и часто удаляют привкус, который придает воде хлор. Они могут быть эффективны для предотвращения хлорфенольного привкуса, но не во всех случаях.

**Диоксид хлора**  $\text{ClO}_2$  предотвращает возникновение хлорфенольных привкусов, но не уменьшает землистые и тинные

привкусы. Поэтому его используют только для борьбы с хлорфенольными привкусами.

Чтобы предотвратить образование слишком большого количества хлорита натрия, дозу диоксида хлора нужно ограничивать.

Ультрафиолетовые лучи — эффективное дезинфицирующее средство, обеспечивающее гибель большого количества вирусов при условии, что лучи проходят через тонкий слой воды, и при достаточной мощности излучения. Лампы необходимо медленно заменять, если они теряют значительную часть своей мощности. Вода должна быть прозрачной, иметь малую цветность и не иметь мутности; она не должна содержать железо, органические коллоиды или планктонные микроорганизмы, способные образовывать отложения на трубах, что значительно уменьшает лучевое воздействие.

Если эти условия выполняются, все активные клетки и споры, подверженные ультрафиолетовому излучению, уничтожаются, и малейшая возможность их воспроизводства и вредного воздействия исключается. Для гарантии надежности процесса установка должна иметь значительные размеры и располагать хорошими средствами контроля и управления; вода, подаваемая на установку, в течение года должна иметь постоянное качество.

Озон — идеальное дезинфицирующее вещество; несомненно, его стоимость больше, чем стоимость хлора и его соединений, но он более эффективен на дальнейшей стадии после дезинфекции. Озон действует как окислитель, отдавая атом кислорода; озонлиз позволяет воздействовать на двойные связи атомов (действуя на белки, ферменты и т. д.). Благодаря этим свойствам озон можно эффективно использовать для борьбы с вирусами и для удаления привкуса, цветности и некоторых микрозагрязнений.

Необходимая доза озона изменяется очень широко в зависимости от качества предварительной очистки. Например, для очистки сильно загрязненной поверхностной воды необходимо 1,0—1,2 г озона на 1 м<sup>3</sup> воды, при этом его остаточное содержание составляет 0,4 г/м<sup>3</sup>; в случае плохо запроектированной или плохо работающей очистной установки (недостаточное предварительное хлорирование, применение несоответствующего коагулянта и т. д.) требуется 1,7 г озона на 1 м<sup>3</sup> воды для получения такого же остаточного содержания.

В отличие от хлора, на действие которого большое влияние оказывает величина рН среды, количество озона, необходимого для дезинфекции, мало зависит от значения рН.

При озонировании надо соблюдать ряд мер предосторожности, в особенности если необходимо обеспечить высокое остаточное содержание озона. В первую очередь нужно обеспечить эффективное разрушение нерастворенного озона, улетучившего-

го в результате утечки из воздушного вентиляционного канала контактной колонны (см. гл. 15); следует также принять во внимание, насколько близко находятся первые потребители очищенной воды на этом пути. Несмотря на то, что озон — неустойчивый газ, его следы обнаруживаются в воде по истечении часа, если остаточное содержание свободного озона равно 0,4 г/м<sup>3</sup>. Это означает, что если очищенная вода сохраняется в резервуаре только в течение короткого промежутка времени, то возникает опасность коррозии в домах потребителей, живущих недалеко от очистных сооружений. Излишек озона в воде перед распределением должен быть разрушен.

Часто случается, что очищенная вода сохраняется в резервуаре довольно длительное время, а первые потребители находятся на некотором расстоянии от очистной станции. Остаточное содержание озона тогда равно нулю. В полностью дезинфицированной воде следы озона отсутствуют, тогда как при очистке хлором в воде остаются его следы.

Иногда незначительное количество фитопланктона или зоопланктона продолжает существовать в очищенной воде или в магистральных трубопроводах, используя в качестве источника питания органические вещества, которые образуются в слое слизи на стенках труб. Этот планктон, если он не подвергается действию любого остаточного дезинфицирующего вещества, размножается и снова придает воде привкус.

Но поскольку возможность роста планктона на стенках магистральных трубопроводов должна быть ограничена, озонирование сопровождается добавлением очень малых доз устойчивого остаточного дезинфицирующего вещества, предотвращающего этот рост. Хлор или, предпочтительнее, диоксид хлора могут быть использованы для данной цели без придания привкуса воде, так как озон предварительно окисляет органические вещества, которые являются потенциальной причиной привкуса. Остаточное дезинфицирующее вещество можно добавлять непрерывно в малых количествах или периодически в больших количествах, так что его следы будут находиться даже в самой отдаленной точке системы.

**20.3.1.7. Адсорбция.** Если сильно загрязненную поверхностную воду необходимо использовать для питьевых целей, то микрозагрязнения, привкус и запахи удаляются адсорбцией на активном угле. Место процесса дезинфекции озоном или хлором и адсорбции активным углем в системе очистки должно быть рассмотрено отдельно в каждом случае (адсорбцию см. в гл. 3, контроль микрозагрязнений — в гл. 11).

**20.3.1.8. Обработка осадка.** Осадок, образовавшийся в процессе очистки воды, используемой для питьевых целей, удаляют из отстойника или из фильтров после промывки.

Взвешенные вещества в этом осадке содержат компоненты, находившиеся в воде перед очисткой, т. е. планктон, флокули-

рованные минеральные и органические вещества, гидроксиды металлов (железа, марганца) и вещества, добавляемые в течение очистки, т. е. гидроксиды металлов из коагулирующих веществ и порошкообразный активный уголь, если он используется. Если весь осадок поступает только из фильтров, то его концентрация колеблется от 200 до 1000 г/м<sup>3</sup>, что недопустимо для спуска воды в реку.

Если очистка включает отстаивание, а также одну или две стадии фильтрования, то осадок может быть собран и передан в начало сооружений с помощью малопроизводительного насоса или же обработан путем отдельного отстаивания промывной воды. Вода после отстаивания возвращается для рециркуляции или для сброса с очистных сооружений, а осевший осадок соединяется с осадком, удаляемым из отстойников.

Этот осадок, который, как правило, имеет содержание сухого вещества от 2 до 15 г/л, может быть затем очищен. В некоторых случаях, когда необработанная вода сильно загрязнена, концентрация осадка может быть очень высокой, превышая 100 г/л; такие концентрации бывают в воде только при разливах рек, и основную массу загрязнений составляют минеральные вещества.

При содержании в осадке от 2 до 15 г/л сухого вещества применяют следующие методы его обработки:

- уплотнение и подсушка на иловых площадках;
- уплотнение и замораживание;
- уплотнение и обезвоживание на фильтр-прессах, вакуум-фильтрах (с использованием или без использования фильтров с намытым слоем), ленточных фильтр-прессах или центрифугах;

- регенерация коагулирующего агента подкислением и обезвоживание обработанного осадка на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах или центрифугах.

Эти методы рассмотрены в гл. 17.

Осадок после очистки природной воды часто содержит значительное количество органических веществ и гидроксидов металлов. Сооружения для уплотнения осадков должны, следовательно, иметь большие размеры. Необходимо кондиционирование осадка перед его уплотнением для получения отстойной воды с меньшим содержанием взвеси и предотвращения забивки ткани фильтров, если они используются.

Выбор наиболее подходящего способа обработки ила производится с учетом экономических и технических факторов.

## 20.3.2. ОСОБЫЕ ВИДЫ ОЧИСТКИ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ

### 20.3.2.1. Удаление железа и марганца.

Железо и марганец удаляются из питьевой воды по разным причинам: они вызывают коррозию и засорение труб (или непосредственно путем об-

разования осадков, или косвенно, обеспечивая благоприятные условия для роста специфических бактерий); влияют на внешний вид воды; придают ей металлический привкус и создают трудности при стирке белья.

Присутствие железа и марганца нежелательно при протекании многих процессов, в которых используется вода, особенно в молочной, бумажной и текстильной промышленности (см. гл. 23).

В поверхностных водах железо и марганец обычно существуют в окисленной форме в виде осадков; они могут быть удалены обычным осветлением.

В подземных водах, лишенных кислорода, они присутствуют в восстановленной форме (степень окисления +2) и в растворенном виде. Такая вода требует специальной очистки, которая рассматривается ниже.

**А. Природное состояние железа и марганца; проблемы анализа.** Трехвалентное железо, а также железо, входящее в состав комплексных соединений, встречается в воде в виде осадка. **Растворимые формы железа**, для удаления которых используют различные виды очистки, включают следующие.

*Двухвалентное железо* встречается в виде Fe<sup>2+</sup> или в виде гидратированных ионов от Fe(OH)<sup>+</sup> до Fe(OH)<sub>3</sub><sup>-</sup>. В воде со значительной общей щелочностью ионы Fe<sup>2+</sup> обнаруживаются, главным образом, как гидрокарбонаты (или бикарбонаты), и их растворимость в соответствии с законами химического равновесия будет определяться уравнениями:

$$(\text{Fe}^{2+}) = \frac{K_{\text{FeCO}}^1}{K_2^1} \frac{[\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]} \neq \frac{[\text{H}^+]}{[\text{HCO}_3^-]};$$

$$[\text{Fe}^{2+}] [\text{CO}_3^{2-}] = K^1 \text{FeCO}_3;$$

$$\frac{[\text{H}^+] [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = K_2^1.$$

В присутствии H<sub>2</sub>S растворимость ниже (так как ниже растворимость сульфидов двухвалентного железа, которые выпадают в осадок).

*Соли, содержащие Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>:*

минеральные: силикаты, фосфаты или полифосфаты, сульфаты, цианиды и т. д.;

органические: сложные соединения, получающиеся в результате пептизации или образования внутрикомплексных соединений, особенно с гуминовыми, фульво- и таниновыми кислотами и т. д.

Для проектирования процесса удаления железа недостаточно, следовательно, знать только общее его содержание; должны быть известны различные формы, в которых оно может быть обнаружено. Существование различных форм железа в воде можно представить в виде схемы (рис. 20.3).

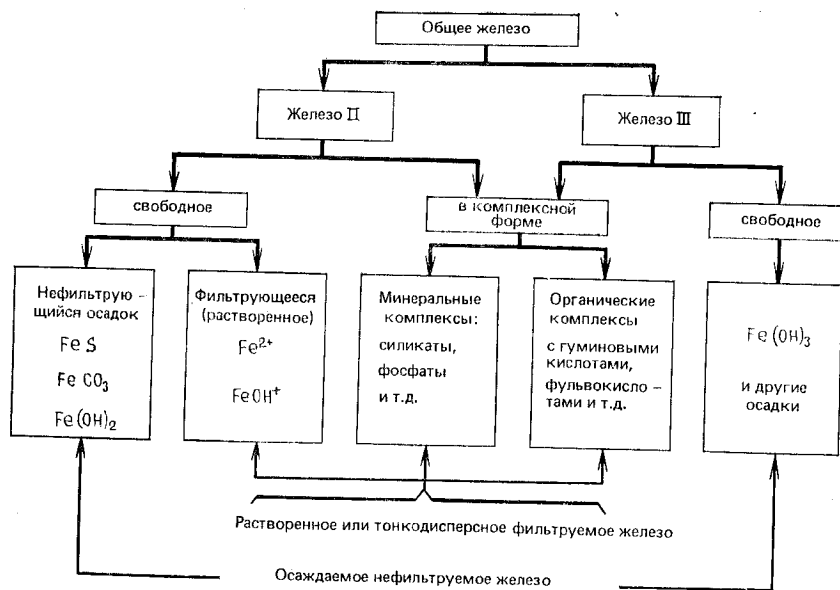


Рис. 20.3. Схема существования различных форм железа в воде

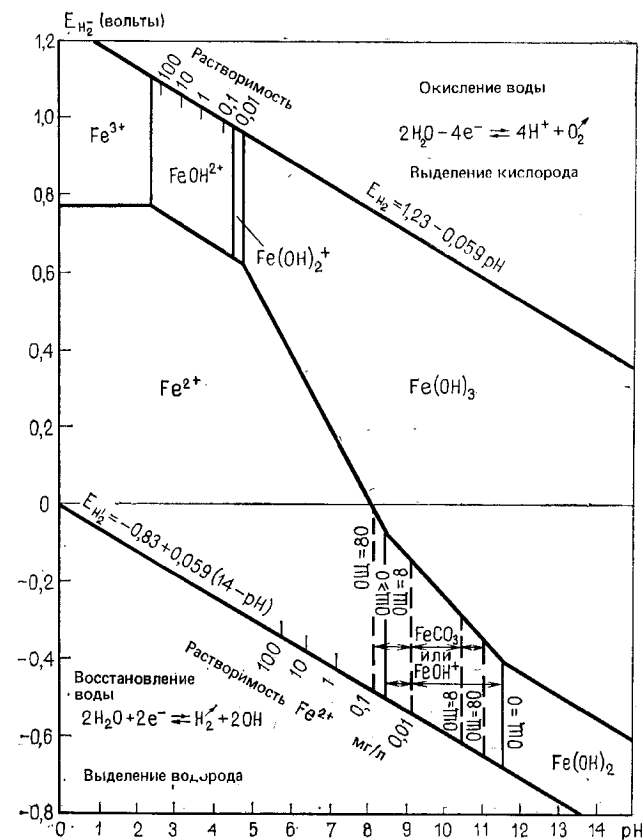
На практике определение общего железа, общего фильтрующегося железа, общего  $Fe^{2+}$  и фильтрующегося  $Fe^{2+}$  не представляет особых трудностей. Удаление растворенных форм затрудняется, главным образом, из-за присутствия комплексных соединений железа. Если невозможно сделать детальный анализ сразу же после отбора пробы, то из-за присутствия комплексов могут возникнуть трудности при очистке, если общее содержание железа в растворе превышает теоретическую растворимость, определяемую значением pH и щелочностью.

**Марганец**, подобно железу, может быть представлен в различных формах: в виде бикарбонатов, минеральных и органических комплексов и т. д. В отношении марганца необходимо выполнять такие же анализы, как и для железа.

Прежде чем решать какие-либо проблемы удаления железа и марганца, нужно определить основные характеристики воды сразу же после отбора пробы, объем которой может быть небольшим, но достаточно представительным.

Форма, в которой железо присутствует в воде, главным образом зависит от pH и окислительно-восстановительного потенциала. На рис. 20.4 показано, что растворенные формы железа (такие, как  $Fe^{2+}$  или  $FeOH^+$ ) могут превращаться в формы, выпадающие в осадок [ $FeCO_3$ ,  $Fe(OH)_2$  или  $Fe(OH)_3$ ], повышая потенциал (окисление), или значение pH, или же оба показателя вместе. Марганец подчиняется аналогичным закономерностям.

Рис. 20.4. Диаграмма «потенциал-pH» для железа (зоны существования ионов и осадков) в соответствии с НЕМ, 1961 г. (ОЩ — общая щелочность)



**Б. Окисление и фильтрование.** Это наиболее широко используемые способы для подземных вод. Можно назвать ряд дополнительных способов очистки: изменение величины pH, химическое окисление, отстаивание и т. д. Вода из глубоких источников, которая лишена кислорода, должна быть всегда аэрирована, даже если используется химический окислитель.

Иногда рекомендуется предварительное хлорирование; при этом ускоряется окисление железа и появляется возможность химического удаления аммиака. Предварительное хлорирование может нанести вред, если не достигается точка перелома. В таких случаях приостанавливаются некоторые процессы биологического удаления железа и нитрификация, а также не обнаруживается достаточно сильного окислительного воздействия. Поэтому перед любой попыткой предварительного хлорирования должны быть проведены предварительные испытания.

Применение наиболее широко распространенных систем рассмотрено ниже.

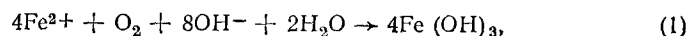
**В1. Удаление железа без отстаивания** (аэрация — фильтрование). Этот процесс применяется для необработанного стока

с максимальным содержанием железа 5 мг/л, если вода не имеет других неблагоприятных характеристик (присутствие марганца, цветность, мутность, наличие гуминовых кислот); допускается низкий уровень аммиака и небольшое содержание агрессивной углекислоты. В некоторых случаях данным способом может быть очищена вода с содержанием железа выше 10 мг/л.

Первая стадия удаления железа основана на окислении двухвалентного железа кислородом воздуха. Процесс аэрации осуществляется (см. гл. 13) при атмосферном давлении в гравитационных установках или под давлением путем нагнетания сжатого воздуха в окислительную башню, заполненную загруженным материалом (обычно вулканическая лава).

Преимущество последнего типа установок заключается в том, что они, работая под давлением, не требуют установки насосов для последующей перекачки. Вместе с тем в процессе аэрации при атмосферном давлении часто бывает трудно удалить агрессивную углекислоту, если она присутствует в больших количествах, так как тогда требуется дорогостоящая нейтрализационная очистка.

Скорость, с которой двухвалентное железо окисляется кислородом, зависит от нескольких факторов, главным образом от температуры, значения рН и содержания железа и растворенного кислорода. Реакция может быть выражена уравнением



а ее кинетика определяется формулой Штамма и Лее:

$$-\frac{d(\text{Fe}^{2+})}{dt} = k[\text{Fe}^{2+}]p_{\text{O}_2}[\text{OH}^-]^2, \quad (2)$$

где константа  $k$  — функция температуры и буферной емкости сырой воды.

Реакция (1) показывает, что необходимо 0,14 мг кислорода для окисления 1 мг железа. Уравнение (2) показывает, что реакция будет протекать более быстро при более высоком значении рН, и в результате реакции вода будет приближаться к состоянию насыщения кислородом.

Длительность окисления, определенная в лабораторных условиях на синтетической воде, в реальных условиях может быть значительно уменьшена в результате каталитического воздействия некоторых отложений, ряда присутствующих в воде анионов (особенно силикатов и фосфатов) и металлических катализаторов, вводимых в воду в процессе очистки; например, следы сульфата меди могут оказывать сильное влияние на окисление железа и марганца кислородом или химическими окислителями.

Некоторые биологические процессы, которые рассматриваются в дальнейшем, испытывают такое же влияние. Напротив, присутствие гуминовых кислот замедляет окисление железа.

Образующиеся осадки могут содержать большие или меньшие количества карбоната двухвалентного железа, имеющего

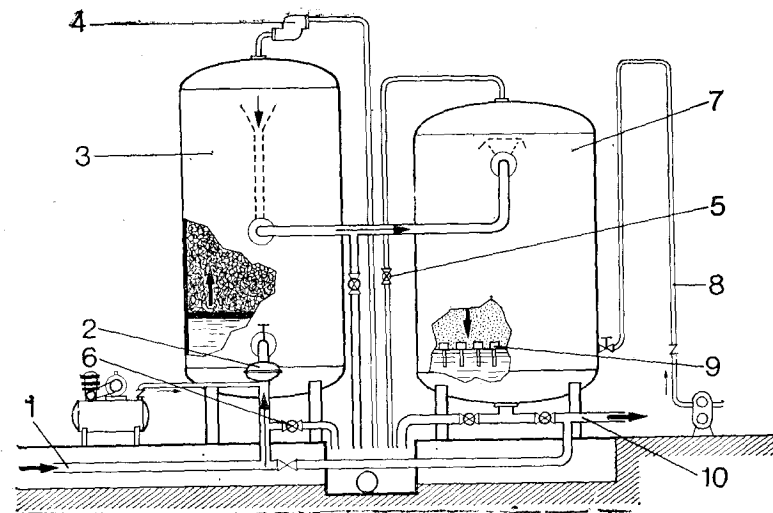


Рис. 20.5. Установка для удаления железа под давлением

1 — поступление сырой воды; 2 — смеситель перегородчатого типа; 3 — окислительная колонна; 4 — выпускное вентиляционное отверстие; 5 — задвижка для выпуска воздуха; 6 — задвижка на сливной трубе; 7 — песчаный фильтр; 8 — подача воздуха; 9 — дно фильтра с насадками; 10 — выпуск обезжелезненной воды

более кристаллическое строение, чем гидроксид трехвалентного железа. Эти особенности объясняют различие в работе некоторых очистных станций; диаметр частиц фильтрующего материала может изменяться от 0,5 до 1,7 мм, а скорость фильтрации — от 5 до 20 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) или даже больше.

Масса железа, задерживаемого единицей площади поверхности фильтра, также изменяется от 200 до 2500 г Fe на 1 м<sup>3</sup> песка в зависимости от разных причин. Двухслойная загрузка фильтров (антрацит и песок) обычно пригодна для удаления железа.

Некоторые вещества, например гуминовые кислоты, силикаты, фосфаты или полифосфаты, действуют как ингибиторы осаждения и фильтрации гидроксида железа. В таких случаях применяют дополнительную очистку: окисление (раствор перманганата, озон), коагуляцию (сульфат алюминия) или флокуляцию (альгинат).

Установки обычно работают под давлением, как показано на рис. 20.5, и включают окислительную колонну для контактного окисления воздухом, содержащую в качестве загрузки пористую вулканическую лаву особой чистоты с большой площадью поверхности, через которую фильтруется вода, и фильтр с противоточной промывкой водой и воздухом; фильтр может быть объединен с окислительной колонной.

В гравитационных установках, в которых процесс аэрации протекает при атмосферном давлении, воду пропускают через



открытые или закрытые фильтры (в последнем случае с перекачкой или без нее).

Если необработанная вода содержит значительное количество аммиака, то установка может быть запроектирована для одновременной нитрификации и удаления железа; процесс аэрации происходит в резервуаре, наполненном вулканической лавой, на которой развиваются нитрифицирующие бактерии. Объем этого нитрифицирующего резервуара зависит от расхода необработанной воды и количества аммиака, которое необходимо удалить.

**Б2. Удаление железа с отстаиванием.** Установки для отстаивания необходимо размещать между аэрационными сооружениями и фильтрами в следующих случаях:

при высоком содержании железа в необработанной воде и чрезмерном вследствие этого количестве осадка;

при наличии цветности, мутности, гуминовых кислот, комплексообразующих веществ и т. д., где требуется добавление коагулянта (сульфата алюминия или хлорида трехвалентного железа) в дозе, превышающей 10 г/м<sup>3</sup> используемого продукта.

Процесс отстаивания во взвешенном слое осадка описан в п. 7.2.2.; он обычно удовлетворяет требованиям, предъявляемым к очистке такой воды. Стадия аэрации должна предшествовать отстаиванию, если необработанная вода лишена кислорода.

Нередко на очистные сооружения вода подается из нескольких скважин, и система очистки должна предусмотреть наиболее экономически выгодные комбинации процессов. В установке, показанной на рис. 20.6, например, очищается два вида воды из различных источников. Вода из одного источника имеет высокое содержание железа, которое осаждается известью в отстойнике типа «Пульсатор». Вода из второго источника имеет небольшое содержание железа, она смешивается с первой водой после аэрации, осуществляемой посредством спринклерных труб, которые установлены под фильтрами.

**Б3. Удаление марганца.** Если необработанная вода содержит и марганец, и железо, то описанные выше процессы удаления железа обычно непригодны для эффективного удаления марганца. Осаждение в форме гидроксида или окисление кислородом будут возможны только в щелочной среде (при pH=9,0—9,5); окисление хлором иногда возможно, но только в присутствии большого избытка хлора, который должен затем быть разрушен.

Достаточно быстрое окисление можно осуществить с помощью диоксида хлора, перманганата калия или озона, которые окисляют двухвалентный марганец до четырехвалентного и осаждают его в виде диоксида марганца:

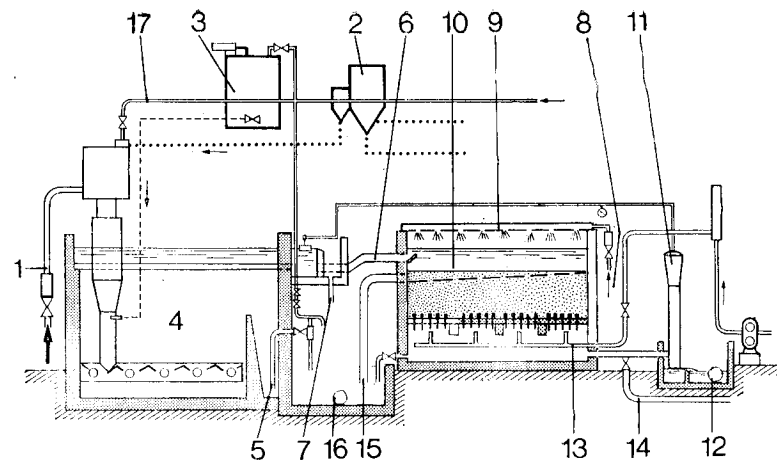
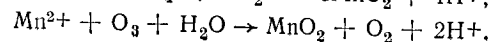
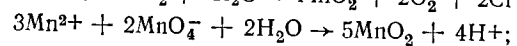
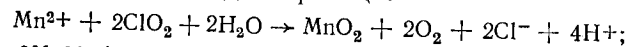


Рис. 20.6. Установка для удаления железа из двух видов вод с различным содержанием железа

1 — впуск воды, содержащей значительное количество железа; 2 — дозирование извести и ее ввод; 3 — дозирование коагулянта и его ввод; 4 — осветлитель типа «Пульсатор»; 5 — уплотнение ила и его удаление; 6 — очищенная вода, из которой частично удалено железо; 7 — перелив; 8 — впуск воды, содержащей небольшое количество железа; 9 — спринклерные трубы; 10 — открытый песчаный фильтр; 11 — сифон для регулирования фильтра; 12 — выпуск фильтрата после обезвоживания; 13 — продувка фильтра воздухом; 14 — промывка фильтра водой; 15 — выпуск осадка после промывки; 16 — дренаж; 17 — напорный трубопровод подачи воды

В соответствии с этими реакциями необходимы следующие теоретические количества окислителей в расчете на 1 мг/л Mn (II): диоксид хлора ClO<sub>2</sub> — 2,5 мг/л; перманганат калия KMnO<sub>4</sub> — 1,9 мг/л; озон O<sub>3</sub> — 0,87 мг/л.

В действительности доза может значительно отличаться от указанных, так как она зависит от pH, времени контакта, содержания органических веществ и т. д. На практике доза окислителя в зависимости от содержания марганца превышает теоретическую дозу в 1—6 раз при использовании перманганата калия, в 1,5—10 раз при использовании диоксида хлора и в 1,5—5 раз при использовании озона.

Точная скорость очистки может быть определена только экспериментально. Можно достигнуть значительной экономии окислителя, если применять его после проведения аэрации, в результате которой уже произошло окисление таких легко окисляемых веществ, как железо (II) и H<sub>2</sub>S.

Технологические энергетические окислительные процессы для удаления марганца можно осуществить в описанных выше гравитационных или напорных сооружениях, предназначенных для удаления железа, со стадией или без стадии отстаивания; иногда необходимо вводить дополнительные реагенты. На рис. 20.7 и 20.8 показаны гравитационные установки с бетонными фильтра-

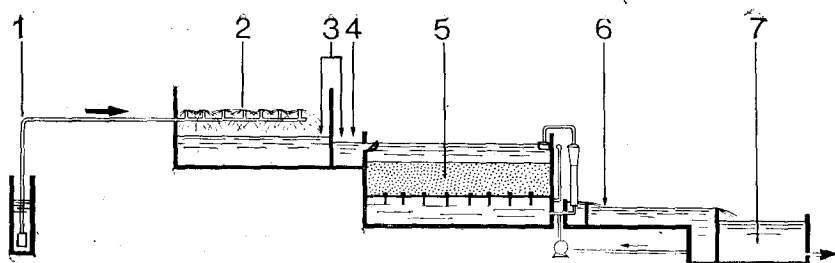


Рис. 20.7. Открытые сооружения для удаления железа и марганца с использованием аэрации и фильтрации (если вода содержит марганец, аэрация 2 и дополнительное окисление 4 могут быть заменены предварительной очисткой озоном)

1 — перекачка сырой воды на расстояние насосами и предварительное хлорирование (если оно необходимо); 2 — аэрация и удаление углекислого газа разбрызгиванием; 3 — корректировка при необходимости величины рН (выполняется перед общим окислением или после него; точное место инъекции определяется в процессе работы); 4 — введение коагулянта или флокулянта (при необходимости); дополнительное окисление  $KMnO_4$ , если вода содержит марганец; 5 — гравитационный песчаный (или двухслойный) фильтр; 6 — дезинфекция хлором; 7 — емкость для хранения очищенной воды

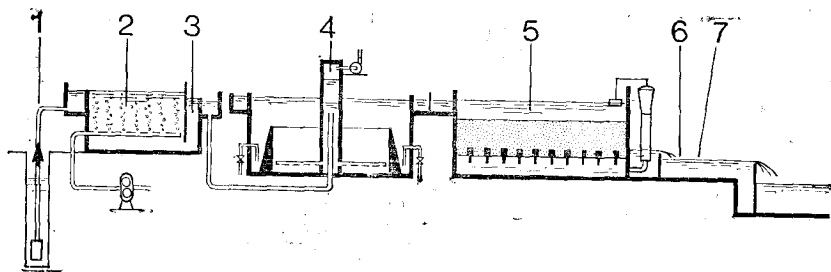


Рис. 20.8. Удаление железа и марганца аэрацией, отстаиванием и фильтрацией  
1 — подача сырой воды насосами; 2 — аэрация; 3 — инъекция коагулянта и вспомогательных средств, если необходима регулировка величины рН и добавочное окисление с помощью  $KMnO_4$  или  $ClO_2$ ; 4 — флокуляция, осветление и удаление железа; 5 — фильтрация; 6 — корректировка рН при необходимости; 7 — дезинфекция

ми, в которых наряду с удалением железа происходят удаление марганца, коагуляция — флокуляция и регулирование величины рН. Точное место введения реагента может быть иногда определено только в процессе эксплуатации.

При использовании озона для удаления марганца может быть полезна также стадия преаэрации при использовании воздуха из контактной колонны, который содержит следы озона (см. далее рис. 20.32). В результате очистки в присутствии избытка озона образуется перманганат; для предотвращения окрашивания очищенной воды в слабо-розовый цвет окисленную воду пропускают через антрацит (в одно- или двухслойном фильтре) или активный уголь, что значительно эффективнее, чем фильтрование через песок.

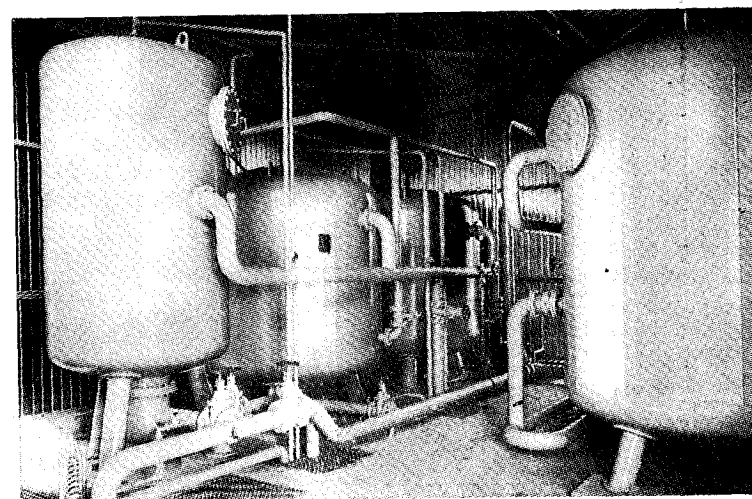
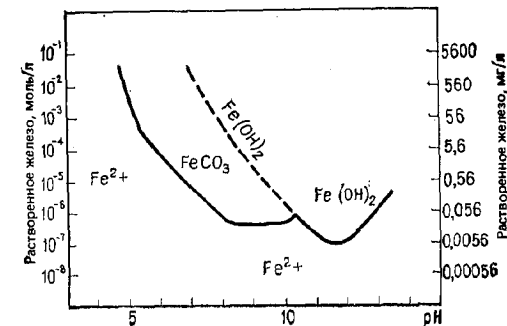


Рис. 20.9. Станция обезжелезивания и нейтрализации воды в казармах в Оберхофене (Франция). Производительность 60 м<sup>3</sup>/ч

Рис. 20.10. Растворимость железа как функция величины рН в воде со средней щелочностью



Если вода содержит только марганец, то для полного удаления диоксида марганца, образовавшегося в процессе окисления, применяют коагуляцию, флокуляцию и фильтрацию в двухслойном фильтре с загрузкой из антрацита и песка. Хорошие результаты можно получить при использовании песка, если фильтрующий материал предварительно покрыть слоем диоксида марганца. Можно также применять очистку с использованием цеолитов или песка из зеленокаменных пород.

**В. Очистка в сочетании с удалением карбонатов.** Карбонаты удаляются известью при высоком значении рН, что создает благоприятные условия для удаления железа и марганца. При  $pH=8,2$  почти весь карбонат железа (II) осаждается, тогда как осаднение гидроксида двухвалентного железа происходит при  $pH=10,5$  (рис. 20.10). При высоком восстановительно-окисли-

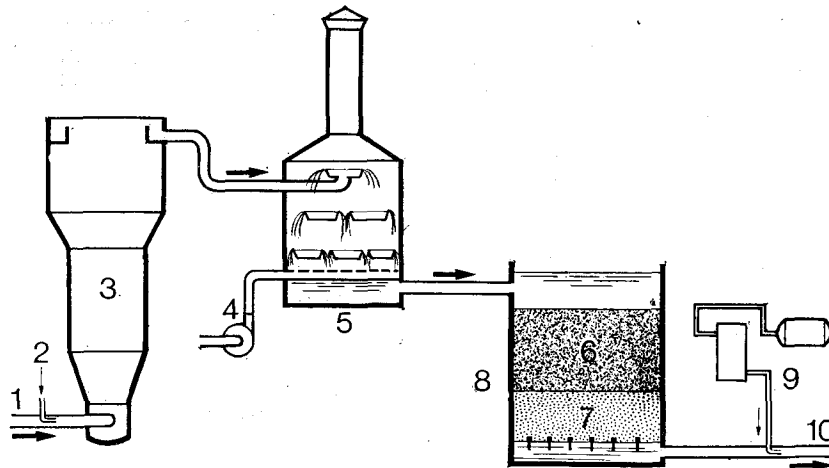
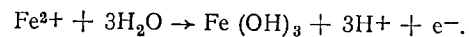


Рис. 20.11. Схема очистных сооружений в Ратингене (ФРГ), предназначенных для частичной декарбонизации, аэрации и фильтрации воды  
 1 — поступающая необработанная вода; 2 —  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 3 — установка «Гиразер» (удаление карбонатов); 4 — вентилятор; 5 — аэратор; 6 — антрацит; 7 — песок; 8 — фильтр (двухслойный); 9 —  $\text{Cl}_2$ ; 10 — обработанная вода

тельном потенциале железа (II) в растворе может быть осаждено в форме  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ :



Карбонаты марганца осаждаются при  $\text{pH}=9,2$ , а гидроксид марганца выпадает в осадок при  $\text{pH}=11,5$ .

Частичное удаление карбоната происходит при  $\text{pH} \approx 8$ , при этом из воды полностью удаляется железо. В некоторых случаях, например при каталитическом удалении карбонатов (установка «Гиразер», см. п. 6.2.1.3), удовлетворительное удаление марганца происходит при таком же значении  $\text{pH}$ , в то время как теоретически процесс полного удаления карбонатов должен протекать при  $\text{pH}=9,5$  или 10.

Установка производительностью  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , построенная в ФРГ в Ратингене, работает по этому принципу (рис. 20.11): одновременное удаление карбонатов, железа и марганца и проведение нитрификации.

**Г. Биологическая очистка.** Метаболизм некоторых автотрофных микроорганизмов базируется на окислении железа и марганца; при благоприятных условиях реакции протекают очень быстро, и оба элемента полностью удаляются. Аммонийный азот необходим для бактерий, и присутствие аммиака в необработанной воде обеспечивает условия для осуществления данного типа очистки (часто происходит симультанная нитрификация).

Рассматриваемый способ не отличается по существу от процесса окисления — фильтрации, рассмотренного выше, но про-

ектирование сооружений имеет некоторые особенности, при этом необходимо учитывать содержание кислорода, скорость фильтрации и размеры частиц песка.

Биологическая очистка, наиболее широко используемая в Нидерландах и ФРГ, целесообразна главным образом при одновременном содержании в воде железа, марганца и аммиака. Для биологической очистки чаще всего используют сухие фильтры (см. п. 9.5.4), но применяются также сооружения двухстадийной фильтрации, где процессы протекают в следующем порядке: добавление очень небольшого количества воздуха к необработанной воде (предпочтительно контролировать ее окислительно-восстановительный потенциал), удаление железа на фильтре первой ступени, интенсивная аэрация, удаление марганца на фильтре второй ступени (микроорганизмы, способные к окислению марганца, могут развиваться, если содержание железа уменьшается до очень низкого уровня). Тем не менее подсчитать прирост микроорганизмов невозможно, и сооружения, проектируемые по этому принципу, иногда трудны для контроля. Прежде чем выбрать систему, нужно провести предварительные исследования, которые доказали бы ее надежность.

Нельзя четко определить границу между чисто химическим и биологическим окислением, и многие сооружения первого типа эффективно работают за счет роста микроорганизмов.

#### Д. Фильтрация через специальную загрузку.

Ионообменники применяют только для удаления малых количеств железа и марганца, так как они быстро забиваются. Можно использовать ионообменники и для удаления катионов кальция, магния и т. д. Они не нашли широкого применения для удаления железа и марганца также и из экономических соображений.

**Вещества, покрытые  $\text{MnO}_2$ :** цеолиты или песок из зеленокаменных пород. Иногда эти вещества используются в США; требуется предварительное обогащение  $\text{MnO}_2$  (с помощью ионного обмена), после чего они функционируют в режиме окисления — восстановления. Дioxid марганца окисляет железо (II) и марганец (II) (которые затем осаждаются и задерживаются фильтрующей загрузкой), а сам восстанавливается в  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . Регенерация оксидов марганца проводится в непрерывном или периодическом процессе с помощью перманганата калия.

Некоторые вещества, например пиролюзит, CZ и т. д., также можно применять для этих целей, но практически их используют только на малых станциях при низком содержании в воде железа, марганца и органических веществ; в Европе они применяются редко.

Если необработанная вода предварительно аэрирована, то покрытые  $\text{MnO}_2$  материалы могут также иметь каталитическое воздействие при окислении железа и марганца кислородом; в

этом случае диоксид марганца не изменяется, и регенерация не требуется.

**Активный уголь:** при его применении железо и марганец полностью задерживаются, если только предварительно использовать такие сильные окислители, как озон и перманганат. Процесс дорогостоящий, но оправданный, если должен быть удален неприятный привкус.

**Щелочные продукты:** карбонаты или обожженный доломит используются изредка (нейтралит, акдолит, магнодол и т. д.). Применение этих веществ дает небольшое преимущество, если необходимо нейтрализовать агрессивную уголекислоту, которая увеличивает щелочность воды; двойная функция фильтрующей загрузки (удаление железа и нейтрализация) может вызвать затруднения в процессе работы.

**Е. Порошкообразный оксид магния и диатомит.** Порошкообразный оксид магния вводят в необработанную воду после аэрации, затем вода фильтруется через диатомит. Оксид магния выполняет три функции: адсорбирует ионы двухвалентного железа, осаждает  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  и  $\text{FeCO}_3$  и является катализатором процесса окисления железа кислородом (основная функция).

Пока этот метод не нашел большого промышленного применения.

\*  
\* \*

Подводя итоги, можно сказать, что методы удаления железа и марганца часто трудно поддаются управлению. Эту проблему можно решить несколькими различными путями. Для ее решения нужно знать характеристики необработанной воды и провести предварительные исследования на пилотной установке, которые здесь даже более необходимы, чем для разработки методов очистки поверхностных вод.

**20.3.2.2. Нейтрализация — реминерализация.** Нейтрализация оказывается необходимой, если в природной или обработанной воде не наблюдается уголекислотное равновесие и вода содержит избыточное количество диоксида углерода.

Нейтрализацию можно осуществить (см. гл. 14) посредством аэрации, добавлением щелочных агентов (известь, сода, карбонат натрия) или же путем фильтрации через материал, имеющий в своем составе вещества со щелочноземельными элементами (мрамор, нейтралит, акдолит, магно и др.). При всех указанных видах обработки, кроме аэрации, возрастает содержание минеральных веществ в воде. Если эти минеральные вещества в недостаточной степени предотвращают коррозию металлических труб, то даже при соблюдении уголекислотного равновесия может потребоваться дальнейшая реминерализация воды (см. гл. 14).

Аэрацию применяют обычно в начале всех процессов обработки, а химическую нейтрализацию щелочными агентами либо в их конце, либо частично в начале (например, при регулировании величины рН на стадии флокуляции) и окончательно — в конце, либо (что значительно реже) целиком в начале.

Реминерализацию осуществляют в конце всех видов обработки (для очень мягкой воды или же воды, обессоленной обратным осмосом или каким-либо другим методом).

**20.3.2.3. Удаление карбонатов. Умягчение.** Очень жесткая вода, имеющая избыток кальция, может быть умягчена или посредством ионообменных смол, или путем использования извести для удаления карбонатов.

**Умягчение посредством смол** (см. п. 10.4.1.2) может быть использовано только для прозрачной или осветленной воды.

Только сернокислые катионитовые смолы разрешены для очистки питьевой воды; анионитовые смолы во Франции не получили официального одобрения.

Катионообменные смолы обменивают ионы натрия на ионы кальция воды. На этот процесс не оказывают влияние общая щелочность, содержание сульфатов и хлоридов; происходит только одно изменение в воде — соли кальция замещаются солями натрия.

Получаемая вода имеет нулевую жесткость и неприятна для питья; лучше поддерживать определенный уровень остаточной жесткости (8—15 французских градусов жесткости), умягчая только часть потока воды, которая затем смешивается с остальной водой.

Ценность этого метода умягчения заключается в том, что он не дает твердых отходов и может быть выполнен под давлением. Большие объемы воды могут быть легко очищены посредством непрерывных ионообменников, если использовать непрерывный ионообменный процесс, разработанный фирмой «Дегремон».

**Умягчение с помощью извести:** если вода очень жесткая и общая щелочность высока, то возможно умягчение с использованием извести для удаления карбонатов (см. гл. 6). Этот процесс может быть выполнен каталитически на установке «Гиранер», если не требуется одновременное отстаивание и содержание магния в воде низкое, и путем отстаивания во всех других случаях.

В процессе осветления может быть использован хлорид трехвалентного железа. При величине рН, при которой происходит процесс очистки, сульфат алюминия может привести к растворению гидроксида алюминия, вследствие чего необходима последующая рефлокуляция.

При очистке питьевой воды нужно или удалять все карбонаты только из части расхода воды и смешивать ее с остальной осветленной частью воды, или удалять часть карбонатов из всей воды во время осветления.

В последнем случае восходящая скорость движения потока в осветлителе должна быть снижена из-за необходимости удаления небольших количеств карбонатов. Кроме того, значение рН может быть очень высоким, и его необходимо регулировать.

При высокой постоянной жесткости воды удаление карбонатов с известью может сочетаться с умягчением карбонатом натрия; в этом случае после достижения минимума общей щелочности кальций из сульфатов и хлоридов осаждается, и в процессе умягчения снижается жесткость. Вода будет приятной для питья, а необходимая общая щелочность должна быть восстановлена смешением с водой, из которой карбонаты не были удалены.

**20.3.2.4. Удаление сульфатов и хлоридов.** Использование ионообменных смол для удаления сульфатов и хлоридов из питьевой воды не представляется возможным. В этом случае применяют другие способы, которые, правда, связаны с более высокими начальными расходами, но зато требуют значительно более низких эксплуатационных расходов.

Большие объемы морской или солоноватой воды обычно обессоливаются путем испарения, при очистке малых и средних объемов воды наиболее простой способ — обессоливание на мембранах, которое можно осуществлять двумя путями.

**Электродиализ** (см. гл. 12). Очищенная вода разделяется посредством мембран под действием электрического тока на две части — концентрированный соленый раствор и частично деминерализованную воду. Этот процесс пригоден для обессоливания мало минерализованных вод, потому что емкость мембран снижается с увеличением минерализации очищаемой воды. Электродиализ экономически оправдан для воды с минерализацией менее 3 г/л при уменьшении концентрации до 0,5 г/л. Требуемое количество электричества увеличивается с уменьшением жесткости воды, так как деминерализованная вода имеет более высокое удельное сопротивление. Поэтому данный метод редко используется для воды с содержанием менее 0,5 г/л.

С помощью электродиализа можно обработать несколько тысяч кубических метров в сутки.

**Обратный осмос** основан на принципе, противоположном электродиализу. Чистая вода принудительно проходит через мембраны под давлением, более высоким, чем осмотическое давление.

Минерализация воды при солесодержании 500 мг/л и менее может быть существенным образом уменьшена (независимо от первоначальной степени минерализации) при очень небольших затратах энергии. Этот процесс одинаково пригоден для обессоливания как сильно минерализованных вод, например морской воды, так и слабо минерализованных.

**20.3.2.5. Фторидирование и удаление фторидов.** Термин «фторидирование» предпочтительнее, чем «фторирование», потому

что фтор используется в форме фторидов в отличие, например, от хлора. Аналогично можно использовать термин для удаления фторидов — дефторидирование.

Как правило, полагают, что присутствие малого количества фтора в питьевой воде (0,4—1,0 мг/л) способствует образованию зубной эмали и предохранению зубов от кариеса.

С другой стороны, наличие слишком большого количества фтора приводит к разрушению эмали и становится причиной ряда заболеваний, которые можно объединить как «фторозы». Они включают неправильное развитие зубов, окрашивание эмали, декальцинацию, минерализацию сухожилий, расстройства пищеварения, нервные расстройства и т. д. Вода, содержащая выше 1,0—1,5 мг/л фтора, должна быть признана негодной или очищена. В зависимости от содержания фтора в воде необходимо или добавлять его искусственно, или удалять.

**А. Фторидирование** одобрено ВОЗ (Всемирной организацией здравоохранения). Оно применяется главным образом в США и частично в Европе, Австралии, Южной Америке и т. д. Широкого распространения этот метод обработки воды еще не получил, так как он не совсем безопасен и вызывает некоторое сопротивление.

Для фторидирования используют следующие вещества: кремнефтористый натрий  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  (применяется наиболее широко), кремнефтористая кислота  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ; фторид натрия  $\text{NaF}$ . Менее распространены кремнефтористый аммоний  $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ , фтористоводородная кислота  $\text{HF}$ , кремнефтористый магний  $\text{MgSiF}_6$  и фторид кальция  $\text{CaF}_2$ .

Обработку фторидами регулируют таким образом (принимая во внимание колебания первоначальной концентрации фтора в необработанной воде), чтобы содержание фтора находилось в пределах от 0,4 до 1,0 мг/л в зависимости от климата страны.

Необходимо принять меры предосторожности для защиты персонала сооружений и предотвращения случаев повышенного дозирования воды.

**Б. Удаление фторидов.** Некоторые виды природных вод содержат более 10 мг/л фтора. Необходимо снизить эту концентрацию до 1 мг/л (допустимое содержание тем ниже, чем выше среднегодовая температура). Для этого могут быть использованы следующие процессы.

**Б1. Использование трикальцийфосфата.** Средство фтора к этому веществу известно давно, так как природные фосфаты, например апатиты и фосфориты, всегда содержат значительное количество фтора (2—5%); такое же его количество содержится в костях. В апатитах, имеющих формулу  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaCO}_3$ , карбонат-ион замещается фтором и дает нерастворимый фторапатит. Гидроксид апатита также действует как ионит  $[\text{CaCO}_3$  замещается на  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] и может быть не-



ограниченно регенерирован содой, которая снова преобразовывается в фторapatит в гидроксид апатита.

На практике для этой цели используются природные вещества, обычно извлекаемые из костей крупного рогатого скота — костная зола (жженная кость), костный порошок или искусственные апатиты, которые могут быть образованы в воде при осторожном смешении извести и фосфорной кислоты.

Эти вещества можно вводить в воду в виде тонких порошков; возможна их комбинация с сульфатом алюминия (см. ниже). Лучше их использовать в виде фильтрующей загрузки, которую затем необходимо регенерировать.

**Б2. Использование оксида алюминия.** Можно применять сульфат алюминия, но его требуется вводить очень большой дозой — от 150 до 1000 г/м<sup>3</sup>. Вода, очищенная этим путем, содержит большое количество растворенного алюминия, который может быть рефлокулирован при регулировании величины рН.

Активный оксид алюминия успешно используют как фильтрующийся материал; его регенерируют сульфатом алюминия или каустической содой и серной кислотой. Обменная емкость активного оксида алюминия колеблется в зависимости от первоначального содержания фтора в необработанной воде и условий работы от 0,3 до 4,5 г иона F<sup>-</sup> на 1 л объема загрузки.

**Б3. Умягчение воды известью.** Этот метод можно использовать при условии, что вода имеет достаточно высокое содержание магния, который адсорбирует фтор. В противном случае воду нужно обогатить магнием, добавляя сульфат магния или используя доломитовую известь.

Установлено, что необходимо приблизительно 50 мг/л магния для удаления 1 мг/л фтора.

**Б4. Фильтрация через активный уголь.** Этот тип очистки (с регенерацией каустической содой и диоксидом углерода) может быть использован в очень кислой среде (при рН не более 3), а также если он сопровождается последующей рекарбонизацией, которая, однако, в большинстве случаев невыполнима.

**Б5. Другие способы.** Если нужно удалять фторид-ионы из сильноминерализованной воды, то можно применить обратный осмос. Используют также электрохимические процессы с применением алюминиевых анодов, несмотря на то, что в промышленности такие системы не нашли широкого распространения.

Для определения наиболее подходящих форм очистки необходимо провести предварительные исследования и дать экономическое обоснование.

\*  
\* \*

Рассмотренные выше способы могут применяться в процессах отстаивания и фильтрации. На современных промышленных установках наиболее часто используется фильтрующая за-

грузка, состоящая из материалов на основе трикальцийфосфата (железная кость или синтетические вещества), или активный оксид алюминия.

**20.3.2.6. Удаление азота и его соединений.** Ион аммония NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, который нежелателен в питьевой воде, довольно трудно удалить. Если его количество в воде мало, то при добавлении хлора он может превращаться в хлорамин. Но так как необходимая доза хлора должна при этом в 10 раз превышать концентрацию аммиака в пересчете на азот, то такой способ нельзя применять при высоком содержании аммиака в воде. Диоксид хлора и озон не действуют на ион аммония.

Ион аммония можно удалить путем нитрификации на сухих контактах в присутствии железа и марганца, а также аэрацией контактных колоннах, содержащих пуццолан (вулканический пепел), в котором развиваются нитрифицирующие бактерии, если добавлять небольшое количество фосфатов в качестве элемента питания.

Предварительная аэрация, производимая перед процессом отстаивания без предварительного хлорирования (хлор ядовит для нитрифицирующих бактерий) или перед прохождением через низкоскоростные фильтры, приводит к частичной нитрификации, которая может быть дополнена введением реаэрированной воды в грунт и последующим ее сбором после довольно продолжительного просачивания через землю.

Нитриты, присутствие которых недопустимо в питьевой воде, легко превращаются в нитраты с помощью окислителей (хлора или озона).

Если содержание нитратов превышает уровень, установленный официальными стандартами для питьевой воды, то их нужно удалить; для этого можно использовать смолы или процесс биологической денитрификации (см. главу 24, п. 4). Если минерализация воды достаточно высокая, то требуется очистка с помощью обратного осмоса, при этом удаляются и нитраты. При дезинфекции воды наблюдается тенденция к увеличению концентрации нитратов, поэтому их содержание нужно контролировать.

#### 20.3.2.7. Деструкция водорослей и планктона.

**А. Удаление водорослей.** Росту водорослей способствует главным образом воздействие солнечного света на воду в открытых водоемах, осветлителях, резервуарах, плавательных бассейнах и т. д. Для их роста необходима свободная углекислота.

Уничтожение водорослей или ограничение их роста может быть осуществлено с помощью сульфата меди (2—3 г/м<sup>3</sup>) или дезинфекцией хлоридом меди. К сожалению, медь ядовита для рыб, и пока не существует безвредного для рыб способа уничтожения водорослей.

Развитие водорослей может быть ограничено использованием извести для уменьшения количества свободной углекислоты

в воде. Развитие бесцветных водорослей в трубах предотвращают, обрабатывая воду известью или путем стерилизации хлоридом меди.

Периодическое введение больших доз хлора — обычный метод защиты охлаждающих систем.

Наконец, размножению водорослей в отстойниках и открытых фильтрах может препятствовать добавление нескольких граммов порошкообразного активного угля на 1 м<sup>3</sup> воды. Активный уголь не пропускает в воду солнечные лучи, но одновременно нужно добавлять хлор, так как при этом могут коагулировать другие микроскопические водоросли, уже имеющиеся в не обработанной воде.

Кроме того, для борьбы с развитием водорослей теперь стали доступны альгициды (во Франции они разрешены для очистки производственных сточных вод); их получают из четвертичного аммония, пентахлорфенолята натрия и сероорганических производных.

**Б. Удаление планктона.** Планктон (см. п. 28.7) — это общее название, данное всем мелким живым организмам (простейшим, червям, ракообразным, личинкам насекомых и т. д.) и растениям (водорослям), которые живут в воде, образуя суспензию. Их размеры изменяются в очень широких пределах — от 1 мкм до нескольких миллиметров. Из воды они могут быть удалены следующими способами.

**Б1. Микрофилтрование** (см. гл. 9). Воду можно фильтровать через микрофильтр, особенно если она содержит только водоросли, кроме того, она не должна быть чрезмерно мутной, иметь очень большую цветность, содержать большое количество органических веществ и т. д. Размер сита ячеек должен соответствовать виду удаляемых организмов, обычно применяют сита с ячейками размером от 10 до 40 мкм.

Микрофилтрование особенно эффективно для определенных типов зеленых водорослей (*Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Coelastrum*, *Cosmarium* и т. д.), диатомовых водорослей (*Asterionella*, *Melosizga* и т. д.) и сине-зеленых водорослей (*Anabaena*, *Microcystis* и т. д.); 90—95% указанных водорослей удаляются этим способом. В течение года для фитопланктона в целом эта цифра, как правило, изменяется от 50 до 80%. Микрофилтрованием можно удалять такие виды зоопланктона, как *Rotifera*, *Entomostraceae*, *Crustaceae*, *Copepoda*, *Cladoceriae*, *Nematoda*.

Тем не менее, как правило, воспроизводительные элементы (споры и яйцеклетки) обычно в недостаточной степени удаляются микрофилтрованием, поэтому удаление протекает более эффективно, когда ему предшествует хлорирование.

Микросито для удаления планктона располагают или перед медленным фильтром, снимая некоторую нагрузку на фильтр в период быстрого роста планктона, или на очистной станции

при очистке озерной воды и воды из водохранилищ, если удаляется ограниченное количество планктона.

**Б2. Окисление.** Все дезинфицирующие окисляющие вещества (хлор, диоксид хлора, озон) уничтожают планктон при соответствующем остаточном содержании (которое изменяется в зависимости от вида организмов), поддерживаемом постоянно. Однако далее необходимо использовать некоторые механические способы для удаления отмершего планктона.

**Б3. Полная очистка.** Если весь планктон должен быть удален, то предварительное хлорирование (уничтожение организмов или нарушение их деятельности в песчаной загрузке фильтров) необходимо сочетать с коагуляцией. Применяют один из двух видов коагуляции.

Первый способ — коагуляция через песчаный фильтр, если вода не содержит слишком много планктона и взвешенных веществ. Частота промывок зависит от природы, размеров и количества различных форм планктона. Скорость фильтрации связана с допустимой частотой промывок и автоматической работой фильтров. Если вода содержит планктон, то необходима осторожность в выборе скорости фильтрации. Второй способ — коагуляция, в результате которой снижается до нуля дзета-потенциал. Дальнейшее осветление предпочтительнее проводить в оборудовании типа «Пульсатор» с концентрированным взвешенным слоем осадка и фильтрацией через песок, с предварительным хлорированием за точку перелома. Планктон удаляется на 99% при осветлении воды и почти на 100% — при ее фильтрации. При использовании этого метода возможно применение скорых фильтров, которые при непрерывной работе могут удерживать любое количество планктона.

**20.3.2.8. Удаление органических веществ.** Выбор наилучшего способа удаления органических веществ, концентрация которых определяется величиной перманганатной окисляемости, представляет собой довольно сложную проблему. В необработанной воде только 10—30% количества органических веществ удаляется химическим окислением (даже озоном) или частичной коагуляцией через фильтры. Полной коагуляцией, флокуляцией и отстаиванием удаляют от 40 до 70% органических веществ, иногда с добавлением порошкообразного активного угля непосредственно в осветлитель.

Большая часть оставшихся органических веществ может быть удалена или фильтрованием через фильтры с намывным слоем (со слоем порошкообразного активного угля), или фильтрованием через гранулированный активный уголь. В результате этого процесса удаляется от 75 до 95% органических веществ. При фильтровании через фильтры с намывным слоем из активного угля, который восстанавливается после каждого цикла, скорость удаления постоянна при условии, что природная вода

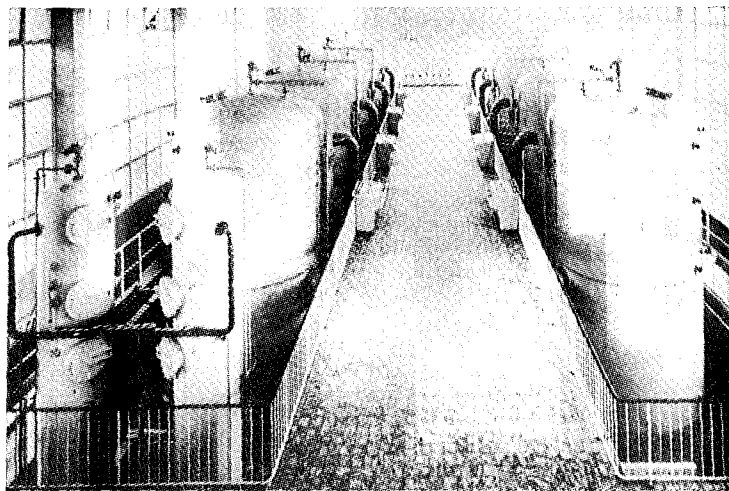


Рис. 20.12. Восемь фильтров с загрузкой из гранулированного активного угля для очистки речной воды в Любеке (ФРГ). Производительность 1500 м<sup>3</sup>/ч

постоянна по составу. Цикл обычно продолжается около недели с постоянной подачей порошкообразного угля (см. п. 11.11).

Если нужно удалять органические вещества, то срок службы гранулированного угля до его насыщения короче, чем при удалении детергентов, пестицидов и привкуса. Этот срок колеблется от 3 до 9 мес. в зависимости от способа использования угля, при этом производительность работы оценивается по скорости утилизации, выраженной в объемах воды на объем угля в час, или по эффективности снижения содержания органических веществ, выраженной в процентах.

Выбор одного из этих двух способов зависит от одновременного присутствия загрязнений и микрозагрязнений, от их природы и стоимости удаления.

Цикл фильтрования в фильтрах с намывным слоем короткий, и использование порошкообразного активного угля оказывается дорогостоящим. Фильтрование через гранулированный уголь более экономично, хотя оно более грубое. Если необходима адсорбция с длительным контактом, то лучше использовать фильтрование через очень глубокий слой загрузки из гранулированного угля. Не следует, однако, недооценивать, что короткое время контакта в намывных фильтрах частично возмещается большей эффективностью мелкозернистого порошкообразного угля.

Окончательное решение принимают исходя из достигаемого качества очистки и эксплуатационных расходов.

**20.3.2.9. Дезодорация воды.** Дезодорацией питьевой воды

называют процесс удаления как неприятных привкусов, так и запахов; это два внешних признака одного и того же явления.

**А. Неприятный привкус необработанной воды.** Неприятные привкусы и запахи обычно возникают в результате образования малых количеств веществ, выделяемых микроскопическими водорослями, особенно актиномицетами (*Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora* и т. д.), которые развиваются в поверхностных водах и на дне озер и морей при определенных температурных условиях и химическом составе воды. Этот процесс часто связан с загрязнением воды органическими веществами, временем сельскохозяйственных работ (стоком воды с полей, в которые внесены удобрения, сезоном уборки сахарной свеклы и т. д.) и временами года.

Актиномицеты и некоторые сине-зеленые водоросли придают воде илистый, землистый или заплесневелый привкус; идентифицированные вещества, придающие привкус — геосмин и 2-метилизоборнеол.

Вода, содержащая водоросли, имеет характерные привкусы и запахи доминирующих веществ и, кроме того, упомянутые привкусы — плесени, травы, герани, фасоли, рыбы и т. д. Эти привкусы встречаются реже, чем илистый привкус.

Некоторые зловонные вещества образуются в результате разложения растительных или органических веществ в почве или же их присутствие связано с определенными сортами рыбной икры, промышленными загрязнениями и т. д. В последнем случае, однако, можно обнаружить завод, ответственный за загрязнение. Его находят по результатам исследования проб, отбираемых выше по течению реки.

Любой неприятный привкус можно выразить количественно, если исследуемую воду разбавлять водой аналогичного минерального состава, имеющей приятный привкус, до исчезновения неприятного привкуса; порог привкуса — величина, обратная разбавлению, необходимому для получения желаемого результата.

Хорошо очищенная вода имеет порог 1, т. е. это величина, выражающая отсутствие неприятного привкуса. В некоторых странах измеряют и запах; во Франции считают, что лучше облагать налогом виновных за появление в воде привкуса, чем за появление запаха, хотя запах часто можно измерить с большей чувствительностью.

Привкусы и запахи могут быть удалены либо аэрацией, в процессе которой, в частности, удаляется сероводород, либо с помощью сильных окисляющих веществ, например озона, который очень эффективен.

Неприятный привкус может быть вызван одновременным присутствием нескольких веществ. Возможно применение двухстадийной очистки: в первой стадии — с порошкообразным активным углем (с одновременной флокуляцией и осветлением),

во второй стадии — с помощью озона после фильтрования. На практике иногда необходимы обе стадии для удаления всех запахов. Действие озона зависит от температуры; при температуре ниже 5°C он иногда имеет ограниченное воздействие на составляющие, которые вызывают привкус. Поэтому часто успешно применяют озон совместно с активным углем, если температура очищаемой воды изменяется.

Помимо озона используют такие окислители, как хлор (хлорирование за точку перелома с удалением избытка хлора, см. п. 15.1.2 и 11.1.1), диоксид хлора (см. п. 15.2.2), перманганат калия, применяемый, если необходимо, с активным углем. Используют и другие методы, включающие очистку воды перекисью водорода и фильтрование через диоксид марганца.

Для удаления привкусов и запахов применяют также активный уголь в порошкообразной или гранулированной форме. При условии, что требуется ограниченное количество порошкообразного активного угля (15—20 г/м<sup>3</sup>), его использование как фильтрующего материала в осветлителе более экономично, чем гранулированного угля. Если порошкообразный уголь применяется в больших дозах непостоянно или если он не удаляет все привкусы, то хорошего результата можно достигнуть сочетанием малых доз угля в осветлителе с последующим озонированием, которое к тому же дезинфицирует воду. Если погода очень холодная, то порошкообразный уголь либо совсем не требуется, либо требуется в очень малых дозах. При повышении температуры, когда привкус более заметен, доза озона увеличивается до максимальной, обеспечиваемой производительностью озонатора, и дозу угля повышают настолько, чтобы можно было устранить привкус. В этих условиях обработка озоном оказывается предпочтительнее, так как ни порошкообразный, ни гранулированный уголь не могут соперничать с озоном как бактерицидные вещества.

Стоимость получения 3 г озона (включая амортизацию) приблизительно такая же, как стоимость 10 г порошкообразного активного угля. Поэтому выгодно использовать озон как активное вещество при очистке (если он уже применяется как дезинфицирующее средство) с добавкой порошкообразного активного угля.

Если в результате применения озона в сочетании с порошкообразным активным углем не удаляются все привкусы и среднее количество требуемого угля превышает 20 г/м<sup>3</sup> или если озона нет в наличии, то лучше фильтровать воду через гранулированный активный уголь. Первоначальные затраты на него оправданы, так как в противном случае должны быть израсходованы значительные суммы на приобретение большого количества порошкообразного угля.

**Б. Неприятный привкус, получаемый в результате очистки.** Соединения, полученные при использовании хлора или озона,

могут придавать воде неприятный привкус. В особенности присутствие даже следов фенола в соединении с хлором вызывает образование хлорфенолов, которые имеют привкус лекарств.

Привкус может также появиться в результате соединения хлора с рядом азотсодержащих веществ, образующих треххлористый азот NCl<sub>3</sub>, который имеет запах герани.

Для идентификации запаха треххлористого азота пробу воды сравнивают с эталоном, приготовленным следующим образом: вливают 250 мл дистиллированной воды в колбу емкостью 500 мл и добавляют несколько кристаллов хлористого аммония, после чего приливают хлорную воду. Такой раствор окрашивается в желтый цвет после добавления к нему ортотолуидина.

В этих условиях треххлористый азот образуется менее чем через 15 мин, так как жидкость подкислена хлорной водой. Колбы, которые используют для обнаружения этих запахов, надо содержать закупоренными, и после использования они должны быть вымыты проточной водой во избежание взрыва NCl<sub>3</sub>.

Треххлористый азот образуется более быстро, если азот находится в форме аммонийных соединений, а не белковых, с которыми реакция продолжается более 2 ч. Этим объясняется, почему вода, которая не имеет запаха, когда покидает станцию очистки, может иметь его при поступлении к потребителю.

Во всех случаях дезинфекция дозами за точкой перелома (п. 15.1.2.1) придает воде привкус в меньшей степени. Перехлорирование (хлорирование повышенными дозами) с последующим дехлорированием исключают присутствие треххлористого азота и большинства любых хлорфенолов, но удаление хлора химическими способами часто придает воде привкус лекарств, который удаляется полностью при использовании активного угля.

Диоксид хлора (см. п. 15.2.2) эффективно удаляет хлорфенолы, но не треххлористый азот.

Все привкусы и запахи, возникающие в результате хлорирования, могут быть удалены с помощью активного угля (см. выше).

**В. Неприятный привкус, приобретаемый водой в магистральных трубопроводах.** Привкус хлорфенола, вызванный реакцией хлора с каменноугольной смолой в магистральных трубопроводах, обычно исчезает довольно быстро.

Эта проблема обычно не возникает при использовании при прокладке труб веществ, имеющих в основе нефтяную смолу или битум. Но другие привкусы, образуемые бактериями и плесневыми грибами, очень трудно уничтожить. Как правило, такие организмы развиваются только в воде, содержащей небольшое количество кислорода и большое количество аммиака. Их рост останавливает интенсивная аэрация, а также присутствие в воде следов антисептиков, хлора и хлораминов.

**20.3.2.10. Удаление микрозагрязнений.** Рассмотренными выше методами очистки удаляют наиболее распространенные загрязнения и микрозагрязнения. Ниже рассмотрены типы загрязнений, которые могут быть разрушены специальной очисткой; к ним относятся фенолы, углеводороды, детергенты и пестициды.

**А. Фенолы и его соединения.** Механическая очистка и коагуляция неэффективны для удаления этих веществ, а медленная фильтрация не избавляет от них полностью.

Диоксид хлора уничтожает привкус хлорфенола. Если вода содержит непостоянное или заметное количество фенола, то нужно ввести избыток диоксида хлора для надежности процесса, не считаясь при этом с риском образования в воде слишком большого количества хлорида натрия. В таких случаях можно также использовать озон или активный уголь.

**Действие озона.** Озон разрушает фенол и его соединения, если его добавляют в дозе, которая согласуется с предыдущей очисткой, значением рН воды, природой вовлекаемых соединений и требуемой конечной концентрацией. Величина рН — важная характеристика при установлении дозы озона, которая удваивается, если рН снижается с 12 до 7. Если величина рН воды, очищаемой на водопроводных очистных сооружениях, равна 7,0—8,5, то количество озона, потребляемого для удаления 1 г фенола, максимально. Доза озона изменяется или в зависимости от содержания чистого фенола, который редко присутствует в воде, или от содержания дифенолов, трифенолов, крезолов или нафтолов и таких соединений, как тиоцианаты, сульфиды и т. д. Точная доза, которая обычно приблизительно в 4 раза превышает концентрацию соединений в пересчете на чистый фенол, может быть определена опытным путем.

Длительный контакт для окисления фенолов не нужен. Использование озона позволяет сочетать его разрушение с полной дезинфекцией очищаемой воды при условии, что содержание фенола невысоко.

**Действие активного угля.** Даже после предварительного хлорирования добавление порошкообразного активного угля уменьшает количество фенолов в воде; степень уменьшения изменяется от вида и концентрации фенольного соединения, дозы и типа угля.

Если необходимо удаление из воды всех фенолов, то их извлекают адсорбцией при фильтровании через гранулированный активный уголь. Вообще фенолы легко адсорбируются различными видами гранулированного угля, даже если уголь уже истощен при удалении органических веществ.

**Сочетание озона и активного угля.** Его применяют обычно только в тех случаях, когда возможно внезапное резкое увеличение содержания фенола в воде. В этих случаях озона может быть недостаточно, и нет смысла в чрезмерном увеличении объ-

ема озонатора, если проблема может быть легко решена добавлением соответствующего количества порошкообразного активного угля в отстойник.

**Сочетание озона и гранулированного активного угля** используют только тогда, когда в воде в течение длительного времени присутствуют большие количества фенола.

**Б. Углеводороды.** В отличие от случайных залповых поступлений, которые временно могут остановить работу очистной станции, углеводородная пленка задерживается на водозаборном сооружении, а следы углеводородов удаляются коагуляцией — флокуляцией, осветлением и фильтрованием через песок.

Если углеводороды придают привкус воде, то от него можно избавиться добавлением небольшого количества порошкообразного активного угля в осветлитель (5 г на 1 г углеводорода). Все оставшиеся следы углеводородов могут быть удалены фильтрованием через гранулированный активный уголь.

Активный уголь — наиболее подходящий материал для удаления малорастворимых насыщенных углеводородов, имеющих большие молекулы, которые не могут быть легко разрушены озоном.

Озон разрушает все полициклические углеводороды, например 3-4-бензпирен, который предположительно оказывает канцерогенное воздействие в присутствии других соединений, таких как детергенты.

**В. Детергенты.** Стандартными способами очистки, включающими процессы коагуляции — флокуляции, осветления и фильтрования, обычно мало удаляют или не удаляют совсем из воды детергенты. При добавлении стадии предварительного хлорирования сами детергенты не разрушаются. Для удаления детергентов применяют озон, активный уголь или процесс пенообразования.

**Удаление пенообразованием.** Метод пенообразования может быть использован при высоком содержании детергентов, и необходимо их концентрацию довести до более низкого значения, чем порог пенообразования (0,3—0,4 г/м<sup>3</sup>).

Пенообразование заключается в подаче больших объемов воздуха в воду немного ниже ее поверхности; затем необходима очистка концентрированной пены выпариванием или добавлением активного угля. Необходимо контролировать содержание фосфатов в воде после очистки и уменьшить его, если требуется.

**Действие озона.** Озон разрушает большую часть детергентов, которые не поддаются биоразложению. Доза озона может оказаться высокой, если содержание в воде детергентов, которые должны быть разрушены, значительно.

На первой стадии количество используемого озона изменяется логарифмически с понижением содержания детергента (рис. 20.13).



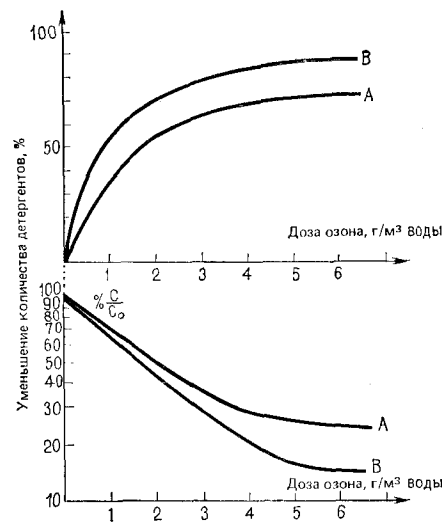


Рис. 20.13.

конечной точки (70—95%), то в воде остается определенное количество детергента, который не разрушается. Это остаточное количество, тем не менее, всегда меньше предельно допустимого, которое может вызывать побочное воздействие.

Увеличение длительности контакта не оказывает влияния на требуемое количество озона, которое остается неизменным при очистке в одну или несколько стадий.

Добавление хлора перед озонированием не уменьшает количество требуемого озона.

**Действие активного угля.** Активный уголь хорошо удаляет «жесткие» детергенты адсорбцией. Он задерживает детергенты лучше, чем фенолы, в 2—5 раз в зависимости от вида угля при той же самой конечной равновесной концентрации. Порошкообразный активный уголь вводят на стадии осветления, когда величина рН не влияет на процесс очистки. Содержание детергентов можно снизить на 50% при дозах от 12,5 до 25,0 г/м³ воды в зависимости от вида детергента и типа используемого осветлителя (статический отстойник или осветлитель со взвешенным слоем осадка, в который добавлен уголь). Теоретически можно удалить из воды более 90% детергентов при использовании порошкообразного активного угля, но практически это требуется редко и может быть достигнуто при использовании очень высоких доз (40—80 г/м³), что экономически невыгодно.

При очень высоком содержании детергентов может быть использован гранулированный активный уголь.

**Сочетание действия озона и активного угля.** Совместное воздействие порошкообразного активного угля и озона применяют

Если  $C$  — концентрация детергента, достигаемая в результате добавления дозы озона к воде с концентрацией детергента  $C_0$ , то величина  $x$  определяется по формуле

$$C/C_0 = e^{-ax},$$

где коэффициент  $a$  изменяется в зависимости от типа детергента и других соединений, следы которых присутствуют в воде.

Доза, необходимая для уменьшения на 50% количества бионеразлагаемых анионоактивных детергентов, изменяется от 1,5 до 3,0 г озона на 1 м³ воды. Если удаление достигает

в течение короткого периода, если содержание детергента достигает случайных максимальных концентраций или если требуется очень низкое его остаточное содержание (порог обнаружения около 0,01 мг/л).

Этот способ используется только в том случае, если не требуется большого количества порошкообразного активного угля в течение продолжительного периода; в противном случае более экономично использовать гранулированный активный уголь.

На практике активный уголь и озон не используются вместе, если вода содержит только детергенты, но их применяют в тех случаях, когда одновременно требуется удалить и другие загрязнения и микрозагрязнения.

**Г. Пестициды.** Обычная очистка флокуляцией, отстаиванием и фильтрованием вообще для пестицидов безрезультатна, за исключением ДДТ, который удаляется частично.

Медленное фильтрование имеет ограниченный эффект и пригодно только для некоторых пестицидов. Этим методом не удаляются все фенолы и детергенты, в связи с чем его нельзя рассматривать как современный способ очистки.

**Действие хлора, диоксида хлора и перманганата калия.** Хлор и перекиси не действуют на пестициды, содержащие хлор. Перманганат разрушает некоторые из них частично (например, линдан). Вместе с тем некоторые вещества, уничтожающие сорную траву (органические соединения), легко разрушаются хлором, диоксидом хлора и перманганатом. Эти окислители не могут, как правило, достаточно эффективно воздействовать на все пестициды, обнаруженные в поверхностных водах.

**Действие озона.** На некоторые пестициды озон оказывает слабое воздействие (дильдрин, НСН и т. д.), в то время как другие хлорорганические соединения, такие как альдрин, в количествах, обычно обнаруживаемых в поверхностных водах, разрушаются дозой озона от 1 до 3 г/м³.

**Действие активного угля.** Активный уголь (порошкообразный или гранулированный) — наиболее эффективное средство для удаления пестицидов. Ни величина рН, ни температура не оказывают какого-либо влияния на скорость удаления пестицидов.

При использовании порошкообразного активного угля с максимальной дозой 20 г/м³ привкус, придаваемый воде большинством стандартных пестицидов, исчезает. В некоторых случаях, например, если в воде присутствует ДДТ, доза 5 г/м³ активного угля достаточно эффективна, а при использовании дозы 10 г/м³ удаляется 99% альдрина и дильдрина.

Гранулированный активный уголь уменьшает содержание пестицидов до следовых концентраций.

#### Д. Тяжелые металлы.

**Действие коагулянтов.** Коагулированием с помощью сульфата алюминия успешно удаляются серебро, свинец и медь, содержание ртути и ванадия уменьшается приблизительно на 50%, а

цинка — только на 10%. Концентрация никеля, кобальта, марганца и хрома в процессе очистки не изменяется.

**Действие порошкообразного активного угля.** Обычно применяемые его дозы (20 г/м<sup>3</sup>) недостаточны для удаления тяжелых металлов. Для очистки, конечно, необходимо использовать более высокие дозы этого вещества.

**Песчаные фильтры.** Если коагуляция с применением сульфата алюминия эффективна для удаления тяжелых металлов, то при использовании песчаных фильтров концентрации серебра, ртути и меди уменьшаются фактически до нуля, хотя содержание марганца, ванадия и кобальта изменяется мало. Содержание цинка и никеля особенно эффективно уменьшается в присутствии хлора.

**Фильтры с загрузкой в виде гранулированного активного угля.** Достаточное снижение содержания нежелательных или токсичных ионов может быть достигнуто фильтрованием через гранулированный активный уголь. Серебро и ртуть полностью удаляются, а содержание свинца, меди и т. д. уменьшается ниже допустимых концентраций.

Хлорирование, используемое в сочетании с коагуляцией, фильтрованием через песок и фильтрованием через гранулированный активный уголь, способствует удалению тяжелых металлов, особенно если доза хлора немного выше точки перелома.

**Е. Заключение** Предшествующий анализ показал, что общепринятые способы очистки и медленное фильтрование оказывают на микрозагрязнения ограниченное действие. Наиболее эффективные результаты при очистке дает применение активного угля в сочетании с озоном или без него.

Активный уголь удаляет загрязнения в недостаточной степени (некоторые вещества проходят через него не задерживаясь). Выбор между порошкообразным и гранулированным углем и сортом угля, который будет использован, определяется природой микрозагрязнений, необходимым качеством воды и возможностью регенерации угля.

Озон по своему воздействию более эффективен, чем уголь, особенно как дезинфицирующее средство. Совместное использование этих двух веществ улучшает процесс очистки, однако оно должно быть технически и экономически обосновано.

Не существует общего правила, указывающего, где располагать фильтры по отношению к дезинфицирующей установке, если в состав очистной станции входят озонирующая дезинфицирующая установка и фильтры с загрузкой из активного угля. Наблюдается тенденция установки фильтров с загрузкой из активного угля после озонаторов, при этом удерживаются продукты окисления, образующиеся в результате озонирования, и продлевается работа загрузки из активного угля. С санитарно-гигиенической точки зрения лучше расположить озонатор в конце очистных сооружений, особенно если в воде есть вирусы, ко-

торые необходимо уничтожить. Эту проблему можно решить, расположив фильтры с загрузкой из активного угля между двумя озонирующими установками.

## 20.4. ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

### 20.4.1. КОМБИНИРОВАННЫЕ УСТАНОВКИ И ТИПОВАЯ ОЧИСТНАЯ СТАНЦИЯ

**20.4.1.1. Полустанционные очистные станции GSF.** Небольшие сельские населенные пункты, фермы, строительные площадки, жилые комплексы и поселения, лишённые воды в результате аварии, могут временно снабжаться с помощью комбинированных установок, которые быстро монтируются и вводятся в эксплуатацию, а при необходимости демонтируются.

Очистные станции GSF фирмы «Дегремон» удовлетворяют этим требованиям. Они работают под давлением и предназначены для питьевого водоснабжения из источника со средним количеством загрязнений и максимальной мутностью 500 мг/л. При высоких концентрациях загрязнений целесообразно установить статический предварительный отстойник между водозаборным устройством и насосами, подающими воду на установку GSF. В большинстве случаев он представляет собой простую яму, размеры которой достаточны для осаждения наиболее тяжелых частиц. Качество полученной сырой воды будет соответствовать нормам, допустимым для установок GSF.

Эти установки имеют насосы с электродвигателем, которые подают исходную воду на осветлитель «Циркулятор», работающий под давлением, и далее на песчаные фильтры, а затем возвращают очищенную воду в резервуар, расположенный на высоте не менее 10 м над уровнем земли. Фильтры промывают обратным током воды, а очищенная вода может быть распределена потребителю самотеком.

Три реагента вводят в воду дозирующими насосами: коагулянт перед осветлением, нейтрализующий агент или вещество для корректировки величины pH перед осветлением или после фильтрования и дезинфицирующее вещество после фильтрования. Эти реагенты приготавливают в пластмассовых резервуарах.

Основные данные установки GSF представлены в табл. 20.2.

ТАБЛИЦА 20.2

Тип	Максимальная производительность, м <sup>3</sup> /ч	Диаметр осветлителя, мм	Фильтры		Минимальная емкость резервуара, м <sup>3</sup>
			число	диаметр, мм	
GSF 0	1,5	1200	2	450	5
GSF 1	3,0	1600	2	650	9
GSF 2	6,0	2300	2	800	12
GSF 3	9,0	2800	3	950	18

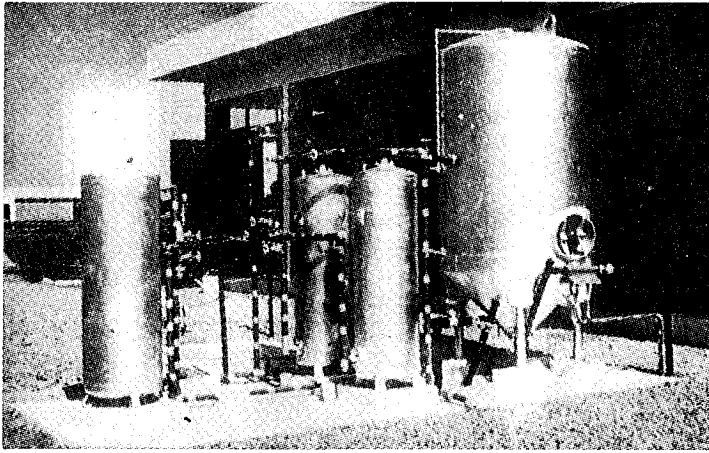


Рис. 20.14. Полустационарная очистная станция GSF типа 0 и фильтр с загрузкой из активного угля в Уагадугу (Верхняя Вольтя). Производительность 1,5 м<sup>3</sup>/ч

**20.4.1.2. Установки «Бидондо».** Эти станции, которые имеют большую производительность, чем установки GSF, могут снабжать питьевой водой деревни или большие поселки, очищая сырую воду со средним количеством загрязнений. Они работают под давлением и состоят в основном из одного или более горизонтальных осветлителей с рециркуляцией осадка, песчаных фильтров с обратной промывкой и трех насосов, добавляющих реагенты (коагулянты, нейтрализующее вещество или реагент, корректирующий величину pH, и дезинфицирующее вещество).

ТАБЛИЦА 20.3

Тип	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Осветлитель (L=5 м)	Фильтр
VB 10	10	1— Ø2,0 м	1— Ø1,6 м
VB 15	15	1— Ø2,5 м	1— Ø2,0 м
VB 20	20	2— Ø2,0 м	2— Ø1,6 м
VB 30 А	30	3— Ø2,0 м	3— Ø1,6 м
VB 30 В	30	2— Ø2,5 м	2— Ø2,0 м

Очищенная вода перекачивается в резервуар, расположенный на высоте не менее 10 м от поверхности земли; вода для обратной промывки используется из этого же резервуара.

Все электрическое и механическое оборудование, а также дозатор реагентов располагаются в здании, показанном на рис. 20.15. Основные данные установки «Бидондо» показаны в табл. 20.3.

**20.4.1.3. Установки «Аквазер».** Принципы очистки, принятые при проектировании

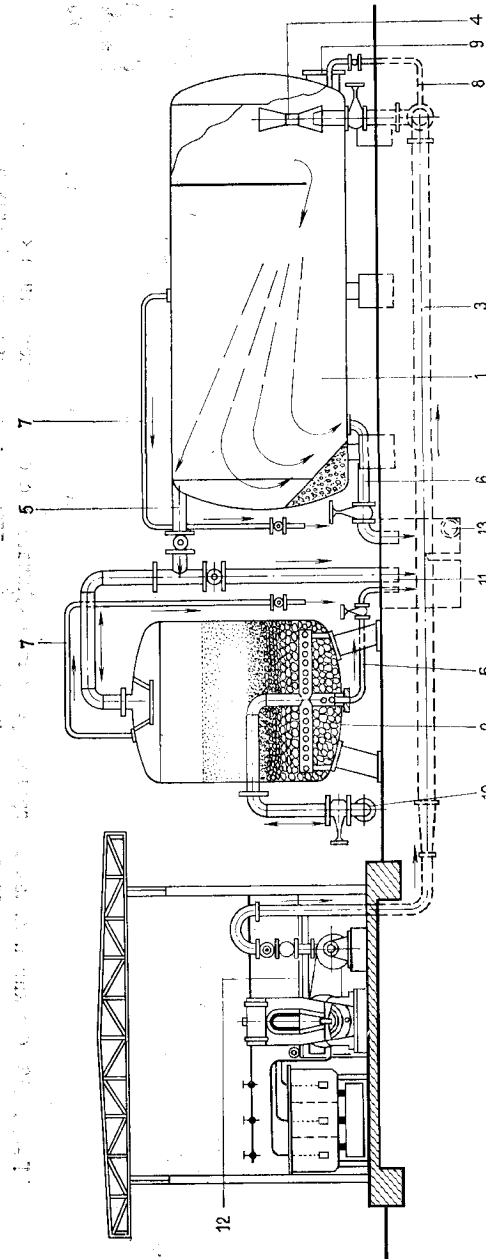


Рис. 20.15. Установка «Бидондо», объединенная с осветлителем

1 — осветлитель; 2 — фильтр; 3 — подача сырой воды; 4 — выпуск осветленной воды; выпуск воды после промывки фильтра; 5 — эжектор; 6 — труба подачи воздуха; 7 — задержка на трубопроводе воздуха; 8 — труба подачи воды на промывку осветлителя; 9 — смотровой люк; 10 — труба отвод отфильтрованной воды и выпуск воды после промывки фильтра; 11 — выпуск осадка; 12 — подача реагента; 13 — сброс

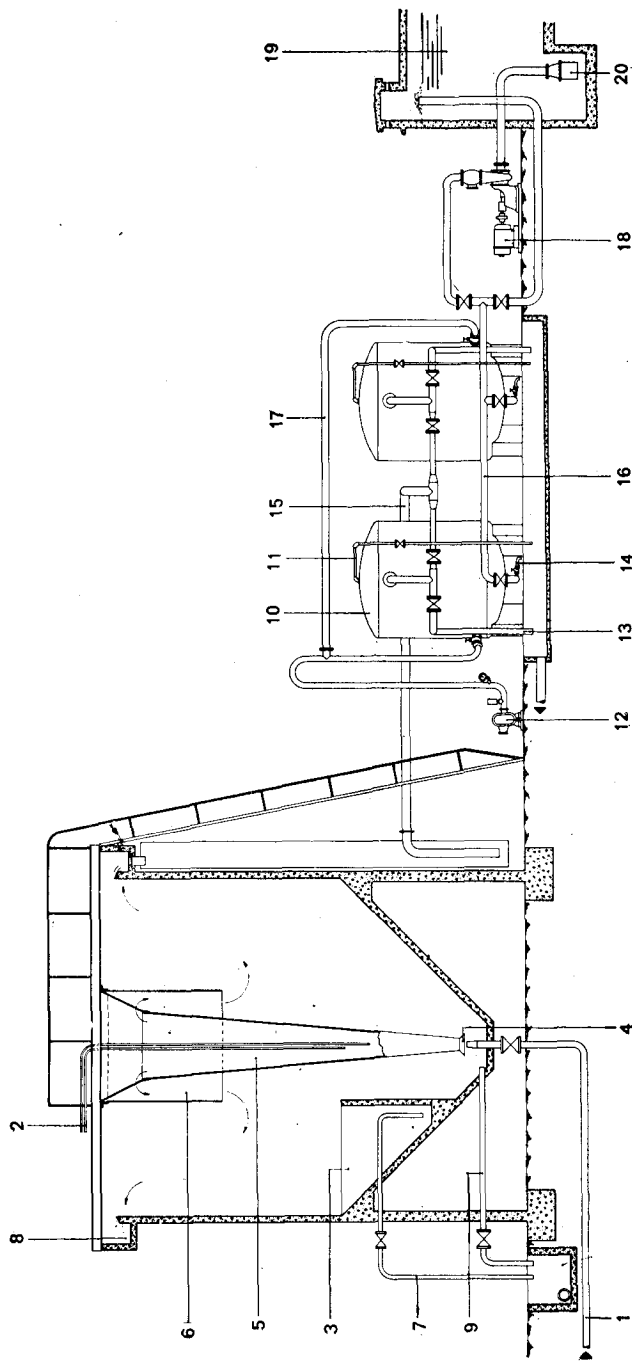


Рис. 20.16. Функциональная диаграмма установки «Аквазер» с осветлителем типа «Циркулятор»

1 — подача сырой воды; 2 — инжектор для реагента; 3 — илосборник; 4 — солено; 5 — камера смешения; 6 — камера флокуляции; 7 — выпуск осадка; 8 — канал для осветленной воды; 9 — труба опорожнения осветлителя; 10 — выпуск воздуха; 11 — выпуск воздуха; 12 — воздуходувка; 13 — выпуск промывной воды; 14 — вентиляционное отверстие и дренаж; 15 — выпуск осветленной воды; 16 — трубопровод фильтрованной воды; 17 — трубопровод для продувки воздухом; 18 — насос для фильтрованной и промывной воды; 19 — резервуар для хранения фильтрованной воды; 20 — всасывающий трубопровод забора фильтрованной воды

установок «Бидондо», применены на установках «Аквазер». Существенное различие заключается в использовании бетонного осветлителя; установка не может, следовательно, работать под давлением.

Фильтрат сливается в резервуар-накопитель, расположенный на одной линии с осветлителем, и впоследствии перекачивается в распределительные резервуары. Резервуар-накопитель также содержит резервную промывную воду для фильтров. Реагенты подаются дозирующим насосом (рис. 20.16). Применяется вертикальный осветлитель с коническим днищем с циркуляцией осадка («Циркулятор»).

Очистку фильтра производят двумя способами: обратной промывкой только на установках типа CR или продувкой и обратной промывкой на установках типа CS. Выбор метода зависит от состава поступающих вод.

Предпочтительнее, если резервуар для фильтрованной воды будет иметь такой же диаметр, как и осветлитель, потому что при бетонировании сооружений может быть использована та же самая опалубка. Существует много установок типа «Аквазер», пригодных для расходов от 10 до 100 м<sup>3</sup>/ч и способных очищать обычную природную воду, однако предварительная очистка необходима, если исходная вода очень загрязнена.

Все эти установки включают основные стандартные сооружения, и при необходимости производительность станции может быть увеличена добавлением дополнительных сооружений без каких-либо переделок на существующей станции, за исключением перекачивающих устройств.

Механическое оборудование очистной станции, такое, например, как перекачивающие установки необработанной и очищенной воды, промывной насос, воздуходувка и дозаторы реагентов располагаются в здании, в котором могут находиться также трансформатор и дизель-генераторы.

#### 20.4.2. БОЛЬШИЕ И СРЕДНИЕ ОЧИСТНЫЕ СТАНЦИИ

**20.4.2.1. Основные положения.** Проектирование очистных сооружений больших и средних размеров основано на одних и тех же принципах очистки; они в значительной степени продиктованы свойствами исходной воды и требуемым качеством очищенной воды. Фактическое приложение этих принципов зависит

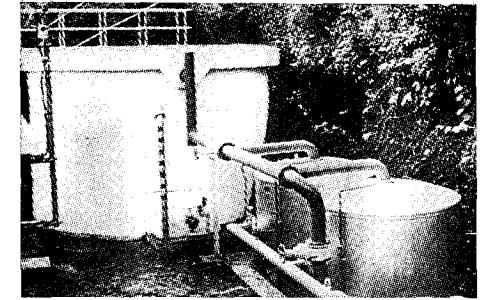


Рис. 20.17. Установка «Аквазер» типа CR 60, Ле-Бриль, о. Реюньон. Производительность 40 м<sup>3</sup>/ч

от размеров очистной станции, местных условий, наличия реагентов и т. д.

Например, глубина вертикального отстойника или осветлителя типа «Циркулятор», не оборудованного скребками, ограничена экономическими факторами. При больших расходах воды отстойники имеют по существу постоянную глубину, а днище — только небольшой наклон, и скребки собирают осадок по направлению к центру. Оборудование для хранения реагентов, естественно, зависит от расхода очищаемой воды и запасов реагентов, которые имеются на станции. Размеры вертикальных металлических напорных фильтров обычно ограничивают, чтобы можно было легко перемещать их, но допустимо применение фильтров большого диаметра, если их можно монтировать на месте. В открытых бетонных фильтрах воздух для продувки подается трубами, если площадь поверхности небольшая, и через бетонный канал при большой площади поверхности. Степень автоматического контроля зависит, главным образом, от размеров рабочих задвижек, квалификации служащих, сложности очистной станции и т. д.

#### 20.4.2.2. Осветление загрязненных поверхностных или подземных вод.

**А. Маломутные и малоцветные воды, содержащие небольшое количество органических веществ.** К ним относятся подземные воды, которые обычно имеют хорошее качество, но становятся мутными в определенные периоды года (рис. 20.18), а также вода, хранящаяся в резервуаре, изменяющая свои свойства в течение года в незначительной степени, содержащая небольшие количества взвешенных веществ и имеющая очень небольшую цветность (рис. 20.21)

Для очистки воды с небольшой мутностью, но высокой цветностью применяют предварительное озонирование.

**Б. Вода средней мутности, имеющая цветность и содержащая органические вещества и другие примеси.** Вода этого типа обычно требует полной очистки, включающей коагуляцию, флокуляцию, отстаивание и фильтрование.

**Б1. Ограниченное загрязнение и ограниченное микрзагрязнение воды.** На рис. 20.22 показана схема полной очистки, включающая дезинфекцию диоксидом хлора или, что предпочтительнее, озонем. Она использована на очистных сооружениях в Лиможе; ее особенностью является применение реминерализации фильтрованной воды, после чего трубы не подвергаются коррозии.

Схема, показанная на рис. 20.22, используется в случае осветления воды с высоким содержанием планктона; предварительное хлорирование (если возможно, за точкой перелома) должно всегда предшествовать коагулированию и отстаиванию.

Для соответствующих типов воды и осадка можно использовать процесс флотации, например, на очистной установке в

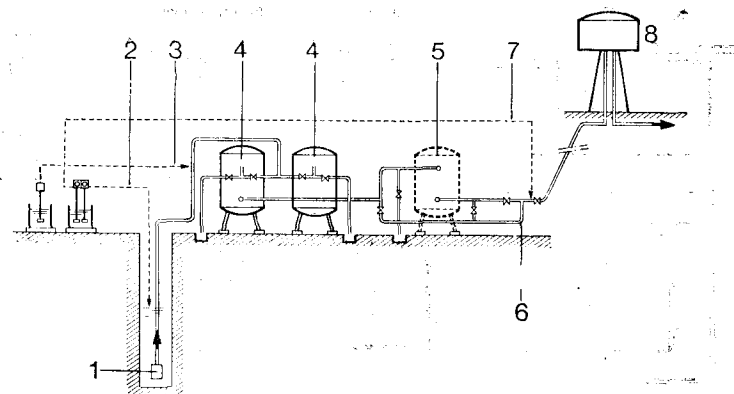


Рис. 20.18. Частичная коагуляция в напорных фильтрах (если необходимо, с нейтрализацией)

1 — подача сырой воды насосами; 2 — предварительное хлорирование (если необходимо); 3 — введение коагулянта; 4 — напорный фильтр; 5 — нейтрализатор (если необходимо); 6 — обводная линия для промывной воды; 7 — ввод дезинфицирующих средств; 8 — водонапорная башня

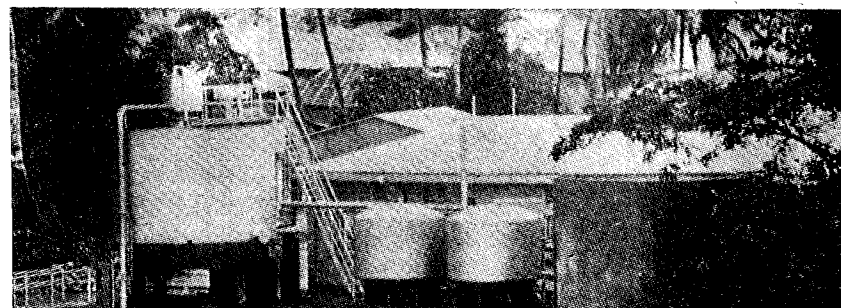


Рис. 20.19. Установка «Аквазер» в Тайама в Сьерра-Леоне. Производительность 50 м<sup>3</sup>/ч

Гуингампе (рис. 20.20). Реагенты вводят в камеру смешения с последующей обработкой воды во флокуляторе, флотаторе и на фильтрах.

**Б2. Сильное загрязнение и сильное микрзагрязнение воды.** В схему полной очистки воды с конечным озонированием, показанную на рис. 20.22, вносят следующие дополнения:

вводят контактный резервуар, в который возвращается вода, предварительно хлорированная за точкой перелома;

добавляют, если необходимо, активный уголь в осветлитель со взвешенным слоем типа «Пульсатор»;

вводят вторую стадию — фильтрование после озонирования; на рис. 20.23 показана система, применяемая как вторая стадия на очистной станции в Морсане.

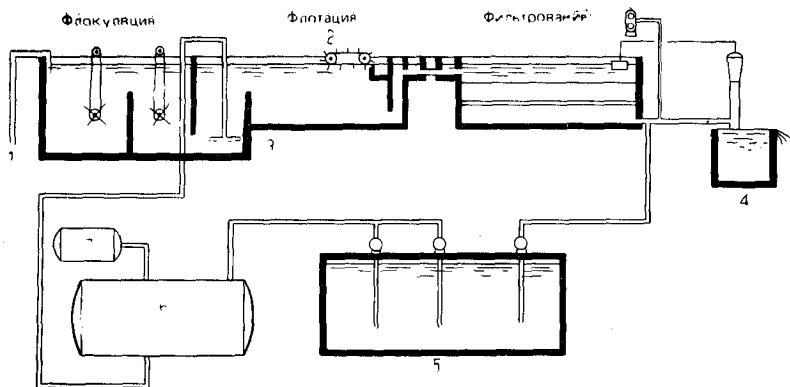


Рис. 20.20. Осветление с использованием флотации и фильтрования. Очистная станция в Гуингампе (Франция)

1 — поступающая необработанная вода; 2 — скребок для удаления пены; 3 — труба для ввода воды под давлением; 4 — выпуск очищенной воды; 5 — насосы для подачи воды в напорный резервуар и промывная вода для фильтров; 6 — напорный резервуар; 7 — воздушный компрессор

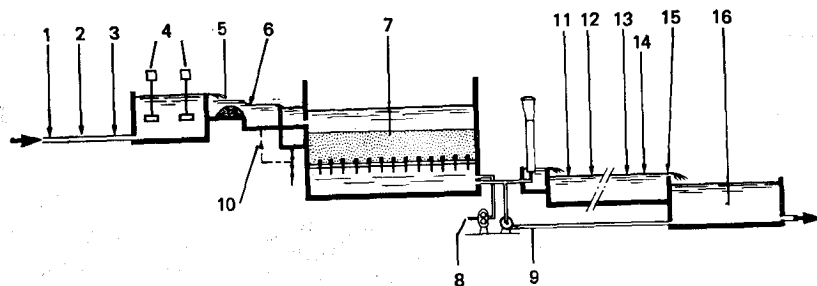


Рис. 20.21. Частичная коагуляция в открытых фильтрах на очистных сооружениях Майадахонда в Мадриде. Первая очередь производительностью 3,5 м<sup>3</sup>/с

1 — предварительное хлорирование; 2 — подача извести (если необходимо); 3 — подача коагулянта; 4 — высокоскоростные мешалки; 5 — расходомер сырой воды; 6 — ввод активной кремнекислоты; 7 — фильтры типа «Аквасер V» с сифонным контролем; 8 — продувка воздухом; 9 — промывная вода (если необходимо); 11 — корректировка pH с использованием извести; 12 — хлорирование; 13 — нейтрализация избытка хлора с использованием SO<sub>2</sub>; 14 — подача NH<sub>3</sub> (если необходимо); 15 — расходомер очищенной воды; 16 — резервуар для хранения очищенной воды

Дальнейшая полная очистка включает следующие стадии:  
 водозабор;  
 поступление в резервуар-накопитель;  
 окисление на загрузке, предназначенной для очистки воды, поступающей в резервуар-накопитель или непосредственно в осветлитель;  
 отстаивание;  
 окисление озоном после первичной обработки на песчаных фильтрах;  
 фильтрование через гранулированный активный уголь;

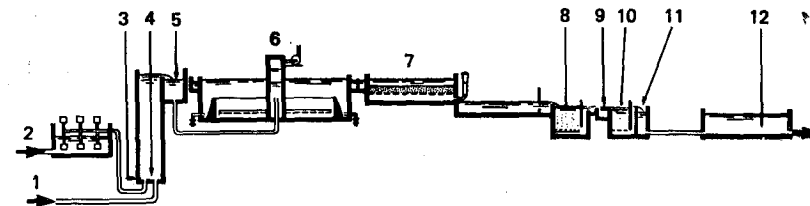


Рис. 20.22. Полный цикл очистки загрязненной воды, включая озонирование. Очистные сооружения в Лиможе. Производительность 3250 м<sup>3</sup>/ч

1 — самотечная подача сырой воды; 2 — подача сырой воды насосами; 3 — предварительное хлорирование; 4 — ввод извести; коагулянт и перманганат вводят, если необходимо; 5 — ввод активной кремнекислоты; 6 — осветлитель типа «Пульсатор»; 7 — фильтр «Аквасер T» с сифонным контролем; 8 — озонатор; 9 — ввод известковой воды; 10 — ввод CO<sub>2</sub>; 11 — хлорирование (если необходимо); 12 — емкость для хранения очищенной воды

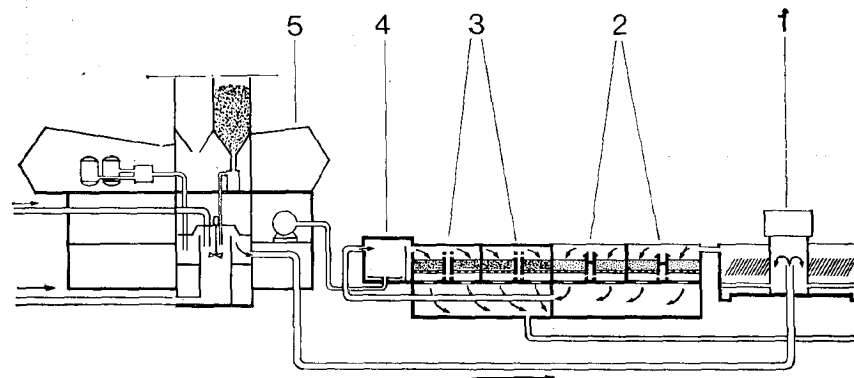


Рис. 20.23. Флокуляция и осветление в «Суперпульсаторе». Песчаный фильтр, дезинфекция озоном, фильтрование через активный уголь. Эта система применена на очистной станции второй очереди в Морсане, Франция. Производительность 150 000 м<sup>3</sup>/ч

1 — осветление и флокуляция; 2 — песчаный фильтр; 3 — фильтрование через активный уголь; 4 — дезинфекция озоном; 5 — управление работой станции

конечная дезинфекция озоном;  
 конечное хлорирование перед хранением и подачей потребителю.

Схема на рис. 20.25, представляющая очистную станцию в Бланкааре (Бельгия), показывает расположение сооружений при полной очистке. При необходимости можно исключить ряд процессов, которые не требуются постоянно. В схеме предусмотрен двухстадийный процесс озонирования с фильтрованием через активный уголь после первой стадии; это наиболее эффективный способ использования озона и активного угля для разрушения загрязнений и микрзагрязнений.

**В. Сильнозагрязненная вода.** Для очистки такой воды используют одну из двух описанных ниже систем в зависимости от количества и природы взвешенных в воде веществ.



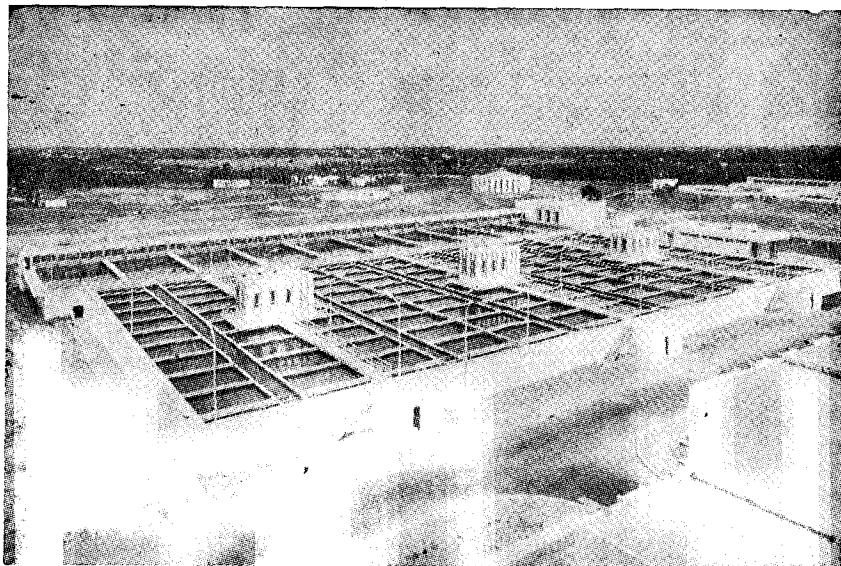


Рис. 20.24. Очистная станция в Бу-Регре (Марокко), имеющая в составе три осветлителя типа «Пульсатор» (45×19 м) и десять фильтров типа «Аквазер», площадь поверхности каждого 140 м<sup>2</sup>. Производительность 10 800 м<sup>3</sup>/ч

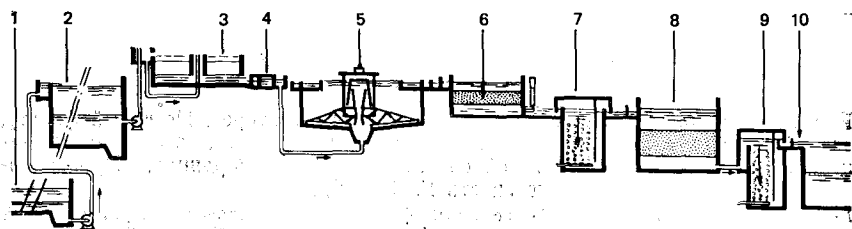


Рис. 20.25. Очистная станция в Бланкааре (Бельгия) с обработкой воды в контактном резервуаре, на окислительной загрузке, флокуляцией, осветлении, фильтрованием через песок, фильтрованием через гранулированный активный уголь, конечной дезинфекцией озоном и хлорированием

1 — ввод исходной воды и ее перекачка насосом; 2 — контактный и накопительный резервуар; 3 — окислительная загрузка; 4 — лоток Паршалля; 5 — осветлитель типа «Циркулятор»; 6 — удаление карбонатов (если необходимо); 7 — окисление озоном; 8 — фильтрование через гранулированный активный уголь; 9 — конечная дезинфекция озоном; 10 — конечное хлорирование

**В1. Одностадийное осветление.** На рис. 20.27 представлена станция для очистки воды, содержащей большое количество взвешенных веществ; это очистная станция в Багдаде, которая оборудована отстойниками скребкового типа (осветлитель с камерой хлопьеобразования).

Отстойники скребкового типа имеют встроенную внутри камеру хлопьеобразования, в которой происходит перемешивание

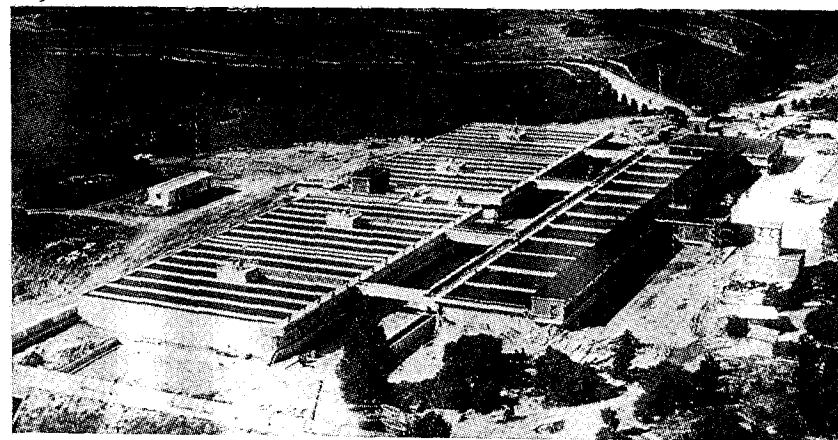


Рис. 20.26. Очистные водопроводные сооружения Сантьяна, снабжающие питьевой водой Мадрид. Производительность 14 400 м<sup>3</sup>/ч

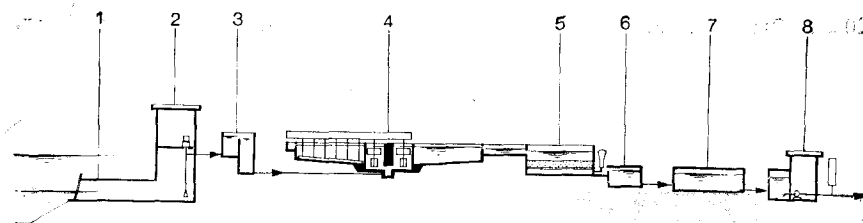


Рис. 20.27. Одностадийное осветление и фильтрование на очистной станции в Багдаде (Ирак). Производительность 15 800 м<sup>3</sup>/ч

1 — подача необработанной воды; 2 — насосная станция; 3 — предварительное хлорирование и ввод реагента; 4 — флокуляция-осветление в 10 осветлителях-флокуляторах скребкового типа; 5 — фильтры «Аквазер V»; 6 — дезинфекция; 7 — емкость для хранения очищенной воды; 8 — насосная станция для подачи очищенной воды

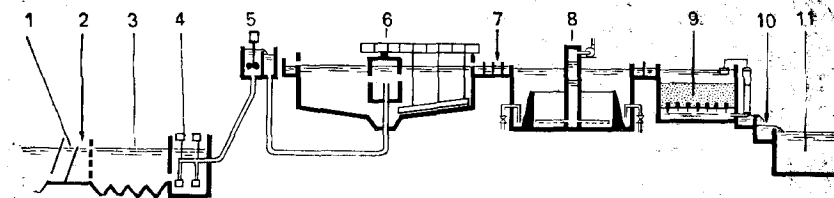
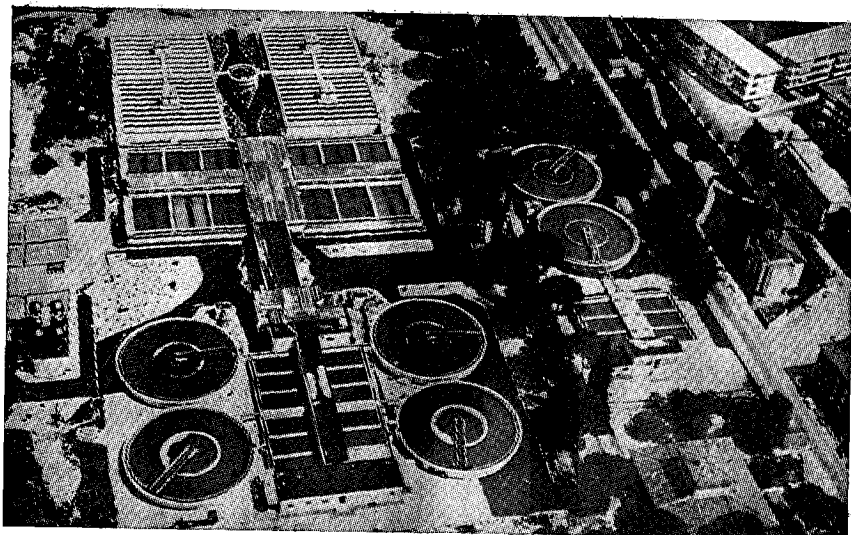


Рис. 20.28. Удаление песка, двухстадийное осветление и фильтрование на очистной станции в Кадараше

1 — ввод необработанной воды; 2 — предварительное хлорирование; 3 — удаление песка; 4 — насосная станция; 5 — первичный ввод коагулянта; 6 — первичное осветление; 7 — вторичный ввод коагулянта и добавок (если необходимо); 8 — вторичное осветление в «Пульсаторе»; 9 — фильтрование; 10 — дезинфекция; 11 — резервуар для хранения очищенной воды



20.29. Очистная станция во Флоренции (Италия). Производительность 16 200 м<sup>3</sup>/ч

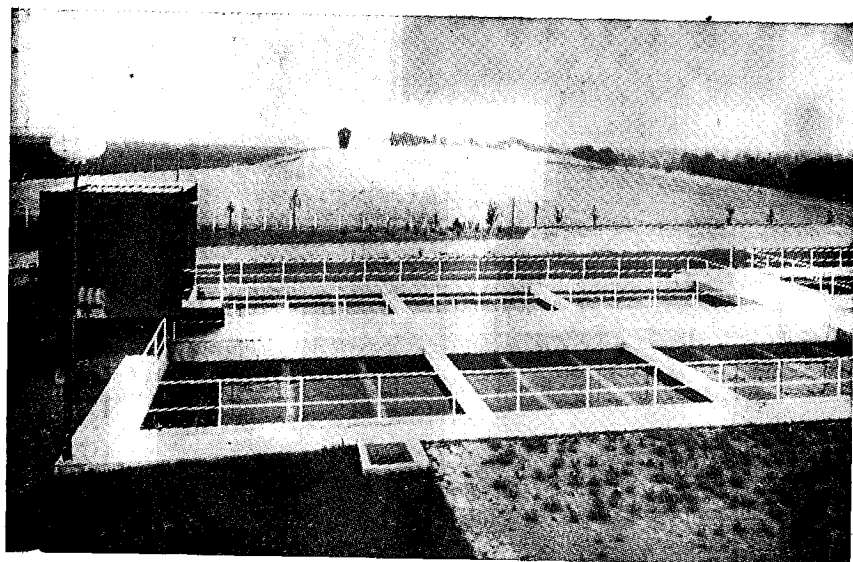


Рис. 20.30. Очистная станция в г. Каэн (Франция) для обработки воды из р. Орн. Производительность 2500 м<sup>3</sup>/ч

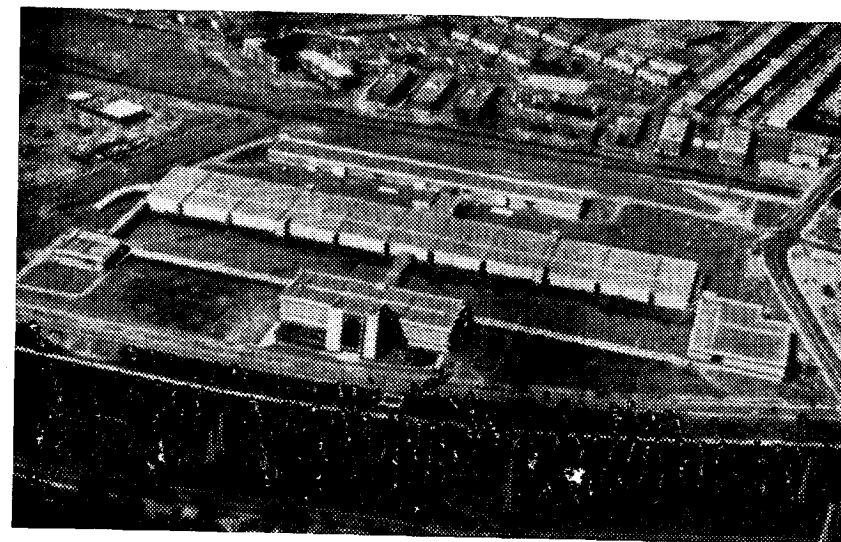


Рис. 20.31. Очистные сооружения Шарль де Байле в Монреале, Канада. Производительность 1 136 000 м<sup>3</sup>/сут

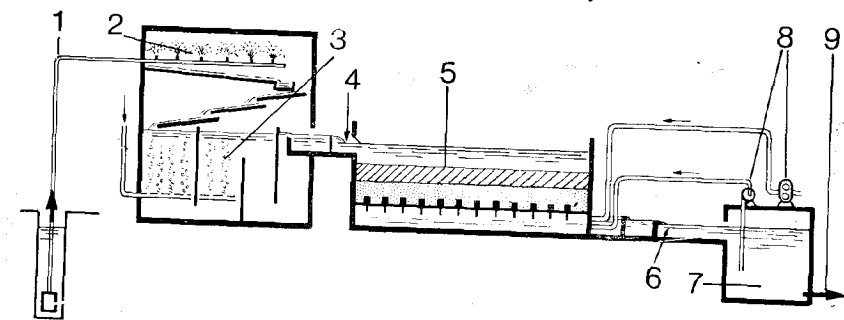


Рис. 20.32. Удаление CO<sub>2</sub> и марганца с использованием озонирования и фильтрования

1 — подача насосами воды на очистку; 2 — спринклеры; 3 — озонирование и удаление марганца; 4 — подача фильтрующих вспомогательных веществ; 5 — двухслойный фильтр; 6 — дезинфекция хлором; 7 — резервуар промывной воды; 8 — насос для промывной воды и воздуходувка; 9 — резервуар обработанной воды

с помощью лопаток. Камера хлопьеобразования может быть также расположена вне отстойника.

**В2. Двухстадийное осветление.** В воде, содержащей большое количество взвешенных веществ, часто присутствует песок; в таких случаях двойному отстаиванию и двойному фильтрованию должно предшествовать удаление песка.

Компоновка сооружений, показанная на рис. 20.28, фактически та же, что и на очистной станции в Кадараше, которая была построена, когда концентрация взвешенных веществ в воде р. Дюранс достигла максимальной величины — 10 г/л.

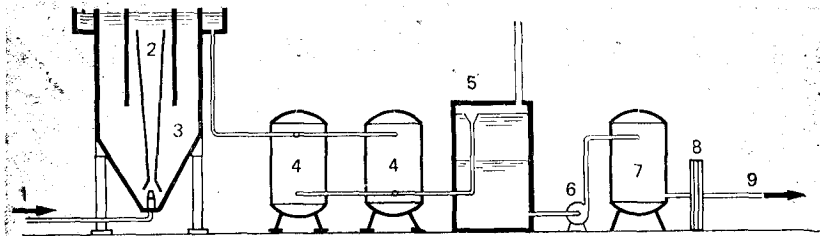


Рис. 20.33. Стандартные сооружения для очистки воды, используемой для производства газированных напитков

1 — подача необработанной воды, предварительное хлорирование; 2 — ввод коагулянта и извести; 3 — удаление карбонатов в «Циркуляторе»; 4 — песчаные фильтры; 5 — резервуар профильтрованной и промывной воды; 6 — промежуточный водоподъемный насос; 7 — фильтрование через уголь, удаление хлора; 8 — дополнительное фильтрование (если необходимо); 9 — выпуск воды под давлением

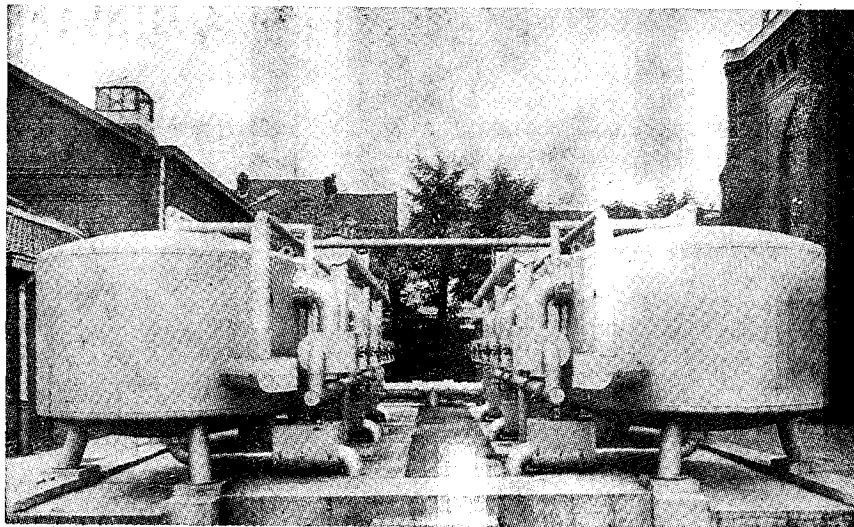


Рис. 20.34. Установка обезжелезивания, имеющая в составе две окислительные колонны и 12 напорных фильтров. Производительность 500 м<sup>3</sup>/ч. Насосная установка, Туркон (Франция)

**20.4.2.3. Очистка слабозагрязненных поверхностных и подземных вод.** В большинстве случаев из таких вод удаляют железо и марганец, уничтожают их цветность, а также подвергают эти воды нейтрализации и дезинфекции.

*Очистка под давлением.* Схема, показанная на рис. 20.5, включает классический способ аэрирования подземных вод, окисление соединений двухвалентного железа и удаление соединений трехвалентного железа путем фильтрования через песок. Этот метод применяется при низком содержании железа в воде.

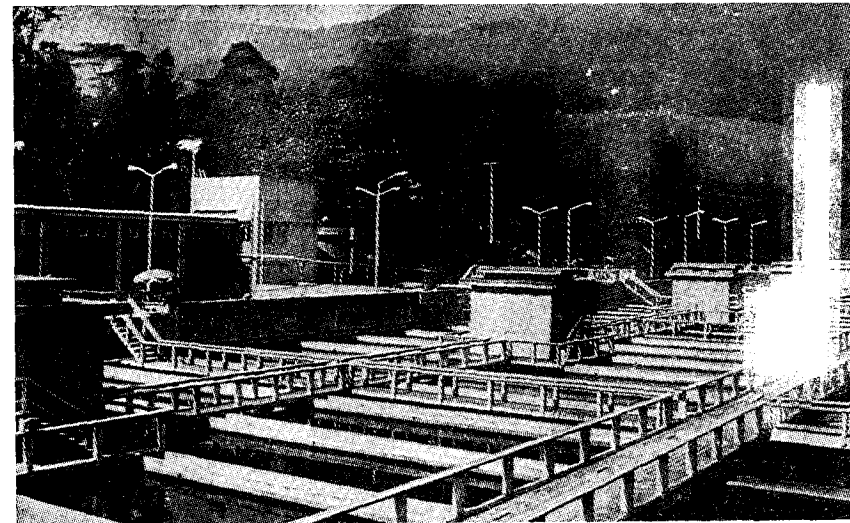


Рис. 20.35. Очистная станция, г. Медельин (Колумбия). Производительность 5000 м<sup>3</sup>/ч

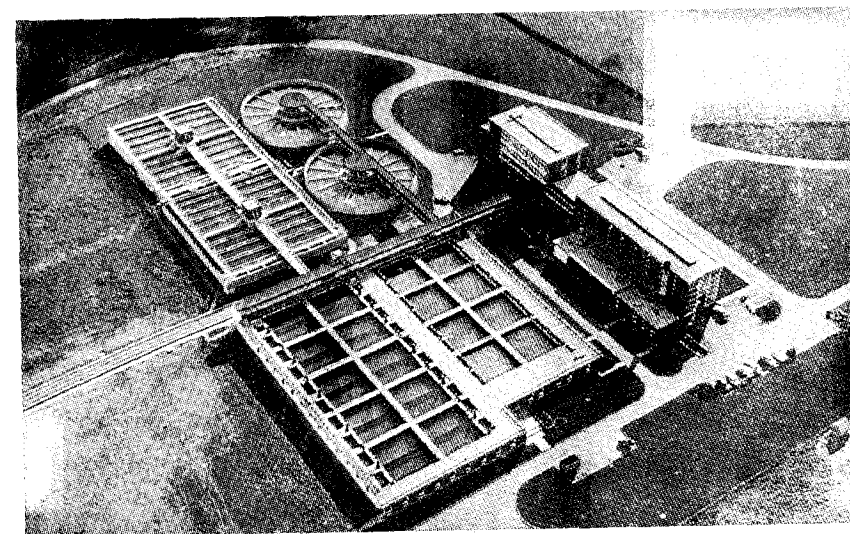


Рис. 20.36. Очистные водопроводные сооружения в Хемптон Лоуд (Великобритания). Производительность 3120 м<sup>3</sup>/ч

Дополнительно могут быть включены такие процессы, как предварительное хлорирование (для уничтожения бактерий), нейтрализация щелочным реагентом или с помощью окончательного фильтрования через нейтрализующее вещество, удаление

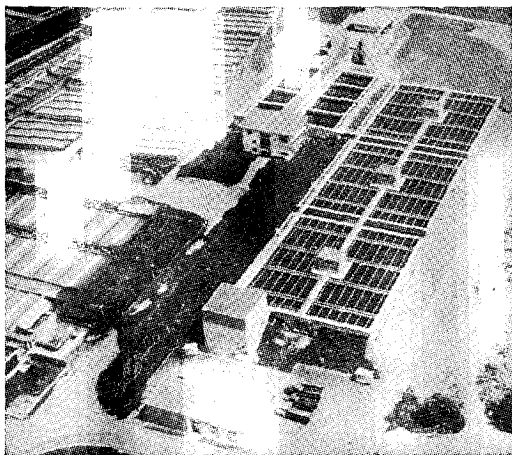


Рис. 20.37. Очистные сооружения Ла Рош в Нанте (Франция). Производительность 11700 м<sup>3</sup>/ч

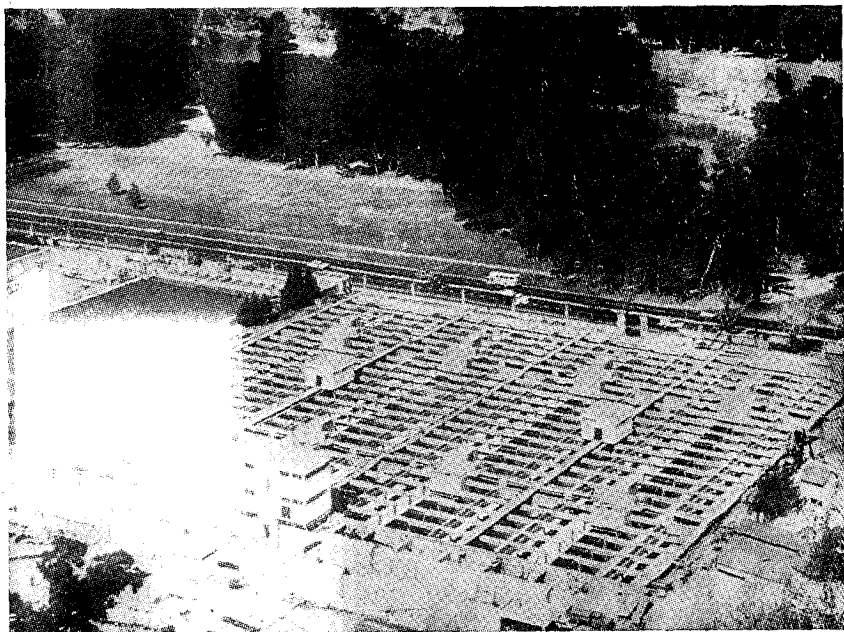


Рис. 20.38. Очистная водопроводная станция Сан Мартин Палермо II в Буэнос-Айресе (Аргентина). Производительность 36 000 м<sup>3</sup>/ч

марганца с помощью специальных глиноземистых веществ и фильтрование через гранулированный активный уголь для избавления от неприятных привкусов.

*Очистка в открытой емкости* используется, когда должно быть удалено большое количество диоксида углерода при большом расходе очищаемой воды или при очистке воды, которая требует осветления, озонирования и т. д.

На рис. 20.7, 20.8 и 20.32 показаны три наиболее распространенные схемы сооружений. Схема, представленная на рис. 20.7, включает разбрызгивание и фильтрование, используемые для удаления ограниченных количеств железа и марганца. На рис. 20.8 показаны аэрация, отстаивание и фильтрование, используемые при высоком содержании железа и марганца в воде или в тех случаях, когда железо и марганец находятся в воде вместе с другими загрязнениями, при наличии которых требуется осветление. Наконец, в последнюю схему (рис. 20.32) входят разбрызгивание, озонирование и фильтрование; эта схема используется, если в воде находятся только железо и марганец и имеется цветность, а взвешенные или органические вещества содержатся в небольших количествах.

В Шалоне-на-Саоне применяются двухслойные фильтры, которые особенно хорошо удовлетворяют требованиям удаления железа.

**20.4.2.4. Очистка воды для производства газированных напитков.** На рис. 20.33 показана схема станции, в которую включены такие процессы, как удаление карбонатов отстаиванием в присутствии очень высокой дозы хлора, фильтрование через песок, хранение фильтрованной воды с целью промывки фильтров и подъем насосом воды на последующую стадию фильтрования через гранулированный активный уголь; иногда используется дополнительное фильтрование для задержания любых мелких частиц активного угля.

## 21. ОЧИСТКА ВОДЫ ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

### 21.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Вода плавательных бассейнов почти всегда регенерируется в замкнутом цикле, т. е. загрязненная вода после соответствующей обработки возвращается в бассейн. Такая регенерация гораздо более экономична, чем непрерывное обновление воды и связанные с этим дополнительные расходы на охлаждение и подогрев. Регенерация воды дает экономию во времени, что в определенных случаях оказывается немаловажным.

Тем не менее, необходимо ежедневно вводить определенное количество чистой воды для возмещения потерь воды, происхо-



дящих по разным причинам, и уменьшения концентраций органических, неорганических и азотистых соединений, которые постоянно увеличиваются, если вода бассейна не пополняется.

В этой главе подробно рассматриваются общественные плавательные бассейны, но те же рекомендации могут быть применены и к частным бассейнам, а также к некоторым модификациям плавательных бассейнов на открытом воздухе, которые все чаще встречаются в местах отдыха. Бассейны на открытом воздухе значительно больше по размерам, чем общепринятые (стандартные) бассейны, но обычно они более мелкие из-за попыток искусственно создать природную окружающую среду, окаймленную, например, песчаными пляжами и т. д.

Очистные станции для воды плавательных бассейнов нужно проектировать так, чтобы были обеспечены санитарные условия, вместе с тем они должны соответствовать нормам, принятым в данной стране. В качестве примера рассмотрим французские рекомендации, которые могут быть применены в странах, где нет специальных норм.

## 21.2. ФРАНЦУЗСКИЕ НОРМЫ

Сооружение и эксплуатация общественных плавательных бассейнов регулируются нормами, которые недавно были введены взамен постановления от 13 июня 1969 г. Эти новые нормы включают ряд постановлений, связанных с безопасностью и гигиеной. В них установлены, в частности, бактериологические и физико-химические стандарты для воды плавательных бассейнов, регламентированы общее устройство плавательных бассейнов и их пропускная способность, а также рассмотрены вопросы, касающиеся очистки воды.

### 21.2.1. СКОРОСТЬ РЕЦИРКУЛЯЦИИ И ПОПОЛНЕНИЕ ЗАПАСОВ ВОДЫ

Приняты следующие скорости рециркуляции:

0,4 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> водной поверхности, если максимальное количество купающихся в данный период менее 1 чел. на 2 м<sup>2</sup> водной поверхности; оборот не должен превышать 4 ч;

0,5 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> водной поверхности, если максимальное количество купающихся в данный период больше или равно 1 чел. на 2 м<sup>2</sup> водной поверхности и менее или равно 1 чел. на 1 м<sup>2</sup>; время обмена воды не должно превышать 4 ч;

0,6 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> водной поверхности, если максимальное количество купающихся в данный период более 1 чел. на 1 м<sup>2</sup> водной поверхности или если глубина бассейна не превышает 1,3 м; время обмена воды не должно превышать 4 ч.

В бассейнах на открытом воздухе с площадью поверхности 2000 м<sup>2</sup> или более скорость потока принимают с таким расчетом,

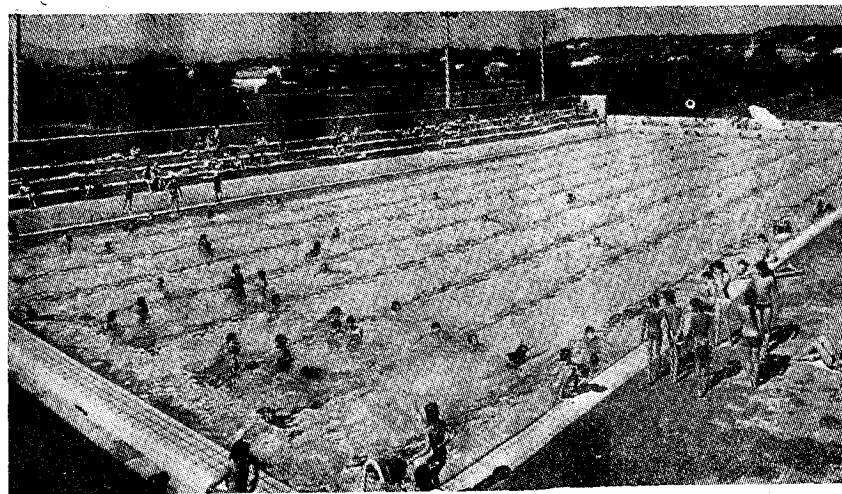


Рис. 21.1. Городской плавательный бассейн в Карпентрасе (Франция). Скорость регенерации воды 780 м<sup>3</sup>/ч

чтобы время обмена воды в бассейне было равно 4 ч. В бассейнах малой глубины устанавливают такую скорость потока, чтобы обмен воды происходил через 30—45 мин. В бассейнах для подводного плавания и в бассейнах для прыжков в воду нужно заменять воду через 10 ч. В комбинированных бассейнах, имеющих ванну как на открытом воздухе, так и в помещении и действующих в течение летнего периода, скорость рециркуляции на открытом воздухе должна быть не менее 0,6 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> поверхности воды, а для ванны, находящихся в помещении, она должна быть не ниже 0,3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> водной поверхности.

Зимой, когда бассейн на открытом воздухе закрыт, вода в закрытых бассейнах должна обмениваться в соответствии с общими стандартами, приведенными ранее.

Если максимальное количество купающихся в сутки вдвое превышает максимальное количество купающихся в каждый данный момент (утроенное количество рассматривать недопустимо) эти цифры надо увеличить в соотношении:

Максимальное количество купающихся в сутки

Удвоенное максимальное количество купающихся в данный момент

Тем не менее, рециркуляция воды может быть прервана на короткий период для очистки фильтров, когда бассейн все же открыт для посетителей.

Для обновления воды каждые сутки необходимо вводить определенное количество чистой воды из расчета 0,05 м<sup>3</sup> на каждого человека, посещающего бассейн в течение суток. Количе-

ство введенной чистой воды в течение месяца должно быть по меньшей мере равно объему воды в бассейне.

В бассейнах с морской водой суточный обмен должен включать часть пресной воды, чтобы компенсировать увеличение солености, вызываемой испарением.

Чистую воду нужно вводить с помощью оборудования, которое исключает контакт между циркулируемой в бассейне водой и водой в системе снабжения. Необходимо замерять расход вводимой ежесуточно чистой воды и скорость рециркуляции воды бассейна.

Кроме того, плавательные бассейны требуется раз в три месяца полностью осушать с целью очистки и полной замены воды.

### 21.2.2. ЦИРКУЛЯЦИЯ ВОДЫ

Важное нововведение в новых нормах касается направления, в котором вода циркулирует между бассейном и очистной станцией: менее половины рециркуляционной воды (или, если требуется, то вся) должно быть отведено с поверхности бассейна, а очищенная вода должна быть вновь введена у его дна.

С помощью системы, названной «обратной гидравликой», очищенная вода вводится в бассейн центральным каналом или системой отверстий, покрывающей дно бассейна. Загрязненная вода полностью отводится с поверхности с двух сторон или по всему периметру с помощью переливного желоба. Если только часть рециркулируемой воды (меньшая половина) забирается с поверхности, то система называется «смешанной гидравликой»: вода отводится частично с поверхности и частично со дна.

Эти системы применяют при максимальном количестве загрязнений в плавательной ванне, сосредоточенных на поверхности.

Еще до принятия правил, обязывающих операторов удалять воду со дна, фирма «Дегремон» строила бассейны, в которых вода циркулировала, как описано выше, а загрязненная вода отводилась с поверхности. Новая система, забирающая часть или всю воду с поверхности, должна быть тщательно запроектирована, в особенности сборные желоба, размещенные по всему периметру бассейна.

### 21.2.3. КАЧЕСТВО ВОДЫ В БАССЕЙНАХ

Вода плавательного бассейна должна удовлетворять следующим требованиям:

она должна быть прозрачной и просвечивающейся (мутность менее 5 капель растворимой смолы);

иметь величину рН = 7,2—7,8 при дезинфекции хлором и 7,5—8,2 при дезинфекции бромом;

содержать менее 4 мг/л органических веществ (в пересчете на кислород при кипячении с перманганатом калия в щелочной среде);

не содержать аммиака или азотистых солей;

содержание хлоридов не должно увеличиваться более чем на 200 мг/л по сравнению с чистой водой, которую подают в бассейн;

вода не должна содержать токсичных и других нежелательных веществ.

Кроме того, стандарты качества устанавливают максимально допустимое количество бактерий, характеризующих загрязнение (менее 20 колиформ на 100 мл, полное отсутствие *E. Coli*, менее 10 стафилококков, полное отсутствие патогенных стафилококков; должно быть не более 100 аэробных бактерий в 1 мл, вырастающих при температуре 37° С).

Воду необходимо дезинфицировать, при этом дезинфицирующее средство не должно раздражать слизистую оболочку. Воду в закрытых плавательных бассейнах подогревают до 25—27° С, а для бассейнов на открытом воздухе рекомендуется температура 23° С.

Лаборатория обязана контролировать качество воды бассейна, а данные анализов ежемесячно передают на рассмотрение в местные органы здравоохранения.

Необходимые приборы и реагенты для выполнения стандартных физико-химических анализов воды плавательных бассейнов рассмотрены в п. 27.3.

## 21.3. ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗАМКНУТОГО ОБОРОТА ВОДЫ ПЛАВАТЕЛЬНОГО БАССЕЙНА

Вся вода бассейна должна проходить через очистную станцию, прежде чем она будет снова введена в бассейн. Очистка состоит из двух стадий: фильтрации и дезинфекции. Технологические процессы очистки осуществляются в следующем порядке: предварительное фильтрование, перекачивание воды насосом, фильтрование, подогрев (если необходимо), дезинфекция.

Как упоминалось выше, сейчас во Франции требуется отводить по меньшей мере 50% рециркуляционной воды с поверхности бассейна, однако проще и экономичнее отвести всю воду с поверхности, а вновь очищенную воду вводить через дно бассейна.



### 21.3.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ФИЛЬТРОВАНИЕ. ПЕРЕКАЧИВАНИЕ ВОДЫ

Вода, собранная с поверхности желобами, расположенными вдоль стен бассейна, должна быть транспортирована в специальную емкость, которая снабжена всасывающими насосами, обеспечивающими рециркуляцию воды. Один или несколько предварительных фильтров устанавливают непосредственно перед насосом, предохраняя его от механических загрязнений, которые могут находиться в воде бассейна. Предварительный фильтр состоит из простого сита со съемной сеткой, которую можно легко осматривать и прочищать.

Число насосов и предварительных фильтров зависит от скорости рециркуляции и числа ванн в бассейне. Технические характеристики и оборудование нужно выбрать с учетом условий каждого бассейна.

### 21.3.2. ФИЛЬТРОВАНИЕ

**21.3.2.1. Песчаные фильтры.** Напорные песчаные фильтры применяют наиболее часто. Вследствие незначительной мутности воды возможно фильтрование с высокой скоростью (15—40 м/ч) и использование мелкозернистого песка. Фильтры, в которых для обратной промывки применяется вода, являются особенно подходящими.

Они бывают двух типов: стандартные фильтры, работающие при скорости 15—20 м/ч, и скорые фильтры (типа «Гиразер»), работающие со скоростью 40 м/с. Использование последних фильтров может значительно снизить стоимость бетонных работ на очистной станции. Обратная промывка фильтров выполняется при скорости 30—40 м/ч независимо от скорости фильтрования. Количество используемой промывной воды в нескольких циклах также не зависит от скорости фильтрования.

Тем не менее, выгодно использовать напорные фильтры, проектируемые с промывкой обратным потоком воды и воздушной очисткой; в этом случае промывка происходит быстрее, требуется только небольшой объем воды и труба небольшого диаметра, спускающая ее в канализацию. Максимальный расход промывной воды на 1 м<sup>2</sup> фильтра фактически приблизительно равен половине общего количества промывной воды.

Важно учитывать, что фильтрованием через песок без добавления каких-либо реагентов для коагулирования воды нельзя получить совершенно чистую воду. Этого легко можно достигнуть добавлением очень небольшой дозы сульфата алюминия, коагулирующего взвешенные коллоидные вещества, которые затем задерживаются в верхней части фильтра. Однако они могут полностью пройти через загрузку фильтра, если не принять мер предосторожности.

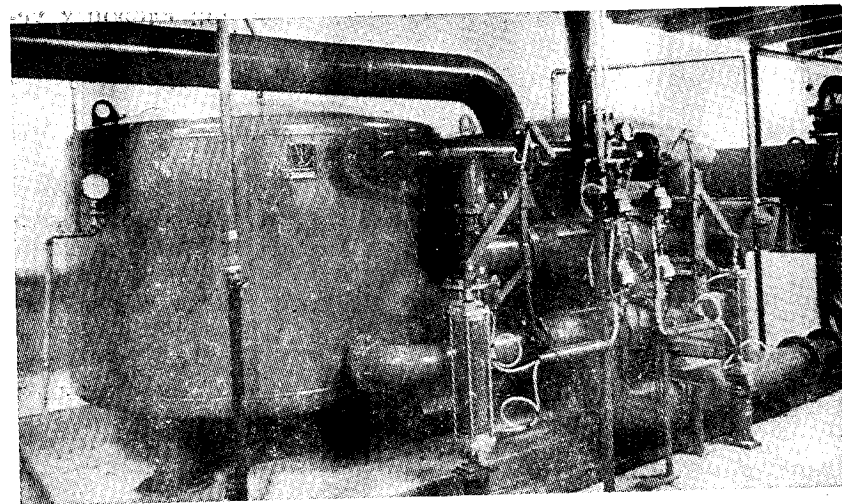


Рис. 21.2. Фильтрующая установка для очистки воды плавательных бассейнов, состоящая из двух фильтров «Гиразер» диаметром 2200 мм. Производительность 300 м<sup>3</sup>/ч

Если коагулянт не используют, то увеличивают количество добавляемого хлора (или какого-нибудь другого дезинфицирующего вещества), потому что хлор соединяется с веществами, которые не будут задержаны на фильтре при отсутствии коагулянта. Увеличение дозы дезинфектанта вредно, так как при этом повышается концентрация хлоридов и в то же самое время продуцируются хлорорганические соединения, присутствие которых всегда нежелательно.

Коагулянт вводят с помощью дозирующего насоса, тем же самым способом, что и карбонат натрия или кислоту, которые необходимы для регулирования значения pH.

**21.3.2.2. Диатомитовые фильтры.** Диатомитовые фильтры хорошо очищают воду, если скорость фильтрования ограничена 4 м/ч. Кроме того, качество воды зависит от способа получения намывного слоя, типа применяемого диатомитового вещества, а также от числа купающихся: если это число велико, то значительно возрастает риск чрезмерно быстрого фильтрования через диатомиты.

Скорость фильтрования может быть увеличена, если допускается использование менее чистой воды; частота промывок тесно связана с допусаемым уровнем загрязнений.

Основной недостаток фильтрования через диатомиты заключается в том, что фильтры быстро засоряются, как только в плавательном бассейне появляются микроскопические водоросли.

Необходимость часто заменять диатомиты при сложных условиях работы (большое число ванн, присутствие планктона и т. д.) в значительной степени увеличивает эксплуатационные расходы системы.

### 21.3.3. ДЕЗИНФЕКЦИЯ

Дезинфекция — очень важная стадия очистки. Она преследует как гигиенические, так и эстетические цели: предотвращает передачу инфекционных болезней и препятствует развитию микроскопических водорослей, которые делают воду мутной и придают ей зеленый оттенок.

Недостаточно очищенная вода плавательного бассейна может быть источником многочисленных болезней, из которых наиболее распространены следующие:

конъюнктивит, вызываемый вирусами;

синусит, тонзиллит и отит, которые появляются из-за наличия стрептококков и стафилококков, размножающихся в слизистой оболочке носа;

определенные формы кишечных заболеваний, возникающих из-за присутствия некоторых микробов или определенных форм вирусов, проглатываемых с водой;

некоторые кожные заболевания (экземы), возбудителями которых являются бактерии Коха;

случаи менингоэнцефалита, иногда со смертельным исходом, это заболевание вызывают амобы *Naegleria* (они разрушаются при действии свободного хлора или озона);

другие кожные заболевания (эпидермофитоз, появляющийся из-за грибов, которые прикрепляются к коже между пальцами, образование бородавок, вызываемых вирусами папилломы), которыми могут заразиться купальщики, когда прогуливаются по поверхности вокруг бассейна; поэтому очистка и дезинфекция последней необходима.

Во избежание инфекционных заболеваний вода должна обладать определенной остаточной дезинфицирующей способностью. Известно три распространенных способа дезинфекции.

**21.3.3.1. Использование хлора и его производных.** Применяется или газообразный хлор, распределяемый хлоратором из баллона со сжиженным хлором, или раствор гипохлорита натрия, распределяемый дозирующим насосом. Содержание свободного хлора в воде бассейна должно быть не менее 1 мг/л и не более 1,7 мг/л; общее содержание хлора не должно превышать содержания свободного хлора более чем на 0,6 мг/л.

Как уже было сказано, хлор наиболее широко используется как дезинфицирующее средство; он не вызывает неприятных ощущений, даже если используется в больших дозах при pH воды от 7,2 до 7,8. В этом интервале значений pH хлор дает максимальный эффект и вызывает минимальные раздражения,

если применяют его дозу, соответствующую точке перелома (см. гл. 15).

**21.3.3.2. Применение брома.** Средняя концентрация брома в воде бассейна должна быть не менее 0,8 мг/л, но ни при каких условиях не должна достигать 2,0 мг/л.

Преимущество брома заключается в том, что при его использовании очищенная вода оказывает меньшее раздражающее действие, чем при использовании хлора. Однако некоторые исследования показывают, что для должной дезинфекции необходима такая концентрация брома, при которой он вызывает не меньшее раздражение, чем хлор.

Если воду дезинфицируют бромом, то значение pH должно быть выше, чем при дезинфекции хлором; рекомендуется сохранять величину pH в пределах от 7,8 до 8,2.

**21.3.3.3. Применение озона.** Поскольку озон является самым сильным из известных дезинфицирующих средств, то его рекомендуют применять в особых случаях (присутствие амоб и т. д.). Озон придает воде привлекательный голубой цвет. Он не приводит к образованию веществ, раздражающих слизистую оболочку, и не придает воде ни привкуса, ни запаха при условии, что вода на входе в плавательный бассейн не содержит свободного озона. Вода плавательного бассейна, очищенная только озоном, быстрее загрязняется купальщиками из-за недостаточного содержания остаточного дезинфицирующего средства в воде. Поэтому после озонирования необходимо провести дополнительную дезинфекцию, добавляя, например, небольшую дозу хлора или хлорную известь.

Для получения озono-воздушной смеси используется сложное техническое оборудование. Производство озона требует энергии приблизительно 20 Вт·ч/м<sup>3</sup> рециркулируемой воды. Его дезинфицирующее действие на воду осуществляется в специальных контактных колоннах и должно быть завершено перед обратным вводом воды в плавательный бассейн.

Максимальное остаточное содержание озона после четырехминутного контакта озono-воздушной смеси с загрязненной водой должно составлять 0,4 мг/л. Чтобы не создавать неудобств для купающихся, необходимо полностью устранить остаточный озон перед обратным вводом воды в бассейн.

После удаления озона, как указано выше, необходимо добавить хлор или бром в дозах, достаточных для обеспечения их минимальных концентраций, указанных ранее. Следует отметить, что требуемые дозы хлора и брома в этом случае значительно меньше, чем без предварительного озонирования, и раздражающее действие хлора или брома значительно слабее.

Дезинфекция озоном требует относительно высоких капитальных расходов, но эксплуатационные расходы при этом невелики.

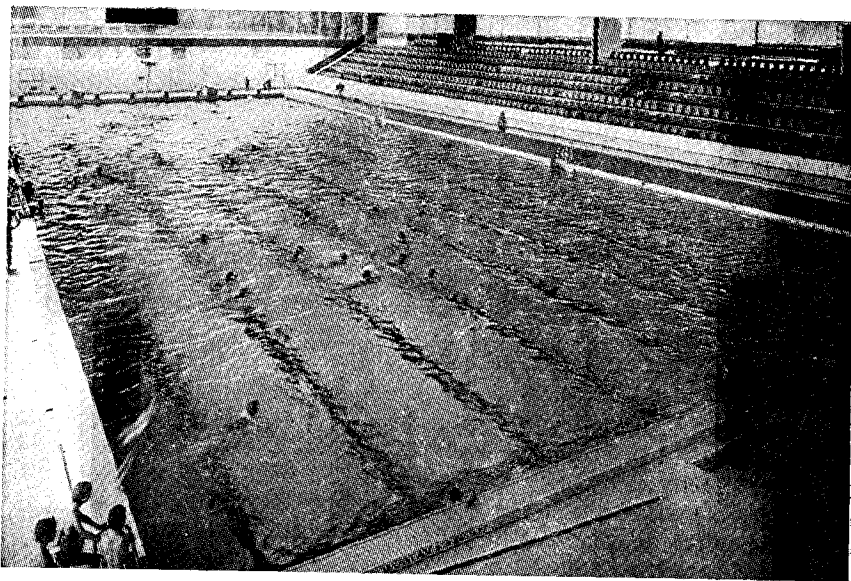


Рис. 21.3. Городской плавательный бассейн в Бордо (Франция). Скорость регенерации воды 815 м<sup>3</sup>/ч

**21.3.3.4. Другие способы.** Иногда используются другие дезинфицирующие средства, такие как диоксид хлора, иод, хлорамины, производные четвертичного аммония, ионы серебра, полученные электролитическим способом, хлорцианиды. Несмотря на то, что эти вещества используются для обработки воды, возникает много проблем, если их применяют в плавательных бассейнах, для которых они редко рекомендуются. Перед использованием любого из указанных веществ нужно проверить, разрешено ли их использование в данной стране. Некоторые страны (за исключением Франции) разрешают использование раствора гипохлорита кальция вместо гипохлорита натрия.

Дезинфицирующие средства, предназначенные для дополнительной дезинфекции плавательного бассейна, часто продаются в капсулах; при этом опять-таки необходимо контролировать, разрешено ли применение таких веществ.

**21.3.3.5. Разрушение водорослей.** В бассейне, снабжаемом водой из очистной станции, не будет происходить размножение водорослей, если станция хорошо спроектирована и правильно работает. Если, однако, водоросли все же обнаружены, для их уничтожения используют соли меди, иногда в сочетании с хлором, количество которого может быть затем уменьшено.

Раствор сульфата меди приготавливают из 10%-ного товарного порошкообразного продукта и вводят непосредственно вдоль борта бассейна, когда последний не используется для

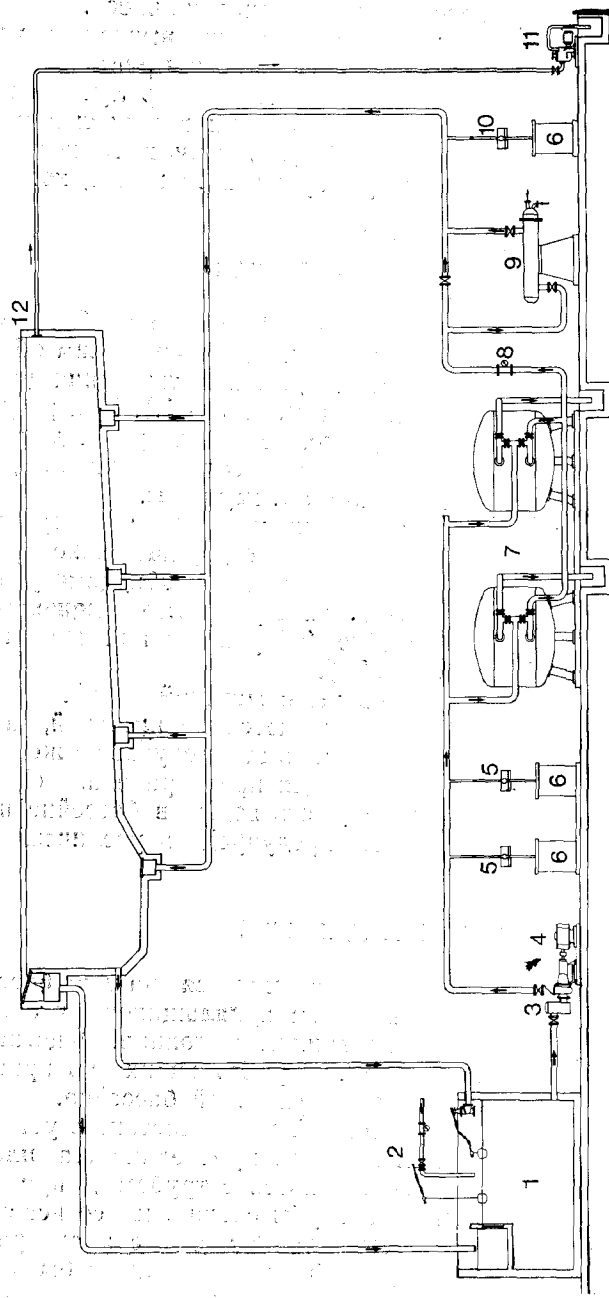


Рис. 21.4. Принцип регенерации воды плавательного бассейна в замкнутой цепи  
1 — резервуар для регенерации; 2 — бак подпиточной воды; 3 — предварительный фильтр; 4 — циркулирующий насос; 5 — дозирующие насосы для подачи реагента; 6 — бак с раствором реагентов; 7 — волюмер для очищенной воды; 9 — теплообменник; 10 — насос для подачи дезинфицирующих средств; 11 — насос для всасывающее устройство для очистки бассейна; 12 — насос

плавания. Доза составляет 250 г порошка (или даже 1 кг при сильном цветении воды бассейна) на 50 м<sup>3</sup> объема бассейна. Он распространяется по бассейну через несколько часов.

Количество сульфата меди можно также вычислить из нормы 1—2 г на 1 м<sup>3</sup> оборотной воды; для подачи раствора используется дозатор или дозирующий насос. Раствор лучше вводить периодически, что препятствует адаптации водорослей к нему.

Большие дозы хлора (около 20 г/м<sup>3</sup>) периодически вводят в воду бассейна, имеющую кислую среду, в то время, когда бассейн не используется.

#### 21.3.4. ОСОБЫЕ СЛУЧАИ

**21.3.4.1. Регулирование значения рН.** Часто необходимо регулировать значение рН рециркулирующей воды таким образом, чтобы достигнуть лучших условий для использования выбранного дезинфицирующего средства (см. п. 15.1.1.). При регулировании величины рН дозирующий насос используется для ввода щелочной соли (карбонат натрия) или соляной кислоты, разбавленной в 20 раз по отношению к объему воды.

**21.3.4.2. Удаление железа и марганца.** Вода, поступающая в плавательный бассейн, может иногда содержать некоторое количество железа и марганца. Эти вещества необходимо удалять, иначе они вызовут красноватые или черноватые отложения, появляющиеся на стенках бассейна (об удалении железа и марганца из природных вод см. гл. 20).

**21.3.4.3. Плавательные бассейны с морской водой.** Некоторые плавательные бассейны заполняются не питьевой, а морской водой. Принципы очистки воды в этом случае те же самые, однако необходимо принять меры для предохранения оборудования от коррозии. Кроме того, часть воды в бассейне нужно заменять питьевой водой, чтобы предупредить увеличение концентрации соли в воде.

#### 21.3.5. ЧИСТКА БАСЕЙНА

Ночью взвешенные вещества осаждаются на дно бассейна. Их нужно удалить перед прибытием купальщиков, чтобы они опять не оказались в суспендированном состоянии. Очистка осуществляется с помощью устройств, работающих по принципу пылесоса, но воздух здесь заменяется водой бассейна.

Простой и наиболее эффективный метод состоит в установке вдоль стен бассейна муфт, к которым присоединяется плавающий гибкий рукав. Муфты соединяются с трубами, проложенными по периметру бассейна, а трубы соединены со всасывающим трубопроводом насоса, смонтированного с предварительным фильтром. Этот электрический насос должен быть полностью отделен от рециркулирующих насосов, которые неспо-

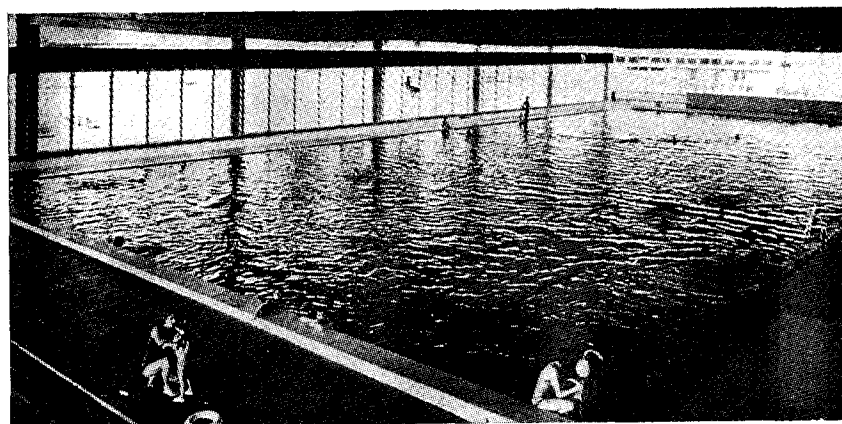


Рис. 21.5. Городской плавательный бассейн в Тарбе (Франция). Скорость регенерации воды 800 м<sup>3</sup>/ч

собны создавать достаточный вакуум для легкого засасывания загрязнений.

Можно также использовать небольшую насосную установку, установленную на вагонетке и смонтированную с предварительным фильтром; к установке присоединяется гибкий всасывающий рукав. Для очистки всей площади поверхности бассейна установку передвигают вдоль борта бассейна. Если в этой насосной установке используется электрический двигатель, то в каждой стране для него устанавливают свое напряжение. Во Франции применяется низкое (220/230 В) или очень низкое (24/48 В) напряжение. Электрическое соединение осуществляется через патрон, расположенный за пределами бассейна, предпочтительно в ближайшем помещении, недоступном для купающихся.

Иногда разрешается в бассейнах на открытом воздухе использовать бензиновый двигатель.

Плавательный бассейн можно очищать с помощью погружного насоса, питаемого током низкого или очень низкого напряжения. Вода, забранная из бассейна с помощью плавающего рукава, возвращается в бассейн после ее пропускания через нейлоновый мешок или через патрон фильтра, которые задерживают часть загрязнений.

## 22. ОЧИСТКА ВОДЫ ДЛЯ КОТЛОВ И СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

### 22.1. ВОДА ДЛЯ КОТЛОВ

#### 22.1.1. КАЧЕСТВО ВОДЫ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ВОДЯНЫХ КОТЛОВ

**22.1.1.1. Схема водяного котла.** Для всех типов котлов циркулирующая вода может быть охарактеризована следующим образом. Котел получает питательную воду, которая содержит в различных пропорциях регенерированный конденсат (или «возвратную воду»), и свежую воду, которая очищена в различной степени и называется подпиточной водой.

Вода превращается в пар, который выпускается из котла. Предполагается, что пар состоит только из молекул воды, однако на самом деле он часто содержит капли жидкости, унесенной паром, или газы (в частности, углекислый газ, образованный при разложении карбонатов), а при высоком давлении с паром уносятся такие летучие соли, как хлориды и силикаты.

Вода, остающаяся в жидкой форме на дне котла, содержит все вещества, оставшиеся после испарения. Следовательно, в оставшейся жидкости концентрация примесей увеличивается, если котел систематически не «продувается», т. е. если часть воды из котла не сбрасывается в канализацию.

Описанные выше особенности необходимо постоянно иметь в виду, чтобы соблюдать все правила очистки котловой воды и отвода пара и загрязнений.

Допуская, что котел работает непрерывно, а минерализация за счет пара незначительна, примем, что солесодержание воды будет в постоянном равновесии, если масса солей, выводимых из котла в канализацию, равна массе солей, вводимых с подпиточной водой (конденсированная вода рассматривается как чистая). Равновесное состояние может быть выражено уравнением

$$Q_1 C_1 = q C_2,$$

где  $Q_1$  — расход подпиточной воды с концентрацией  $C_1$ ;  $q$  — расход сбрасываемой воды;  $C_2$  — солесодержание воды в котле.

Отсюда

$$C_2 = C_1 \frac{Q_1}{q}.$$

Солесодержание подпиточной воды в котле определяется отношением расхода подпиточной воды к расходу спускаемой воды.

Если пар расходуется целиком, то проблема заключается не только в очистке нескольких кубических метров подпиточной воды в час, а в очистке образующегося пара в объеме  $T$  в час.

Следует принять во внимание, что  $Q_1 = T + q$ . Соотношение концентраций, или концентрационный коэффициент, выражается уравнением

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{T + q}{q}.$$

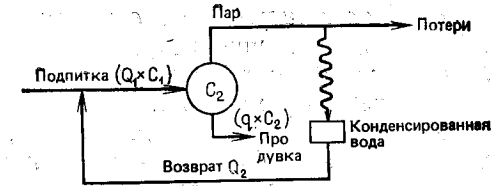


Рис. 22.1.

Допускаемый процент продувки установки строго ограничивается эксплуатационными и капитальными затратами. Прилагаются постоянные усилия для экономии энергии и снижения указанного процента до минимума. Современные методы очистки определяются этими расчетами и стандартами чистоты жидкой и газообразной (пар) фаз.

**Ядерные паровые котлы и котлы с принудительной циркуляцией.** Ядерные паровые котлы, используемые в современных реакторах, не имеют камеры или другого оборудования для отвода воды, и поэтому все загрязнения, растворенные в поступающей воде, находятся на поверхности воды в котле или в пару. Следовательно, приведенный выше метод расчета уже не имеет смысла; необходимо ограничить уровень веществ, содержащихся в воде, до такой степени, которая обеспечит допустимый уровень этих веществ в образующемся пару.

Сказанное выше относится также ко всем котлам с принудительной циркуляцией, которые используются в химической промышленности и известны как регенерирующие котлы, если они не имеют специальных устройств для отвода воды.

#### 22.1.1.2. Трудности, вызываемые присутствием загрязнений в воде.

**А. Образование накипи** вследствие отложения кристаллических осадков на стенках котла, которое препятствует теплопередаче и способствует образованию участков с очень высокой температурой, что вызывает местный перегрев.

Накипь в основном образуется из-за присутствия в воде карбонатов или сульфатов кальция, которые при высокой температуре менее растворимы, чем при низкой, или вследствие очень высоких концентраций кремнекислоты по отношению к щелочности воды в котле.

**Б. Унос воды паром**, в результате которого происходит перенос различного количества капель воды с паром. Это уменьшает отдачу энергии паром и приводит к отложению кристаллов солей на пароперегревателе и турбинах.

Унос воды паром определяется вязкостью воды и ее способностью к пенообразованию. Эти свойства регулируются щелочностью, присутствием органических веществ и общим солесодержанием. Степень уноса воды паром также зависит от конструкции котла и его производительности.

*В. Унос минеральных веществ* насыщенным паром, среди которых наибольшие неприятности доставляет кремнекислота. Минеральные вещества осаждаются на лопатках турбины и вызывают серьезные аварии.

Унос увеличивается с давлением, а следовательно, и с температурой. Он зависит также от количества присутствующих в камере вредных веществ, таких, как кремнекислота.

*Г. Коррозия*, которая может происходить в результате воздействия растворенного кислорода, под действием коррозионных токов, возникающих между различными металлическими поверхностями, или же вследствие разрушения железа водой. Известны следующие основные способы борьбы с коррозией: обескислороживание воды, покрытие листов металла слоем магнетита или фосфатов и регулирование величины рН.

Как мы увидим ниже, в технике очистки воды используют следующие методы:

предварительная очистка подпиточной воды и очистка конденсата;

физическое или химическое удаление кислорода;

кондиционирование циркуляционной воды и конденсата.

Перед применением любого метода необходимо установить, какое количество различных вредных веществ можно ввести в котел без риска повреждения котла или турбины.

Исходя из этих данных, определяют количество вредных веществ, которое следует удалить продувкой, и допустимую концентрацию примесей в подпиточной воде.

**22.1.1.3. Стандарты для воды, используемой на парогенераторных станциях.** В прежних изданиях справочника были помещены таблицы стандартов для котловой воды в соответствии с рабочим давлением и типом котла. В связи с тем, что сейчас существует тенденция к созданию и применению котлов с увеличенной скоростью переноса тепла через поверхность нагрева, такой метод классификации часто бывает ошибочным. Здесь можно только указать для сравнительно широкой группы веществ — щелочей, солей, кремнезема, фосфатов и т. д. — максимальные их концентрации в зависимости от рабочего давления. Фактические уровни допустимого количества примесей должны быть получены при необходимости от завода-изготовителя котла.

Наиболее спорным является максимальный уровень NaOH, который уменьшается с увеличением скорости парообразования на 1 м<sup>2</sup> трубы, но в котлах низкого и среднего давления может быть увеличен, если принимают меры против уноса воды паром.

В табл. 22.1 показаны максимальные и минимальные допустимые значения показателей состава воды при давлении до 10 МПа при средних скоростях парообразования.

Табл. 22.1 показывает, что вода котлов всегда должна быть доведена до нулевой жесткости. Для воды котлов, работающих

ТАБЛИЦА 22.1. ТРЕБУЕМЫЕ СТАНДАРТЫ ДЛЯ КОТЛОВОЙ ВОДЫ

Показатель	Рабочее давление, МПа					
	<1,5	1,5—3,0	3,0—4,5	4,5—7,5	7,5—10	
рН при 25°С	максимум	11,5—12	11,5—12	11—11,5	11	10,8
	минимум	10,5—11	10,5—11	10,4—11	10,3—10,8	10,0—10,5
ОЩ, мг-экв/л	максимум	12—28	8—20	5—9	3—6	0,8—3,0
	минимум	4—5	2—4	2—4	1—1,4	—
ОС, г/л,	максимум	2—4	2—3	1,5—2	0,5—1	0,1—0,5
NaOH, мг/л,	максимум	250—700	200—500	120—250	50—150	15—50
SiO <sub>2</sub> , мг/л,	максимум	100—300	50—150	25—60	10—30	2—5
SiO <sub>2</sub> , мг/л	максимум	8,3—10,7	6,2—7,5	5,0—6,6	3,3—5,0	2,5—1,7
ОЩ, мг-экв/л						
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , мг/л	минимум	50	50	50	20—40	10—20
	максимум	—	—	120—250	50—150	20—50
Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , мг/л	минимум	—	—	—	1	1
NaOH, мг/л						

под давлением более 10 МПа, тест «Комплексон» на щелочно-земельные металлы должен быть отрицательным.

Последние данные об испарении растворенных солей обусловили снижение допустимого предела кремнекислоты для котлов очень высокого давления. Для таких котлов, устанавливаемых фирмой «Электрисите де Франс», содержание кремнекислоты ограничено до 300 мкг/л, и для изъятия коллоидной кремнекислоты вода фильтруется через микропористую загрузку.

В случае мощных и сверхмощных котлов содержание растворенных солей должно быть снижено до минимума, что приведет к полному исключению фосфатной обработки.

Для котлов высокого давления и сверхмощных котлов содержание и общая щелочность должны быть низкими.

Фактически очистка подпиточной воды теперь включает деминерализацию в ионообменнике; необходимое количество воды с очень низким содержанием кремнекислоты можно получить только тогда, когда общее солесодержание уменьшается до доли миллиграмма на литр. В этих условиях общая щелочность и



ТАБЛИЦА 22.2

Элемент	ПДК, мг/л, при рабочем давлении, МПа		
	<4	4—7	7—14
Железо	0,1	0,05	0,01
Медь	0,05	0,05	0,005
Кислород	0,007	0,007	0,007

общее солесодержание котловой воды также определяются кондиционированием воды.

Ограничения налагаются также и на другие элементы, такие как железо, медь и кислород, которые вызывают коррозионные явления. В 1969 г. Бабкок и Вилкокс (США) опубликовали таблицу, касающуюся котловой воды для стандартных котлов (табл. 22.2).

Стандарты для ядерных генераторов любого давления более жесткие, чем приведенные в этой таблице.

**22.1.1.4. Трудности, вызываемые присутствием загрязнений в конденсатах.** Перед установкой мощных котлов, генераторов с принудительной циркуляцией и ядерных генераторов обычно принимают во внимание загрязнения, вводимые в котловую воду с конденсатами. В тех случаях, когда это не делается, выполняется надлежащая очистка подпиточной воды.

Пока не имеется точных стандартов относительно содержания таких веществ, как продукты коррозии (оксиды железа или меди), растворенные соли от конденсатора, пропускающего воду через неплотности, или относительно случайных загрязнений пара (углеводороды), используемого в схеме отопления; количества этих загрязнений в питательной воде часто превышают допустимые значения.

Далее будут рассмотрены основные способы очистки конденсатов от упомянутых выше загрязнений.

Конденсаты могут вызвать коррозию в цепи, в которой они циркулируют, из-за присутствия в конденсатах диоксида углерода или веществ, унесенных паром. В этом случае они должны подвергаться соответствующей очистке.

## 22.1.2. ОЧИСТКА И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ

Очистка подпиточной воды и кондиционирование котловой воды предназначены для того, чтобы избежать трудностей при эксплуатации и обеспечить удовлетворение требованиям завода — изготовителя котлов. Методы кондиционирования связаны с процессами очистки, и наоборот. Как правило, чем полнее осуществляется процесс очистки, тем в меньшей степени необходимо кондиционирование.

**22.1.2.1. Удаление карбонатов и процессы умягчения.** Как уже упоминалось, воду, которая не будет должным образом умягчена, нельзя использовать для котлов.

Подпиточную воду обрабатывают с помощью ионообменных смол, в результате чего общая жесткость снижается почти до нуля.

При очень низких давлениях используется иногда прямое умягчение (катионообменник регенерируется хлоридом натрия), а при высоких — только процесс деминерализации. При средних давлениях удаление карбонатов (и, если необходимо, кремниескислоты) сочетают с различными способами умягчения воды.

В настоящее время используют следующие основные процессы: известковый процесс на холоду для удаления карбонатов, сопровождаемый умягчением, с необязательным удалением силикатов посредством хлорида трехвалентного железа и алюмината (см. п. 6.1.1.1);

процесс с известью для удаления карбонатов при нагревании (при 95—110°C), сопровождаемый умягчением (см. п. 6.2.2);

удаление карбонатов с помощью карбоксилкатионообменника, сопровождаемое умягчением, с последующей декарбонизацией;

удаление карбонатов в смешанном ионообменном процессе и умягчение воды. Этот процесс известен под названием «водород-натрий процесса» (сейчас он используется редко, так как существует опасность наличия в котле кислой воды, если система смешения неисправна).

Данные, получаемые в результате применения указанных способов, приведены в табл. 22.3.

ТАБЛИЦА 22.3. РЕЗУЛЬТАТЫ, ОЖИДАЕМЫЕ ПРИ УДАЛЕНИИ КАРБОНАТОВ И УМЯГЧЕНИИ

Процесс	$Щ_{ср}$ , мг-экв/л	$ОЩ$ , мг-экв/л	$ОС$ , мг-экв/л	pH	SiO <sub>2</sub> , мг/л
Очистка с известью и FeCl <sub>3</sub> на холоду и умягчение	0,1—0,4	0,4—0,8	$ОС_1 - ОЩ_1 + (0,6 \div 1,2)$	8,5—10	Не изменяется
То же + алюминат натрия	0,1—0,4	0,4—0,8	$ОС_1 - ОЩ_1 + (0,6 \div 1,2)$	8,5—10	2,0—5,0
Очистка при нагревании с известью и окисью магния + умягчение	0,2—0,3	0,4—0,5	$ОС_1 - ОЩ_1 + (0,4 \div 0,5)$	8,5—10	1—2
		0,2—0,6 без корректировки pH	$ОС_1 - ОЩ_1 + (0,2 \div 0,6)$	6—7 без корректировки	Не изменяется
H-Na процесс	0	0,4—1,0 без корректировки pH	$ОС_1 - ОЩ_1 + (0,4 \div 1,0)$ без корректировки pH	7,5—8,5 с корректировкой	

Примечания: 1.  $ОС_1$  — общее солесодержание обрабатываемой воды;  $ОЩ_1$  — общая щелочность обрабатываемой воды. 2. Если минимальная величина  $ОЩ$  не дает требуемого соотношения SiO<sub>2</sub>/ОЩ, то необходимо сделать корректировку для достижения соответствующего соотношения между содержанием кремниескислоты и щелочностью котловой воды.

Все эти процессы должны сопровождаться физическим (деаэрация, см. п. 13.2.4) или химическим (см. п. 14.2.4) удалением кислорода и кондиционированием.

*Кондиционирование после удаления карбонатов и умягчения.* Все упомянутые выше процессы позволяют получить подпиточную воду с очень малым количеством кальция. Поэтому кондиционирование воды целесообразно выполнять после такой обработки с применением веществ, препятствующих образованию накипи, т. е. диспергаторов (см. п. 14.2.3.). Для этого желательно использовать окислительно-восстановительные агенты (см. п. 14.2.4), природа и количество которых зависят от доступных способов термической деаэрации. Чтобы в процессе такой частичной очистки получить пар достаточной и постоянной чистоты, рекомендуется использовать вещества, мешающие уносу воды паром.

В котле все бикарбонаты и некоторые карбонаты диссоциируют, выделяя углекислый газ. Как только вода начинает конденсироваться, углекислый газ растворяется в ней и придает ей коррозионный характер. Эта трудность преодолима при использовании летучих аминов, нейтрализующих воду или образующих на ней защитную пленку (см. п. 14.2.5).

*Компоновка установок для удаления карбонатов и умягчения.* На рис. 22.2 и 22.3 приведены некоторые примеры схем установок для очистки котловой воды.

В состав этих установок входят фильтры, дозаторы реагентов, ионообменники и т. д., описанные в других главах книги.

**22.1.2.2. Общая деионизация подпиточной воды котла.** Если рассмотренные выше процессы не дают возможности достичь требуемого качества воды, то подпиточная вода должна быть деионизирована.

Как уже было показано в гл. 10, вода после полной деионизации содержит незначительный сухой остаток, и степень очистки зависит от сочетания групп ионообменников. Для того чтобы обеспечить необходимые остаточные уровни примесей, зависящие от давления и типа котла, общего солесодержания (выраженного через удельное сопротивление очищенной воды) и содержания кремнекислоты, в подпиточной воде необходимо использовать один из трех следующих процессов очистки.

1. Деионизация с однократным пропуском воды через катионо- и анионообменник с прямоточной регенерацией. В зависимости от типа воды и скорости регенерации будут получены удельные сопротивления от 100 000 ом·см до 1 Мом·см и содержание кремнекислоты от 50 до 200 мкг/л.

2. Деионизация с однократным пропуском воды через катионо- и анионообменник (можно через слои загрузки, расположенные один над другим) с противоточной регенерацией. Получают удельные сопротивления от 500 000 ом·см до 5 Мом·см и содержание кремнекислоты от 20 до 100 мкг/л.

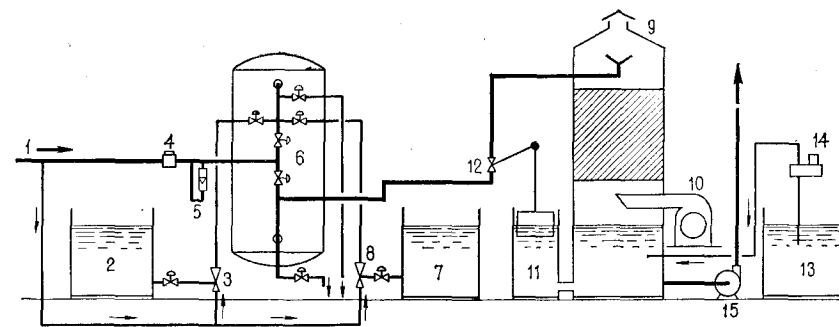


Рис. 22.2. Холодный процесс декарбонизации и умягчения с использованием сульфокарбоксильной ионообменной смолы

1 — ввод необработанной воды; 2 — резервуар с раствором; 3 — ввод раствора; 4 — водомер; 5 — расходомер; 6 — ионообменный фильтр; 7 — резервуар с кислотой; 8 — ввод кислоты; 9 — удаление  $\text{CO}_2$ ; 10 — вентилятор; 11 — резервуар для регулирования уровня; 12 — задвижка для регулирования уровня; 13 — резервуар с каустической содой; 14 — питательный насос для корректировки pH; 15 — водоподъемный насос для очищенной воды

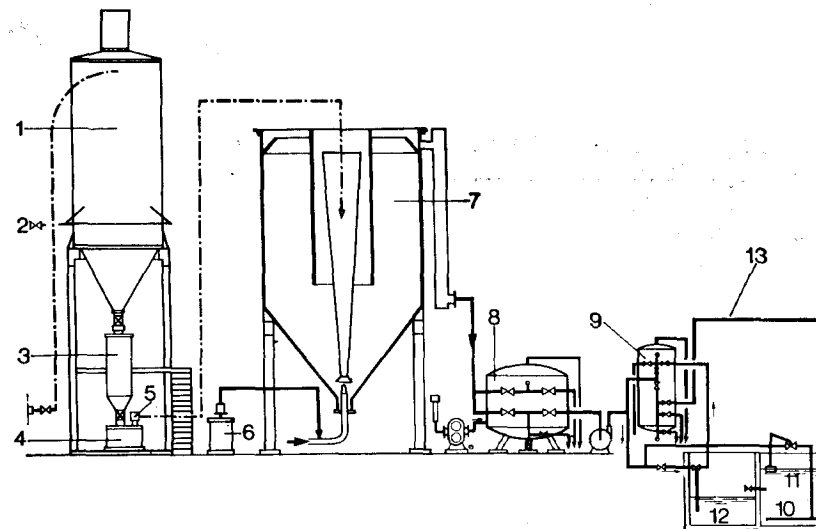


Рис. 22.3. Холодный процесс декарбонизации и умягчения

1 — бункер для хранения известия; 2 — воздух для псевдооживления; 3 — дозатор известия; 4 — растворный бак известия; 5 — насос подачи известкового молока; 6 — дозатор коагулянта; 7 — осветлитель типа «Циркулятор»; 8 — песчаный фильтр, промываемый водой и воздухом; 9 — камеры для умягчения воды; 10 — соль; 11 — резервуар для хранения соли; 12 — мерный бак для раствора; 13 — выпуск обработанной воды

3. Двухступенчатая деионизация на катионо- и анионообменниках (раздельные или смешанные слои загрузки). В этом случае удельное сопротивление находится в пределах от 1 до 20 Мом·см, а содержание кремнекислоты — от 10 до 100 мкг/л.

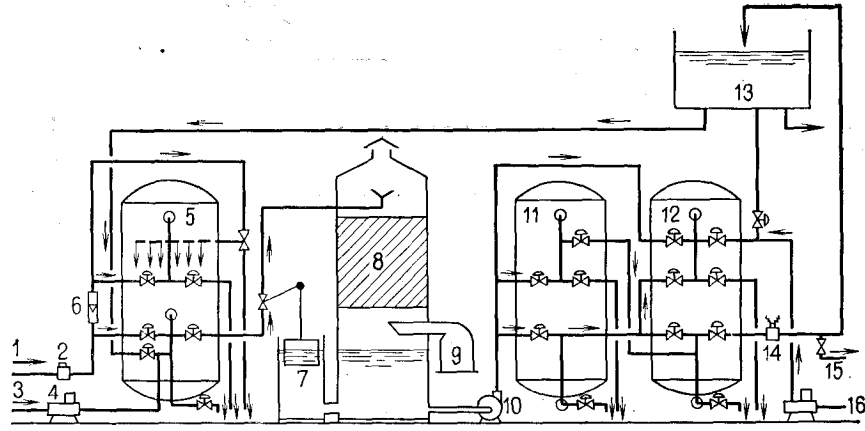


Рис. 22.4. Схема установки по деионизации воды

1 — подача необработанной воды; 2 — водомер; 3 — ввод кислоты; 4 — дозирующий насос; 5 — катионообменная смола, регенерируемая по методу противотока; 6 — расходомер; 7 — резервуар с регулируемым уровнем; 8 — удаление  $\text{CO}_2$ ; 9 — вентилятор; 10 — водоподъемный насос; 11 — слабоосновный анионит; 12 — сильноосновный анионит; 13 — резервуар для умягчения воды; 14 — прибор для измерения удельного сопротивления; 15 — отбор проб для определения диоксида кремния; 16 — дозирующий насос для каустической соды

Все приведенные цифры являются только ориентировочными и не могут быть достигнуты при обработке очень загрязненной воды или в случае недостаточной ее предварительной очистки.

На рис. 22.4 показана установка с одноступенчатым катионообменником и с комбинацией слабоосновных и сильноосновных обменников.

В стандартной деионизирующей установке для очистки питательной воды для котлов высокого давления осуществляются следующие процессы:

предварительное осветление или удаление карбонатов;

обработка на ионообменниках первой группы, включающих сильные катиониты и сильные аниониты, а также карбоксилированный катионообменник и слабый анионит;

обработка на ионообменниках второй группы, включающих катионит и анионит или смешанную загрузку;

кондиционирование (с применением, например, аммиака, фосфатов, гидразина);

автоматический контроль регенерации и приготовления реагентов.

Схема на рис. 22.5 показывает общую деионизирующую установку для котлов высокого давления, предназначенную как для обработки подземных вод, так и для полной первичной очистки и конечной катионо-анионообменной очистки.

*Термическая деаэрация и кондиционирование деионизированной воды.* Кондиционирование деионизированной подпиточной

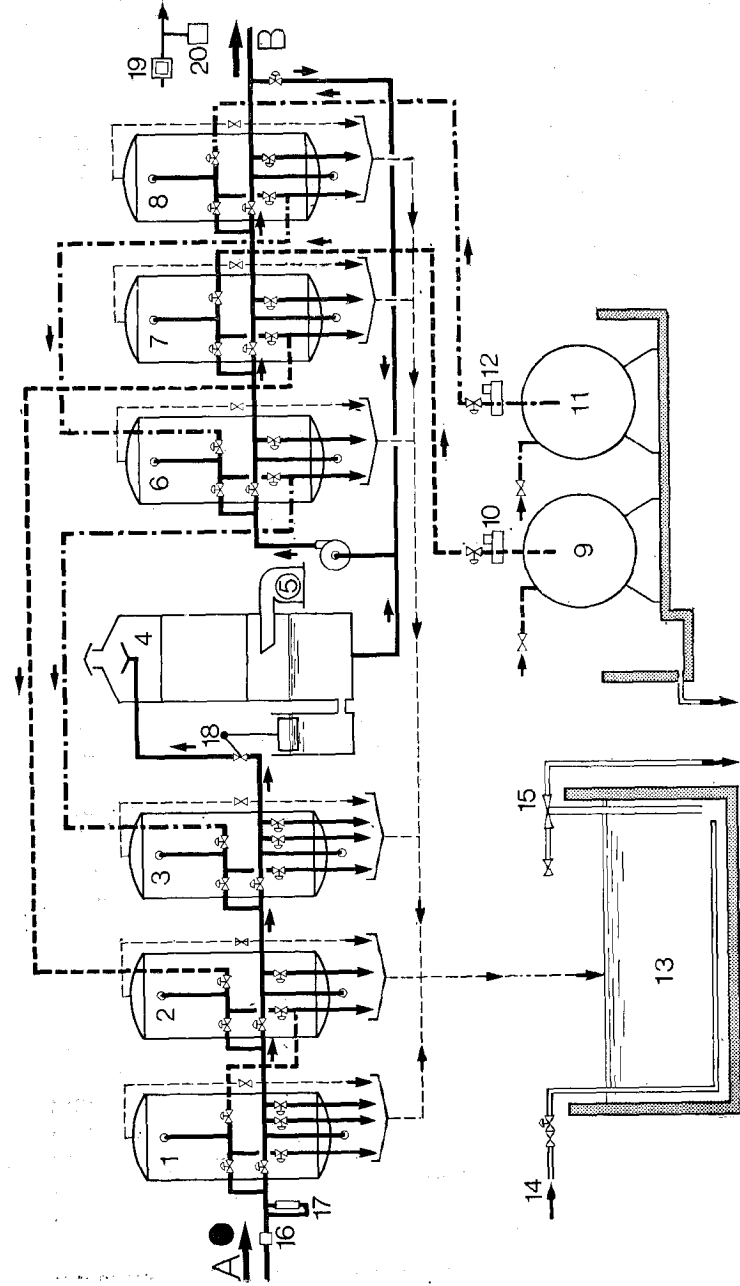


Рис. 22.5. Стандартная схема установки общей деионизации воды для котлов высокого давления

А — поступающая необработанная вода; В — деионизированная вода; 1 — карбоксильный катионит; 2 — первичный сульфокатионит; 3 — слабоосновный анионит; 4 — удаление  $\text{CO}_2$ ; 5 — вентилятор; 6 — сильноосновный катионит; 7 — конечный сульфокатионит; 8 — сильноосновный анионит; 9 — резервуар для хранения кислоты; 10 — дозирующий насос для кислоты; 11 — хранение каустической соды; 12 — дозирующий насос каустической соды; 13 — нейтрализация очищенной воды; 14 — сжатый воздух; 15 — гидрожектор для выпуска воды из резервуара; 16 — водомер; 17 — расходомер; 18 — регулятор уровня; 19 — прибор для измерения удельного сопротивления; 20 — прибор для определения диоксида кремния

воды значительно облегчается, если в соответствии с общепринятой практикой смесь подпиточной и конденсированной воды подвергают интенсивной термической деаэрации (детально описанной в гл. 13). Далее достаточно добавить в подпиточную воду или непосредственно в котел очень небольшое количество фосфата натрия, летучих аминов и гидразина.

При использовании котлов высокого давления и сверхмощных котлов стремятся к уменьшению или даже полному исключению фосфата натрия, который может вызывать локальные отложения.

Кондиционирование при использовании аммиака или морфолина с гидразином называется «летучим кондиционированием».

В зависимости от общих характеристик конденсатора-подогревателя котла деаэрация может быть выполнена при температуре 105 °С или при более высокой температуре.

**22.1.2.3. Очистка конденсата.** Очистка конденсированной воды связана с решением следующих проблем:

удаление продуктов коррозии из цепи турбино-конденсаторного контура;

удаление ионов, снова поступающих в сырую воду в результате утечки из конденсатора;

удаление масел из конденсата в нефтехимической промышленности.

При очистке конденсата применяют различные комбинации фильтрации и деионизации. Сюда входят следующие процессы.

**А. Фильтрация через тонковолокнистые или мелкозернистые материалы,** используемые в виде слоев толщиной несколько миллиметров на намывных фильтрах (см. п. 9.2.3). На практике применяют:

волокна целлюлозы длиной 40—100 мкм. Эти фильтры задерживают все взвешенные загрязнения, особенно оксиды металлов со средними размерами частиц около 0,5 мкм. Из материала фильтра выносятся растворимые загрязнения при температуре 60 °С и выше, а при температуре выше 85 °С он разрушается;

порошкообразные неполярные синтетические смолы, которые имеют преимущество перед целлюлозой и способны адсорбировать коллоиды, выдерживая температуру 100 °С. Когда очищенный конденсат свободен от углеводов, скорость фильтрации на этих материалах обычно изменяется от 5 до 10 м/ч;

диатомиты применяют для очистки воды, содержащей масла; вместо целлюлозы или смол предпочтительно использовать высокопористые диатомиты, которые наряду с фильтрующими свойствами имеют специфический адсорбционный эффект. Оптимальная температура для удаления масла зависит от типа масла и составляет от 50 до 80 °С.

Фильтроцикл может быть продлен, если в процессе очистки добавлять к намывному слою через регулярные промежутки

времени определенные количества материалов, отличающиеся от материала первоначального слоя или идентичные ему.

В случае конденсирования воды, содержащей ароматические углеводороды, которые растворяются в воде в различной степени, слой должен состоять из активного угля или лучше из диатомита, а температура не должна превышать 50 °С.

При обработке конденсированной воды, содержащей масла, скорости фильтрации в любом случае будут ниже, чем для конденсатов, содержащих только продукты коррозии.

**Б. Деионизация с очень высокой скоростью фильтрования** (80—120 м/ч) через смешанную катионо-анионитовую загрузку. Этот вид обработки предназначен для задержки ионов железа, меди, никеля и кремниевой кислоты, а задержанные соли переносятся в конденсат при случайном поступлении сырой воды в конденсатор.

Смешанные загрузки действуют как фильтры с производительностью от 50 до 90% в зависимости от размера частиц и рабочих условий. Коллоиды на них практически не задерживаются.

Для того чтобы противостоять потерям напора, вызываемым сочетанием высокой скорости с засорением, применяют высокопрочные ионообменники; наиболее часто используются макропористые смолы. Фирмой «Дегремон» разработано специальное оборудование для контроля за режимом работы ионообменников, которое обеспечивает правильный выбор смол, а процессами очистки управляют контрольные приборы.

В большинстве случаев смолы промываются и регенерируются в наружной системе очистных колонн; смолы переносятся в систему с помощью воды. Это гарантирует отсутствие кислот или соды, случайно проникающих при регенерации смолы.

Некоторыми заводами — изготовителями напорных водяных реакторов недавно введены очень строгие нормы относительно содержания в воде натрия. Он может попадать в воду, выходящую после очистки на ионообменниках со смешанной загрузкой, если эти ионообменники не были полностью регенерированы (т. е. ионы натрия присутствуют в катионообменнике после регенерации, и часть этого остатка переходит в анионообменник). Существуют различные эффективные методы борьбы с данным явлением.

**В. Высокоскоростная деионизация на катионообменнике с последующей очисткой на смешанной загрузке.** Когда конденсированная вода содержит значительное количество летучих аминов (аммиак, морфолин или циклогексиламин) и имеет только незначительное солесодержание вследствие утечек сырой воды, то после очистки на смешанной загрузке в воде нарушается баланс ионов. Количество катионов становится намного больше, чем анионов (имеются в виду все анионы кроме  $\text{OH}^-$ ).

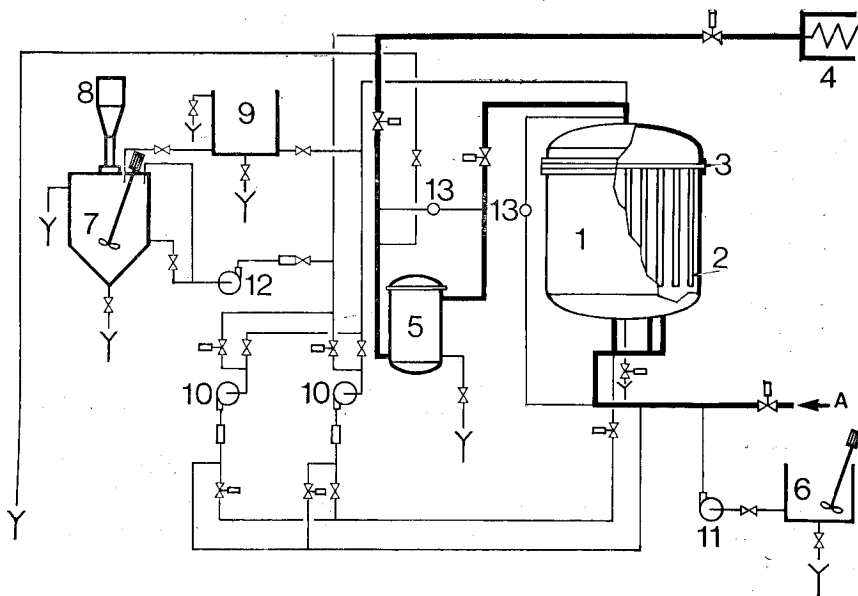


Рис. 22.6. Совмещенные процессы фильтрации и деионизации

A — ввод конденсата; 1 — фильтр с намывным слоем; 2 — свечи фильтра; 3 — устройство для крепления свеч; 4 — вода; 5 — смолоуловитель; 6 — затворный бак для эксплуатации фильтра с намывным слоем; 7 — резервуар для приготовления намывного слоя; 8 — дозатор микросмола; 9 — регулирующий бак; 10 — рециркуляционный насос; 11 — насос для подачи воды в фильтр с намывным слоем; 12 — насос для подачи намывного слоя; 13 — дифференциальный манометр

В связи с этим целесообразно перед стадией очистки воды на смешанной загрузке применить катионообменник, регенерируемый кислотой. В результате значительно уменьшается количество ионов  $\text{NH}_4^+$  и ионов аминов, а также продлевается время работы смешанной загрузки.

Катионообменники хорошо задерживают продукты коррозии, вследствие чего смешанная загрузка выполняет только функцию деминерализации.

**Г. Сочетание фильтрации и деионизации.** Эти процессы могут быть объединены в одной установке, если использовать очень мелкозернистые порошкообразные смешанные смолы (от 10 до 50 мкм) в намывных фильтрах, как рассмотрено выше в п. А. Скорости и толщина намывного слоя аналогичны принятым в п. А (рис. 22.6).

При использовании этих процессов капитальные затраты снижаются, а эксплуатационные расходы значительно выше из-за высокой стоимости порошкообразных смол, которые приходится часто заменять (они загрязняются взвешенными веществами или вследствие повышенного содержания соли в воде, вызываемого утечкой в конденсаторах).

Максимальная температура, применяемая в данном процессе, зависит от термической устойчивости используемых смол и необходимости удаления кремнекислоты и составляет от 40 до 50 °С.

Необходимо учитывать все указанные факторы, так как процесс фильтрации дает исключительно хорошие результаты.

**Д. Фильтрация через магнитные фильтры.** Используя легко очищаемые высокопроизводительные скоростные магнитные фильтры, можно отфильтровывать некоторые оксиды металлов, находящиеся в конденсатах, при высоких температурах и без применения дорогостоящих намывных материалов.

В настоящее время нельзя рекомендовать какой-либо один способ, который будет предпочтительнее, чем другой. Смешанные слои не всегда могут обеспечить полное фильтрование, зато они снабжены защитой на случай утечки конденсата. Комбинированные системы (намывные фильтры — смешанные загрузки или катионообменники — смешанные загрузки) более дорогие, но обеспечивают очистку во всех случаях.

## 22.2. ОХЛАЖДАЮЩИЕ СИСТЕМЫ

### 22.2.1. ТИПЫ ОХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМ

Охлаждаемое оборудование применяется очень широко и включает следующие основные типы:

- конденсаторы и теплообменники;
- масляные, воздушные, газовые и жидкие холодильники;
- двигатели и компрессоры;
- доменные печи, сталеплавильные печи, прокатные станы и т. д.;
- химические реакторы.

Холодная вода поступает к этому оборудованию и нагревается при контакте с горячими стенками. Сброс воды может осуществляться в соответствии с одной из следующих схем:

горячая вода сбрасывается в реку или дренажный канал; это открытая схема (рис. 22.7);

горячая вода, охлажденная контактом со вторичной жидкостью (воздухом или водой), возвращается к оборудованию, которое будет охлаждено без вступления в контакт с атмосферой; это закрытый кругоборот (закрытая схема) (рис. 22.8);

горячая вода охлаждается

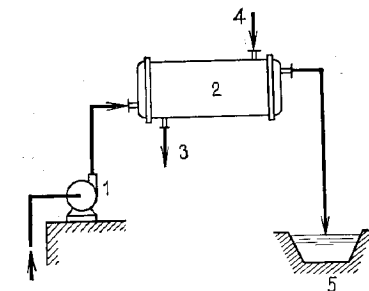


Рис. 22.7. Открытая схема

1 — насос; 2 — теплообменник; 3 — холодная жидкость; 4 — горячая жидкость; 5 — река

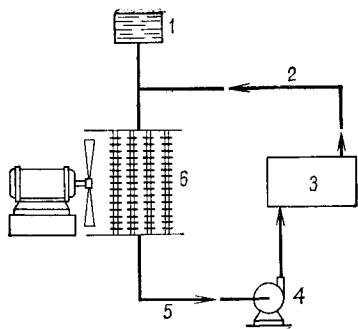


Рис. 22.8. Закрытая схема

1 — расширительный бак; 2 — горячая вода; 3 — теплообменник; 4 — насос; 5 — холодная вода; 6 — воздушное охлаждение

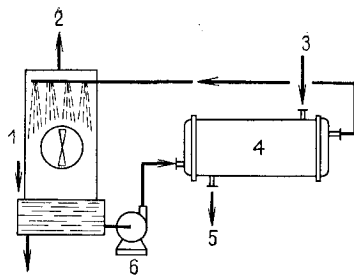


Рис. 22.9. Полуоткрытая схема

1 — подпиточная вода; 2 — эвапорация; 3 — горячая жидкость; 4 — теплообменник; 5 — холодная жидкость; 6 — насос

частичной эвапорацией в градирне и затем возвращается к охлаждаемому оборудованию; это полуоткрытая схема с рециркуляцией через атмосферный охладитель (рис. 22.9).

Обработка химикатами охлаждающей воды, которая используется в открытых системах только один раз, обходится дорого.

Целесообразны лишь небольшая корректировка величины рН (см. п. 22.2.3.1), добавление ингибитора осаждения (см. п. 22.2.3.2) для ограничения образования накипи или добавление хлора или гипохлорита для уменьшения роста водорослей и бактерий.

В закрытых схемах требуется очень мало подпиточной воды и нет контакта с атмосферой. Полную и долговременную защиту можно обеспечить, используя ингибиторы коррозии (см. п. 22.2.3.3).

### 22.2.2. ПОЛУОТКРЫТАЯ СХЕМА

Эта схема включает в себя системы кондиционирования и увлажнения воздуха. Рассмотрим рабочие параметры схемы:  
 $V$ , м<sup>3</sup>, — объем циркуляции. Это общий объем воды в системе, т. е. в резервуаре горячей воды, резервуаре холодной воды, теплообменнике, соединительных трубах и т. д.;

$Q$ , м<sup>3</sup>/ч, — циркуляционный расход, т. е. расход горячей воды, поступающей в атмосферный холодильник;

$\Delta T$ , °С — разность температур воды, входящей и выходящей из холодильника;

$T_{\text{макс}}$ , °С — температура пленки воды («поверхностная температура»), находящейся в контакте с горячими стенками схемы;

$W$ , кДж/ч — производительность атмосферного холодильника (градирни); она получается из двух предшествующих показателей, т. е.

$$W = 1000Q\Delta T;$$

$E$ , м<sup>3</sup>/ч, — эвапорационный расход, т. е. количество воды, испаряемой при охлаждении основного потока. Этот расход включает чистую воду, которая не содержит растворенные соли. Примем с достаточной для рассматриваемых проблем точностью, что одному литру испаряемой воды соответствует 500 ккал, в результате получаем уравнение

$$E = Q\Delta T/500; \quad (1)$$

$E_v$ , м<sup>3</sup>/ч, — эвапорационный поток. Это вода, увлекаемая в поток воздухом в форме жидких капелек. Эвапорационный поток, следовательно, содержит воду того же состава, что и вода, циркулирующая в системе. Заводы-изготовители стремятся к уменьшению количества воды, теряемой с эвапорационным потоком. Несколько лет тому назад оно составляло 1%, сейчас — около 0,1% с возможным уменьшением до 0,01%. Следующее уравнение используется как ориентировочное:

$$E_v = Q/1000; \quad (2)$$

$P$ , м<sup>3</sup>/ч, — деконцентрация продувочного расхода. Испарение увеличивает концентрацию растворенных солей в циркулирующей воде. Чтобы предотвратить повышение концентрации солей до такой степени, что возникает риск образования отложений, некоторая часть воды должна быть отведена и спущена в канализацию;

$D$ , м<sup>3</sup>/ч, — общая деконцентрация расхода;

$$D = E_v + P; \quad (3)$$

$A$ , м<sup>3</sup>/ч, — подпиточный расход, который подпитывает всю воду, потерянную из системы, главным образом, испарением и общей деконцентрацией:

$$A = E + D; \quad (4)$$

$t$ , ч, — время пребывания воды в системе;

$$t = \frac{V}{D} \ln 2 \approx 0,7 \frac{V}{D};$$

$C$  — соотношение концентраций, т. е. отношение между концентрациями растворенных солей в циркуляционной и подпиточной воде. Обычно оно определяется содержанием хлоридов, которое легко измерить, кроме того, их растворимость в системе наиболее постоянна.

Если циркулирующая вода имеет жесткость 2,64 мг-экв/л, а подпиточная вода только 0,66 мг-экв/л, то соотношение концентраций

$$C = 2,64/0,66 = 4.$$

Рассмотрим другие зависимости между приведенными выше величинами. Обозначим через  $s$  общее солесодержание, т. е. количество растворимых солей в подпиточной воде, например,



в г/м<sup>3</sup>, тогда общее солесодержание в системе будет  $sC$ . Расчет баланса растворенных солей, входящих и выходящих из системы охлаждения, проводится следующим образом.

Количество входящих растворенных солей равно  $s+A$ ; количество выходящих растворенных солей из системы охлаждения равно  $DsC$ . Если эти количества будут равны, то получим уравнение

$$A = DC \text{ или } C = A/D. \quad (5)$$

Из уравнения (4) легко вывести соотношение

$$D = \frac{E}{C-1}. \quad (6)$$

Основные величины, определяющие параметры циркулирующего потока, это — расход циркуляционной воды, разность температур в конденсаторе и максимальная «поверхностная» температура.

Если не предъявляются какие-либо другие специальные эксплуатационные требования, то остальные параметры можно определить расчетом или с помощью анализа воды.

### 22.2.3. НАКИПЬ И КОРРОЗИЯ

Ранее (см. п. 2.2.1) были приведены сведения о накипи и о химической коррозии. Отложения, образованные труднорастворимыми солями, отличаются от отложений оксидов железа, цвет которых изменяется от оранжево-красного до черного. Последнее показывает, что охлаждающая вода коррозионна.

Накипь в какой-то степени препятствует контакту между металлом и водой, что предотвращает коррозию. Если же принять меры против образования накипи, то это приведет к обнаружению коррозии.

Воду можно очищать так, чтобы установилось равновесие между двумя указанными противоположными процессами.

**22.2.3.1. Равновесный процесс.** По известным соотношениям (п. 14.1) к охлаждающей воде (не подпиточной) для регулирования pH, общей жесткости и общей щелочности добавляют кислотные или щелочные реагенты так, чтобы состояние воды соответствовало равновесию между накипеобразованием и коррозией.

Индекс Ланжелье (см. п. 2.2.3.2)

$$I_L = \text{pH} - \text{pH}_s$$

( $\text{pH}_s = \text{pH}$  насыщения или равновесия) может быть использован при определении характера воды — будет она образовывать накипь ( $I_L > 0$ ) или окажется агрессивной ( $I_L < 0$ ).

Два понятия — агрессивность карбоната кальция и коррозионность, особенно по отношению к стали, — не совсем иден-

тичны; неагрессивная вода может быть коррозионной.

Ризнер (см. с. 37) предложил эмпирический показатель

$$I_R = 2\text{pH}_s - \text{pH},$$

который, как показывает опыт, в большей степени характеризует коррозионность или склонность к образованию накипи охлаждающей воды.

Если  $I_R$  менее 6, то вода образует накипь; при  $I_R$  более 6, но менее 7 вода близка к равновесию; при  $I_R$  выше 7 вода обладает коррозионными свойствами.

Равновесный процесс может показаться привлекательным из-за своей простоты, но он имеет ряд ограничений, связанных с тем, что вода вступает в контакт с воздухом в воздушном холодильнике, а также с тем, что температура воды в системе изменяется.

Величина pH, необходимая для воды, находящейся в состоянии равновесия  $\text{CaO}/\text{CO}_2$ , не всегда совместима с величиной pH, создаваемой в воздушном холодильнике, так как  $\text{CO}_2$  распределяется между водой и атмосферой.

Рис. 22.10 показывает изменение средней величины pH в зависимости от общей щелочности воды в системе.

Если pH воды при добавлении щелочного реагента в системе превышает значения, приведенные на графике, то результатом окажется очень высокий уровень поглощения углекислоты из атмосферы.

Равновесные величины для воды имеются для каждой температуры. В охлаждающей системе вода может оставаться стабильной в определенном диапазоне температур, но обычно это невозможно. Вода или находится в состоянии равновесия при низкой температуре, и тогда накипь образуется при подогреве воды, или же равновесие устанавливается в местах подогрева, и тогда вода становится коррозионной при более низкой температуре. Это справедливо, поскольку высокая температура, которую следовало бы принять, не свойственна ни воде, поступающей в воздушный холодильник, ни воде, выходящей из теплообменника, и относится только к пленке жидкости, находящейся в контакте с поверхностью нагрева.

**22.2.3.2. Ингибирование процесса накипеобразования** (см. п. 14.2.3). Добавление химикатов препятствует осаждению кар-

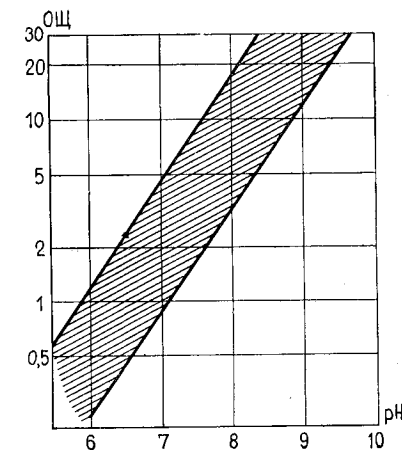


Рис. 22.10. Значение pH воды, циркулирующей в охлаждающих системах (ОЩ — общая щелочность)

боната кальция, что предотвращает местный перегрев. Величины рН, общей жесткости и общей щелочности воды корректируются таким образом, чтобы вода находилась или в равновесном состоянии, или в состоянии, соответствующем накипеобразованию при низких температурах; в этих условиях ингибиторы предотвращают любое образование накипи. Используемые вещества, применяемые обычно в комбинациях (полифосфаты и фосфонаты, см. п. 14.2.3), действуют на молекулярном или микроскопическом уровне (диспергаторы, см. там же).

Процессы ингибирования накипеобразования обеспечивают следующее:

расширение пределов температур, при которых вода относится к равновесной;

защиту мест перегрева против образования накипи;

повышение концентрационного соотношения, что позволяет уменьшить количество используемой воды.

Однако, если осуществляется защита против накипи, то необходимо следить за коррозией стали.

**22.2.3.3. Процессы ингибирования коррозии.** Ингибиторы коррозии рассмотрены в п. 14.2.5. Введение ингибиторов имеет ряд преимуществ перед процессами предотвращения коррозии, рассмотренными ранее:

охлаждающая вода стабильна; ее химические свойства не создают опасности нарушения более или менее устойчивого равновесия;

обеспечивается хорошая защита против коррозии; толщина металла может уменьшаться на 30 мкм в год или даже меньше; нет риска образования накипи, что обусловлено величиной рН воды;

возможны очень высокие соотношения концентраций.

Во многих случаях достаточное деконцентрирование достигается одним капельным уносом; продувка затем не требуется.

Уменьшается необходимое количество подпиточной воды, что приводит к существенной экономии воды и реагентов.

Требуемое значение рН может быть достигнуто подкислением (см. п. 14.1). Серная кислота предпочтительнее, чем соляная, так как легче в обращении и имеет меньшую стоимость.

В этих условиях соотношение концентраций поддерживается в определенных пределах во избежание риска осаждения сульфата кальция. Рекомендуется или пропустить часть подпиточной воды через карбоксилированный катионит, который одновременно снижает общую щелочность и содержание кальция, используя несколько большее количество кислоты, чем необходимо для подкисления, или очищать в обходном контуре некоторую часть циркулирующего потока, используя щелочь и карбонат натрия (см. гл. 6). Схема может быть также использована при максимальном концентрационном соотношении, без продувки; расход воды и реагентов в значительной степени уменьшается.

**22.2.3.4. Удаление загрязнений.** Очень часто продувка не может быть полностью исключена, и возникает проблема удаления загрязнений.

Сбрасываемая в канализацию вода не должна содержать хроматы в концентрации выше  $0,1 \text{ г/м}^3 \text{ CrO}_4^{2-}$ . Существуют сравнительно дешевые промышленные методы разрушения и удаления хроматов; одновременно может быть удален цинк. Процесс удаления хроматов и цинка позволяет деконцентрировать продувку, которая свободна от ингибиторов коррозии.

Не так обстоит дело с полифосфатами и тем более с органическими производными фосфора, удаление которых вызывает технические и экономические трудности, до сих пор удовлетворительно не решенные.

В этих обстоятельствах трудно поддерживать требуемую иногда концентрацию  $\text{P}_2\text{O}_5$   $2 \text{ г/м}^3$ .

#### 22.2.4. ОБРАСТАНИЕ

Все воздухооборники покрыты твердыми отложениями, отличающимися от накипи и коррозионных оксидов, которые встречаются в охлаждающих системах. Такие отложения не только осложняют работу так же, как и накипь, но и вызывают явление коррозии в результате дифференциальной аэрации, и это иногда усугубляется развитием явлений бактериальной коррозии. Существует четыре возможных источника обрастания: подпиточная вода; воздух из атмосферы; производственный процесс — жидкости (газы) и приспособления, которые охлаждаются; биологический рост в системе.

*Обрастания, вызванные подпиточной водой.* Подпиточная вода может содержать взвешенные вещества, которые удаляются соответствующей очисткой, что предупреждает их отложение в точках системы, где поток замедляется.

Обрастания обычно представляют собой коллоидную систему. Они неустойчивы и могут быть преобразованы в клейкое адсорбирующее вещество — гель — при небольшом возрастании температуры или концентрации. Эти процессы ответственны за обрастание холодильников или обменников клейкими отложениями, цвет которых изменяется в зависимости от рода адсорбируемых веществ. Наименее устойчивая и, следовательно, наиболее опасная часть таких веществ может быть удалена в результате физико-химических процессов.

*Загрязнения воздухом из атмосферы.* Воздушный холодильник — это воздушный скруббер; все вещества, вводимые охлаждающим воздухом, передаются охлаждающей воде.

В ней появляются как взвешенные, так и коллоидные вещества. При низком соотношении концентраций (менее 3) деконцентрирование продувки обычно достаточно для уноса таких веществ. Если соотношение концентраций более 3, то часть сбрас-

сызаемого охлаждающего потока воды должна быть профильтрована и, возможно, скоагулирована; эта часть может составлять от 3 до 15% в зависимости от степени загрязненности, времени пребывания и восприимчивости к обрастанию охлаждаемого оборудования.

Органические диспергаторы могут препятствовать образованию коллоидных отложений. Они особенно полезны при большой продувке, при которой вода в циркуляционной сети будет обновляться довольно быстро. Вдобавок обрастания, остающиеся в системе, создают постоянную угрозу. Коагуляция и фильтрование сбрасываемого потока дают более надежные результаты при той же стоимости.

Растворенные щелочные вещества (известь, соли аммония) и кислые вещества ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ) могут также поступать в воду из воздуха. Химический состав циркуляционной воды изменяется постоянно, и очень часто такое изменение связано с направлением ветра. Поэтому градирню не нужно располагать с подветренной стороны от дымовой трубы или печи для обжига извести. Это необходимо учитывать при планировании системы, если требуется обеспечить строгий контроль (например, величины рН).

*Загрязнения, получаемые в результате производственных процессов.* Вода в производственных процессах проходит через различные машины, поэтому она может получить все виды загрязнений, включая, например, окалину прокатных станов, жидкие или газообразные углеводороды на предприятиях нефтяной промышленности, а также другие твердые, жидкие и газообразные химические вещества. Все эти загрязнения нарушают работу системы. В предыдущих разделах книги даны рекомендации по удалению таких веществ.

*Биологические обрастания.* Охлаждающая система — это идеальная среда для роста живых организмов, так как она снабжается воздухом, теплом и светом.

Водоросли размножаются в охладителях и открытых для воздуха емкостях, особенно летом. Многие виды бактерий могут образовывать студенистую массу в трубах и теплообменниках; они адсорбируют взвешенные вещества и препятствуют прохождению потока воды. К тому же они создают местные благоприятные условия для роста железистых и сульфат-редуцирующих бактерий.

Для замедления роста таких организмов часто используют газообразный хлор или гипохлорит. Тем не менее, обычно применяемые дозы только ограничивают рост и не уничтожают стойкие биологические формы, которые образуют эти организмы в условиях, временно неблагоприятных для их выживания.

Лучше вводить хлор и его соединения большими дозами и через определенные интервалы времени; доза и частота применения зависят от местных условий и времени года.

Использование хлора и его соединений не рекомендуется в системах с ингибированием накипеобразования: при высоких значениях рН они менее эффективны, к тому же с ними взаимодействуют фосфонаты. В таких случаях используют соответствующие биоциды (см. п. 14.2.6). Короткую и сильнодействующую биоцидную очистку (1—3 раза в год) желательно проводить в начале периода роста — между февралем и июнем, чтобы уничтожить стойкие формы микроорганизмов.

Кроме того, нужно принимать в расчет совместимость биоцидной обработки с применением ингибиторов коррозии и диспергаторов и действие на среду децентрализованной продувки.

Практика подтверждает целесообразность фильтрования части охлаждающей воды с целью удаления взвешенных и коллоидных веществ; это почти очевидно. Но фильтрование эффективно и для предупреждения биологических явлений, хотя это уже не так очевидно.

Недостаточное внимание к данным вопросам при пуске новых охлаждающих систем может привести к развитию обрастаний, которые очень трудно уничтожить; в то же время обычно практикуемое фильтрование части охлаждающей воды, если оно применяется с самого начала, приводит к значительному снижению биологической активности в системе.

#### 22.2.5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМ

При проектировании охлаждающих систем учитываются не только химический состав воды, но и другие факторы. Перед проектированием необходима консультация со специалистами по следующим вопросам:

надежность вновь разработанных методов, которые в ряде случаев могут оказаться неприемлемыми для новых установок; выбор источника воды из двух или нескольких возможных вариантов;

возможность объединения очистки подпиточной воды с общей очисткой воды на установке;

качество имеющейся воды, что позволит выбрать оборудование, которое легче защитить от коррозии и обрастаний; если вода в циркуляционной системе обновляется редко, практически невозможно предотвратить коррозию и обрастания оборудования добавлением химикатов в воду;

выбор материала для охладителей, насосов, соединительных труб и т. д. и связанный с ним выбор типа защиты.

Для правильного выбора процессов кондиционирования воды необходимы точные сведения об охлаждаемом оборудовании, условиях его работы и составе воды. Это важно как для существующих, так и для проектируемых систем.

При определении степени защиты, а следовательно, и надежности обслуживания необходимо стремиться к снижению общих затрат, включающих:

- амортизационные расходы;
- эксплуатационные расходы;
- заработную плату рабочих и администрации;
- стоимость подпиточной воды;
- стоимость реагентов для кондиционирования воды.

## 23. ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Вода, растворы и суспензии играют важную роль во многих производственных процессах. Каждый производственный процесс предъявляет свои индивидуальные требования к качеству воды. Детальное изучение всех этих требований лежит вне сферы настоящего издания, здесь будет рассмотрен ряд общих положений.

Прежде всего мы обсудим в общем виде назначение подпиточной воды и вопросы повторного использования и циркуляции воды, важность которых в настоящее время возрастает, а затем опишем потребление и обработку воды в основных отраслях промышленности, начиная с металлургии. Среди прочих отраслей будут рассмотрены гидрометаллургия и обработка рاسبолов, так как в этих технологических процессах используются методы, обычно применяемые при обработке воды.

Борьба с загрязнениями, вызываемыми использованием воды в промышленности, изложена в гл. 25.

### 23.1. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ

Выше было показано, что методы получения питьевой воды имеют общую цель и основаны на относительно небольшом числе процессов, причем некоторые из них становятся все более сложными. Промышленность предъявляет к качеству воды весьма разнообразные требования, что вызывает необходимость применения различных методов очистки, иногда имеющих мало общего между собой. При этом используются различные методы, включая физические, химические, а иногда термические или даже биологические.

Промышленность, как правило, потребляет большие объемы воды; в свою очередь, промышленные предприятия часто вызывают физическое или химическое загрязнение воды, которую они используют, за что они целиком несут ответственность перед обществом. Проектировщики, разрабатывающие новые проекты, или операторы водоочистных станций должны поэтому при-

лагать все усилия, чтобы обеспечить рациональное использование воды внутри производственного комплекса. Следует тщательно изучать применение воды в различных производственных процессах и уделять особое внимание проектированию внутренних сетей, включая в схему процессы предварительной очистки и, где возможно, рециркуляцию. Только при этих условиях возможно успешное применение существующих методов очистки воды.

#### 23.1.1. ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ ВОДЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Вода в промышленности обычно используется в следующих целях:

- получение энергии путем производства пара на обычных или атомных электростанциях; для этих процессов требуется вода очень высокого качества;

- теплообмен для конденсации пара и охлаждения жидкостей или оборудования; здесь часто требуются значительные объемы воды не очень высокого качества;

- транспорт сырья или отходов:

  - свеклы (в сахарной промышленности);

  - прокатной окалины;

  - угля в процессе его промывки;

  - волокна на бумажных фабриках;

- механическое действие (удаление окалины со стали на четырехклетевых прокатных станах, непрерывных полосовых станах и т. д. при давлении от 6 до 15 МПа);

- производство продукции (бумажные и текстильные фабрики, пищевая промышленность и т. д.), для которого часто установлены строгие и специфические стандарты;

- перенос ионов в гидрометаллургии и при нанесении гальванопокрытий;

- промывка изделий (обработка металлов, производство полупроводников, сельскохозяйственная и пищевая промышленность и т. д.), для которой в зависимости от условий производства может требоваться вода питьевого качества, стерильная или даже полностью обессоленная вода;

- охлаждение раскаленных добела продуктов (шлака, кокса, золы);

- очистка газов; этот широко распространенный процесс применяется в металлургической и химической промышленности;

- приготовление ванн для различных целей (электрофорез, растворимые масла и т. д.);

- кондиционирование воздуха для некоторых текстильных предприятий и других производств;

- поддержание давления в нефтяных пластах закачкой воды, которая должна быть тщательно очищена и обработана для борьбы с коррозией, заиливанием и отложениями осадка.

### 23.1.2. ТИПИЧНЫЕ НОРМЫ ПОТРЕБЛЕНИЯ ВОДЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Количества потребляемой воды зависят от вида производства и изменяются от нескольких сотен литров в сутки до нескольких сотен литров в секунду.

Тепловые электростанции, сталеплавильные заводы и бумажные фабрики являются самыми крупными потребителями воды (используемой главным образом для охлаждения); об этом свидетельствуют следующие цифры:

обычная электростанция мощностью 700 МВт потребляет для охлаждения конденсаторов 300 м<sup>3</sup>/с воды при нагревании ее на 7 °С;

атомная электростанция мощностью 900 МВт потребляет 40 м<sup>3</sup>/с воды с повышением ее температуры на 1—12 °С;

для выплавки 1 т стали необходимо 200 м<sup>3</sup> воды, при этом 12 000 м<sup>3</sup>/ч расходуется на снятие окалины и охлаждение на полосовом стане с годовой производительностью 4 млн. т;

для производства 1 т бумаги требуется 50—300 м<sup>3</sup> воды, что соответствует расходу воды 10 000 м<sup>3</sup>/с на одну машину, вырабатывающую 1000 т/сут газетной бумаги. Эти цифры представляют мгновенные расходы в системах.

Во многих отраслях промышленности при использовании циркуляционных систем объем потребляемой воды может быть ограничен объемом подпиточной воды.

### 23.1.3. УХУДШЕНИЕ КАЧЕСТВА ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В каждом производственном процессе используемая вода подвергается физическим, химическим или биологическим изменениям. Загрязнение воды, которое при этом происходит, обсуждается в гл. 25.

При проектировании системы водоснабжения необходимо учитывать следующие причины ухудшения качества воды:

повышение температуры;  
растворение газов (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HF), пылевидных веществ (CaO) или химических реагентов или, наоборот, выделение газов (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S);

образование суспензии из различных пылевидных веществ; выпадение в осадок (при нагревании) малорастворимых солей (CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub> и т. д.);

отложения солей при испарении воды.

### 23.1.4. ПОДПИТОЧНАЯ ВОДА

**23.1.4.1. Свойства.** В последнее время под давлением административных органов наметилась тенденция к использованию промышленностью в основном воды из поверхностных источни-

ков (рек, озер или даже дождевой воды). Свойства такой воды изменяются следующим образом:

температура — в зависимости от времени года;

солеосодержание — в зависимости от вида грунта (кристаллический, кремнистый или известняк) и от количества стоков, сбрасываемых выше по течению;

органические загрязнения — в зависимости от вида грунта и стоков;

физическое загрязнение взвешенными веществами — в зависимости от осадков и таяния снега.

Правильный выбор процесса обработки воды требует детального знания изменения характера и степени загрязнения воды во времени.

Использование подземных вод имеет то преимущество, что их температура и солеосодержание не изменяются во времени. Иногда подземные воды содержат различные количества железа, органические вещества, концентрация которых часто связана со все увеличивающимся загрязнением окружающей среды, и слишком мало растворенного кислорода, что препятствует образованию пленки, защищающей металл от коррозии.

**23.1.4.2. Предварительная обработка.** Независимо от конечной цели использования воды и метода ее обработки в некоторых случаях оказывается целесообразным произвести общую обработку воды непосредственно у водозабора или скважины. Цель такой предварительной обработки состоит в том, чтобы защитить распределительную систему и в то же время обеспечить первоначальную или полную очистку для некоторых из основных потребителей воды.

В случае использования поверхностных вод предварительная обработка воды должна обеспечить защиту распределительной системы от засорения и отложений.

Обрастаний или засорения отверстий и труб можно избежать с помощью фильтрования или процеживания воды. Для этой цели применяют решетки, в которых зазор между прутьями составляет около 2 мм, или барабанные и ленточные фильтры с размером отверстий более 250 мкм. Такой способ защиты часто оказывается достаточным для систем охлаждения конденсаторов на тепловых электростанциях.

Отложения, обусловленные присутствием органических веществ и гидроксидов металлов, образуются при низкой скорости движения воды или при повышении ее температуры, которое вызывает флокуляцию.

В зависимости от требований технологического процесса и количества загрязнений в воде в открытой системе могут быть использованы микрофильтры с размером отверстий 250 мкм, в некоторых случаях — до 50 мкм. Иногда после микрофильтрования может возникнуть необходимость в скором фильтровании

через кварцевый песок, что позволяет удалить взвешенные частицы размером до нескольких мкм.

При содержании в воде больших количеств взвешенных веществ может потребоваться ее предварительное отстаивание.

В случае использования подземных вод основные трудности связаны с абразивным действием песка или коррозией. Абразивное действие, которое оказывает вода, содержащая значительное количество крупнозернистого песка, вызывает износ движущихся частей, сальников насосов и другого оборудования. В таких случаях следует применять специальные насосы, а защита остальной системы после насосов осуществляется с помощью фильтрования на скорых песчаных фильтрах, процеживания под давлением или использования гидроциклонов.

В системах, в которых используется подземная вода, часто возникает коррозия, что приводит к образованию бугристых обрастаний, которые не следует путать с карбонатными отложениями. Данный вид коррозии часто обусловлен недостатком кислорода. Лучший метод предотвращения коррозии — насыщение кислородом и фильтрование, при этом происходит удаление из воды крупного песка и железа, а также введение в воду минимального количества кислорода, необходимого для образования защитной оксидной пленки.

### 23.1.5. ПРОЦЕССЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОДЫ

Реагенты (гл. 14), предотвращающие коррозию и обрастания труб, обычно применяют для дополнительной обработки чистой воды, особенно в закрытых системах. В случае обработки воды, содержащей загрязнения, необходимы меры предосторожности, особенно когда циркуляционная вода используется для промывки или в различных технологических процессах. При этом следует принимать во внимание некоторые дополнительные факторы, а именно:

присутствие в воде различных количеств солей;

существование осадка или шлама, способного адсорбировать некоторые вещества, которые вследствие этого будут расходоваться в избыточных количествах;

если в воде преобладают коллоидные загрязнения, их осаждение предотвращают применением диспергаторов.

Введение реагентов для уничтожения водорослей и микроорганизмов вызывает существенные затруднения, а использование хлора иногда невозможно.

### 23.1.6. ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ЦИРКУЛЯЦИЯ

В связи с растущим потреблением промышленностью воды высокого качества экономия воды, а также снижение ее потребления и сброса достигается с помощью повторного использования и циркуляции.

*Повторное, или последовательное, использование* означает использование воды в открытой системе для двух последовательных, но различных процессов, в некоторых случаях с промежуточной подкачкой воды или ее очисткой. Второй технологический процесс обычно предъявляет меньшие требования к воде, чем первый, и поэтому для него может использоваться вода худшего качества. Наиболее общий пример — использование воды сначала для теплообменников или конденсаторов, а затем для промывки. Другой пример: сточную воду от туалетов и лабораторий собирают, подвергают биологической очистке, нейтрализуют и затем, после доочистки, используют как подпиточную воду в открытых системах охлаждения. При этом принимают специальные меры для контроля физических характеристик воды, таких, как температура и содержание взвешенных веществ, а также любого фактора, который может способствовать росту бактерий.

*Циркуляция* означает неограниченное повторное использование одной и той же воды для одного и того же процесса с добавкой воды только для восполнения потерь, которых нельзя избежать: продувки системы или потерь на испарение.

Циркуляционное отношение может быть очень высоким, что приводит к концентрированию неорганических или органических солей или постепенному накоплению взвешенных веществ и необходимости непрерывной очистки воды. Поэтому следует контролировать следующие показатели качества циркуляционной воды:

содержание сульфатов и карбонатов щелочноземельных металлов — для предотвращения их осаждения;

количество всех растворенных неорганических солей — для предотвращения повышения электрической проводимости воды и усиления коррозии;

количество разлагающихся органических веществ, солей аммония и фосфатов, способствующих росту аэробных и анаэробных бактерий;

содержание детергентов — для предотвращения пенообразования и других нежелательных явлений;

количество оседающих и взвешенных веществ — для предотвращения обрастаний аппаратуры;

температуру, чтобы избежать промежуточного охлаждения или сброса излишне горячей воды в реку.

**23.1.6.1. Циркуляционное отношение.** В зависимости от того, происходит ли в процессе циркуляции испарение воды, циркуляционное отношение может быть выражено двумя способами.

*Концентрационное отношение:*

$$C = a/p,$$

где  $C$  — отношение количества подпиточной воды  $a$  к сумме потери воды на капельный унос и расхода на продувку системы  $p$ .



В охлаждающих системах с открытыми градирнями при условии, что окружающий воздух чистый,  $C$  приблизительно равно отношению солесодержания циркуляционной воды в системе  $S$  к солесодержанию добавочной воды  $s$ :

$$C = S/s = a/p.$$

В системах охлаждения конденсаторов и теплообменников  $C$  обычно изменяется от 1,5 до 6, но в экстремальных случаях достигает значений от 20 до 40.

Так как карбонаты могут быть легко удалены в процессе очистки подпиточной воды, главным лимитирующим фактором обычно являются сульфаты.

При очистке отработанных газов к концентрированию за счет испарения добавляется растворение некоторых газов и солей ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и т. д.). В этом случае концентрационное отношение уже не отражает повышения солесодержания, которое может оказаться намного больше при наличии некоторых указанных соединений или, наоборот, меньше при наличии осаждающихся или адсорбируемых соединений.

*Циркуляционное отношение  $R$ .* Если испарения нет или оно практически ничтожно, то  $R$  представляет собой отношение циркуляционного расхода воды  $Q$  к расходу подпиточной воды:

$$R = Q/a.$$

При проектировании циркуляционной системы в промышленности следует уделять особое внимание неконтролируемым условиям, которые ограничивают циркуляционное отношение, прежде всего — повышению температуры. Следует учитывать также наличие в воде сульфатов, обусловленное применением неорганических коагулянтов при подготовке воды.

Цель обработки всего или части циркуляционного расхода — ограничение накопления указанных выше вредных соединений.

В зависимости от свойств соединений, которые нужно удалить, может быть применен один из следующих процессов:

общее обессоливание с помощью ионного обмена или обратного осмоса; последний процесс обычно используется для обработки воды при нанесении гальванических покрытий;

осветление воды отстаиванием для удаления пыли, попавшей в воду при очистке газов, или частиц, попадающих в воду при разрушении различных материалов;

фильтрация через зернистую загрузку для удаления частиц оксидов и различных кристаллических частиц.

Если загрязнения содержатся в циркуляционной воде в малых количествах и требуется частичное снижение их концентрации, очистке подвергается только часть воды в системе (от 5 до 50%); байпасную часть циркуляционного потока обрабатывают с целью снижения щелочности и жесткости воды, а атмосферная пыль, захваченная охлаждающей водой, удаляется фильтрованием.

В указанных выше процессах очистки не следует использовать минеральные коагулянты; вместо них лучше применять различные полиэлектролиты (см. п. 5.3.1.3). Очистка циркуляционной воды часто сопровождается ее противокоррозионной обработкой или обработкой для предотвращения образования отложений и биообращаний.

### 23.1.6.2. Повторное использование сточной воды.

*А. Повторное использование очищенной хозяйственно-бытовой сточной воды в контурах с открытыми градирнями.* Эта схема принята в нескольких странах, и уже накоплен некоторый опыт ее применения. Сточная вода подвергается биологической очистке с последующей доочисткой, цель которой состоит в удалении растворенных фосфатов, а также грубодисперсных и коллоидных загрязнений.

Известно, что на процессы, происходящие в градирнях при охлаждении сточных вод, кроме бактерий оказывает влияние также наличие в воде аммонийного азота и фосфора, так как повышение температуры и аэрация создают идеальные условия для биологического роста.

Доказано, в частности, что фосфор является главным определяющим фактором с точки зрения роста водорослей. Аммиак (10—40 мг/л) также играет важную роль в системах с открытыми градирнями. Если в процессе очистки сточной воды нельзя добиться экономического удаления аммиака, его можно устранить нитрификацией в градирнях.

Так как реакция нитрификации приводит к образованию кислоты, при обработке воды в системе необходимо выполнять следующие условия:

поддерживать достаточную щелочность подпиточной воды; периодически или постоянно применять биоцидные агенты, которые не приводят к образованию токсичных стоков;

снижать концентрацию биологического шлама в системе путем увеличения байпасного потока циркуляционной воды, обрабатываемой фильтрованием.

*Б. Повторное использование производственных сточных вод.* Производственные сточные воды, содержащие органические загрязнения и очищенные биологическими методами, иногда используются повторно.

При применении процессов, указанных выше, следует принимать во внимание присутствие в воде солей (ионов  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ).

Повышенные концентрации аммиака могут препятствовать процессу нитрификации, что упрощает эксплуатацию системы.

### 23.1.7. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ

Из приведенного краткого рассмотрения проблем промышленного водоснабжения можно сделать вывод, что тот, кто планирует строительство завода или фабрики, не будучи специа-

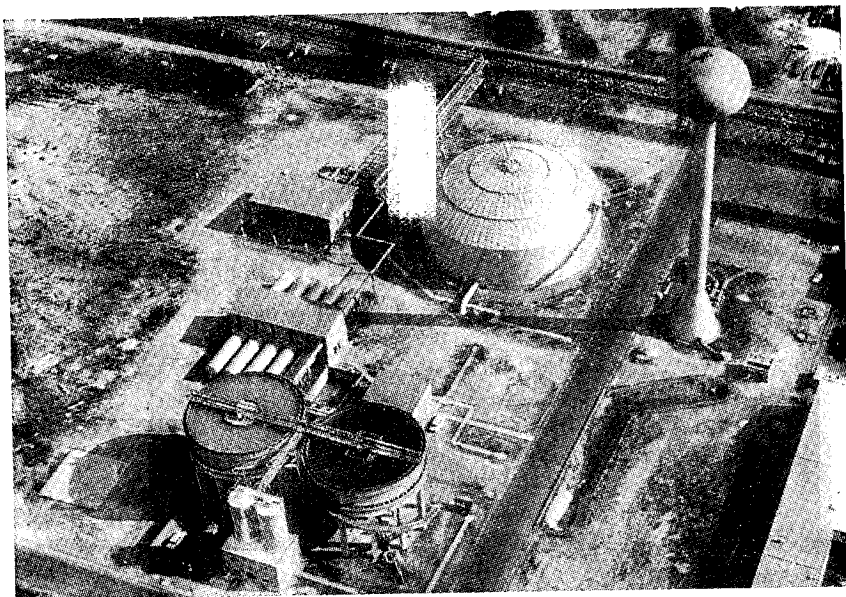


Рис. 23.1. На переднем плане «Циркуляторы» диаметром 20 м для декарбонизации воды при производственном и питьевом водоснабжении. Производительность 3800 м<sup>3</sup>/ч

листом в области очистки воды, должен по меньшей мере сознавать сложность проблемы и привлекать квалифицированных инженеров на начальной стадии проектирования.

В следующем разделе описаны процессы очистки воды, применяемые в различных отраслях промышленности, а также дан обзор промышленных процессов.

## 23.2. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

В металлургической промышленности применяются сложные и разнообразные химические процессы. Однако две области использования воды требуют особого рассмотрения. Это очистка газов и гидрометаллургия.

### 23.2.1. ОЧИСТКА ГАЗОВ

Газы, образующиеся при обжиге или восстановлении руд, содержат пыль и ряд вредных газообразных веществ. Перед сбросом или повторным использованием этих газов они подвергаются очистке в специальных устройствах, в которых вода находится в замкнутом контуре. При получении всех металлов наблюдаются следующие явления:

растворение газов, таких как H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, CO, HF, HCN и NH<sub>3</sub>; суспендирование солей Ca, Mg, K, Na, которые затем частично растворяются кислотами, образующимися в результате растворения указанных выше газов под действием их относительно высокого парциального давления;

растворение металлов; нарушение равновесия растворимости образующихся солей, когда вода подвергается воздействию атмосферного давления; осаждение гидроксидов металлов при удалении равновесной CO<sub>2</sub> в открытых градирнях.

Все эти реакции прямо или косвенно вызывают образование отложений, подкисление или значительное повышение щелочности воды.

Если природа газов или руды известна (основность, содержание щелочей), могут быть применены общие правила обработки воды и регулирования ее pH и щелочности. Кроме того, обработка обычно включает отстаивание циркуляционной воды в одну или две стадии и, если необходимо, обезвреживание продувочной воды.

### 23.2.2. ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЯ

Гидрометаллургия — производство металлов с применением воды. Этот технологический процесс используется для получения большого числа металлов, часто для извлечения их из руд, где они содержатся в малых количествах (например, медь, уран, никель, кобальт, цинк, алюминий, свинец, титан, драгоценные металлы и т. д.). Ниже перечислены основные стадии процесса:

- подготовка руды;
- выщелачивание (кислотное, щелочное или нейтральное) с использованием методов фильтрования, перемешивания или биовыщелачивания;
- отделение твердой фазы от жидкой осадением, фильтрованием и т. д.;
- очистка и (или) концентрирование;
- извлечение металла; в зависимости от того, какой процесс используется, получают чистый металл или одно из его соединений.

Имеется много вариантов конструкций таких систем. Процесс усложняется при обработке полиметаллических руд.

Сооружения, используемые в гидрометаллургии для разделения твердой и жидкой фаз и для очистки жидкостей, в основном те же, что и при обработке воды, применяемой в промышленности: флотаторы, отстойники со скребковыми устройствами, гидроциклоны, песколовки, центрифуги, фильтр-прессы, вакуум-фильтры, ионообменные фильтры. Но в гидрометаллургии воз-

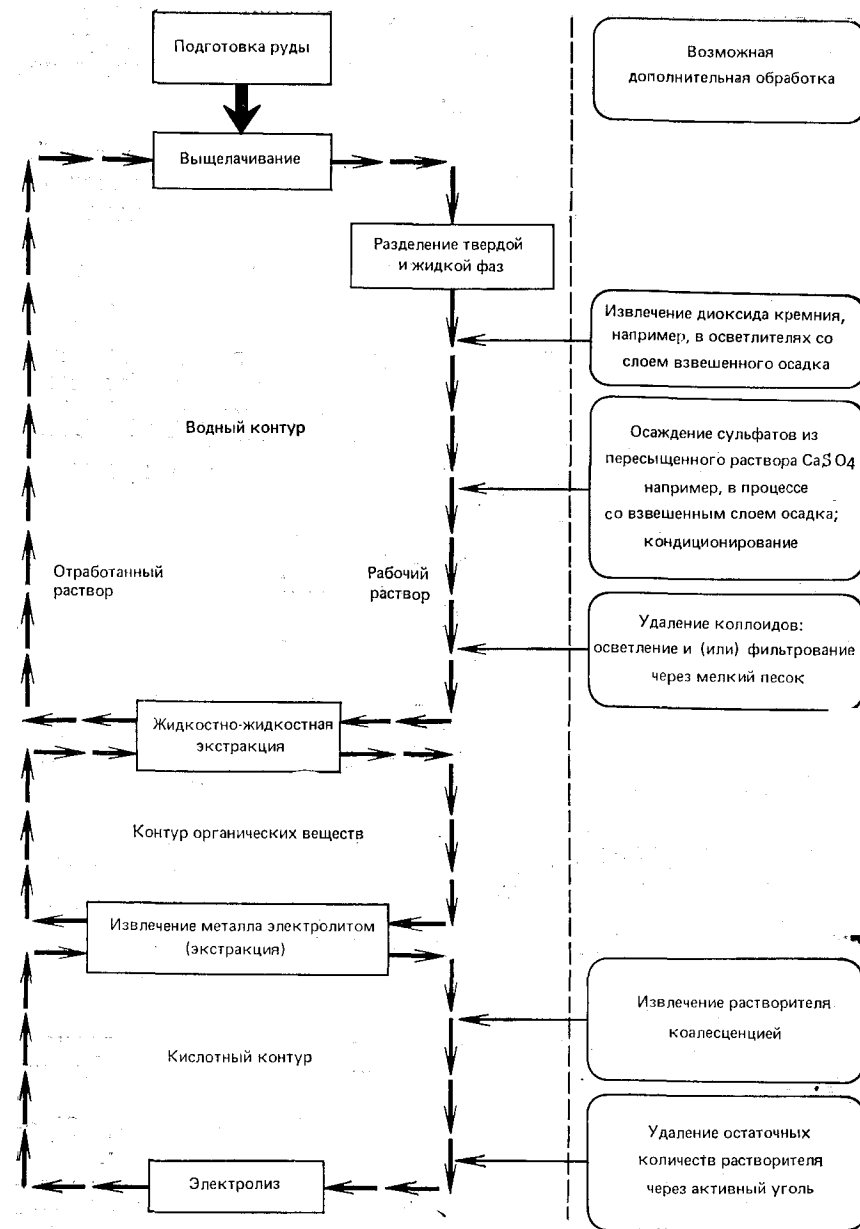


Рис. 23.2. Пример улучшения гидрометаллургического процесса

никают дополнительные трудности, связанные со значениями pH растворов и повышенными температурами. Поэтому большое значение имеет выбор материалов для оборудования, стоимость эксплуатации которого часто оказывается очень высокой.

Однако последние достижения в различных областях обработки воды в настоящее время позволяют улучшить качество раствора перед очисткой или экстракцией.

**Взвешенные вещества.** После осветления растворы часто содержат от 100 до 200 мг/л взвешенных веществ, иногда несколько г/л. Эти остаточные загрязнения вызывают осложнения как при прямой экстракции металла, так и при очистке органических растворителей или смол. Многие потребители хотят снизить содержание взвешенных веществ до 10—20 мг/л; это достигается фильтрованием (в основном через песок на напорных фильтрах). Иногда при высоком содержании в растворе взвешенных веществ предусматривается предварительное осветление в осветлителях со слоем взвешенного осадка (осветлители «Пульсатор», «Циркулятор» или «Турбоциркулятор», в зависимости от обстоятельств).

Осветлители со слоем взвешенного осадка могут быть также использованы для снижения концентрации коллоидной кремниевой кислоты (флокуляция полиэлектролитами и промышленным желатином или другими органическими флокулянтами).

**Сульфат кальция.** При обработке серной кислотой известняка или доломитовых руд происходит пересыщение раствора сульфатом кальция, что вызывает образование отложений и выпадение осадка. Эта проблема может быть разрешена применением осветлителей со взвешенным слоем с использованием предварительно образованного осадка. В этом случае обработка воды может быть дополнена применением соединений, связывающих ионы металла в хелатный комплекс.

**Органические вещества.** При жидкостно-жидкостной экстракции остаточное содержание растворителя мешает осаждению металла, особенно в случае электролиза. Приблизительно 80—90% оставшегося растворителя может быть извлечено коалесценцией на песке с помощью процесса, разработанного фирмой «Дегремон». Этот способ позволяет дополнительно удалить 60—70% взвешенных веществ, присутствующих в жидкой фазе, без какого-либо риска необратимой закупорки фильтра. Такая обработка может быть дополнена фильтрованием через гранулированный активный уголь.

На рис. 23.2 на примере технологической схемы, включающей электролиз с последующей экстракцией металла растворителем, показано, как может быть повышена эффективность различных систем путем использования опыта, накопленного при водоподготовке.

### 23.2.3. ЧУГУН И СТАЛЬ

В чугунолитейной и сталеплавильной промышленности, где используются огромные количества воды, происходит в основном ее физическое загрязнение. Поэтому в течение многих лет в данной отрасли промышленности применяют закрытые оборотные системы и водоочистные сооружения, приспособленные к специфическим условиям перечисленных ниже технологических процессов. Характерные стоки, образующиеся при этих процессах, описаны в гл. 25.

**23.2.3.1. Коксохимические заводы.** Для этих предприятий характерно применение следующих систем:

система охлаждения для непрямой конденсации газов;

система мокрого пылеудаления для дымовых газов при выгрузке кокса из печи (осветлители «Дегремон» и специальные фильтры);

система мокрого пылеудаления для газов при загрузке подогретого угля.

**23.2.3.2. Домны.** В домнах используются следующие процессы.

*Охлаждение отдельных частей домны,* таких как фурмы, тепель и воздушные короба. Для этой цели используется циркуляционная вода в состоянии углекислотного равновесия или вода, обработанная хроматами. В открытых контурах часть циркуляционной воды необходимо пропускать через скорые фильтры, чтобы вода отвечала требованиям относительно содержания взвешенных веществ.

*Гашение шлака.* Частицы шлака, которые обладают абразивными свойствами и имеют низкую плотность, находятся во взвешенном состоянии в больших объемах воды и извлекаются из нее в осветлителях или в резервуарах с фильтрующим дном. Вода после гашения шлака имеет высокую температуру и содержит сульфиды и цианиды.

*Очистка доменных газов.* Вода после скрубберов содержит взвешенные частицы или дисперсную золу, количество которых зависит от степени очистки газов. Хотя еще несколько лет назад для очистки воды после скрубберов применяли безреагентное отстаивание в радиальных отстойниках со скребковыми механизмами или в горизонтальных отстойниках, в настоящее время для этой цели используют обработку воды химическими реагентами, а затем воду или сбрасывают, или подают на рециркуляцию, не нанося ущерба оборудованию скрубберов.

В качестве реагентов применяют флокулянты, диспергаторы, кислоты или известь. Иногда после осветления перед подачей воды в скрубберы ее фильтруют.

**23.2.3.3. Прямое восстановление.** В этом новом технологическом процессе большие количества воды используются на следующих стадиях.

*Очистка и охлаждение газов,* образующихся при восстановлении руды или при охлаждении губчатого железа. Объемы используемой воды (12—20 м<sup>3</sup> на 1 т губчатого железа) выше, чем при получении чугуна в домнах, а из-за высокой температуры газов из скрубберов выходит очень горячая вода (50—60 °С). Количество захваченных водой пылевидных частиц составляет 4—15 кг на 1 т губчатого железа в зависимости от вида применяемого процесса («Корф», «Мидрекс», «Пурифер», Х.И.Л. и т. д.).

*Охлаждение оборудования* (компрессоров и малоохладителей) и прямое охлаждение газов. Значительные количества обессоленной воды требуются для получения пара при риформинге восстановительного газа.

**23.2.3.4. Конвертеры.** Преобладающее использование металлургических процессов LD, OLP, LWS и BOS обуславливает необходимость создания крупных систем водоснабжения для следующих целей:

вода используется для охлаждения кожуха и трубки для подвода газов (иногда для охлаждения применяют пар);

вода после очистки газов подвергается осветлению с последующей обработкой для предотвращения образования отложений. В зависимости от метода получения стали вода может содержать большие количества кальция или натрия; при высокой щелочности воды наличие кальция может привести к интенсивному образованию карбонатных отложений.

Так как конвертеры работают периодически, качество отработанной воды изменяется в широких пределах по таким показателям, как температура, рН, химические (SO<sub>2</sub>, CaO) и физические загрязнения (оксиды железа и частицы шлака). Для предварительной очистки отработанной воды часто используют песколовки или гидроциклоны, а затем воду очищают в основном с помощью тех же процессов, которые применяют для очистки доменных газов, с учетом различных видов загрязнения.

**23.2.3.5. Непрерывная разливка.** Имеется три типа систем: закрытые системы с подпиткой обессоленной воды для охлаждения изложниц;

система охлаждения разливочной машины с тщательной обработкой воды ингибитором коррозии;

система обрызгивания разливочной машины и блюма.

Отработанная вода содержит окалину и шлак, образующийся при огневой резке. Попадание этих частиц в воду обуславливает необходимость ее отстаивания и фильтрования.

Следует иметь в виду, что иногда происходит значительное загрязнение воды жидкостями, применяемыми для заполнения гидравлических систем (масло, сложный эфир фосфорной кислоты, гликоль).

**23.2.3.6. Цеха горячей прокатки.** К этой категории производства относятся ленточные станы, которые потребляют до

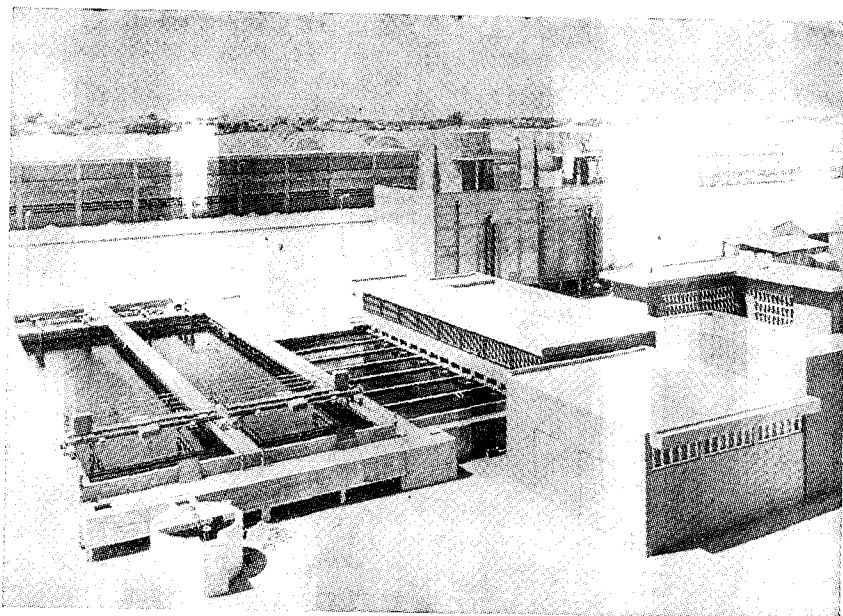


Рис. 23.3. Осветление и фильтрование воды от прокатного стана. Производительность 1500 м<sup>3</sup>/ч. Национальный сталеплавильный завод (Португалия)

60 000 м<sup>3</sup>/ч циркуляционной воды, обжимные станы, станы для прокатки листа, среднесортные полосовые станы, заготовочные станы, станы мелкосортного прута и станы для волочения проволоки.

Кроме обычных процессов следует отметить автоматическую огневую зачистку, при которой образуется большое количество гранулированного шлака, и охлаждение блюмов в бассейнах, в туннелях или обрызгиванием с использованием больших количеств воды, сильного загрязнения которой не происходит.

Двигатели, нефтяные резервуары и нагревательные печи имеют отдельные системы охлаждения.

Удаление окалины — различных оксидов (вюртцит, гематит) — осуществляется промывкой водой. При этом в зависимости от вида прокатного стана и марки стали в воду попадают различные количества частиц различной крупности.

Обработка такой воды перед ее перекачкой должна включать отстаивание в специальных отстойниках для улавливания прокатной окалины или в радиальных ловушках, которые неправильно именуются гидроциклонами.

В зависимости от концентрации и размера частиц окалины, оставшихся в воде после первой стадии очистки, вода затем подвергается осветлению и фильтрованию или только фильтрованию.

Так как вода, содержащая частицы окалины, редко вызывает закупорку фильтров, для ее очистки можно применять высокоскоростные горизонтальные или вертикальные фильтры с большой высотой загрузки (однослойные типа FV2B или двухслойные типа UHR).

Количество взвешенных веществ при поступлении воды в отстойники для улавливания окалины составляют 0,5—4% количества металла, обрабатываемого на прокатном стане.

**23.2.3.7. Станы холодной прокатки.** Производство тонкого проката из оцинкованной стали включает такие процессы предварительной обработки металла, как обезжиривание и травление.

При травлении применяют серную и, чаще, соляную кислоты. В результате контролируемого воздействия на пленку оксидов двухвалентное железо в форме сульфата или хлорида растворяется в травильном растворе и в промывной воде.

В обоих случаях отработанные растворы с большим содержанием кислоты и железа нейтрализуют в несколько стадий негашеной известью, подвергают окислению с помощью аэрации и осветлению. В большинстве случаев для уплотнения образующегося осадка требуются большие объемы сооружений. Количество реагента, которое необходимо для обработки осадка, также велико.

При высоком содержании жиров и мыла стоки от контура обезжиривания следует обрабатывать отдельно, так как при совместной обработке будет затруднено фильтрование осадка от травления.

В цехах цинкования и лужения применяют установки для обессоливания подпиточной или циркуляционной воды в замкнутых контурах окончательной промывки изделий. Для приготовления больших эмульсионных ванн также требуется очень чистая и мягкая вода.

**23.2.3.8. Литейные цеха.** Вода, используемая для очистки ваграночных газов, также подвергается очистке. В зависимости от того, какая используется вагранка — с горячим или холодным дутьем, водоочистная установка состоит из осветлителя с предварительной коагуляционной обработкой воды или без нее.

## 23.2.4. ПРОИЗВОДСТВО МЕДИ

В зависимости от свойств руды металл получают с помощью сухого или мокрого процесса. В возрастающих масштабах применяются гидрометаллургические процессы (см. п. 23.2.2), которые обычно включают выщелачивание серной кислотой и электролиз, так как они дают возможность обрабатывать низкосортные руды и флотационные хвосты. В то же время при обработке растворов перед осаждением металла все большее применение находят ионообменные смолы и особенно жидкост-

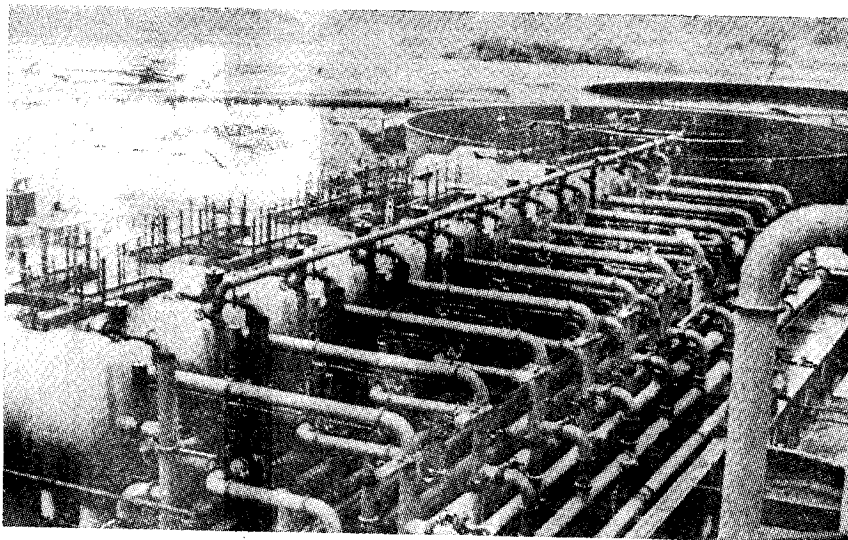


Рис. 23.4. Фильтрация через песок раствора сульфата меди. Производительность 3300 м<sup>3</sup>/ч. Рудники Чингола (Замбия)

но-жидкостная экстракция, поэтому в зависимости от обстоятельств или очищают растворы для получения товарного продукта, или обогащают истощенные выщелачивающие растворы.

Меры по повышению эффективности процесса, приведенные на рис. 23.2, особенно полезны в гидрометаллургии меди. На рис. 23.4 показана фильтровальная станция на медном руднике в Замбии.

Из медных стержней получают прокатный профиль, кабель, проволоку. Черновая обработка меди включает промывку поверхности металла водой; ценные оксиды меди остаются в виде суспензии в воде, и обычно их извлечение в зависимости от размеров частиц прямым осветлением, экстракцией в циклонах или механическим фильтрованием оказывается экономически оправданным. При волочении проволоку погружают в эмульсионные растворы, к составу которых предъявляются жесткие требования, что часто обуславливает необходимость их обработки.

При производстве некоторых типов электрических кабелей и подготовке поверхностей перед последующей окончательной обработкой применяют предварительное травление серной кислотой. Процесс травления приводит к одновременному образованию металлической меди в суспензии и сульфата меди в растворе. Травильные растворы, обогащенные сульфатом меди, регенерируют с помощью электролиза, при котором медь выделяется на катодах. Сульфат меди, захваченный промывной во-

дой, может быть извлечен также после концентрирования меди на катионитовых фильтрах, кислотный элюат которых рециркулирует через электролизер.

### 23.2.5. ПРОИЗВОДСТВО НИКЕЛЯ

Гидрометаллургические процессы в большинстве случаев используются для обработки бедных силикатных руд (гарнирты, латериты). В течение длительного времени применялось только выщелачивание аммиаком или карбонатом аммония. В настоящее время используются другие методы: выщелачивание серной кислотой (горячей и под давлением) и хлорирование.

Штейн также очищается методами гидрометаллургии с использованием двух основных способов выщелачивания — серной кислотой или хлоридами; в обоих случаях металл извлекается электролизом. Процесс с применением хлоридов включает очистку с помощью растворителей и (или) ионообменных смол, а также удаление сульфатов хлоридом бария. И в этом случае эффективность процесса может быть значительно повышена с помощью дополнительной очистки — фильтрования через песок, а при экстракции растворителем — коалесценцией и (или) адсорбцией на активном угле.

### 23.2.6. ПРОИЗВОДСТВО ЦИНКА

Цинковую обманку обогащают методом флотации, что приводит к образованию больших объемов отработанной воды, содержащей истощенную руду и соли цинка в суспендированном или растворенном виде. Так как соли цинка токсичны и их необходимо осадить перед сбросом, воду подвергают обработке щелочными реагентами в осветлителях.

Вода после очистки доменных газов очищается в отстойниках со скребковыми механизмами, в некоторых случаях применяют рециркуляцию осадка. Вредное воздействие некоторых вторичных реакций ограничивается с помощью специальных устройств.

В гидрометаллургии сульфидные руды сначала подвергают обжигу и выщелачиванию серной кислотой, затем производят разделение твердой и жидкой фаз, осаждение других металлов (Cu, Ni, Cd) с помощью цинковой пыли, раствор подвергают электролизу, в процессе которого собирают выделившийся на катоде цинк (при этом серная кислота рециркулирует). Возможно также применение экстракции растворителями. Обогащение бедных руд может быть достигнуто обработкой их аммиаком или каустической содой.



### 23.2.7. ПРОИЗВОДСТВО АЛЮМИНИЯ

Производство алюминия включает экстракцию оксида алюминия из бокситов с последующим электролизом оксида алюминия в расплаве криолита.

Оксид алюминия экстрагируется с помощью щелочного процесса Байера, который включает осветление при температуре 95 °С водного раствора алюмината натрия, содержащего в суспендированном виде оксиды железа и кремния.

Очистка раствора осуществляется в нескольких радиальных отстойниках со скребковыми механизмами. Осаждение красного шлама интенсифицируется введением специальных органических флокулянтов. Разложение алюмината натрия гидролизом и охлаждение до 50 °С приводит к осаждению оксида алюминия, который затем подвергается обжигу.

Электролиз оксида алюминия приводит к выделению больших объемов газа, содержащего различные количества SO<sub>2</sub>, фторидов или фтористоводородной кислоты в зависимости от типа электролитической печи. Эти газы должны быть очищены, чтобы предотвратить загрязнение атмосферы; кислые или щелочные промывные воды нейтрализуют и возвращают в скрубберы для снижения потерь воды. Для этой цели целесообразно применение осветлителей типа «Циркулятор».

При плавлении алюминия и прокатке готовых изделий и полупродуктов вода используется для промывки, охлаждения и обезжиривания. В частности, применение эмульсий обуславливает необходимость разработки методов их очистки с целью повторного ее использования, а также методов очистки продувочных сбросов из загрязненных эмульсионных ванн.

### 23.2.8. ПРОИЗВОДСТВО УРАНА

Уран получают из руды выщелачиванием серной кислотой или щелочным детергентом. Экстракция на этой стадии влечет за собой отделение пустой породы от раствора, содержащего уран, путем осветления и фильтрования, и химическую обработку с использованием одного из следующих методов:

концентрирование на ионообменных смолах;  
экстракция растворителем (трибутилфосфатом или жидкими аминами);

осаждение из элюата (от регенерации ионообменных смол) урана в виде уранатов аммония, кальция или магния и разделение обогащенного растворителя и отработанного раствора.

При кислотной обработке кислый выщелачивающий раствор после отделения от урана должен быть нейтрализован известью, а сульфат кальция осажден в отстойнике со скребковым механизмом.

В случае применения экстракции растворитель регенерируют коалесценцией.

Обработка использованных урановых топливных элементов из ядерных реакторов требует применения фильтрования, обезсоливания, кондиционирования воды в бассейнах-накопителях и воды, используемой в процессе обработки топливных стержней, удаленных из реакторов.

### 23.3. ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Требования к качеству воды при производстве бумаги и целлюлозы устанавливаются американской организацией TAPPI (Техническая ассоциация целлюлозно-бумажной промышленности) для каждого вида продукции (высокосортная бумага, отбеленная и неотбеленная, крафт-бумага, различные типы целлюлозы).

В соответствии со стандартами, приведенными в табл. 23.1, исходная речная вода должна быть очищена с помощью осветления или флотации, часто с применением коагулянтов. Декарбонизация воды иногда производится обработкой известью в осветлителях со слоем взвешенного осадка, обычно с последующим фильтрованием на скорых фильтрах.

ТАБЛИЦА 23.1\*

Показатель	Высоко- сортная бумага	Крафт-бумага		Бумага из древесной массы	Натронная целлюлоза и сульфит- ная целлю- лоза
		отбеленная	неотбелен- ная		
Мутность (по SiO <sub>2</sub> ), мг/л	10	40	100	50	25
Цветность, ед. платино-ко- бальтовой шкалы	5	25	100	30	5
Общая жесткость, мг-экв/л	2	2	4	4	2
Кальциевая жесткость, мг-экв/л	1				1
Магниева жесткость, мг-экв/л					1
Щелочность по метилоран- жу, мг-экв/л	1,5	1,5	3,0	3,0	1,5
Железо Fe, мг/л	0,1	0,2	1,0	0,3	0,1
Марганец Mn, мг/л	0,05	0,1	0,5	0,1	0,05
Остаточный хлор Cl <sub>2</sub> , мг/л	2,0				
Растворенная кремнекис- лота SiO <sub>2</sub> , мг/л	20	50	100	50	20
Солеосодержание, мг/л	200	300	500	500	250
Свободная углекислота CO <sub>2</sub> , мг/л	10	10	10	10	10
Хлориды, мг/л		200	200	75	75

\* Стандарты TAPPI: E 600s-48, E 601s-53, E 602s-48, E 603s-49.

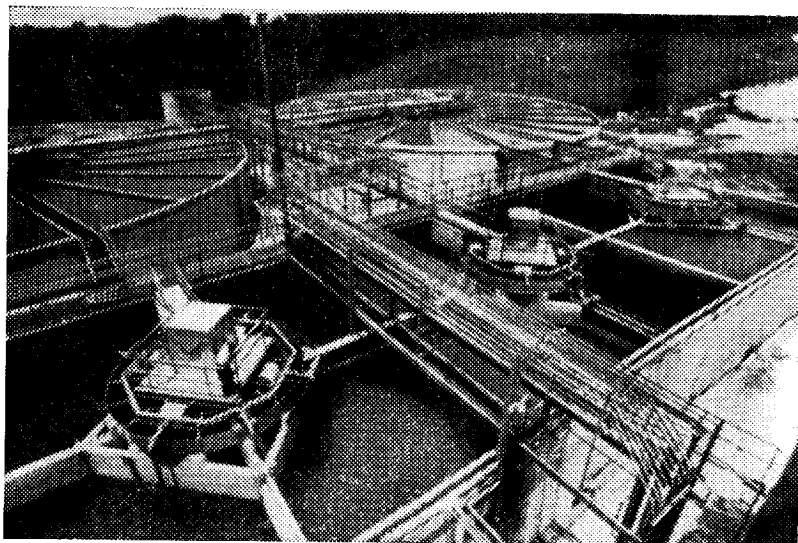


Рис. 23.5. Целлюлозно-бумажный завод Кроун Зеллербах в Сан-Франсисвиле, шт. Луизиана (США). Два «Акселятора» производительностью 75 000 м<sup>3</sup>/сут

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности (особенно целлюлозные заводы) потребляют большие количества пара. Поэтому подготовка воды для питания котлов имеет большое значение.

## 23.4. ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И ПЕРЕРАБОТКА ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 23.4.1. САХАРНЫЕ И РАФИНАДНЫЕ ЗАВОДЫ

**23.4.1.1. Свеклосахарные заводы.** Подготовка воды используется на следующих стадиях производства:

*промывка свеклы;* рециркуляция загрязненной воды через отстойники со скребковыми механизмами (обработка воды для предупреждения роста водорослей, флокуляция полиэлектролитами);

*диффузия свекловичной стружки* (приготовление сырого сока); обработка конденсационной аммиачной воды на катионитовых фильтрах перед подачей ее в голову диффузионной батареи; обеззараживание хлором;

*обработка жидких соков:*

выделение извести из сока второй сатурации (защита испарительных установок от образования накипи). Катионитовые

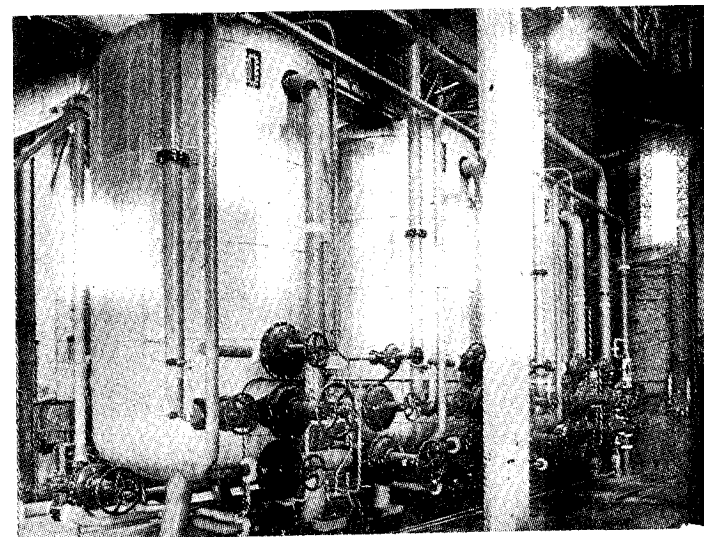


Рис. 23.6. Выделение извести из сока при производстве сахара. Производительность каждого из трех фильтров 125 м<sup>3</sup>/ч

фильтры регенерируют, как обычно, хлоридом натрия или по новому методу — низкосортными маточными сиропами после выделения извести из соков, что предотвращает образование регенерационных растворов, богатых минеральными солями;

обессоливание соков по двухступенчатой схеме на катионитовых и анионитовых фильтрах (для снижения уровня мелассы);

снижение цветности соков фильтрованием через активный уголь или смолы-сорбенты;

*концентрирование соков, кристаллизация сахара:*

кондиционирование сока в выпарных аппаратах;

обработка подпиточной воды котлов при незначительной рециркуляции конденсата (важно для сахарозаводов, включающих цех патоки или перегонную установку);

*обработка низкосортных продуктов* (маточные сиропы или меласса) для снижения уровня сахара мелассы:

обработка маточных сиропов на катионитовых фильтрах, регенерированных хлоридом магния (Quentinprocess). Замещение ионов Na и K ионами Mg снижает количество сахара, оставшегося в мелассе;

обессоливание маточных сиропов или мелассы с помощью ионного обмена, иногда с дополнительной очисткой для получения жидкого сахара.

Отметим, что применение этих процессов часто обуславливает необходимость обработки регенерационных растворов пе-

ред их сбросом. Экономичность такой обработки может быть повышена концентрированием стоков и реализацией извлеченных продуктов (солей аммония и калия, аминокислот).

**23.4.1.2. Производство тростникового сахара.** При производстве тростникового сахара для очистки сырого сока используются следующие промышленные методы:

ускоренное осветление соков, обработанных известью;  
флотация очищенных соков для отделения мелких частиц клетчатки (багассы).

**23.4.1.3. Рафинирование сахара (свекловичного и тростникового).** При очистке растворенного желтого сахара или жидкого сахара используются методы снижения цветности фильтрованием через активный уголь или полимерные адсорбенты.

#### 23.4.2. МОЛОЧНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

В молочной промышленности применяются следующие методы очистки воды:

подготовка воды для котлов и систем охлаждения;  
осветление и обеззараживание производственной воды;  
дехлорирование обеззараженной воды для промывки масла;  
удаление железа из железосодержащих вод, используемых в производстве;

обессоливание или нейтрализация молока или сыворотки (производство сухого молока);

обработка конденсата при сгущении молока;  
очистка воды, используемой при восстановлении сухого молока.

#### 23.4.3. ПИВОВАРЕННЫЕ, ВИНОКУРЕННЫЕ ЗАВОДЫ И ПРОИЗВОДСТВО ГАЗИРОВАННЫХ НАПИТКОВ

Основные процессы обработки воды, применяемые в этих видах производства, включают:

декарбонизацию воды для варки пива;  
умягчение и (или) декарбонизацию воды, используемой для производства лимонада и содовой воды;

частичную декарбонизацию с последующим обеззараживанием перехлорированием и дезодорацией (на активном угле) воды, используемой для приготовления таких напитков, как кока-кола, пепси-кола и т. д.;

декарбонизацию или умягчение воды, используемой для мытья бутылок во всех указанных выше случаях и для мытья бутылок для вина и спирта. В случае применения воды с высо-

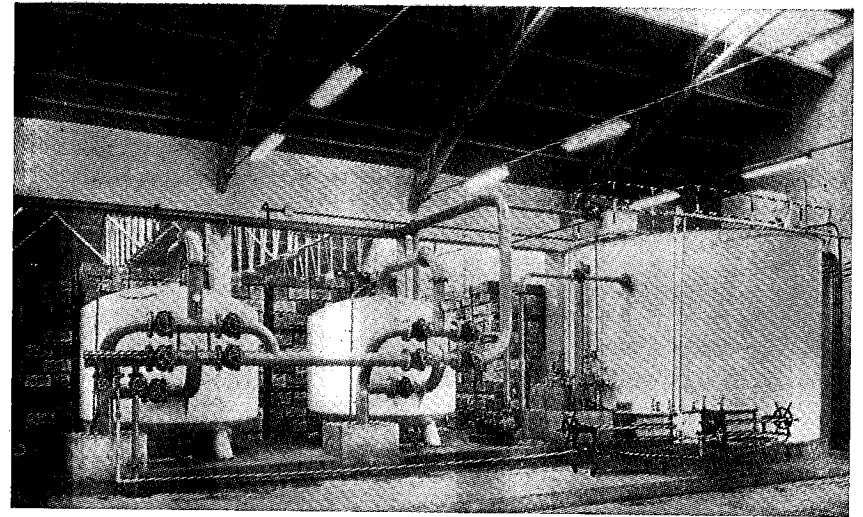


Рис. 23.7. Водоочистная установка для декарбонизации воды на фабрике по производству пепси-колы в Барселоне (Испания). Производительность 28 м<sup>3</sup>/ч

ким содержанием эти процессы следует дополнить обессоливанием с помощью ионного обмена или обратного осмоса; обессоливание воды для разбавления спирта.

#### 23.4.4. КОНСЕРВИРОВАНИЕ ОВОЩЕЙ

При консервировании овощей обычно применяют частичное умягчение производственной воды. Может возникнуть необходимость в снижении общего содержания.

### 23.5. ДРУГИЕ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

#### 23.5.1. ТЕКСТИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Текстильные предприятия на различных стадиях производства потребляют большие объемы воды. В текстильной промышленности применяются следующие виды водоподготовки: умягчение или обессоливание воды при производстве пряжи, особенно при производстве искусственного волокна;

умягчение, часто с предварительной декарбонизацией, воды при отбелке и крашении волокна;

подготовка воды для питания котлов, часто требующих больших объемов подпиточной воды;

обессоливание воды для кондиционирования воздуха в прядильных или ткацких цехах (обратный осмос, ионный обмен).

### 23.5.2. ХИМИЧЕСКАЯ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Проблемы, возникающие при обработке воды в этих производствах, слишком многочисленны, чтобы их можно было перечислить. Сюда входят общие вопросы, относящиеся к системам водоснабжения (охватывают все методы, описанные в ч. 2); кроме того, в химической технологии часто используется точно такое же оборудование, какое применяется при обработке воды.

Ниже приведены примеры использования ионообменных фильтров для решения многих проблем:

очистка глицерина, желатина, лимонной кислоты, фосфорной кислоты, выделяемой при разложении сланца, формалина, метанола и т. д.;

концентрирование или разделение ценных металлов, находящихся в растворах;

разделение и концентрирование ионизированных органических веществ — аминокислот, антибиотиков и т. д.

Во всех случаях технические знания, требуемые при очистке воды, могут быть непосредственно применены в химической технологии.

### 23.5.3. ЭЛЕКТРОНИКА

В производстве полупроводников используются значительные количества воды. Эта вода должна быть очень чистой по физическим, химическим и бактериологическим показателям, так как малейшие минеральные или органические отложения на поверхности изделий наносят непоправимый ущерб.

Поэтому в данной области промышленности имеются установки, которые готовят «сверхчистую воду». Используются различные комбинации всех современных процессов очистки воды: коагуляции, осветления, фильтрования, хлорирования, обработки активным углем, обессоливания в несколько стадий, обратного осмоса, окончательного обеззараживания ультрафиолетовым излучением, фильтрования через мембраны.

Предварительная очистка речной воды в этом случае должна производиться особенно тщательно с использованием всех методов для снижения до минимума содержания минеральных и органических коллоидных загрязнений и растворенных органических веществ.

### 23.5.4. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Методы очистки воды, используемые при химической или электрохимической обработке металлических поверхностей, включают:

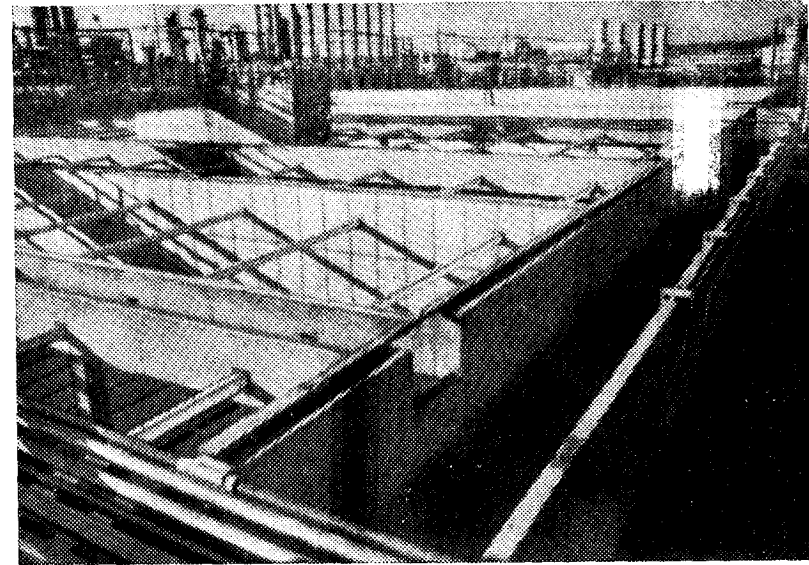


Рис. 23.8. Станция осветления воды с двумя «Пульсаторами» производительностью 40 тыс. м<sup>3</sup>/сут каждый. «Галф Кемикл компани», г. Хьюстон, шт. Техас (США)

получение обессоленной воды из сырой или циркуляционной промывной воды;  
непрерывную регенерацию концентрированных растворов (ионный обмен, ультрафильтрация, обратный осмос);  
извлечение металла, содержащегося в сточных водах.  
Данные об обезвреживании сточных вод в промышленности приведены в гл. 25.

### 23.5.5. ЭКСТРАГИРОВАНИЕ СЫРОЙ НЕФТИ, ОЧИСТКА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Эти предприятия используют большие количества пара, основная часть которого потребляется в производстве, а другая часть после конденсации оказывается в той или иной степени загрязненной. В связи с этим важную роль играет обработка котловой воды (подпиточной и конденсатов).

Для многих процессов также требуется умягченная или обессоленная вода или вода после декарбонизации. Другой важный аспект обработки воды на предприятиях нефтехимической промышленности — защита главных контуров от коррозии путем противокоррозионной обработки воды.

### 23.5.6. РАЗЛИЧНЫЕ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИСПОЛЗУЮЩИЕ ОБЕССОЛЕННУЮ ВОДУ

Обессоливание с помощью ионного обмена или обратного осмоса практически полностью вытеснило старые дистилляционные установки в таких областях, как:

- снабжение чистой водой производственных лабораторий;
- обессоливание воды при производстве и обслуживании аккумуляторных батарей;
- обессоливание воды для серебрения зеркал;
- подготовка воды для фотомастерских;
- разбавление спиртов и промывка емкостей, используемых в парфюмерии, и т. д.

При расходах воды, превышающих 1—2 м<sup>3</sup>/сут, применяются обессоливающие установки, описанные в гл. 10; для получения меньших расходов обессоленной воды часто используют регенерируемые сменные патроны, которые содержат смесь катионита и анионита.

## 23.6. ОЧИСТКА РАССОЛОВ

*А. При производстве очищенных солей перекристаллизацией каменной соли применяют:*

- осветление и деаэрацию исходных рассолов;
- осаждение магния известью и кальция карбонатом натрия в осветлителях типа «Циркулятор» или «Турбоциркулятор»;
- частичное удаление сульфатов известью или хлоридом кальция, рециркуляцию кристаллизационного маточного раствора в осветлителях типа «Пульсатор» с высокой концентрацией осадка.

*Б. При подготовке добавочной воды в системах электролитического получения каустической соды и хлора осуществляют:* общее удаление сульфатов карбонатом или хлоридом бария; осаждение магния и кальция с помощью каустической соды и карбоната натрия.

Указанные выше методы обработки могут включать промежуточную деаэрацию или регулирование pH. За ними часто следует фильтрование через песок (например, на фильтрах типа FV2B).

*В. Непрерывная очистка рассолов при электролитической обработке металлов.*

Назначение этого процесса состоит в том, чтобы ограничить повышение содержания гидроксидов металлов путем обработки части рассола в центрифугах или на вакуум-фильтрах с предварительным нанесением покрытия типа Кэннон.

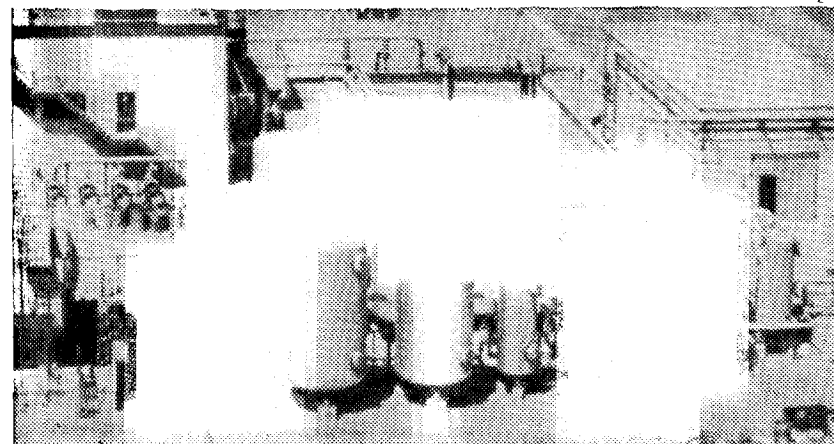


Рис. 23.9. Завод удобрений Митсубиши в Басре (Ирак), три линии обессоливания. Производительность 60 м<sup>3</sup>/ч

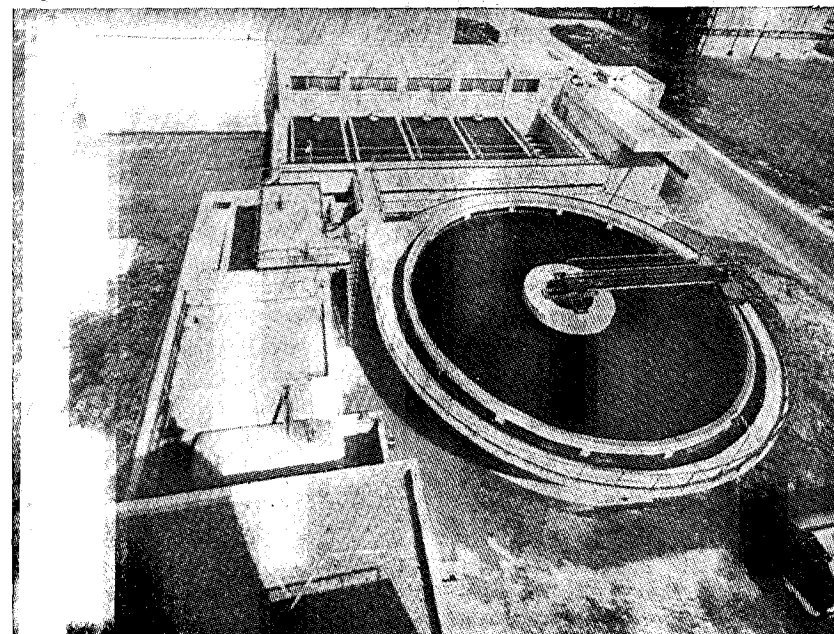


Рис. 23.10. Осветление и декарбонизация производственной воды. Производительность 500 м<sup>3</sup>/ч. Сталеплавильный завод «Юсинор», Мэрдик (Франция)

## 24. ОЧИСТКА БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

### 24.1. ХАРАКТЕРИСТИКА БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

#### 24.1.1. СОСТАВ

Загрязнения, содержащиеся в бытовых сточных водах, состоят из неорганических и органических веществ, находящихся в жидкости в растворенной форме и в виде взвешенных веществ (оседающих, всплывающих и коллоидных). Кроме того, в сточной воде присутствуют микроорганизмы, способствующие разложению органических веществ и вызывающие их анаэробную ферментацию.

Одной из основных характеристик бытовых сточных вод является биоразлагаемость (биодegradация или подверженность биологической очистке), которая зависит от имеющегося баланса питательных для бактерий веществ (азота и фосфора).

Чтобы процесс очистки протекал нормально, сточная вода должна поступать на очистные сооружения в достаточно «свежем» состоянии. Загнившая сточная вода токсична для процесса, и перед первичным отстаиванием ее следует подвергать предварительной аэрации или предварительному хлорированию.

#### 24.1.2. ОЦЕНКА БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Бытовые сточные воды характеризуются их расходом, содержанием взвешенных веществ и биохимической потребностью в кислороде. Определение химической потребности в кислороде (ХПК) производится при оценке производственных сточных вод.

В некоторых населенных пунктах может быть принято характерное для них количество загрязнений на человека (отнесенное к эквивалентному количеству жителей), зависящее от местных условий, жизненного уровня и типа водоотведения.

**А. Расход.** Во Франции, за исключением некоторых особых случаев, приняты следующие нормы водопотребления (на 1 чел.):

при числе потребителей менее 10 000	. . . . .	150 л
» » » от 10 000 до 50 000	. . . . .	200 л
» » » более 50 000	. . . . .	250—500 л

Расход воды в течение дня изменяется, при этом могут возникнуть один или несколько пиков. Принимая  $Q_j$  за 24-часовой расход, получаем: среднечасовой расход за световой день  $Q_d = Q_j/14$ ; среднечасовой расход за сутки  $Q_m = Q_j/24$ .

Величина  $Q_d$  может изменяться в пределах от  $Q_j/12$  до  $Q_j/18$  в зависимости от условий сброса и количества производственных сточных вод,

Пиковый расход в сухую погоду может быть рассчитан по формуле

$$Q_p = Q_m \left( 1,5 \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \right),$$

где  $Q_p$  и  $Q_m$  выражены в л/с при максимальном коэффициенте неравномерности 3.

Во время дождя (в случае общесплавной системы) неравномерность часового притока сточных вод увеличивается в 2—5 раз.

Пиковая нагрузка в сухую погоду бывает обычно один раз в сутки. Чем меньше население и короче канализационная сеть, тем больше относительная величина этой нагрузки.

Если сырая сточная вода содержит значительное количество производственных стоков (от скотобоев, молокозаводов и т. п.), то изменения концентрации загрязнений могут быть более резкими, чем при наличии только бытовых стоков. Это следует учитывать при проектировании сооружений.

**Б. Нагрузка по БПК<sub>5</sub>.** Во Франции нагрузка по БПК<sub>5</sub> сырой сточной воды, выражаемая в г на 1 чел/сут, обычно для отдельных систем составляет 60—70 г, а для общесплавных систем — 70—80 г. Меньшее значение относится к городам с населением свыше 5000 чел., большее — при населении, превышающем 20 000 чел.

При повышении уровня жизни нагрузка по загрязнениям, так же как и объем сточных вод, возрастают. Однако поскольку расход сточных вод увеличивается быстрее, чем количество загрязнений, имеется тенденция к росту объемов стоков при уменьшении концентрации загрязнений.

Концентрация по БПК<sub>5</sub> изменяется в зависимости от времени суток. Пиковая часовая концентрация загрязнений может быть в десять раз выше, чем среднечасовая концентрация.

**В. Нагрузка по взвешенным веществам (ВВ).** Нагрузка по взвешенным веществам, вносимая в сточную воду в сутки от 1 чел., обычно определяется следующим образом:

для отдельной системы — 70 г, включая 70% летучих веществ;

для общесплавной системы — 70 г, включая 66% летучих веществ.

Эти величины относятся к взвешенным веществам, содержащимся в сточной воде, прошедшей обработку на решетках и песколовках, и не включают количества веществ, задержанных в процессе предварительной обработки. Последние составляют:

при процеживании через решетки — 2—5 дм<sup>3</sup> отбросов на 1 чел. в год при ширине прозоров решеток 35—50 мм;

5—10 дм<sup>3</sup> отбросов на 1 чел. в год при ширине прозоров решеток 15—25 мм.



Содержание влаги в этих отбросах после ее естественного дренажа достигает 70—80%.

Объем песка, удаляемого в расчете на 1 чел. в год, достигает 5 дм<sup>3</sup> (при высокой плотности населения) и 12 дм<sup>3</sup> (при меньшей плотности населения).

Объем отбросов, задерживаемых решетками, увеличивается с возрастанием жизненного уровня населения, особенно вследствие использования волокнистых материалов.

Если бытовые отходы в измельченном виде попадают в кухонные раковины и сбрасываются в канализацию (что запрещено во Франции), то эти вещества не задерживаются решетками, и нагрузка на очистные сооружения значительно возрастает (в некоторых городах США БПК<sub>5</sub> и содержание взвешенных веществ в сточных водах возрастают практически вдвое).

**Г. Примеры нагрузок по БПК<sub>5</sub> и взвешенным веществам в разных странах** даны в табл. 24.1.

ТАБЛИЦА 24.1

Страна	Расход, л/(сут.чел)	БПК <sub>5</sub> , г/(сут.чел)	Взвешенные вещества, г/(сут.чел)	Тип системы канализации
Италия	150—350	70	80	Общеслывная Раздельная
Канада, США	400—500	60	70	
	1970 г. 300—500	80—100	100—120	
Япония	1990 г. 300—500	44	40	
	300—500	64—84	58—76	
Швейцария	500	75	100	

**Д. Биоразлагаемость** (см. п. 3.2.3). Если присутствуют органические вещества, очень слабо биологически разлагаемые, химические восстановители или биологические ингибиторы, то это ведет к увеличению соотношения ХПК/БПК<sub>21</sub> (теоретически) и ХПК/БПК<sub>5</sub> (практически), что указывает на присутствие производственных сточных вод.

При наличии таких сточных вод существует опасность, что после обработки воды содержание ХПК в очищенных водах будет чрезмерно высоким. Величина БПК<sub>5</sub>, определяемая присутствием органических веществ, также может указывать на наличие производственных сточных вод.

В городских сточных водах при отсутствии производственных стоков величина БПК<sub>5</sub> определяется на 66% взвешенными и коллоидными веществами и на 34% растворенными веществами.

Обычно часть БПК<sub>5</sub>, определяемая растворенными веществами, увеличивается, когда возрастает содержание производственных стоков в городских сточных водах.

**Е. Влияние производственных сточных вод.** Доля производственных сточных вод в городских сточных водах постоянно растет; часто более экономично обрабатывать смесь бытовых и производственных сточных вод, чем очищать каждый тип сточных вод отдельно, но когда в производственных сточных водах присутствуют токсичные вещества или биологические ингибиторы, необходима их локальная очистка на предприятиях.

Условия приема производственных сточных вод обусловлены специальными инструкциями. За соблюдение законов во Франции несут ответственность «бассейновые агентства».

Загрязнения производственных сточных вод могут быть выражены через эквивалентное число жителей, представляющее нагрузку бытовых сточных вод по БПК<sub>5</sub> на 1 чел. в сутки.

Такое определение нагрузки по БПК<sub>5</sub> хотя и удобно, но недостаточно. Следует также определять эквивалентную величину нагрузки по взвешенным веществам и использовать ту или другую величину для соответствующих сооружений в зависимости от их влияния на метод очистки.

Значение и влияние производственных сточных вод на городские воды может быть представлено путем сравнения качества производственных вод с бытовыми, не содержащими первых. Это сравнение основывается на следующих критериях.

**Наличие азота.** Содержание общего азота в бытовых сточных водах составляет до 15—20% от БПК<sub>5</sub>. Более высокое содержание азота свидетельствует о присутствии производственных сточных вод.

**Влияние pH.** Значение pH бытовой сточной воды обычно близко к нейтральному и колеблется в пределах 7—7,5. Другое значение pH указывает на присутствие производственных сточных вод. Процесс биологической очистки возможен при pH от 6,5 до 8,5.

**Окислительно-восстановительный потенциал (редокс-потенциал) E<sub>H</sub>; окислительно-восстановительная мощность r<sub>H</sub>.** Бытовые сточные воды, достаточно «свежие», имеют окислительно-восстановительный потенциал около +100 мВ, что соответствует r<sub>H</sub> в пределах 17—21 при pH ≈ 7. Потенциал +40 мВ (r<sub>H</sub> = 15 при pH ≈ 7) или отрицательный потенциал указывает на восстановительный характер среды (загнивание сточных вод, гнилостное брожение, аналогичное процессу в септик-тенке, наличие агентов химического восстановления). Потенциал свыше +300 мВ (r<sub>H</sub> = 24 при pH = 7) свидетельствует о чрезмерном окислительном характере среды.

**Токсичность и ингибирование.** Наличие ионов тяжелых металлов, таких как Cu<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Cd<sup>2+</sup> и др., даже в небольших концентрациях (0,1 мг/л), может подавлять активность бактерий.

Сульфиды в концентрации 25 мг/л и выше полностью ингибируют биологический рост неаклиматизированного активного

ила. Через несколько дней адаптации толерантная доза возрастает до 100 мг/л.

Многие соединения токсичны, и их спуск в канализацию и особенно в природные водоемы запрещен законом (например, цианиды, циклические гидроксильные соединения и т. д.).

Некоторые фармацевтические вещества могут быть также вредны для жизнедеятельности бактерий (например, антибиотики).

**Равновесие питательных веществ.** В производственных сточных водах зачастую может наблюдаться дефицит азота и фосфора. В некоторых случаях следует добавлять биогенные элементы (питательные вещества) для восстановления соотношений

$$\text{БПК}_5/N \approx 20 \text{ и } \text{БПК}_5/P \approx 100,$$

необходимых для биологической очистки.

Отсутствие такого баланса может вызвать нарушение биологического процесса, сопровождающегося вспуханием активного ила и снижением эффективности очистки.

**Солесодержание.** Высокое солесодержание может снизить эффективность очистки; резкое его повышение более вредно, чем медленное изменение.

**Температура.** Температурные колебания также оказывают влияние на процесс очистки.

**Ж. Прием стоков при опорожнении выгребных ям.** В городских районах остается еще некоторое количество жилищ, в которых до присоединения к городской канализации сбрасывают стоки в выгребные ямы или септик-тенки. Сточные воды после опорожнения таких резервуаров обычно содержат много песка, иногда гравий и другие примеси, нарушающие процесс очистки.

Эти воды имеют следующий состав:

БПК<sub>5</sub> — от 4000 до 10 000 мг/л;

ХПК — от 6000 до 16 000 мг/л;

взвешенные вещества — от 5000 до 17 000 мг/л;

содержание NH<sub>4</sub> — от 1500 до 5000 мг/л.

Перед сбросом таких сточных вод на городские очистные сооружения они должны быть предварительно обработаны на решетках и песколовках и пропущены через сооружения, где они разбавляются и перемешиваются с сырой сточной водой, желательно в отношении не более 1% общего объема, непосредственно перед поступлением в первичный отстойник (в некоторых случаях необходима преаэрация).

#### 24.1.3. ЦЕЛЬ ОЧИСТКИ

Очистка сточных вод производится с целью снижения содержания загрязнений до концентраций, не оказывающих неблагоприятного влияния на флору и фауну водоемов.

Содержание загрязнений в сточных водах, сбрасываемых в водоемы, должно быть в пределах, ограничиваемых санитарно-гигиеническими нормативами каждой страны. Стандарты качества сбрасываемых вод приведены в табл. 24.2. Это общие стандарты, составленные на основании различных исследований; местные специфические условия (сильное разбавление, охрана зон водоснабжения или зон рекреации и т. п.) могут быть учтены в некоторых случаях компетентными специалистами.

Критерии очистки следует определять в каждом случае на основании самоочищающей способности водоема, а также общего количества загрязнений всех типов, принимаемых им. Максимальный уровень загрязнения рек рассчитывают исходя из их классификации (во Франции: а — реки с сильным загрязнением вследствие сброса сточных вод с содержанием растворенного O<sub>2</sub> ≤ 4 мг/л; б — реки, в которых разводятся карпы, 6 ≥ O<sub>2</sub> > 4 мг/л; с — реки, в которых разводятся лососевые, O<sub>2</sub> ≥ 7 мг/л).

Очищенные сточные воды могут содержать минеральные загрязнения (азотные и фосфорные) и биологические несразлагаемые органические загрязнения (детергенты, пестициды и т. д.). Поэтому в ряде случаев требуется третичная очистка (см. п. 24.4).

#### 24.1.4. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Обработка сточных вод может производиться в сооружениях, работающих отдельно или комбинированно:

— в сооружениях механической очистки, где осуществляют предварительную обработку (удаление грубых загрязнений, песка и т. д., см. гл. 4) и первичное отстаивание (первичная очистка, см. п. 7.2.1) для удаления оседающих или флотируемых суспендированных веществ;

— в сооружениях физико-химической очистки, где неоседающие суспендированные вещества могут быть отделены в сооружениях посредством коагуляции, позволяющей более полно их отделить; путем коагуляции удаляют также некоторые тяжелые металлы и фосфаты;

— в сооружениях биологической очистки для более полного удаления органических загрязнений в результате жизнедеятельности бактерий;

— в сооружениях обработки и сушки осадка (сырого осадка, образовавшегося в первичных отстойниках, и избыточного активного ила из сооружений биологической очистки).

Основная технологическая схема для сооружений средней производительности может изменяться: первичное отстаивание может быть исключено, сточные воды и осадок могут быть под-



вергнуты одновременной аэробной биологической очистке (продленная аэрация и т. п.).

Иногда достаточно частичной очистки, в этом случае ограничиваются механической очисткой. Если требуются очень высокая степень очистки или удаление биологически неразлагаемых веществ, предусматривают третичную очистку, например:

- дальнейшее снижение БПК<sub>5</sub> и взвешенных веществ;
- удаление фосфатов;
- денитрификацию;
- удаление поверхностно-активных веществ;
- хлорирование.

В ряде случаев желательно достичь степени очистки, средней между полной биологической и первичным отстаиванием. Тогда может быть использована физико-химическая очистка воды посредством флокуляции (коагулянтами или полиэлектролитами) с последующим отстаиванием. Физико-химический процесс также пригоден для сооружений с периодической сезонной нагрузкой (курорты, туристические центры). Во всех случаях следует тщательно определять условия удаления осадка и эксплуатационные затраты.

Во избежание чрезмерного увеличения строительных объемов очистных сооружений, особенно при общесплавной канализации, необходимо последовательно ограничить максимальный приток, поступающий на ступень биологической очистки, на первичное отстаивание и, если нужно, на предварительную обработку.

Сравнительно часто при резких увеличениях расходов в период дождей возрастают также расход воды в водоеме и его самоочищающаяся способность.

*Эффективность очистки в различных процессах.* Эффективность очистки зависит от многих факторов, в особенности от регулярности расходов и нагрузки обрабатываемых сточных вод, доли производственных сточных вод, концентрации сырой сточной воды и температуры сточных вод.

Эффективность удаления загрязнений можно оценить следующим образом.

● Первичное отстаивание (механическая очистка) при наличии только городских сточных вод:

— снижение БПК примерно на 35 %;

— удаление оседающих взвешенных веществ примерно на 90 %.

В присутствии производственных сточных вод эффективность удаления может снизиться до 10 %.

● Биологическая очистка. При биологической очистке возможно значительное снижение БПК (более чем на 95 %) в традиционных сооружениях с низкой нагрузкой на активный ил (менее 0,3 кг БПК<sub>5</sub>/кг сухого вещества активного ила).

При увеличении эффективности возрастает также потребление энергии, особенно если начинается процесс нитрификации.

ТАБЛИЦА 24.3. ПРЕДЕЛЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД, ОЧИЩЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СХЕМАХ. СОСТАВ ИСХОДНОЙ ВОДЫ: ВЗВЕШЕННЫЕ ВЕЩЕСТВА — 300 МГ/Л, БПК — 250 МГ/Л, ХПК — 450 МГ/Л

Схема очистки	Взвешенные вещества, мг/л	БПК <sub>5</sub> , мг/л	ХПК, мг/л	Снижение, %			Снижение содержания ингибиторов	
				N <sub>общ</sub>	P	солеосодержания	паразитов, яиц гельминтов	бактерий
1=первичное отстаивание	130—170	150—200	260—340	15	15	—	Эффективное	Незначительное или нулевое
2=1+химическая флокуляция (полиэлектролиты)	50—70	110—160	200—250	2	20	—	Полное	Незначительное
3=1+биологическая очистка	15	12	50	9*	35	—	Эффективное	»
4=3+песчаные фильтры	1	8	40	95*	40	—	Полное	Незначительное
5=3+хлорирование	15	10	45	90*	35	—	Эффективное	Значительное до полного
6=3+1 (биопруды) + хлорирование	15	8	40	90*	35	—	Полное	Полное
7=1+химическое осаждение (Fe <sup>2+</sup> ) + биологическое осаждение (Al <sup>3+</sup> )	10	10	40	90*	90	—	»	Незначительное
8=3+химическое осаждение (Fe <sup>2+</sup> ), (Al <sup>3+</sup> )	15	10	40	90*	90	—	»	Значительное
9=3+биологическая денитрификация	15	8	50	95	30	—	Эффективное	Незначительное
10=4+активный уголь	11	10	10	90*	40	—	Полное	Значительное
11=1+осаждение Ca <sup>2+</sup> +отгонка + восстановление карбонатов + песчаные фильтры	40—60	100—150	200—250	75	90	—	»	»
12=3+химическое осаждение + песчаные фильтры + активный уголь + хлорирование	≈1	≈1	<10	95	95	—	»	Полное
13=11+денитрификация	≈1	≈1	<10	99	99	<100 (ионообмен) 90 (обратный осмос)	»	»

\* С нитрификацией.

Вместе с тем следует отметить, что биологическая очистка включает аэротенки и вторичные отстойники, работающие всегда совместно. Эффективность работы системы в равной степени определяется как стадией отстаивания, так и стадией аэрации. ● Третичная очистка (см. п. 24.4). Этот общий термин охватывает различные методы обработки, применяемые дополнительно к биологической (или вторичной) очистке. Основными среди них являются фильтрование, окисление в биопрудах, хлорирование, химическое отсаживание, отгонка, адсорбция на активном угле, деионизация и т. д.

Эффективность различных процессов приведена в табл. 24.3.

## 24.2. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

### 24.2.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Аэробная биологическая очистка сточных вод основана на развитии бактерий, которые в процессе своей жизнедеятельности потребляют органические вещества, содержащиеся в сточной воде. Развитие бактерий происходит, когда они находятся в сточной воде в виде суспензии (активный ил) или в виде фиксированной пленки (биологический фильтр). Эти процессы обсуждались в гл. 8.

Для предотвращения влияния тяжелых и крупных загрязнений на процесс биологической очистки ему предшествуют сооружения предварительной очистки. На маленьких станциях можно обойтись без первичного отстаивания, в этом случае необходима предварительная обработка, которая должна включать полное удаление жиров.

### 24.2.2. ОЧИСТНЫЕ УСТАНОВКИ ПРОДЛЕННОЙ АЭРАЦИИ

На этих установках, имеющих в основном малую производительность, происходит очистка сточных вод и одновременно возможна стабилизация осадка благодаря достаточно низким нагрузкам на активный ил.

Преимуществом данного способа является простота эксплуатации, но вместе с тем требуются резервуары значительно больших объемов. Они используются в различных системах, большинство из которых описано ниже.

**24.2.2.1. Установка типа М. А.** Установка типа М. А. представляет собой компактное сооружение, состоящее из резервуара окисления, оборудованного одним или несколькими поверхностными аэраторами, и вторичного отстойника с рециркулирующей ила илилоскребом, укрепленным на мостике.

**Окислительный резервуар.** Сырая сточная вода перемешивается до «интегрального смешения» с циркулирующим активным илом и имеющейся в резервуаре жидкостью. Перепуск активно-

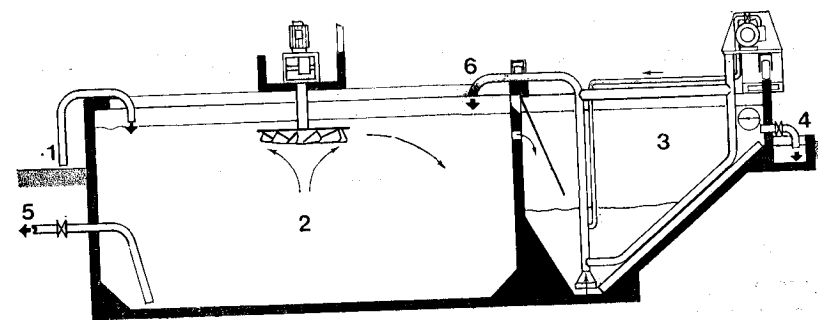


Рис. 24. 1. Схема установки М. А.

1 — подача сырой сточной жидкости после грубых решеток и удаления песка; 2 — зона окисления; 3 — зона осветления; 4 — выпуск очищенной воды; 5 — отвод избыточного ила; 6 — возвратный ил

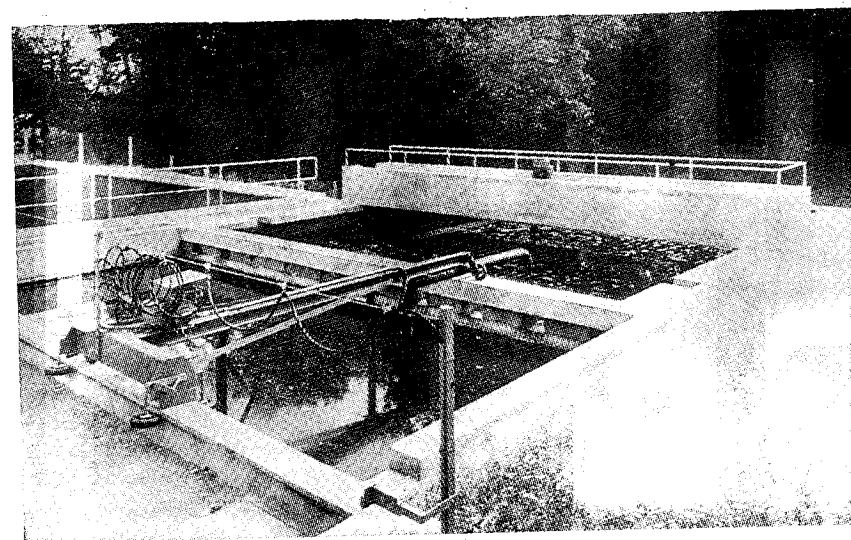


Рис. 24.2. Установка М. А. для обработки воды от 1500 эквивалентных жителей

го ила в следующее сооружение (вторичный отстойник) управляется распределительным механизмом.

Сточная вода перемешивается и окисляется поверхностным аэратором «Актиротор», закрепленным на бетонной платформе. Гидравлика системы основана на пропорциональном соотношении объема резервуара и определенной мощности аэратора и рассчитывается из условия создания однородной суспензии ила с тем, чтобы не было мертвых зон, в которых тормозится процесс очистки.

*Вторичный отстойник.* Ил, находящийся в этом резервуаре, сгребается на дне, откуда забирается эрлифтом. Скребки и эрлифты смонтированы на мостике, имеющем возвратно-поступательное движение; изменение движения мостика на обратное управляется по часам. Автоматическое оборудование обеспечивает рециркуляцию ила без потерь и сбор всего ила без взмучивания его поверхности.

Сточная вода поступает во вторичный отстойник через затопленную трубу, которая предотвращает некоторое перемешивание в точке ввода активного ила. Осветленная вода вытекает по каналу или погружной трубе. Водослив защищен перегородкой от пены и плавающих веществ, которые отводятся посредством затопленной воронки, размещенной под мостиком.

Конструкция М.А. исключает возможность появления неуправляемой денитрификации, как, например, подъем сгустков ила на поверхность. При высокой степени рециркуляции ила и сохранении на постоянном уровне его концентрации процесс осуществляется при низких нагрузках на ил. Этим устраняется риск возникновения засоров, связанных с низким рециркуляционным расходом, подаваемым насосом.

*Добавления и изменения.* При большой высоте сооружения вместо механического аэратора может быть использована продувка воздухом, подаваемым от воздуходувок. Сооружение может быть дополнено стабилизационным резервуаром, что приводит к конструкции, известной под названием S.A.M. (см. п. 24.2.3.2).

**24.2.2.2. Миниблок А. Р.** Миниблок А. Р. сочетает различные камеры, требуемые для процесса обработки, состоящие из отдельных металлических прямоугольных резервуаров заводского изготовления; эти камеры служат для первичного отстаивания, аэрации, вторичного отстаивания, перекачки очищенной воды.

Аэрация осуществляется сжатым воздухом, подаваемым от воздуходувок; воздух подается и в эрлифты, которые размещены в концентрических трубах и используются для рециркуляции ила из вторичного отстойника в аэрационную камеру.

Перегородка, расположенная в верхней части камеры отстаивания, задерживает плавающие вещества, периодически подаваемые эрлифтом в камеру аэрации.

Миниблок А.Р. используется в пяти вариантах, отличающихся объемом, который рассчитан на очистку сточных вод соответственно от 100, 200, 300, 400 и 500 жителей. Основными параметрами для расчета могут служить те же данные, что и для обычных систем продленной аэрации:

аэрация — нагрузка на ил 0,07 кг БПК/кг сухого вещества ила в сутки;

вторичное отстаивание — скорость подъема 0,7 м/ч при максимальном расходе,

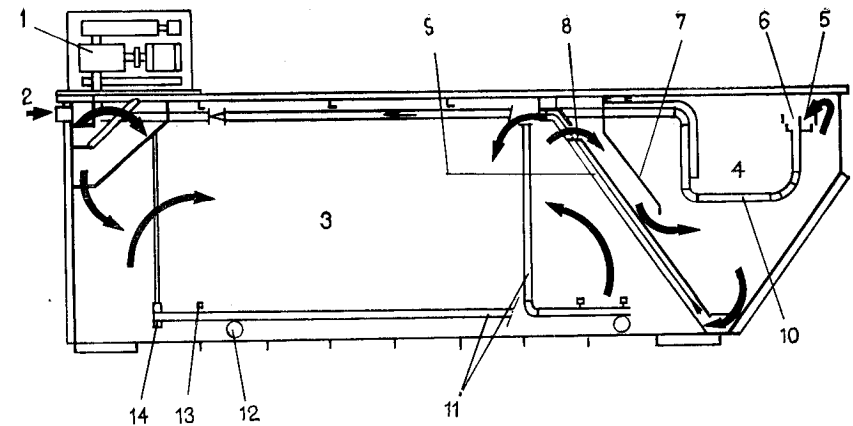


Рис. 24.3. Схема миниблока А. Р.

1 — воздуходувка; 2 — подача сырой сточной жидкости; 3 — продленная аэрация; 4 — осветление; 5 — сборный канал очищенной воды; 6 — сборный канал пены; 7 — погружная перегородка для пены; 8 — перепускное отверстие; 9 — рециркуляция ила; 10 — откачка пены; 11 — подвод воздуха; 12 — противофлотационное отверстие; 13 — диффузор Вибрейр; 14 — дренажная пробка для воздухоподводящей трубы

**24.2.2.3. Установка типа М. V.** Эта система идентична конструкции миниблока А.Р. Она предназначена для очистки сточных вод от населения 600—2000 жителей и изготавливается из железобетона.

**24.2.2.4. Установка типа U. I.** Активный ил при продленной аэрации может относительно долгое время существовать без подачи кислорода. Станция типа U.I., работающая в попеременном режиме в двух резервуарах, использует эту особенность, что позволяет создать особенно простую и надежную конструкцию сооружений малой и средней производительности.

Установка U.I. (рис. 24.4) состоит, прежде всего, из двух идентичных резервуаров  $1^1$  и  $1^2$ , каждый из которых оборудован поверхностным аэратором «Актиротор». Сырая сточная вода  $5$  подается в распределительную камеру с водосливом. Две электрифицированные задвижки  $4^1$  и  $4^2$  позволяют направлять поток сточных вод попеременно в резервуар  $1^1$  и  $1^2$ . Если открыта задвижка  $4^1$ , то задвижка  $4^2$  закрыта, и наоборот. Резервуары  $1^1$  и  $1^2$  соединены водосливом или трубой  $8$ . Две электрифицированные задвижки  $3^1$  и  $3^2$  позволяют отводить очищенную воду из резервуаров  $1^1$  и  $1^2$ , для чего каждый из них снабжен сборной трубой с прорезями ( $2^1$ ,  $2^2$  и  $6$ ). В самых глубоких точках резервуаров установлены две трубы  $9$ , отводящие избыточный активный ил.

Порядок работы представлен в табл. 24.4.

Интервалы времени составляют:  $t_1 - t_0$  и  $t_3 - t_2 = 6$  ч;  $t_2 - t_1$  и  $t_4 - t_3 = 1$  ч.

*Эксплуатация.* Пуск и остановка «Актиротора», а также открытие и закрытие электрифицированных задвижек для пода-



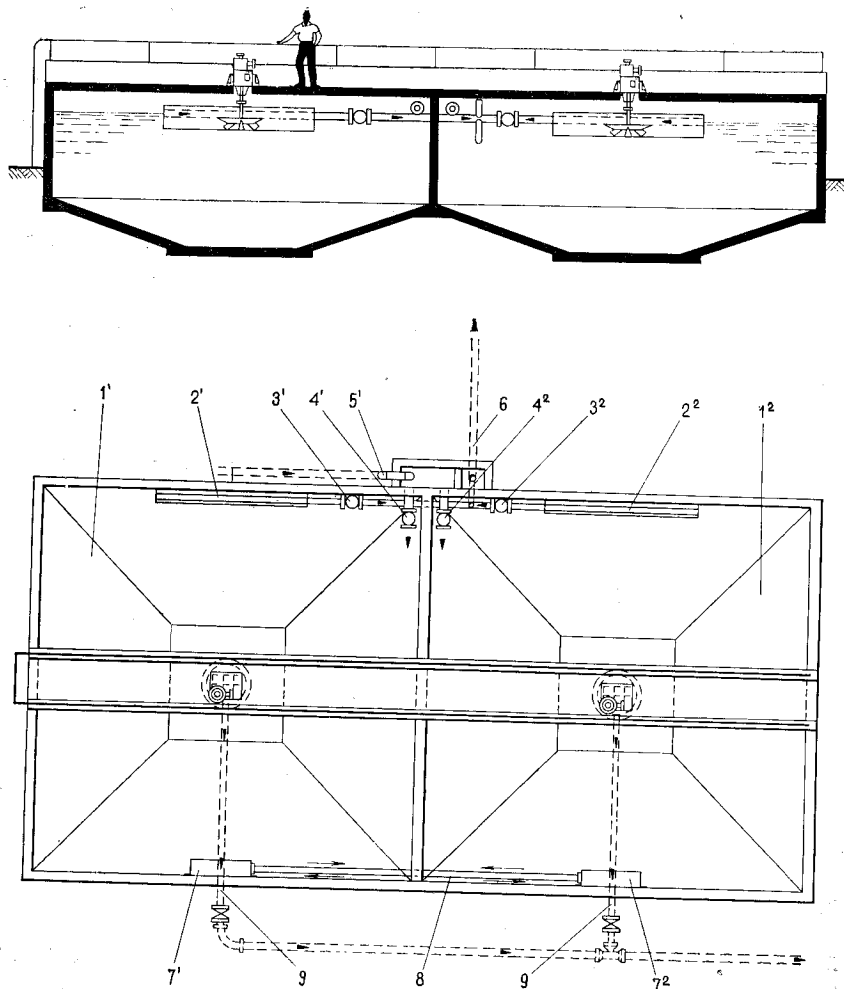


Рис. 24.4. Типичная установка U. I.

чи и отвода воды производятся автоматически и не требуют ручного управления.

Обработка активного ила осуществляется очень просто. Данные об удалении избыточного ила устанавливаются на основании производимого раз в две недели контроля содержимого осевшего ила путем отбора проб из двух резервуаров за период работы в режиме аэрации.

Для удаления избыточного ила открывается сбросная задвижка того резервуара, который находится в фазе отстаивания. Концентрация ила, удаляемого из этого резервуара, может достигать 20 г/л.

ТАБЛИЦА 24.4

Время	$t_0$	$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$
Цикл	0	I				II
Активатор $C_1$	Выключен	Включен	Выключен	Выключен	Выключен	Включен
$C_2$	»	Выключен	»	Включен	»	Выключен
Подача	$C_2$	$C_1$	$C_1$	$C_2$	$C_2$	$C_1$
Отвод	$C_1$	$C_2$	$C_2$	$C_1$	$C_1$	$C_2$

*Технические данные.* Объем резервуара, рассчитанного на нагрузку 0,18—0,35 кг БПК<sub>5</sub>/(м<sup>3</sup>·сут), соответствует общему периоду пребывания около 24 ч, что в значительной степени компенсирует колебания, возникающие при переменном режиме работы.

*Удаление азота (см. п. 3.2.5).* Достаточность аэробной фазы, в процессе которой сток нитрифицируется, и анаэробной фазы, при которой происходит денитрификация, позволяет достичь высокой степени удаления азота, составляющий 80% и более, что находится в значительной зависимости от температуры.

Система типа U.I. может удовлетворять требованиям уровня 6 французского стандарта сброса в водоемы (т. е. очень высокого уровня), которым обусловлена максимальная концентрация азота по Кьельдалю до 7 мг/л.

*Дополнения и изменения.* Установка U.I. особенно пригодна для случаев, когда предусматривается дальнейшее расширение. Она может быть легко превращена в установку S.A. (см. п. 24.2.3.1); объем системы можно удвоить путем добавления только вторичного отстойника.

Вариантом установки U.I. является замена аэрации «Активатором» на пневматическую аэрацию.

**24.2.2.5. Установка типа A.O.S.** В этой установке аэротенк оборудован одним или несколькими поверхностными аэраторами либо воздуходувками и соединен с отдельно стоящим вторичным отстойником с системой скребков или без нее.

Активный ил может рециркулировать посредством насоса или самотеком в сточную воду, подаваемую в аэротенк.

Подобно установке M.A. данная установка может быть позднее расширена и использована при средних нагрузках. Если в ней дополнительно имеется стабилизатор, то она становится

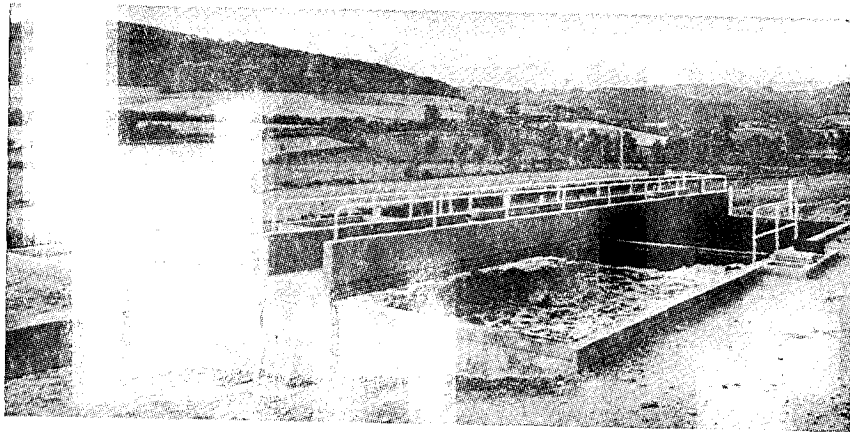


Рис. 24.5. Установка У.І. для обработки воды от 2500 эквивалентных жителей

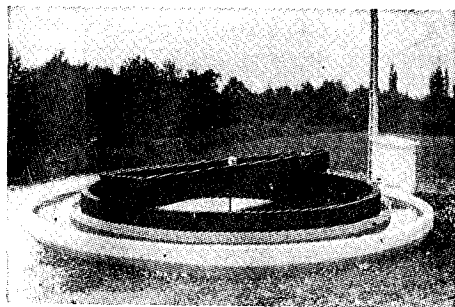


Рис. 24.6. Установка А. С. для обработки воды от 2000 эквивалентных жителей

вится аналогичной установке типа S.A. (см. п. 24.2.3.1). Это сооружение может использоваться для обработки сточных вод от 1500 жителей и более.

**24.2.2.6. Установка типа А.С.** Это компактное сооружение состоит из круглого в плане центрального аэротенка, окруженного кольцевым вторичным отстойником без скребков. Сточная вода насыщается кислородом посредством поверхностного аэратора «Активатор», кото-

рый благодаря эффекту подкачки, усиливаемому поддувочной трубой, обеспечивает также необходимую рециркуляцию.

Установка А.С. может быть использована для очистки сточных вод от населения 500—4000 жителей.

**24.2.2.7. Окислительные каналы установки типа «Карусель».** В канале (обычно небольшой глубины), образованном замкнутой окружностью, один или несколько горизонтальных щеточных аэраторов насыщают жидкость кислородом и одновременно ее перемешивают и перемещают. Каналы могут быть нескольких видов:

один резервуар постоянного действия;

один постоянно действующий резервуар, в котором канал дополнен вторичным отстойником с рециркуляцией активного

ила. Если канал запроектирован круглой в плане формы, то и вторичный отстойник круглый.

Установки типа «Карусель» работают по подобному принципу, только щетки заменены аэраторами с вертикальной осью вращения.

Существует много других систем продленной аэрации; все они более или менее подобны описанным выше.

### 24.2.3. ОЧИСТНЫЕ УСТАНОВКИ СРЕДНЕЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ АЭРОБНОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ

**24.2.3.1. Установка типа S.A.** Принцип и описание: в установке S.A. сточная вода обрабатывается без первичного отстаивания, а избыточный активный ил стабилизируется в аэробных условиях в отдельном сооружении, оборудованном механическим аэратором «Активатор». Эта схема может быть использована для очистки сточных вод от населения более 50 000 жителей.

Помимо предварительных решеток, сооружений для удаления песка и жира и насосного оборудования установка S.A. включает следующее оборудование:

аэротенк;

вторичный отстойник с донными и поверхностными скребками;

резервуар стабилизации ила.

Во многих случаях, особенно в небольших установках, резервуары аэрации и стабилизации располагаются рядом. Тогда установка S.A. состоит только из двух блоков: аэротенк/стабилизатор и вторичный отстойник.

После предварительной обработки сточная вода поступает в аэротенк  $A_1$ , оборудованный одним или несколькими «Активаторами». Из аэротенка иловая смесь направляется во вторичный отстойник  $D$ . Очищенная вода  $Q_t$  сбрасывается в водоем.

Ил, осевший на дно вторичного отстойника, возвращается в аэротенк для поддержания постоянной концентрации активного ила. Это циркулирующий ил  $qr$ . Ил может быть возвращен в начало сооружений станции посредством перекачки его насосом  $P$  или самотеком. Эти процессы управляются автоматически.

Избыточный ил перекачивается в стабилизатор  $A_2$  иловыми насосами  $P$ , отдельным насосным оборудованием или самотеком. Эти процессы могут управляться автоматически посредством «Седимометра» фирмы «Дегремон» (см. п. 19.1.3.1). Надильную жидкость следует возвращать в начало сооружения станции.

**Эксплуатация.** Основные процессы управляются автоматически из общего диспетчерского пункта. Поверхностный аэратор «Активатор» может работать постоянно или периодически в зависимости от изменения среднесуточного расхода и степени

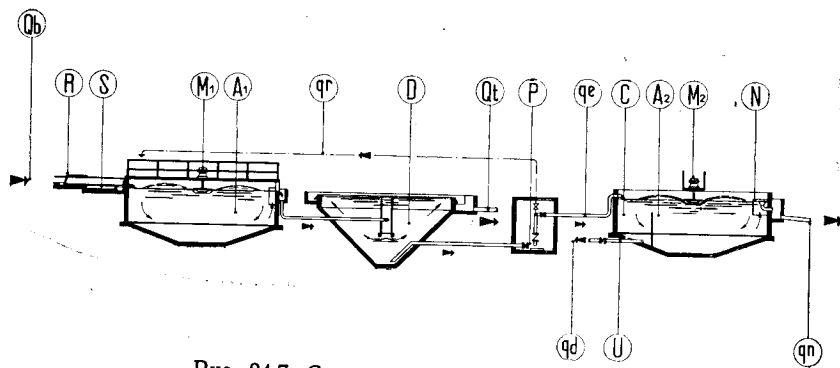


Рис. 24.7. Схема очистной станции S. A.  
*Q<sub>b</sub>* — сырая сточная жидкость; *R* — решетки; *S* — песколовки; *M<sub>1</sub>* — мотор-редуктор; *A<sub>1</sub>* — аэротенк; *q<sub>r</sub>* — возвратный ил; *D* — вторичный отстойник; *Q<sub>t</sub>* — очищенная сточная жидкость; *P* — насос для перекачки ила; *q<sub>e</sub>* — поступление ила в стабилизатор; *C* — уплотнитель ила; *A<sub>2</sub>* — стабилизатор ила; *M<sub>2</sub>* — мотор-редуктор; *N* — поверхностный сброс; *q<sub>d</sub>* и *U* — удаление стабилизированного ила; *q<sub>n</sub>* — отвод надиловой жидкости

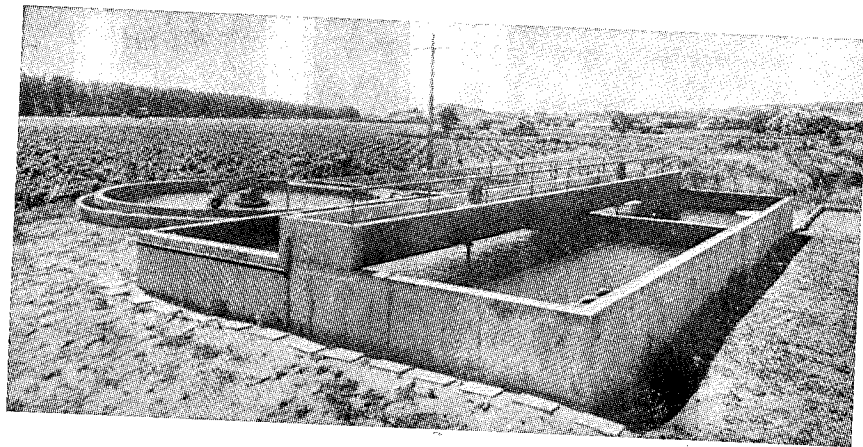


Рис. 24.8. Установка S.A. для обработки воды от 15 000 эквивалентных жителей

очистки. Эксплуатацию установки S.A. определяют главным образом следующие факторы:

- надзор за механической работой аэратора;
- регулирование скорости циркуляции активного ила и эксплуатационного цикла аэратора. Управление основано на простом измерении процентного содержания ила и концентрации растворенного кислорода в резервуарах;
- передача избыточного активного ила в стабилизатор каждые вторые сутки;
- периодическое удаление стабилизированного ила на иловые площадки.

**Параметры.** Установка S.A. может быть запроектирована на основании следующих данных:

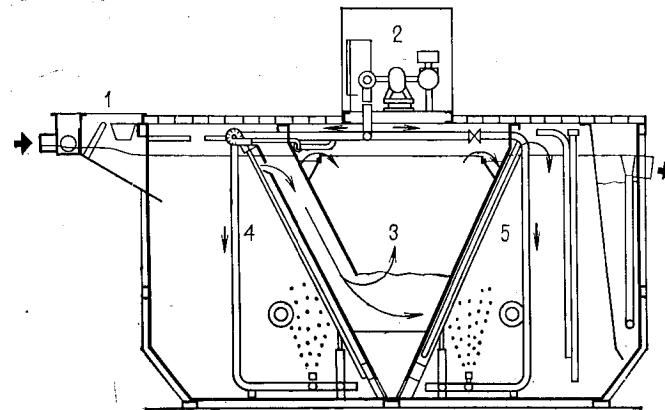


Рис. 24.9. Схема миниблока А.С.  
 1 — впуск сырой сточной жидкости; грубые решетки; 2 — воздуходувка; 3 — освещение; 4 — аэрация; 5 — аэробная стабилизация

объем аэротенка: 1—2 кг БПК<sub>5</sub>/сут на 1 м<sup>3</sup> объема сооружения;

объем стабилизатора: 25—50 л/чел;

поверхностная (гидравлическая) нагрузка на вторичный отстойник: 10—20 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) по максимальному расходу.

Параметры определяют также скорость удаления стабилизированного ила, частоту и величину пиковых расходов и максимальную нагрузку по загрязнению.

**Вариант с первичным отстойником.** В некоторых случаях, особенно при расширении установки, может быть целесообразным использование в схеме первичного отстойника, в который поступает и избыточный ил. Концентрация сырого осадка, обрабатываемого в стабилизаторе, не должна превышать 25 г/л.

**24.2.3.2. Установка типа S.A.M.** В этой установке аэротенк и вторичный отстойник скомпонованы идентично системе M.A., однако стабилизатор отделен. Таким образом, установка S.A.M. является развитием конструкции установки M.A. (см. п. 24.2.2.1).

**24.2.3.3. Миниблок А.С.** Миниблок А.С. представляет собой единый блок, в котором аэротенк и вторичный отстойник объединены со стабилизатором ила. Это компактное сооружение выполняется из металла в заводских условиях и, полностью смонтированное, транспортируется на место установки. Миниблок А.С. включает:

аэрационную камеру, в которой воздух диспергируется посредством аэратора «Вибрейр»;

камеру вторичного отстойника с эрлифтами для рециркуляции активного ила и транспортировки избыточного ила;

камеру аэробной стабилизации, оборудованной аэраторами «Вибрейр» и устройством для концентрирования ила;

воздуходувку и автоматические устройства.

Основными расчетными параметрами являются:

аэрация: нагрузка 1 кг БПК/сут на 1 м<sup>3</sup> объема аэротенка;  
вторичное отстаивание: скорость около 0,3 м/ч при среднем расходе;

стабилизация: объем такой же, как при аэрации.

Миниблок А.С. может быть пяти типов: для очистки сточных вод от населения 70, 150, 200, 270 и 350 жителей.

#### 24.2.4. СТАНЦИИ СРЕДНЕЙ И БОЛЬШОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ С АНАЭРОБНЫМ СБРАЖИВАНИЕМ ИЛИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ ОСАДКА

**24.2.4.1. Общие положения.** Этот метод обработки следует применять для средних и больших станций.

*А. Типичная схема станций этого типа:*

предварительные решетки (обычно механизированные);  
удаление песка, если необходимо (аэрируемые песколовки);  
удаление жира, если необходимо (часто объединяется с песколовками);

перекачка насосами или шнеками;

первичное отстаивание (общее или только частичное первичное отстаивание пиковых расходов) в круглых или прямоугольных отстойниках со скребками;

аэрация сжатым воздухом или поверхностными аэраторами; аэротенки часто состоят из нескольких коридоров (секций), имеющих различные гидравлические схемы движения (см. п. 24.2.4.3, В);

вторичное отстаивание в круглых или прямоугольных резервуарах со скребками или, что бывает чаще, с илососами;

рециркуляция активного ила посредством насосов или шнеками, избыточный ил может быть возвращен в начало сооружений станции;

перекачка неуплотненного или уплотненного сырого осадка; одно- или двухступенчатое анаэробное сбраживание с отдельными газгольдерами;

механическое обезвоживание осадка (или естественное подсушивание при соответствующих климатических условиях);

термическая сушка (если необходимо);

сжигание ила (если необходимо) на станции или совместно с бытовыми отходами на расположенной поблизости мусоросжигательной станции.

Эффективность анаэробного сбраживания может быть увеличена, если осадок свежий и уплотненный. Рекомендуется в качестве наиболее простого метода уплотнения избыточного активного ила смешение его со сточной водой, поступающей в первичные отстойники. При этом отстаивание позволяет снизить

БПК<sub>5</sub> на 25—35%, что ведет к уменьшению объема аэротенков и снижению энергоемкости.

Станции такого типа, широко распространенные в Западной Европе, могут конкурировать со станциями, работающими с аэробной стабилизацией ила (описанными в предыдущем разделе). Однако они обладают определенными преимуществами: сушка осадка упрощается вследствие значительного уменьшения его массы и объема, а также из-за большой аккумулирующей емкости метантенков. Кроме того, достигается почти полное разрушение патогенной микрофлоры.

Такие станции строятся «по аналогии», и только на некоторые сооружения и оборудование имеются стандарты.

*Б. Варианты.* Заслуживающим внимание вариантом биологической обработки является объединение аэротенка и вторичного отстойника в комбинированное сооружение типа «Оксирапид», включающее рециркуляцию ила эрлифтами (см. п. 8.2.2.2.)

При обработке осадка метантенки в ряде случаев обеспечивают снижение капитальных затрат (теплота сгорания осадка может быть использована при его сжигании).

Обезвоживанию осадка, чаще всего механическому, должна предшествовать химическая или термическая стабилизация.

Желательно предусматривать уплотнитель свежего осадка (с обработкой его известью), являющийся буфером. Осадок первичных отстойников можно также уплотнять и в обычных уплотнителях со скребками, а избыточный активный ил — посредством флотации.

С другой стороны, обрабатываемый осадок имеет большой объем. Этот недостаток можно устранить сжиганием осадка на месте. «Буферное» влияние емкости метантенка действует не-

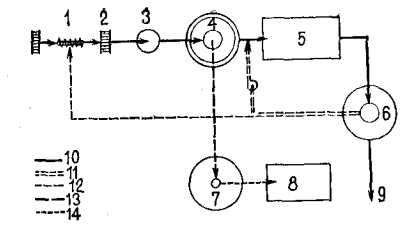


Рис. 24.10. Очистная станция обычного типа с использованием активного ила

1 — шнек; 2 — решетка; 3 — удаление песка и жиров; 4 — первичный отстойник; 5 — аэротенк; 6 — вторичный отстойник; 7 — метантенк; 8 — иловые площадки; 9 — выпуск в реку; 10 — поступление сточной воды на обработку; 11 — возвратный активный ил; 12 — избыточный активный ил; 13 — свежий осадок; 14 — сброженный осадок

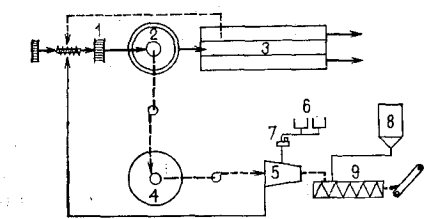


Рис. 24.11. Очистная станция без метантенков с установкой «Оксирапид» и химической стабилизацией осадка

1 — решетки; 2 — первичный отстойник; 3 — установка «Оксирапид»; 4 — уплотнитель; 5 — центрифуга; 6 — реакгентный узел; 7 — дозирующий насос; 8 — бункер для извести; 9 — сжигание

долго, и положение может оказаться критическим, если этот недостаток проявится на станции в процессе эксплуатации.

Еще одна возможность обработки осадка — прямое компостирование сырого осадка с биологическими добавками (отсортированные бытовые отходы, виноградные стебли и т. п.).

*Е. Дополнительные сооружения.* На очистной станции иногда дополнительно применяют третичную очистку, например, удаление фосфатов, денитрификацию (см. п. 24.4).

#### 24.2.4.2. Эксплуатация и контроль

*А. Эксплуатация сооружений очистки сточных вод* включает следующие ежедневно производимые замеры и операции:

а) контроль сооружений предварительной обработки, очистку решеток и песколовков;

б) отвод сырого осадка из первичных отстойников;

в) регулирование работы аэротенков в соответствии с содержанием растворенного кислорода в иловой смеси; непрерывный контроль осуществляют посредством анализатора кислорода электродного типа. Полученные средние данные этого анализатора автоматически регулируют работу аэрационных сооружений, поддерживают содержание растворенного кислорода в установленных пределах (1—2 мг кислорода на 1 л). В зависимости от применяемой системы аэрации регулируется подача воздуха или работа поверхностного аэратора (изменением глубины погружения турбины или частоты ее вращения);

г) контроль активного ила в аэротенках:

измерение процентного содержания ила в специальном устройстве. Эта трудоемкая операция может производиться автоматически с использованием «Седиметра» (см. п. 19.1.3.1);

при соответствующих условиях измерение плотности ила производится вручную («Понсариметр», см. п. 27.6) или автоматически (с использованием подходящего денсиметра или измерителя мутности). Эти измерения весьма важны, если качество активного ила непостоянно, в таких случаях большое значение имеет измерение процентного содержания ила. Содержание сухого вещества в осадке может быть быстро определено посредством измерения плотности (плотность более тщательно определяют в лаборатории, но результаты будут получены только через несколько часов);

д) удаление избыточного ила; его производят либо вручную, либо автоматически посредством электрического циклично работающего таймера. Возможно также использование «Седиметра» или денсиметра для регулирования удаления ила (см. выше);

е) регулирование скорости рециркуляции активного ила.

*Б. Жиры и флотуемые вещества* удаляются, в основном, на этапе предварительной обработки, а в процессе первичного отстаивания собираются обычно сборным желобом и периодически удаляются.

*В. Эксплуатация метантенков* также требует ежедневного проведения определенных операций:

загрузки свежего осадка в метантенки;

контроля за постоянством температуры при нагреве метантенка;

осуществления цикла перемешивания метантенка; в одноступенчатых метантенках цикл перемешивания обычно связан с загрузкой свежего осадка и может регулироваться автоматически посредством электрического циклично работающего таймера. В двухступенчатых метантенках осадок в метантенке первой ступени перемешивается постоянно;

контроля величины рН, содержания летучих кислот и щелочности;

измерения расхода образующегося газа;

контроля качества газа (содержание  $\text{CO}_2$  или  $\text{CH}_4$ );

качественного контроля за рециркуляцией надильовой жидкости в начало сооружений станции.

*Г. Эксплуатация сооружений механического обезвоживания осадка* требует более тщательного надзора, в частности, необходимо обеспечивать удовлетворительное концентрирование осадка и оптимальные условия работы используемого оборудования. Поэтому последние должны быть продуманы для ежедневной эксплуатации при условии, что укомплектован персонал, обслуживающий сооружение.

*Д.* Таким образом, если обеспечено эффективное снижение расхода энергии и упрощение эксплуатации, установлено необходимое автоматическое и контрольное оборудование, в частности, сенсорное, то при работе очистных сооружений будет поддерживаться порядок и постоянный контроль.

*Е.* В табл. 24.5 и 24.6 приведены образцы вахтенных журналов, используемых для ежедневной эксплуатации на очистных станциях средней производительности, включающих аэротенки и сбраживание.

На основании этих вахтенных журналов можно вносить поправки и дополнения в процесс в различных случаях (включая искусственную сушку осадка или сжигание и т. п.). Другие документы являются более специфичными, поскольку они связаны с эксплуатацией механического оборудования (оборудование оперативного контроля, частота смазки и ремонта, периодичность контроля и т. д.).

На станциях средней и большой производительности, где обычно работает более квалифицированный персонал, чем на малых сооружениях, особое значение следует придавать уменьшению неквалифицированных кадров. Кроме того, на станциях средней производительности нужно стремиться к односменной работе. Поэтому любое оборудование, подверженное дефектам, необходимо оснащать сигнальными устройствами для оповещения ответственных лиц, живущих поблизости.

ТАБЛИЦА 24.5

День	Очистные сооружения				Аэротенки				Ежедневный журнал за неделю					
	Поступающая сточная вода		O <sub>2</sub>		Выход		Фактор		Количество воздуха		Количество очищенной воды		Количество возвратной воды	
	расход, м <sup>3</sup> /сут	расход, л/с	часы пик	общее количество отбросов на решетках, м <sup>3</sup> /сут	общее количество песка, м <sup>3</sup> /сут	утром	днем	выход	индекс Мольмана	М <sup>3</sup> /сут	М <sup>3</sup> /ч	М <sup>3</sup> /сут	М <sup>3</sup> /ч	М <sup>3</sup> /сут
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														

ТАБЛИЦА 24.6

День	Метангенки				Газ				Осадок				
	рН		Легучие кислоты		Температура внутри		Расход, м <sup>3</sup> /ч		сырой		сброженный		
	ПВ	ПО	ОВ	ОЩ	МВ	МП	МВ	МП	МВ	МП	М <sup>3</sup> /сут	РН	% взвешенных веществ
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													

Среднее!

П р и м е ч а н и я. ПВ — поступающая сточная вода; ПО — вода после первичных отстойников; ОВ — очищенная вода; МП — метангенки первой ступени; МВ — метангенки второй ступени; ОЩ — общая щелочность.

Предохранительные и сигнальные устройства (рН-метры, вторичные указатели уровня и т. п.), а также контрольные устройства для обводных линий и закрытия задвижек должны быть закольцованы и питаться от автоматических подзарядных аккумуляторных батарей.

#### 24.2.4.3. Станции большой производительности

А. *Общие положения.* Станции очистки сточных вод большой производительности из-за своих крупных размеров привлекают к себе особое внимание. На этих станциях желательно осуществление следующих мероприятий:

автоматическое ограничение пиковых расходов после предварительной обработки и первичного отстаивания; параллельное проведение каждой стадии обработки в нескольких сооружениях для упрощения обслуживания отдельных сооружений.

Обычно в распоряжении очистной станции имеется трансформаторная подстанция, подсоединенная к сети среднего (3000—5000 В) или высокого напряжения (15 000—30 000 В). На некоторых сооружениях имеются понижающие трансформаторные подстанции (HV — MV), внутренняя сеть среднего напряжения (MV) и местные трансформаторы среднего и низкого напряжения (MV — LV). Батареи конденсаторов могут зачастую использоваться для повышения косинуса φ (коэффициента мощности).

Чтобы в какой-то степени уменьшить ущерб, причиняемый природной среде крупными сооружениями, принимают следующие меры:

используют высокопроизводительные электрические и механические приборы и оборудование, снабженные всеми возможными устройствами безопасности (в противоположность малым установкам, где важнейшим является простота надзора и эксплуатации);

обслуживающий персонал закрепляют за определенными сооружениями (при двух-или трехсменной работе или, по крайней мере, в ночное время делают надзорный обход), за ремонтом оборудования, в лаборатории (анализ и контроль) и т. д. Состояние сооружений периодически контролируется лабораторией и записывается в регистрационных ведомостях, а именно в суточных и месячных эксплуатационных таблицах, ведомостях квартального баланса, документах технического обслуживания и записи времени работы оборудования, ведомостях осмотра машин и т. д. Разработаны также статистические документы с целью выявления изменений в нагрузках по загрязнениям, предвидения суточных, недельных и сезонных пиков и изучения возможности расширения сооружений.

Группа вспомогательных сооружений включает: административное и общественное здание;



лабораторию, оборудованную необходимой аппаратурой для отбора проб и проведения контроля и анализов;

электрическую и механическую мастерские для ремонта оборудования;

склад запасных и использованных деталей;

гараж;

здание для обслуживающего персонала.

*Б. Аэрационное оборудование.* Для аэрации применяют либо воздуходувки, либо поверхностные аэраторы (см. п. 8.2.3).

Если станция расположена вблизи жилых районов, следует принять специальные меры по снижению шума, производимого оборудованием. Уровень шума, измеренный в непосредственной близости от жилых зданий, не должен превышать 45—55 дБА в течение дня и 35—45 дБА ночью.

Станции всегда должны быть окружены одним или несколькими рядами деревьев (не обязательно разнообразных видов, но посаженных так, чтобы листва не падала в открытые резервуары).

Воздуходувки следует размещать в звуконепроницаемых зданиях или располагать под землей. Звукопроницаемость здания должна быть рассчитана на 10—30 и 20—30 дБ между наружными и внутренними помещениями в зависимости от качества здания и частоты звуковых колебаний.

Некоторые машины производят шум интенсивностью свыше 90—110 дБА; хорошая звукопроницаемость позволяет снизить уровень шума вблизи здания воздуходувок на 55—65 дБА.

При всасывании воздуха извне (а иногда при сбросе воздуха) должны быть предусмотрены глушители шума (рассчитанные на 15—30 дБ). Тепло, излучаемое машинами, следует удалять посредством отдельной вентиляции или циркуляции отводимого от воздуходувок воздуха по зданию перед его пропуском через фильтры.

Следует помнить, что шумозащита обходится дорого, и выбор экономичных, но слишком шумных воздудувок в конечном счете определяет повышение общих капитальных затрат.

Шум, создаваемый каждым поверхностным аэратором, достигает примерно 90 дБА, а с аэрозолем, образующимся вследствие разбрызгивания при этом воды, очень трудно бороться. Поэтому аэрационное оборудование следует располагать под крышей, и в таких случаях требуются хорошая вентиляция и обеспечение звукопроницаемости.

В системах пневматической аэрации сжатый воздух обычно подается от воздудувок, которые могут размещаться в отдельных зданиях. Они бывают двух типов:

нагнетательные воздуходувки Рута;

одно- или многоступенчатые центробежные воздуходувки.

Давление, необходимое для аэротенков, составляет обычно 30—50 МПа.

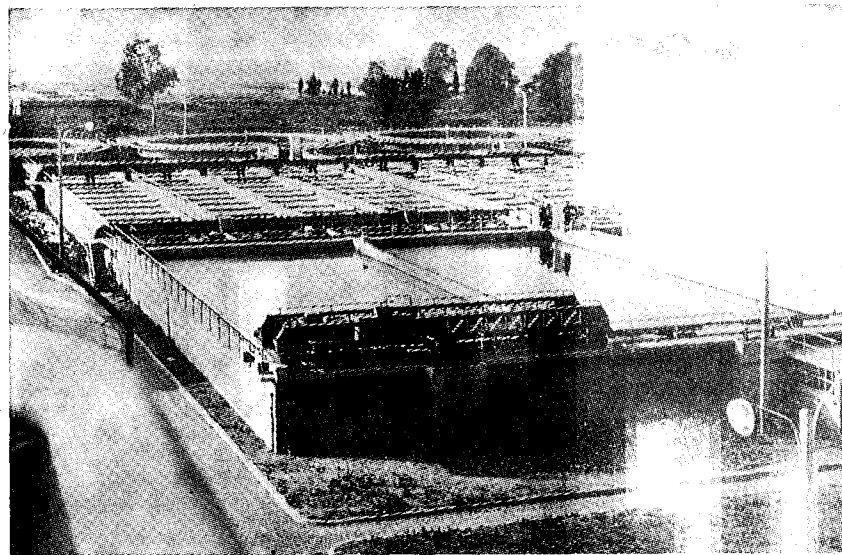


Рис. 24.12. Очистная станция в Тунисе (400 тыс. эквивалентных жителей)

Нагнетательные воздуходувки Рута с двумя вращающимися лопатками имеют производительность, приблизительно пропорциональную частоте вращения при постоянном моменте вращения мотора. Общий средний КПД составляет 60—70% при давлении 40 МПа.

Высокопроизводительные центробежные воздуходувки имеют подобный КПД, но нагнетаемый расход изменяется в зависимости от противодавления. Последнее может быть недостатком, если уровень воды в аэротенке подвергается значительным колебаниям. Поэтому необходимо предусматривать автоматическое регулирование для поддержания постоянного расхода посредством изменения аэродинамических условий подачи (регулируемые лопатки в потоке воздуха до воздудувки или после нее, управляемые электрическим или пневматическим вспомогательным мотором, настроенным на заданное значение).

Воздуходувки Рута следует применять при расходах не более 6000 м<sup>3</sup>/ч. При больших расходах предпочтительнее использовать воздуходувки центробежного типа.

Изменение производительности для сохранения высокого КПД обеспечивается:

на воздудувках Рута — изменением частоты вращения;

на центробежных воздудувках — регулированием лопаток в воздушном потоке;

при трехступенчатых воздудувках — изменением частоты вращения на третьей ступени.

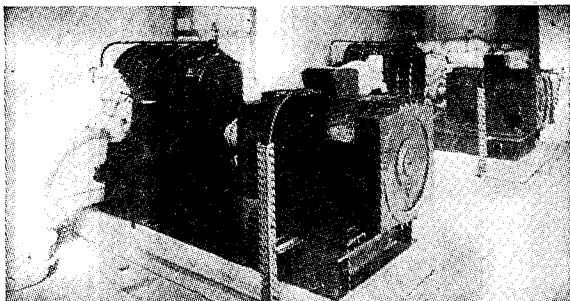


Рис. 24.13. Помещение воздуходувок в Туре (Франция)

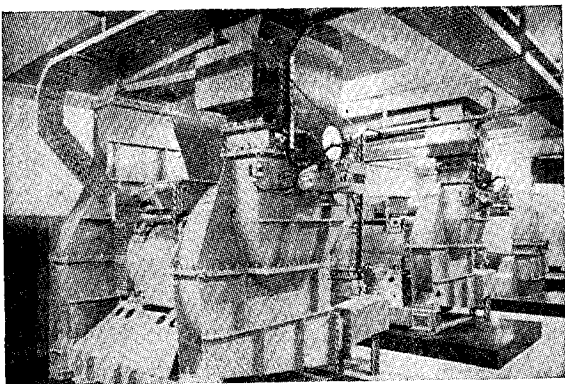


Рис. 24.14. Помещение центробежных воздуходувок в Бордо (Франция)

Фильтрация воздуха необходима в случае мелкопузырчатой системы аэрации во избежание аккумуляции пыли в аэраторе.

Содержание пыли в фильтрованном воздухе должно быть не более 15 мг на 1000 м<sup>3</sup> воздуха.

Фильтрация может производиться в две фазы:

в префилтре с эффективностью задержания пыли 80—90 % по массе;

в конечном фильтре, например, в фильтре с сухой загрузкой из стекловолокна, обладающей очень высокой эффективностью.

Общая потеря напора при фильтрации может достигать 20—50 мм.

Наконец, требуется очистка от пыли всех бетонных поверхностей, контактируемых с фильтрованным воздухом (бетонные трубы и каналы, помещения после воздушных фильтров и т. п.).

Загрязнение воздуха, выраженное через массу пыли, мг/м<sup>3</sup> воздуха:

сельские и пригородные районы . . . . .	0,03—0,5
городские районы . . . . .	0,07—1,0
индустриальные зоны . . . . .	<u>0,25—4,0</u>

### В. Контроль расхода сточной воды

а. На очистных канализационных сооружениях большой производительности возникает ряд проблем, связанных с контролем расхода сточной воды, например:

автоматическое и равное распределение расхода сточной воды по параллельно работающим сооружениям (в частности, в условиях неравномерного притока сточной воды, когда гидравлические потери напора в подводящих лотках изменяются);

автоматическое выравнивание пиковых расходов путем сброса в определенных (контрольных) точках избыточного расхода сточной воды в специальные циркуляционные линии, возвращающие этот избыточный расход в начало очистных сооружений. Такие контрольные точки устанавливают перед первичными отстойниками или сооружениями биологической очистки;

создание ряда гидравлических контуров жидкости в аэротенках, которые обеспечивают оптимальные условия биологической активности ила (эксплуатация аэротенков параллельно, последовательно или с рассредоточенной подачей сточной воды и т. п.) или выравнивание концентрации растворенного кислорода в иловой смеси.

б. Для осуществления контроля за расходом сточной воды могут быть использованы пропорциональные регулирующие сифоны, работающие под вакуумом.

Система регулирования расхода сточной воды включает:

железобетонные или металлические сифоны, неподвижные или оборудованные установленными под уровнем жидкости механическими устройствами;

автоматические клапаны, регулирующие пропуск определенной части воздуха в сифон;

движки с пневматическим приводом.

Незаряженный сифон (связанный с атмосферой) выполняет функцию закрытой движки. Для зарядки сифона необходимо создание первоначального вакуума, для чего могут быть использованы вакуум-насосы, всасывающие вентиляторы, пневматические воздушные эжекторы, гидравлические воздуходелители и т. п. Для работы в режиме включен — выключен (без регулирования пропускаемого расхода) возможно использование сифона (с повышающимся давлением), состоящего из простого металлического колокола, покрывающего затопленный водослив. Когда колокол соединен с атмосферой, жидкость проходит свободно, но когда под давлением воздуха уровень жидкости внутри колокола падает ниже водослива, поток жидкости перекрывается.

Самые различные проблемы контроля могут быть решены с использованием пропорционального регулирующего сифона, который регулирует уровень воды в восходящем и нисходящем отсеках, устанавливает заданный расход или диапазон измене-

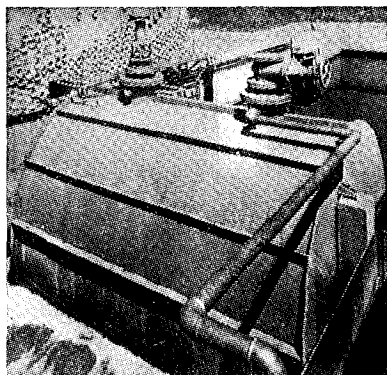


Рис. 24.15. Пропорциональный сифон, Лион (Франция)

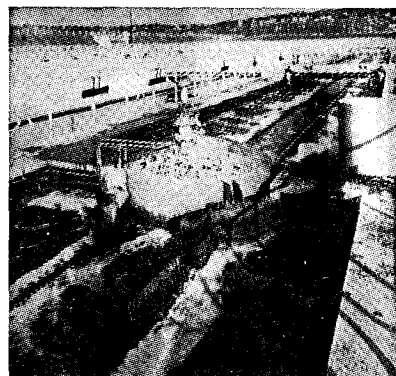


Рис. 24.16. Сифон, регулирующий подачу сточной жидкости в установку «Оксирапид». Очистная станция Ашер в Париже

ния расхода по уровням воды в нисходящем и восходящем отсеках, действует как компенсатор давления и т. п. (см. п. 9.6.2).

Г. Измерения и автоматический контроль работы сооружений. Средства измерения, наблюдения и управления могут обеспечивать любую возможность от полностью ручной эксплуатации сооружений с местным контролем до автоматического управления из диспетчерской. Выбор той или иной степени обеспеченности средствами контроля и управления зависит от следующих факторов:

квалификации обслуживающего персонала; в случае немногочисленного, но высококвалифицированного персонала предпочтительнее автоматическое управление, при многочисленном и менее квалифицированном персонале — ручное;

стоимости электроэнергии (некоторые автоматические контрольные системы могут производить оптимизацию работы сооружений по затратам электроэнергии) и реагентов (контроль дозы реагентов и т. д.);

возможности ремонта и эксплуатации средств автоматики, устанавливаемых на очистных сооружениях канализации с первоклассной технической оснащённостью, в данном районе или стране.

а. Средства для измерения и наблюдения. В табл. 24.7 перечислены измеряющие (И), регистрирующие (Р) или суммирующие (С) приборы, которые очень желательны (1), желательны (2), необязательны или требуются только на сооружениях с первоклассной технической оснащённостью (3).

Приборы, измеряющие невысокие давления и температуру, ниже приведены.

ТАБЛИЦА 24.7. ОСНОВНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ

Измеряемый параметр и объект измерения	Средство или способ измерения	Приборы			Примечания
		И	Р	С	
Расход сточной воды: поступающая отстоенная часть, сбрасываемая в период пикового расхода биологически очищенная очищенная	Водослив или лоток Паршала	1	2	2	Расход сточной воды: общий общий или на отстойник общий на технологическую цепочку общий
	То же	2	3	3	
	»	3	3	3	
	»	2	3	3	
	Водослив	1	1	1	
Расход осадка: сырой осадок возвратный ил избыточный ил уплотненный ил сброженный осадок	Электромагнитный расходомер	1	2	1	Расход осадка: общий или там, где нет уплотнителей общий или на технологическую цепочку общий или на технологическую цепочку на один уплотнитель общий
	Водослив, лоток Паршала, трубка Вентури	2	3	3	
	Водослив	2	3	3	
	Электромагнитный расходомер	1	2	1	
	То же	1	1	1	
Расход воздуха: общий на воздухоподогреватель на технологическую цепочку	Диафрагма или трубка Вентури	1	1	1	Расход воздуха: общий » »
	То же	2	3	3	
	»	1	3	3	
Плотность осадка: сырой осадок уплотненный ил активный ил	Радиационная абсорбция	2	2	—	Плотность осадка: где нет уплотнителя
	То же	2	2	—	
	Измеритель плотности фирмы «Дегремон»	3	3	—	

Продолжение табл. 24.7

Измеряемый параметр и объект измерения	Средство или способ измерения	Приборы			Примечания
		И	Р	С	
возвратный ил сброженный осадок	То же Радиационная абсорбция	3	3	—	
		2	3	—	
Аэротенки: растворенный кислород	Электродный анализатор	1	1	—	Аэротенки: одна или более точек в аэротенке
доза ила	Седимометр фирмы «Дегремон»	2	3	—	на аэротенк
Очищенная вода: мутность	Мутномер фирмы «Дегремон»	3	3	—	
Газ метантенков: расход образующегося газа расход потребленного газа содержание CO <sub>2</sub> содержание CH <sub>4</sub>	Диафрагма или трубка Вентури То же	1	2	1	Газ метантенков: общий или на метантенк то же
		2	3	2	
	Анализатор »	3 3	3 3	— —	
Анаэробное сбраживание: рН сброженного осадка	рН-метр	3	3	—	Анаэробное сбраживание: метантенк I ступени то же
температура внутри метантенка	Термометрический способ	1	1	—	
температура горячего осадка	То же	1	2	—	выход из теплообменника
температура горячей воды	»	1	2	—	вход в теплообменник
Обезвоживание осадка (фильтрация или центрифугирование): расход поступающего осадка	Электромагнитный расходомер	1	2	1	Обезвоживание осадка (фильтрация или центрифугирование): если расход отличается от расхода сброженного или уплотненного осадка
концентрация поступающего	Радиационная абсорбция	3	3	3	

Измеряемый параметр и объект измерения	Средство или способ измерения	Приборы			Примечания
		И	Р	С	
осадка расход (часовая масса) флокулянта	Различные	2	3	2	Сжигание: если масса отличается от часовой массы кека
часовая масса кека	Взвешивание с ленточного транспортера	2	3	2	
мутность фильтра (фугата)	Специальный мутномер	3	3	3	
Сжигание: часовая масса поступающего осадка	Взвешивание с ленточного транспортера	1	2	1	
расход воздуха	Диафрагма или трубка Вентури	1	1		
расход топлива	Различные	1	1	1	
температура на различных уровнях печи	Пирометрическая проба	1	1		
температура дымовых газов	То же	1	1		
содержание O <sub>2</sub> в дымовых газах	Анализатор	2	3		

Установка желательных или необязательных приборов обеспечивает получение постоянной информации по интересующим объектам, хотя подобные измерения могут периодически выполняться и обслуживающим персоналом с использованием портативного оборудования.

В зависимости от вида системы контроля измеряющие, регистрирующие или суммирующие приборы могут быть сгруппированы вместе или установлены отдельно (т. е. измеряющие устройства устанавливаются вместе с регистрирующими и суммирующими приборами в диспетчерской). Диспетчерская оборудуется пультом управления, который включает:

сигнальные лампы, показывающие, работают механизмы или нет;

сигнальные лампы, указывающие на электротехнические повреждения;

сигнальные лампы, показывающие, что оборудование готово к выполнению операции (запрограммированное оборудование); другие сигналы, показывающие, например, положение задвижки.

Пульт управления может также содержать группу сигналов повреждений (например, слишком высокий или низкий уровень жидкости в лотках или резервуарах насосных станций, падение

давления воды, воздуха или контролируемой среды, слишком высокое или низкое положение газоприемного раструба и т. д.).

Регистрирующие и суммирующие приборы иногда монтируются на пульте управления и включаются в систему контроля.

Такая диспетчерская часто имеет главный пульт для основных электрических управляющих устройств (кнопок, переключателей, селекторов) и приборов наблюдения (вольтметров, амперметров и т. п.).

б. Выполнение технологического контроля (см. гл. 19). Многие операции контроля могут быть автоматизированы, в частности следующие.

б1. Контроль за работой аэрационного оборудования в соответствии с потреблением кислорода в аэротенках. Для этой цели используется измерение концентрации растворенного кислорода в иловой смеси с помощью датчиков. Определение концентрации кислорода в одной точке достаточно для аэротенка-смесителя; если концентрация растворенного кислорода неодинакова в объеме аэротенка, то отбирается несколько проб и система контролируется по точке с наименьшей концентрацией. Заданный диапазон изменения концентрации растворенного кислорода может составлять 0,3—0,5; 1,5—2 мг/л (задается наиболее часто) или выше (более 3 мг/л) в зависимости от условий проведения биологического процесса.

Управление производится:

для воздуходувок Рута — изменением частоты вращения или периодическим включением и выключением;

для центробежных воздуходувок — изменением угла наклона лопасти турбины или частоты вращения;

для поверхностных аэраторов — работой в режиме включено — выключено или медленно — быстро, если возможно, изменением глубины погружения или частоты вращения.

В случае если одна воздуходувка снабжает воздухом несколько аэротенков, для возможности регулирования концентрации растворенного кислорода в каждом аэротенке устанавливают автоматические вентили, распределяющие воздушный поток по отдельным сооружениям. Такие автоматические вентили также входят в систему контроля.

б2. Контроль распределения жидкости в аэротенке в соответствии с содержанием растворенного кислорода. Эту систему контроля используют только в аэротенках с рассредоточенной подачей сточной воды. Так же, как в предыдущем случае, измеряют концентрацию растворенного кислорода в различных точках, которая может служить для контроля распределения расхода сточной воды по коридору аэротенка, чтобы обеспечить одинаковое содержание кислорода в иловой смеси. Если разница концентраций растворенного кислорода в этих точках превышает заданную величину

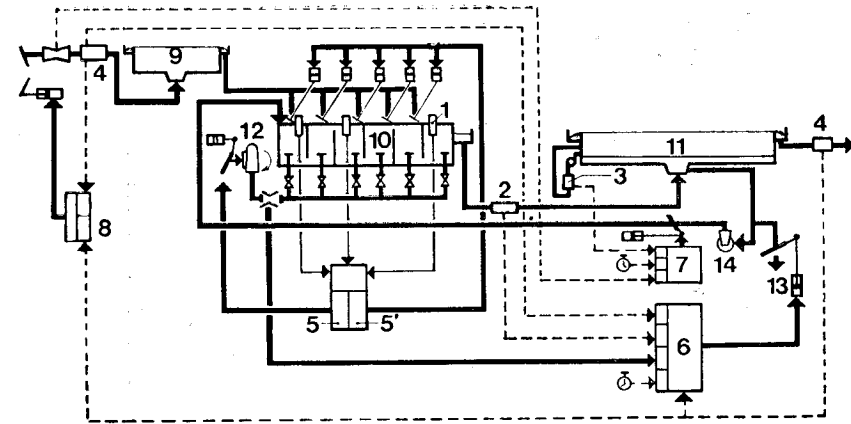


Рис. 24.17. Схема, иллюстрирующая принцип системы контроля ОВС (кислород — ил — нагрузка)

1 — анализаторы  $O_2$ ; 2 — седимометр или денсиметр; 3 — детектор уплотненного слоя осадка; 4 — измеритель загрязнения; 5 — регулятор  $O_2$ ; 5' — регулятор распределения сточной жидкости, выходящей из первичного отстойника; 6 — регулятор избыточного ила; 7 — регулятор рециркуляции; 8 — регулятор загрязнения; 9 — первичный отстойник; 10 — аэротенк; 11 — вторичный отстойник; 12 — воздуходувка; 13 — удаление избыточного ила; 14 — насос для рециркуляции

ну (например, 0,5 мг/л), то подача сточной воды в аэротенк перераспределяется до тех пор, пока разница концентраций кислорода не достигнет заданной величины.

Такая система контроля позволяет свести к минимуму расход воздуха в аэротенках.

б3. Контроль сброса избыточного ила, который осуществляется способами, описанными в п. 8.4.3.2.

Все системы контроля процесса биологической очистки сточных вод даны на схеме, показанной на рис. 24.17. Эта схема предполагает применение «Седимометра», если активный ил имеет достаточно постоянное качество, или непрерывно действующего измерителя плотности определенной конструкции (см. п. 19.1.3.1).

Для указанных целей могут быть использованы абсорбционные фотокolorиметры с закрытой и усовершенствованной фотоэлектрической кюветой, которые довольно точно измеряют концентрацию сухого вещества активного ила. Однако при этом необходима индивидуальная калибровка, а также корректировка калибровочной кривой при изменении индекса Мольмана или соотношения органических и неорганических веществ в иле.

б4. Контроль обезвоживания осадков. Контролируется соотношение дозы реагентов, применяемых для химического кондиционирования осадка, и массы сухого вещества или расхода осадка.

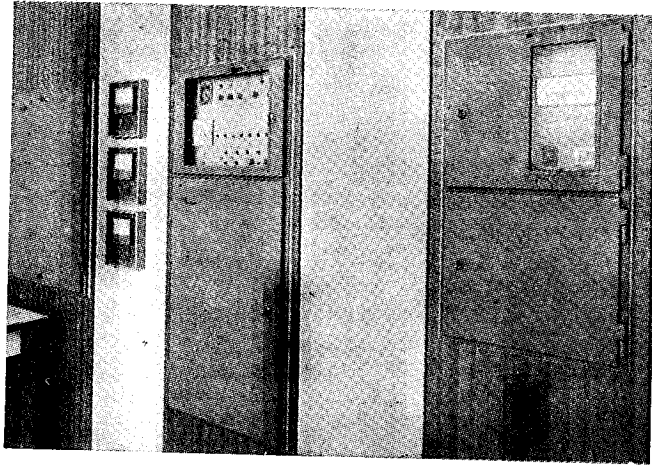


Рис. 24.18. Установка для автоматического регулирования процесса биологической очистки. Очистные сооружения в Пьерре-Бенит, Лион (Франция)

65. Контроль сжигания осадка. Контролируется соотношение между температурой в печи и расходами осадка, топлива, воздуха.

в. Программирование. Ряд операций на очистных сооружениях канализации может быть запрограммирован в соответствии со специальным временным графиком (использование временных переключателей, дисковых переключателей, циклически дозирующей аппаратуры и т. д.). Например:

цикл или продолжительность работы некоторых очистных сооружений, подвижных ферм песколовок, системы удаления песка, скребковых ферм и т. п.;

выгрузка сырого осадка:

программирование по продолжительности;

программирование по циклу, в этом случае время выгрузки определяется по достижению минимальной плотности удаляемого осадка (измеряемой радиационными абсорбционными измерителями плотности);

расход возвратного ила в соответствии с суточной нагрузкой для станции;

сброс избыточного ила (см. п. 8.4.3.2);

загрузка, перемешивание и нагревание в метантенках;

цикл фильтрования на фильтр-прессах.

г. Использование счетных машин (компьютеров) для измерения и наблюдения на очистных канализационных сооружениях. Счетные машины используются, главным образом, на очистных канализационных сооружениях большой производительности для решения следующих задач:

поиск и наблюдение за аналогичными измерениями, связь с различными датчиками;

оперативное введение исходных данных, т. е. запись лабораторных измерений (БПК<sub>5</sub> поступающей, отстойной, очищенной сточной воды, процент беззольного вещества в осадке и т. п.);

подача основных технологических параметров работы сооружений (дозы ила, массы загрязнений, нагрузки на ил, эффективности очистки, энергетического баланса и т. п.);

ведение журнала наблюдений, периодическое или по требованию, с записью показаний датчиков, входящих параметров, подсчитанных величин и сигналов (при превышении данным параметром установленных границ), показывающих место повреждения и сообщающих о его устранении;

воспроизведение нескольких одновременных измерений;

выдача инструкций с целью технологического контроля, автоматизации работы оборудования и автоматического контроля.

В связи с тем что компьютер записывает измерения, число самописцев может быть небольшим.

Компьютер можно также использовать для следующих целей:

управление резервным оборудованием;

программирование профилактического ремонта электромеханической части оборудования;

индикация и регистрация периодов пуска и остановки оборудования;

регистрация повреждений (установление места повреждения и регистрация его устранения).

Если позволяет техническая оснащенность станции, то возможна оптимизация процесса очистки по эксплуатационным затратам, технологическим режимам работы очистных сооружений и соблюдению стандартов на качество очищенной воды.

После завершения начальной стадии эксплуатации можно, применяя изложенные выше положения, построить математическую модель для использования в качестве руководства при эксплуатации и составлении инструкций для контроля за процессом.

Если математическая модель и руководство по эксплуатации оказываются достаточно надежными, можно переходить к стадии оптимизации.

Д. Автономное снабжение энергией. На очистных канализационных сооружениях большой производительности с анаэробным сбраживанием осадков без последующего их сжигания регулярно образуется количество газа, достаточное для частичного или полного покрытия потребности станции в энергии. Однако это возможно лишь при наличии высококачественного оборудования. Также возможна, но экономически нецелесообразна продажа газа, так как при этом требуется тщательная очистка газа, его компримирование и т. п.



Более целесообразно использовать газ на нужды станции, в этом случае тепло, потребляемое тепловыми двигателями, может быть восстановлено. Имеются два возможных способа: перевод энергии газа в электроэнергию (строительство электростанции, снабжающей током все очистные сооружения, включая двигатели воздуходувок);

комбинированное использование газа одновременно для получения сжатого воздуха (воздуходувки с дизельными двигателями или газовыми турбинами) и электроэнергии.

**Двигатели с газодизельным топливом.** Эти двигатели превращают тепловую энергию в механическую. К преимуществам двигателей такого типа относятся независимость от расхода газа и его теплоты сгорания. В результате гарантируется надежная эксплуатация, а также небольшой расход топлива на зажигание (6—7% общего расхода).

*Средние характеристики двигателя с газодизельным топливом.* Расход газа: при полной нагрузке — от 9100 до 9700 кДж/(кВт·ч); при нагрузке  $\frac{3}{4}$  — от 9700 до 10 200 кДж/(кВт·ч); при нагрузке  $\frac{1}{2}$  — от 10 200 до 10 800 кДж/(кВт·ч).

Общее выделение тепла составляет 3400—4000 кДж/(кВт·ч) (от охлаждающей воды, масляной смазки, выхлопных газов).

КПД двигателей равен 0,6—0,7 (допускается для указанного выше случая восстановления тепла).

**Энергетический баланс.** При нормальной эксплуатации, если весь образующийся при анаэробном сбраживании газ используется для получения энергии с помощью газодизельных двигателей, получаемая энергия достаточна для обеспечения потребности в тепле метантенков в любое время года. Однако если работают не все двигатели, тепловой баланс может быть отрицательным, так как количество восстанавливаемого тепла уменьшается. Следовательно, должны быть предусмотрены запасные (резервные) бойлеры. Желательно, чтобы емкость бойлеров (не считая резервных) соответствовала нуждам метантенков.

Образующийся газ может обеспечивать:

- потребности системы аэрации;
- потребности в электроэнергии подсобного оборудования;
- потребности в тепле метантенков.

При образовании излишков электроэнергии (до 20%) можно использовать ее для вспомогательного оборудования (например, для насосной станции сточной воды).

Излишек энергии может быть сохранен также в виде газа для использования в различных целях, например, для нагревания, сушки, сжигания осадков.

**24.2.4.4. Сравнение основных методов обработки осадков.** При проектировании очистных канализационных сооружений одной из наиболее трудных и важных задач является выбор ме-

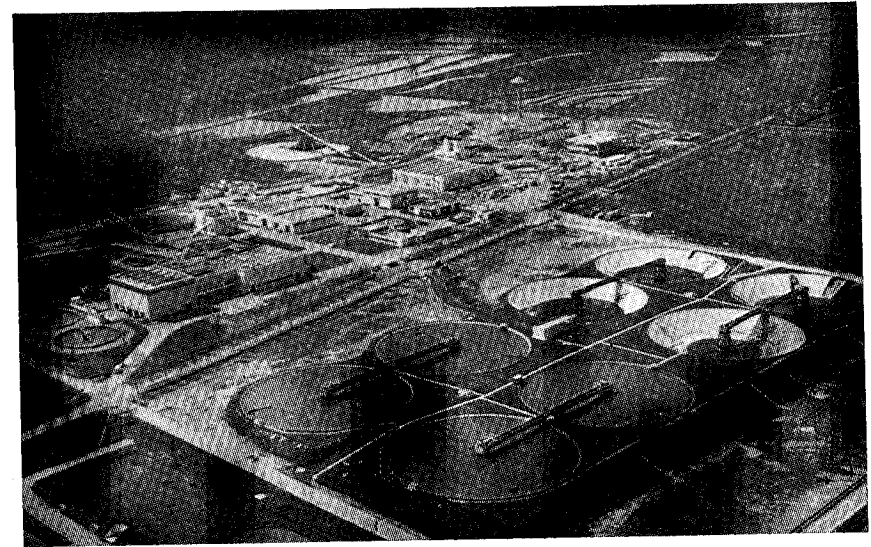


Рис. 24.19. Вид сверху на комплекс анаэробной обработки осадка Ашер IV, Париж. Производительность 240 т сухого вещества в сутки

тода обработки осадка. Следует отметить, что метод обработки осадка, в свою очередь, оказывает влияние на выбор технологической схемы водоочистных станций, на которых обрабатывается вода поверхностных источников.

Единой системы обработки не существует, и в каждом конкретном случае может быть использован тот или иной метод, более подходящий к данному составу сооружений станции и режиму ее эксплуатации. В табл. 24.8 рассмотрены основные преимущества и недостатки методов обработки осадков, наиболее часто применяющихся в практике очистки городских сточных вод.

При сжигании осадка совместно с городским мусором осадок можно предварительно обезвоживать, чтобы улучшить тепловой баланс. Обезвоживание часто обеспечивает большую гибкость эксплуатации очистных сооружений в целом.

**24.2.4.5. Подача осадка.** Высококачественное оборудование для обработки осадков требует бесперебойной подачи осадка заданного качества. Метод подачи должен соответствовать природе осадка и особенностям применяемого оборудования.

Центрифугирование дает илоподобный осадок, который может перекачиваться насосами по трубам.

При применении фильтр-прессов необходимо устройство промежуточного накопителя (типа силосных ям с крутыми откосами, оборудованных скреперами и шнеками).

ТАБЛИЦА 24.8

Технологическая схема обработки	Преимущества	Недостатки	Область применения
1. Аэробная стабилизация избыточного активного ила (или продленная аэрация) + иловые площадки	п. 1.1. Наименьшие капитальные затраты п. 1.2. Умеренные эксплуатационные расходы п. 1.3. Простота эксплуатации	н. 1.1. Необходимость больших земельных площадей п. 1.2. Ограниченный расход органического вещества н. 1.3. Потребность в рабочей силе для сбора высушенного осадка н. 1.4. Зависимость условий эксплуатации от погодных условий н. 2.1. Большие площади земельных участков н. 2.2. То же, что 1.3 н. 2.3. Требуется тщательный контроль за процессом, особенно если обрабатываемая вода имеет значительный процент производственных сточных вод, содержащих токсичные вещества (Ст, ионы тяжелых металлов) н. 2.4. То же, что 1.4	Для обработки сточных вод в количестве, соответствующем не более 15 000 эквивалентных жителей  Для обработки сточных вод в количестве, соответствующем от 30 000 до 100 000 эквивалентных жителей
2. Анаэробное ображивание + иловые площадки	п. 2.1. Умеренные капитальные затраты п. 2.2. Низкая стоимость эксплуатации п. 2.3. Наибольшая степень разложения органического вещества, если применяется нагревание. В этих условиях нет проблемы запаха при удалении осадка на земельные участки или при складировании его на открытом воздухе п. 2.4. Высокая степень обеззараживания от патогенных бактерий п. 2.5. Имеется в распоряжении накопленный объем осадка		

Продолжение табл. 24.8

Технологическая схема обработки	Преимущества	Недостатки	Область применения
3. Стабилизация осадка + фильтр-прессование на ленточных фильтр-прессах	п. 3.1. Осадок может удалиться независимо от эксплуатационных условий п. 3.2. Компактность сооружений п. 3.3. Умеренные капитальные затраты п. 3.4. Немелкая и простая эксплуатация п. 4.1. То же, что 3.1 п. 4.2. Компактность сооружений и закрытая обработка осадка п. 4.3. Возможность применения для самых трудновозможиваемых осадков п. 4.4. Немелкое использование, простая эксплуатация п. 5.1. То же, что 3.1 п. 5.2. Высокая степень обезвоживания осадка 65—60%-ной влажности п. 5.3. Дополнительная химическая стабилизация осадка	н. 3.1. Необходимость химического кондиционирования, высокая стоимость эксплуатации н. 3.2. То же, что 1.2  н. 4.1. То же, что 3.1 н. 4.2. То же, что 1.2 н. 4.3. Необходимость резервных машин или площадок (на время текущего или профилактического осмотра) н. 4.4. Преимущественная обработка осадка первичных отстойников (при удалении песка) н. 5.1. Довольно значительные капитальные затраты н. 5.2. Необходимость предварительного химического кондиционирования, довольно высокая стоимость эксплуатации н. 5.3. Увеличенное количество сухого продукта	Для обработки сточных вод в количестве, соответствующем от 10 000 до 100 000 эквивалентных жителей  Для обработки сточных вод в количестве, соответствующем от 10 000 до 100 000 эквивалентных жителей Для смеси бытовых и производственных вод или производственных сточных вод с высококоллаидным осадком  Для обработки сточных вод в количестве, соответствующем от 50 000 до 150 000 эквивалентных жителей
4. Стабилизация осадка + центрифугирование			
5. Стабилизация осадка + фильтр-прессование			

Технологическая схема обработки	Преимущества	Недостатки	Область применения
6. Вакуум-фильтрация сырого осадка	п. 6.1. То же, что 3.1 п. 6.2. Умеренные капитальные затраты п. 6.3. Быстрое использование (не требуется предварительное накопление осадка), простота обслуживания п. 6.4. Частичная химическая стабилизация осадка п. 6.5. Компактность сооружений	н. 6.1. То же, что 3.1, исключение составляет обработка осадка, имеющего сильно волокнистую структуру н. 6.2. Не обеспечивается расход органического вещества н. 6.3. Относительно высокие энергозатраты	Главным образом для обработки осадков целлюлозного производства и осадков неорганического происхождения
7. Фильтрование сырых осадков на ленточном фильтр-прессе	п. 7.1. То же, что 3.1 п. 7.2. Умеренные капитальные затраты п. 7.3. То же, что 6.3 п. 7.4. То же, что 6.5 п. 8.1. Минимальное количество образующихся продуктов	н. 7.1. То же, что 6.1 н. 7.2. То же, что 6.2 н. 7.3. Осадок не стабилизируется н. 8.1. Очень высокая стоимость эксплуатации при сжигании (топливо для сжигания и подготовка осадка) н. 8.2. Высокие капитальные затраты н. 8.3. То же, что 4.3 н. 8.4. То же, что 4.4 н. 8.5. Трудность удаления осадка при профилактических осмотрах н. 9.1. Высокие капитальные затраты (значительная часть которых обусловлена наличием станции генерации)	Главным образом для осадков неорганического происхождения  Для обработки сточных вод в количестве, соответствующем от 50 000 до 300 000 эквивалентных жителей
8. Центрифугирование сырого осадка + сжигание	п. 8.2. Практически полное обеззараживание продуктов п. 8.3. Гибкость эксплуатации и возможность исключения сбора сухого осадка п. 8.4. Закрытая обработка осадка п. 9.1. Низкая влажность получаемого продукта (до 55—60%) п. 9.2. То же, что 2.3		
9. Анаэробное сбраживание + фильтр-прессование			

Технологическая схема обработки	Преимущества	Недостатки	Область применения
10. Фильтр-прессование сырых осадков + сжигание	п. 9.3. То же, что 2.4 п. 9.4. То же, что 2.5 п. 9.5. Использование образующихся газов для энергетических нужд п. 9.6. Гибкость в эксплуатации п. 10.1. Кек обычно горит самостоятельно (не требуется значительных затрат топлива) п. 10.2. Небольшое количество образующихся продуктов п. 10.3. То же, что 8.2 п. 11.1. Минимальное количество образующегося продукта без сжигания, низкая влажность (50—55% для всех осадков) п. 11.2. Очень низкие затраты на тепловую обработку п. 11.3. То же, что 2.3 п. 11.4. То же, что 2.4 п. 11.5. То же, что 2.5 п. 11.6. Полное обеззараживание продукта п. 12.1. Минимальные затраты топлива на сжигание (если многократно используется тепло) п. 12.2. То же, что 10.1 п. 12.3. То же, что 8.1 п. 12.4. То же, что 8.2	н. 9.2. То же, что 5.2  н. 10.1. Высокие капитальные затраты н. 10.2. Требуется накопление кека перед сжиганием  н. 11.1. Очень высокие капитальные затраты н. 11.2. Проблема запаха н. 11.3. Перегрузка сооружений очистки  н. 12.1. Очень высокие капитальные затраты н. 12.2. То же, что 11.2 н. 12.3. То же, что 11.3	Для обработки сточных вод в количестве, соответствующем свыше 200 000 эквивалентных жителей  Для обработки сточных вод в количестве, соответствующем свыше 100 000 эквивалентных жителей
11. Анаэробное сбраживание + тепловая обработка + фильтр-прессование			
12. Тепловая обработка сырых осадков + фильтр-прессование + сжигание			

Образующийся в результате обезвоживания кек перед транспортировкой может требовать предварительного дробления. Кек транспортируется с помощью ленточных или цепных транспортеров. При сжигании осадков следует иметь в виду целесообразность устройства промежуточного накопителя и необходимость обеспечения регулярной загрузки печи.

**24.2.4.6. Контроль ущерба, наносимого окружающей среде.** Современный человек весьма хорошо осведомлен об окружающей среде, понимает и настойчиво требует ее защиты. В связи с этим должна быть усилена борьба с возможностью нанесения ущерба окружающей среде в результате эксплуатации очистных сооружений канализации. Опасность такого ущерба обостряется недостатком площадей для размещения очистных сооружений, отдаленных от жилой застройки. Для предотвращения возрастающего ущерба появляется необходимость в дополнительных значительных расходах. В связи с этим все устройства, направленные на защиту окружающей среды, должны быть запроектированы и построены на высоком техническом уровне с использованием наиболее приемлемых для этой цели технических достижений.

**А. Шум.** Шум вызывается вращающимися двигателями и частично воздушными компрессорами. Для предотвращения распространения шума возможно строительство полностью закрытых или заглубленных помещений, а также использование звукоизолирующих материалов. В оборудовании большого размера (шнековые подъемники, поверхностные аэраторы) могут быть изолированы только двигатели и редукторы. Погружные насосы работают бесшумно. Иногда бывает надоедливый шум от перемешивания жидкости. Такой шум возникает при работе поверхностных аэраторов, но он значительно слабее, чем шум, производимый пневматической системой аэрации. Для снижения уровня шума при механической системе аэрации рекомендуется использование погружного аэрационного оборудования, несмотря на то, что затраты электроэнергии в этом случае выше, чем при применении поверхностных аэраторов.

**Б. Запах.** Запахи возникают при поступлении на очистные сооружения канализации загнивающих сточных вод (что может быть вызвано жаркой погодой или большой протяженностью коллектора), содержащих такие ингредиенты, как сернистый водород, тиоспирты и пр. Эффективной профилактической мерой, предупреждающей загнивание, является интенсивное насыщение кислородом поступающей сточной воды с использованием технического кислорода.

Наиболее часто, однако, неприятные запахи возникают в сооружениях, где содержатся разлагающиеся вещества, недостаточно аэрированные. Поэтому сооружения механической очистки предпочтительно перекрывать. Это создает лучшие условия

для работы обслуживающего персонала, особенно в зимнее время.

Во избежание распространения запаха часто перекрываются также резервуары сырого осадка и илоуплотнители, кроме того, для предотвращения процессов разложения осадков можно обрабатывать известью или хлором. Все всплывающие на поверхность резервуаров и уплотнителей вещества нужно немедленно удалять. Если на очистных сооружениях предусмотрено обезвоживание сырых осадков, то его следует производить по возможности сразу же после уплотнения.

При тепловой обработке осадков рекомендуется применение закрытых емкостей для охлаждения нагретого ила и принудительное охлаждение обработанного ила. При высушивании ила нагреванием также создаются условия для образования неприятных запахов. Эффективным средством против образования запахов в этом случае является повышение температуры отходящих газов до 750°С. Отходящие газы можно также очищать. Техника газоочистки (одно- или многоступенчатая с использованием окислителей, щелочных или кислотных реагентов) может также применяться для дезодорации некоторых участков. В этом случае контролируется выделение смеси газов, которая затем направляется в скрубберные башни. Для очистки от соединений серы рекомендуется использование активного угля. Сильным дезодорантом является также озон, который используется при непосредственном контакте с очищаемыми газами или в растворенном в воде виде.

Осуществление дезодорации на очистных сооружениях обходится очень дорого. Дезодорация, например, использована на двух очистных сооружениях канализации в Швейцарии в гг. Вевей и Монтро, где весь объем воздуха над территорией станций периодически обновляется, проходя через озонированную воду. Чаще всего применяется локальная дезодорация для наиболее загрязненных участков.

**В. Внешний вид.** Это наиболее субъективный вид ущерба, наносимого окружающей среде. Для защиты окружающей среды от такого ущерба большое внимание следует уделять архитектуре сооружений, которая должна соответствовать данной местности. Желательно применение подземных сооружений, хотя это довольно дорого. Может быть рекомендовано блокирование сооружений. Необходимо предусмотреть мероприятия по предотвращению распространения дыма при сжигании осадков (п. 17.2.6).

Внешний вид очистных сооружений, а также условия работы обслуживающего персонала значительно улучшатся при использовании зеленых насаждений.

**24.2.4.7. Примеры очистных сооружений канализации большой производительности.** Современные технические решения, применяемые для очистки сточных вод во Франции, иллюстри-

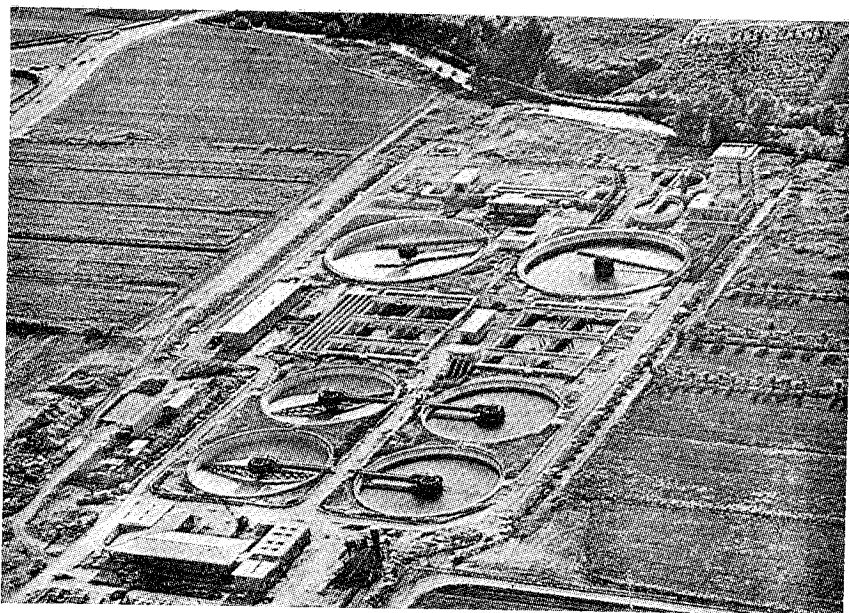


Рис. 24.20. Вид сверху на очистные сооружения в Болонье (Италия)

руются на примерах очистных сооружений канализации в г. Эври, Квимпер, Бордо (фирма «Дегремон»), а также очистных сооружений в Ашере, основная часть которых запроектирована и построена также фирмой «Дегремон». Перечисленные очистные сооружения имеют большой диапазон производительности (от 14 тыс. до 2,7 млн. м<sup>3</sup>/сут) и различную технологию обработки осадков: анаэробное сбраживание в Ашере и Бордо, без сбраживания в Эври и Квимпере, вакуум-фильтрация в Ашере, фильтр-прессование после тепловой обработки в Ашере и Бордо, центрифугирование и сжигание в многоподовых печах в Эври, сжигание в барабанных печах в Квимпере.

Биологическая очистка осуществляется в аэротенках, оборудованных мелкопузырчатой и крупнопузырчатой системами аэрации, с отдельно расположенными и совмещенными вторичными отстойниками в зависимости от конкретных условий.

На рис. 24.21 и 24.22 представлены две схемы очистки сточной воды на очистных сооружениях канализации большой производительности. Обе включают биологическую очистку в аэротенках.

Первая схема (рис. 24.21) предполагает биологическую очистку сточной воды в аэротенках и отдельно расположенных вторичных отстойниках и анаэробное сбраживание осадков с последующим обезвоживанием на вакуум-фильтрах. Во второй схеме (рис. 24.22) для биологической очистки использованы

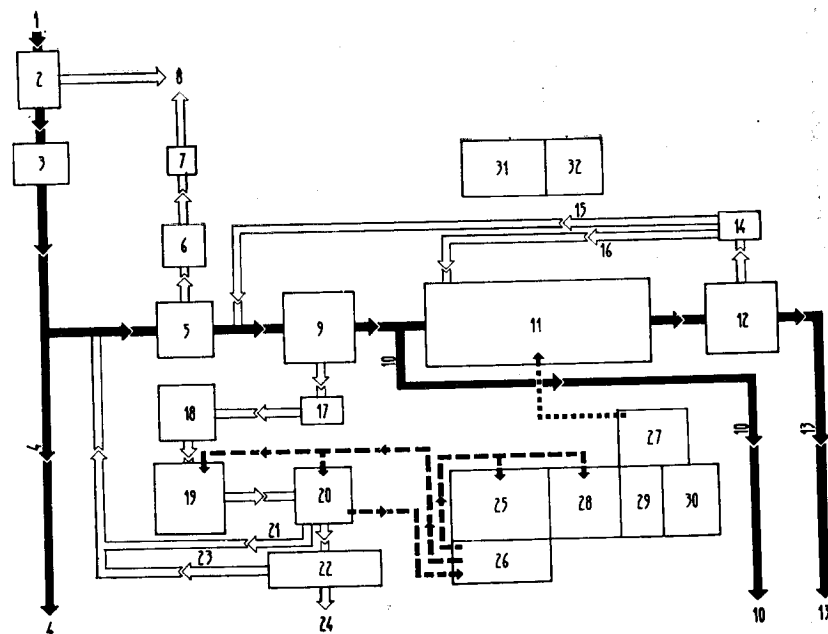


Рис. 24.21. Схема очистных канализационных сооружений большой производительности, включающая аэротенки с отдельно расположенными вторичными отстойниками, анаэробное сбраживание и фильтрование осадков

1 — впуск сырой сточной жидкости; 2 — решетки для сырой сточной жидкости; 3 — подкачка сырой сточной жидкости; 4 — обводной канал сырой сточной жидкости; 5 — песколовка; 6 — отмывка песка; 7 — песочный бункер; 8 — удаление песка и отбросов, задержанных на решетках; 9 — первичный отстойник; 10 — обводной канал отстойной сточной жидкости; 11 — аэротенк; 12 — вторичный отстойник; 13 — отведение очищенной сточной жидкости; 14 — перекачка ила; 15 — избыточный ил; 16 — возвратный ил; 17 — перекачка первичного (свежего) осадка; 18 — уплотнитель; 19 — метантенк 1-й ступени (первичное сбраживание); 20 — метантенк 2-й ступени (вторичное сбраживание); 21 — переливная труба из метантенка; 22 — механическое обезвоживание осадка (вакуум-фильтр); 23 — фильтрат; 24 — удаление обезвоженного осадка; 25 — подогрев метантенка; 26 — перемешивание метантенка; 27 — воздуходувки; 28 — генератор мощности; 29 — электрическая трансформаторная станция; 30 — диспетчерская; 31 — административное здание; 32 — лаборатория

комбинированные сооружения (аэротенки, совмещенные со вторичными отстойниками), исключено сбраживание и предусмотрена тепловая обработка сырого осадка с последующим обезвоживанием на фильтр-прессах и сжиганием.

*А. Очистные сооружения канализации в г. Эври.* Станция запроектирована на расход сточных вод, соответствующий 420 тыс. эквивалентных жителей, и имеет четыре равные по производительности очереди строительства. Первая очередь строительства имеет производительность 21 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Технологическая схема очистки воды включает:

радиальный первичный отстойник, оборудованный скребковым механизмом,  $d=33$  м, рабочий объем 3050 м<sup>3</sup>;

оксирипид — блок биологической очистки (патент фирмы «Дегремон»), который имеет аэрационную камеру и две камеры

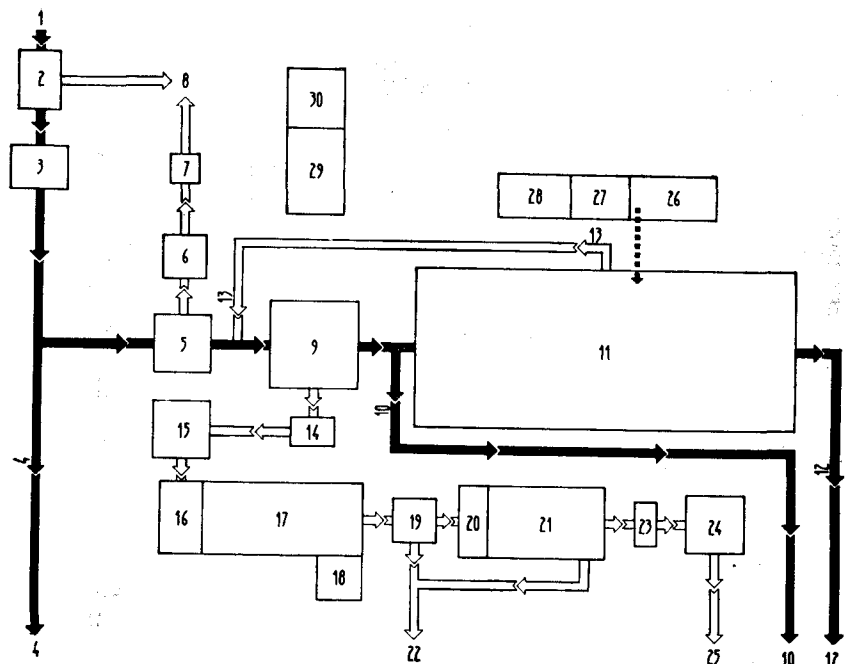


Рис. 24.22. Схема очистных канализационных сооружений большой производительности, включающая аэротенки, совмещенные со вторичными отстойниками, тепловое кондиционирование сырого осадка и сжигание осадка

1 — впуск сырой сточной жидкости; 2 — решетки; 3 — подкачка сырой сточной жидкости; 4 — обводной канал сырой сточной жидкости; 5 — песколовка; 6 — отмывка песка; 7 — песочный bunker; 8 — удаление песка и отбросов, задержанных на решетках; 9 — первичный отстойник; 10 — обводной канал осветленной сточной жидкости; 11 — аэротенки-отстойники; 12 — отведение очищенной жидкости; 13 — избыточный ил; 14 — перекачка первичного осадка; 15 — уплотнитель; 16 — перекачка уплотненного осадка; 17 — тепловое кондиционирование осадка; 18 — подогреватель; 19 — отстаивание и хранение обработанного осадка; 20 — перекачка обработанного осадка; 21 — фильтрование; 22 — отвод надильной воды; 23 — кек из осадка; 24 — сжигание; 25 — хранение золы и ее удаление; 26 — воздушная; 27 — электрическая трансформаторная подстанция; 28 — диспетчерская; 29 — административное здание; 30 — лаборатория

отстаивания. Аэрационная камера объемом 1970 м<sup>3</sup> оборудована мелкопузырчатой системой аэрации. Общая площадь камер отстаивания составляет 720 м<sup>2</sup>. Предусмотрен автоматический контроль сброса избыточного активного ила с использованием «Седиметра» фирмы «Дегремон»;

радиальный илоуплотнитель сырого осадка, оборудованный скребковым механизмом,  $d=15$  м, объем 675 м<sup>3</sup>, предусмотрена возможность известкования осадка, перед илоуплотнителем установлен гидроциклон для выделения из осадков песка (классификатор типа «Спираль Архимеда»);

осадительные центрифуги непрерывного действия;

многоподовая печь (семиподовая) для сжигания осадка,  $d=5,75$  м, с очисткой отходящих газов. Производительность печи рассчитана на две первые очереди строительства.

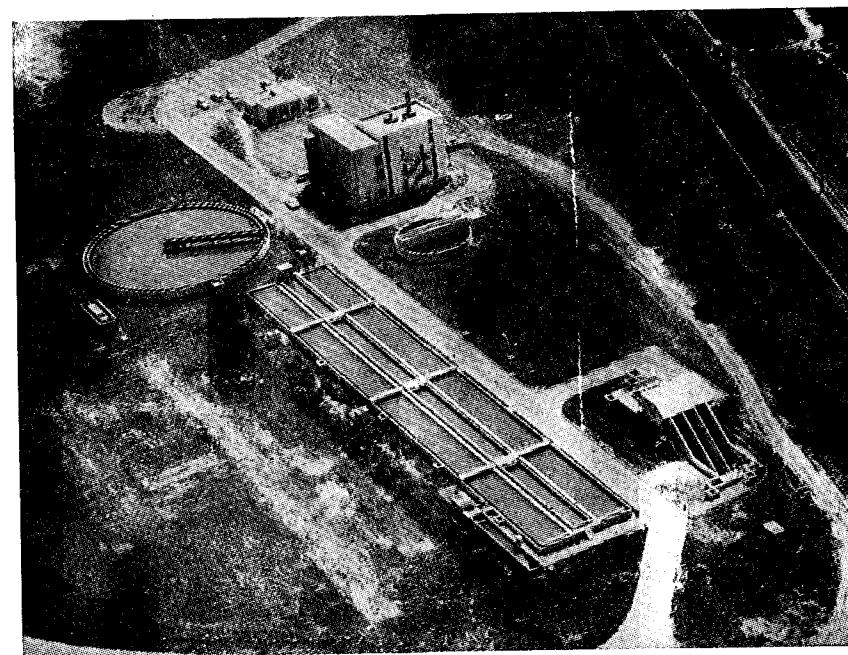


Рис. 24.23. Вид сверху на очистную станцию в Нувель д'Эври (Франция)

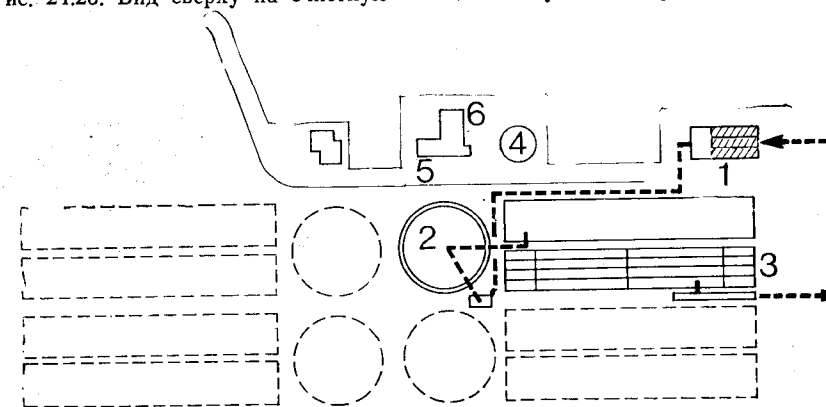


Рис. 24.24. Очистная станция в Нувель д'Эври

1 — подкачка; предварительная очистка; 2 — первичный отстойник; 3 — совмещенный аэротенк-отстойник; 4 — уплотнитель; 5 — центрифугирование осадка; 6 — сжигание осадка

Б. Очистные сооружения канализации в г. Квимпер. Очистные сооружения рассчитаны на расход сточной воды, соответствующий 334 000 эквивалентных жителей, основную часть поступающих сточных вод составляют сточные воды пищевой промышленности.



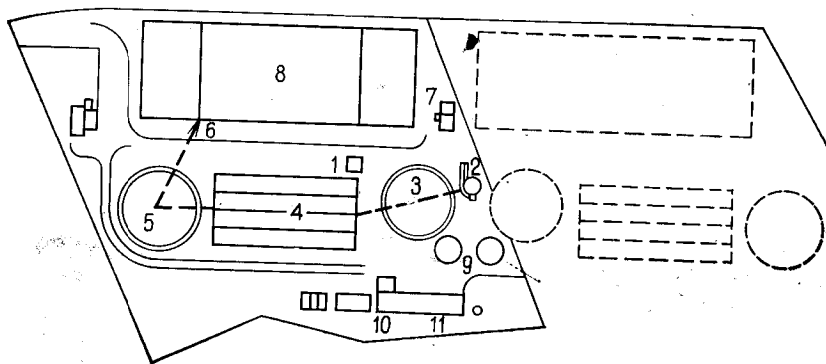


Рис. 24.25. Очистная станция в Квимпере (Франция)

1 — подкачка сточной воды; 2 — предварительная очистка; 3 — первичный отстойник; 4 — аэротенк; 5 — вторичный отстойник; 6 — измерение расхода очищенной воды; 7 — хлораторная; 8 — регулирующая емкость; 9 — уплотнитель осадка; 10 — центрифугирование осадка; 11 — сжигание осадка

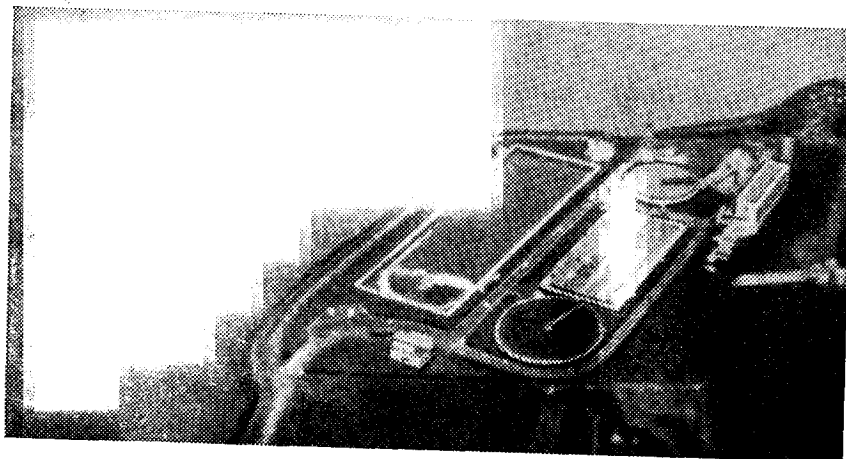


Рис. 24.26. Вид сверху на очистную станцию в Квимпере (Франция)

Станция имеет две очереди строительства, каждая из которых рассчитана на обработку 14 тыс. м<sup>3</sup>/сут сточной воды (10 т БПК/сут).

Первая очередь строительства включает:

один радиальный первичный отстойник, оборудованный скребковым механизмом,  $d=27$  м, объем 1650 м<sup>3</sup>;  
двухступенчатые аэротенки, оборудованные мелкопузырчатой системой аэрации (пористые диски), объем каждой ступени 1650 м<sup>3</sup>;

один радиальный вторичный отстойник, оборудованный скребковым механизмом и илососом,  $d=35$  м, объем 2400 м<sup>3</sup>;

предусмотрена автоматическая система удаления избыточного ила с использованием «Седиметра»;

установку для хлорирования очищенной воды;

регулирующую емкость для сбора избытка сточной воды, поступающей во время пиковых периодов, объемом 8000 м<sup>3</sup>; предусмотрено автоматическое опорожнение емкости в периоды минимального притока сточной воды;

радиальный илоуплотнитель, оборудованный скребковым механизмом,  $d=11$  м, предусмотрено предварительное отделение от осадка песка с помощью гидроциклона (классификатор типа «Спираль Архимеда»);

механизированные решетки с прозорами 5 мм для удаления грубых примесей, на которые подается осадок после илоуплотнения;

две осадительные центрифуги непрерывного действия, предусмотрено предварительное кондиционирование осадков полиэлектrolитами;

барabanные печи для сжигания осадков с противоточным движением горячего газа, предусмотрена очистка отходящих газов в циклонах и скрубберах.

**В. Очистные сооружения канализации округа Бордо.** Сооружения запроектированы на расход сточных вод, соответствующий 400 тыс. эквивалентных жителей. Расчетный расход в сухую погоду соответствует 300 тыс. эквивалентных жителей (90 тыс. м<sup>3</sup>/сут).

Максимальный секундный расход, принимаемый сооружениями физико-химической очистки, составляет 3120 л/с, а сооружениями биологической очистки — 2600 л/с.

В состав сооружений входят:

насосная станция, оборудованная тремя шнековыми насосами  $d=2,25$  м, для подъема 1100 л/с сточной воды на высоту 9 м;

три горизонтальных первичных отстойника, оборудованных скребковым механизмом, шириной 20 м, объем одного отстойника 3780 м<sup>3</sup>;

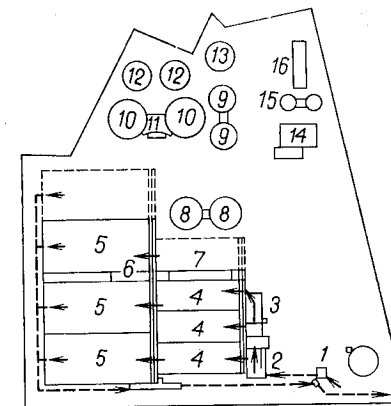


Рис. 24.27. Схема движения воды на очистной станции в Бордо (Франция)

1 — конец канализационного коллектора; 2 — подкачка сточной воды; 3 — предварительная очистка; 4 — первичный отстойник; 5 — биологическая очистка; 6 — здание воздухоподводок; 7 — подъем осадка; 8 — уплотнитель сырого осадка с поверхностным отводом иловой воды; 9 — уплотнитель сброженного осадка; 10 — метантенк 1-й ступени; 11 — теплообменник; газовой компрессор; 12 — метантенк 2-й ступени; 13 — газгольдер; 14 — тепловая обработка; 15 — отстойник-накопитель; 16 — фильтр-пресс

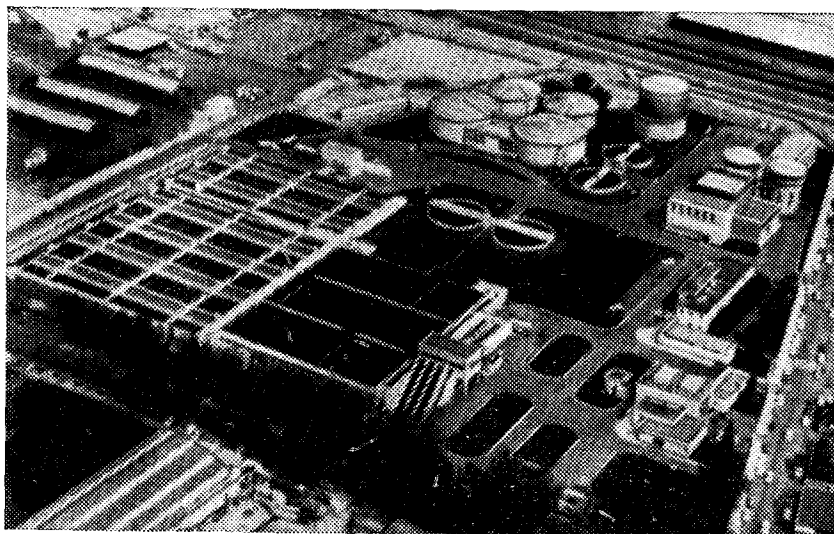


Рис. 24.28. Вид сверху сооружений по очистке сточных вод в Бордо (Франция)

шесть оксиранид-блоков для биологической очистки, каждый из которых включает аэрационную камеру объемом 1150 м<sup>3</sup>, оборудованную мелкопузырчатой системой аэрации (пористые аэраторы), и две камеры отстаивания общей площадью 630 м<sup>2</sup>; два радиальных уплотнителя с поверхностным отводом иловой воды, оборудованных скребковым механизмом,  $d=19$  м, объем каждого 1000 м<sup>3</sup>, предусмотрена автоматическая система контроля за уплотнением ила, основанная на измерении плотности ила (методом радиационной абсорбции) и расхода электромагнитными расходомерами;

система интенсивного анаэробного сбраживания (рассчитана на суммарную производительность двух очередей строительства), включающая два метантенка первой ступени ( $d=24$  м, объем каждого 5000 м<sup>3</sup>), обогреваемых наружными теплообменниками (перемешивание объема метантенков осуществляется инъекцией газов), и два метантенка второй ступени,  $d=18$  м, объем каждого 2500 м<sup>3</sup>;

два уплотнителя сброженного ила,  $d=16$  м, объем каждого 700 м<sup>3</sup>, оборудованы скребками;

тепловая обработка осадков при температуре около 200°С, рассчитана на производительность 18 т твердого вещества в сутки. Обработка осуществляется на двух параллельно работающих линиях, каждая из которых включает теплообменник трубчатого типа, площадь поверхности 120 м<sup>2</sup>, реактор прямой инъекции объемом 12 м<sup>3</sup>, два резервуара, оборудованных скребка-

ТАБЛИЦА 24.9. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРВЫХ ЧЕТЫРЕХ ОЧЕРЕДЕЙ СТРОИТЕЛЬСТВА СТАНЦИИ АШЕР

Ашер I и II	Ашер III	Ашер IV
<i>Предварительная механическая обработка</i>		
Колодцы для введения шара прочистки в канализационные коллекторы и приемный резервуар сточной воды Механизированная решетка с прозорами 25 мм 12 аэрируемых песколовок и жироловок с движущимся скребком для удаления песка и вентиляторами для подачи воздуха в песколловки	Расширение существующих сооружений	Расширение существующих сооружений (дополнительные резервуары для песка)
<i>Машинный зал</i>		
Две воздуходувки Рута производительностью 25 000 м <sup>3</sup> /ч, с электрическими или газовыми двигателями Две центробежные воздуходувки производительностью 60 000 м <sup>3</sup> /ч с электродвигателем с газодизельным топливом Три центробежные воздуходувки производительностью 80 000 м <sup>3</sup> /ч с двигателем 882 кВт с газодизельным топливом 2×1050 кВт·А генератора переменного тока с двигателем 882 кВт с газодизельным топливом 1×580 кВт·А генератор переменного тока с двигателем 500 кВт с газодизельным топливом 1×210 кВт·А генератор переменного тока с двигателем 191 кВт с газодизельным топливом	Три центробежные воздуходувки производительностью 65 000 м <sup>3</sup> /ч с двигателем 1230 кВт с газодизельным топливом Две такие же воздуходувки с электродвигателями 2×1440 кВт·А генератора переменного тока с двигателем 1230 кВт с газодизельным топливом	Четыре воздуходувки производительностью 65 000 м <sup>3</sup> /ч, давление 50 кПа с электродвигателем 1150 кВт (расположены в отдельном подземном помещении) Одна воздуходувка с двигателем 1230 кВт с газодизельным топливом 1×1440 кВт·А генератор переменного тока с двигателем 1230 кВт с газодизельным топливом (воздуходувка и генератор расположены в машинном зале станции Ашер III)
<i>Подкачка в периоды паводков</i>		
Два осевых насоса производительностью по 8000 м <sup>3</sup> /ч	Три осевых насоса производительностью по 25 200 м <sup>3</sup> /ч	Два осевых насоса производительностью по 25 200 м <sup>3</sup> /ч

Ашер I и II	Ашер III	Ашер IV
Два осевых насоса производительностью 12 500 м <sup>3</sup> /ч		
<i>Первичное отстаивание</i>		
Восемь радиальных отстойников (четыре $d=35$ м и четырех $d=50$ м), общий объем 37 000 м <sup>3</sup>	Восемь радиальных отстойников, оборудованных скребками, $d=52$ м, суммарный объем 70 000 м <sup>3</sup>	Четыре радиальных отстойника, оборудованных скребками, $d=60$ м, общий объем 50 000 м <sup>3</sup>
<i>Биологическая очистка</i>		
Аэротенки, оборудованные крупнопузырчатой системой аэрации, объем 70 900 м <sup>3</sup>	Аэротенки объемом 55 000 м <sup>3</sup> , 75% объема — аэротенки с отдельно расположенными вторичными отстойниками, 25% объема — оксирапид-блоки. Аэротенки оборудованы мелкопузырчатой системой аэрации (пористые куполообразные аэраторы)	Многокамерные аэротенки объемом 51 000 м <sup>3</sup> разделены на две параллельно работающие системы, каждая имеет 15 последовательно работающих камер. Система аэрации — мелкопузырчатая, пористые куполообразные аэраторы
<i>Вторичное отстаивание</i>		
Восемь радиальных отстойников (четыре $d=35$ м, оборудованные скребковым механизмом, четыре $d=50$ м, оборудованные илососами), общий объем 43 750 м <sup>3</sup> Два прямоугольных отстойника, оборудованных илососами, общий объем 10 000 м <sup>3</sup>	Общий объем 101 200 м <sup>3</sup> , девять радиальных отстойников $d=50$ м, оборудованных илососами (объем 82 500 м <sup>3</sup> ) Камеры отстаивания в оксирапид-блоках, объем 18 700 м <sup>3</sup> . Распределение расхода сточной воды по сооружениям с помощью пропорциональных регулирующих си- фонов	Общий объем 63 000 м <sup>3</sup> , шесть радиальных отстойников $d=60$ м со сдвоенными периферическими сборными лотками
<i>I ступень анаэробного сбраживания</i>		
10 метантенков (6—объемом 3000 м <sup>3</sup> , 4—5250 м <sup>3</sup> ), оборудованных системами перемешивания и подогрева	Шесть метантенков объемом 8125 м <sup>3</sup> с обогревом наружными теплообменниками и перемешиванием газовой инъекцией	Три метантенка объемом 12 000 м <sup>3</sup> , $d=33$ м, с наружным обогревом и перемешиванием инъекцией газов

Ашер I и II	Ашер III	Ашер IV
<i>II ступень анаэробного сбраживания</i>		
Три метантенка (один — объемом 4000 м <sup>3</sup> , два — объемом 4750 м <sup>3</sup> )	Четыре метантенка объемом 8125 м <sup>3</sup> с наружным обогревом и перемешиванием инъекцией газов	Два метантенка объемом 12 000 м <sup>3</sup> , $d=33$ м, с наружным обогревом и перемешиванием газовой инъекцией
<i>Газгольдеры</i>		
Три объемом 4800 м <sup>3</sup> Два объемом 4400 м <sup>3</sup>	Два объемом 7200 м <sup>3</sup> Один сферической формы, $d=15$ м, давление 0,35 МПа	Один с гидроизоляцией объемом 10 000 м <sup>3</sup> Один сферической формы, объемом 1750 м <sup>3</sup> , $d=15$ м, давление 0,35 МПа
<i>III ступень анаэробного сбраживания</i>		
Два метантенка объемом 3600 м <sup>3</sup> Четыре метантенка объемом 6000 м <sup>3</sup>	Четыре метантенка, объемом каждого 8000 м <sup>3</sup>	Уплотнение сброженного осадка Восемь радиальных уплотнителей, оборудованных скребками, $d=60$ м, объем каждого 13 000 м <sup>3</sup>
<i>Иловые площадки</i>		
Общая площадь 107 600 м <sup>2</sup> , из них 90 000 м <sup>2</sup> с оборудованием для механизированного сбора осадка	Общая площадь 90 000 м <sup>2</sup> с оборудованием для механизированного сбора осадка	
<i>Обезвоживание осадка</i>		
Обезвоживание сброженного осадка на вакуум-фильтрах Два фильтра с фильтрующей поверхностью каждого 50 м <sup>2</sup> с химическим кондиционированием осадка	Накопление и смешение сброженного осадка Тепловая обработка Накопление и уплотнение обработанного теплом осадка Фильтрация на восьми фильтр-прессах, каждый имеет 100 фильтрующих элементов размером 1,2×1,2 м. Общая площадь фильтрации 2200 м <sup>2</sup>	Накопление и смешение сброженного осадка Семь линий тепловой обработки Накопление и уплотнение обработанного осадка в закрытых емкостях Фильтрация на 10 фильтр-прессах, каждый имеет 140 фильтрующих элементов размером 1,5×1,5 м. Общая площадь фильтрации 5800 м <sup>2</sup>

ми, для отстаивания обработанного осадка, диаметр резервуара  $d=10$  м, объем  $240 \text{ м}^3$ ; два резервуара-накопителя отстоенного осадка, оборудованные скребковым механизмом и устройством для перемешивания,  $d=10$  м, объем каждого  $240 \text{ м}^3$ ;

два фильтр-пресса для последующей фильтрации осадка, площадь фильтрации каждого  $276 \text{ м}^2$ ;

вспомогательное оборудование для приема  $700 \text{ м}^3/\text{сут}$  дренажных вод, включающее приемную камеру, ввод разбавляющей воды, механизированную решетку, систему удаления и отмывки песка, гомогенизатор, дезодоратор внутреннего воздуха, в котором предусмотрена очистка активным углем;

диспетчерская, оборудованная счетной машиной с печатающей и воспроизводящей цифры приставкой, способной выполнять функции, описанные в п. 24.2.4.3.

Г. *Очистные сооружения канализации в Ашере* (обслуживают Париж и прилегающие к нему районы). Очистные сооружения имеют четыре очереди строительства и пятую на перспективу (табл. 24.9).

Ашер I введена в эксплуатацию в 1940 г. на производительность  $200 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ , в настоящее время расширена до  $300 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ . Ашер II построена в 1962—1965 гг., производительность  $300 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ . Ашер III введена в действие в 1968—1972 гг., производительность ее  $900 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ , и Ашер IV построена в 1974—1978 гг., производительность ее составляет  $600 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ . Ашер V — перспективная очередь строительства на производительность  $600 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ .

В 1978 г. общая производительность станции Ашер составила  $2,7 \text{ млн. м}^3/\text{сут}$ .

Сточная вода, поступающая на станцию Ашер, характеризуется (по данным 1976 г.) величиной БПК<sub>5</sub>  $200 \text{ мг/л}$  и содержанием взвешенных веществ  $250 \text{ мг/л}$  (среднегодовые величины), величиной БПК<sub>5</sub>  $250 \text{ мг/л}$  и содержанием взвешенных веществ  $300 \text{ мг/л}$  (среднемесячные величины за месяц максимального поступления загрязнений).

#### 24.2.5. ДРУГИЕ СИСТЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

24.2.5.1. *Очистные сооружения с первичными отстойниками, биофильтрами с обычной загрузкой и анаэробным сбразиванием ила.* В общем виде данные сооружения аналогичны сооружениям с активным илом, однако аэротенки заменены одним или более высоконагружаемыми биофильтрами.

Качество очищенного стока может быть улучшено использованием двухслойной загрузки с фильтрованием воды через оба слоя последовательно или с так называемым переменным двойным фильтрованием.

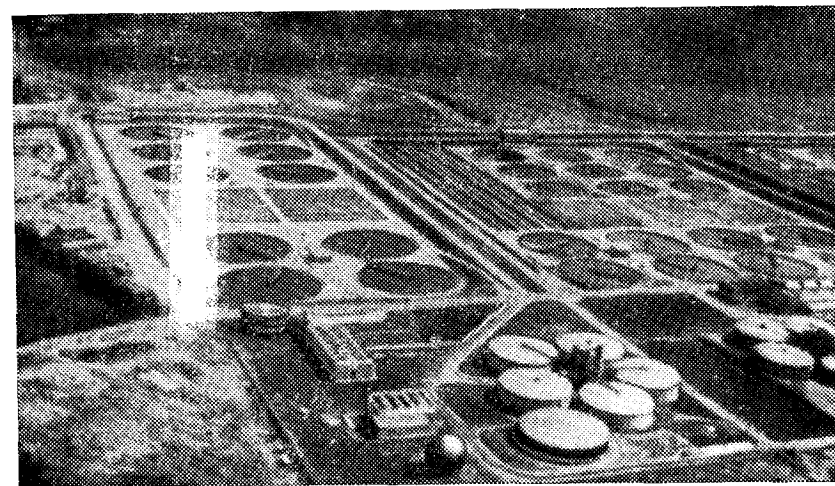


Рис. 24.29. Вид сверху комплекса очистных сооружений и метантенков Ашер IV, Париж. Производительность  $600\,000 \text{ м}^3/\text{сут}$

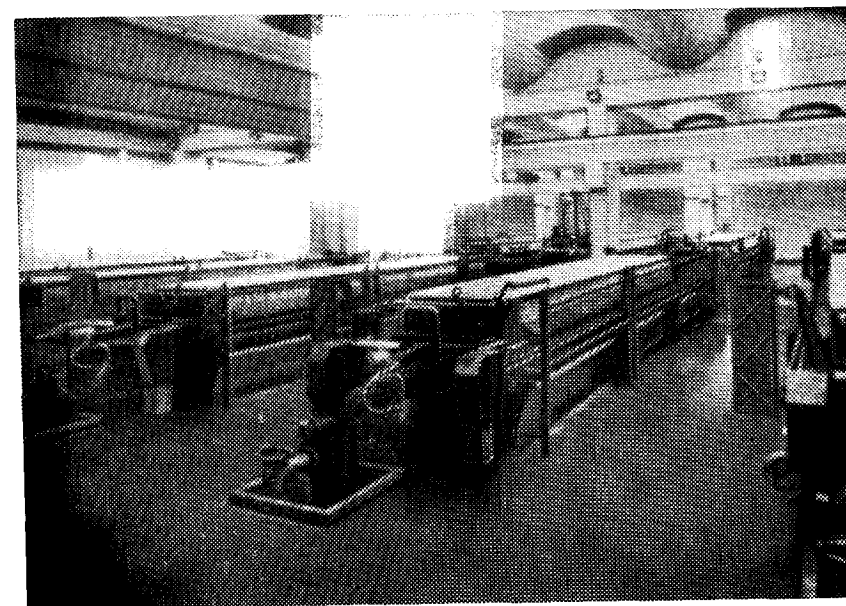


Рис. 24.30. Часть зала с 10 фильтр-прессами станции Ашер IV (Париж). Общая площадь поверхности фильтрования  $5800 \text{ м}^2$

В настоящее время на очистных сооружениях средней производительности биофильтры используются все реже. Это объясняется развитием технологии очистки с активным илом, более простой и требующей меньших капитальных затрат, однако потребляющей больше энергии. В случае отравления биофлоры гораздо легче опорожнить аэротенк с активным илом, чем заметить или отмыть фильтрующую загрузку биофильтра.

Большое число построенных в прошлом сооружений включали первичные отстойники и двухъярусные перегниватели, или отстойники Имгоффа, за которыми следовали биофильтр и отдельно стоящий вторичный отстойник. В настоящее время такая схема устарела, так как перевод отстойников Имгоффа на автоматизацию затруднен.

Одной из инженерных разработок, которая имела некоторый успех несколько лет назад, является «Моноблок», в котором биофильтр заканчивался вторичным отстойником. Тем не менее в настоящее время эта установка используется редко, главным образом из-за экономических показателей и невозможности увеличения ее производительности.

**24.2.5.2. Очистные сооружения, включающие биофильтры с пластмассовой загрузкой и аэротенки.** Во многих небольших городах одно или несколько предприятий сельскохозяйственного производства или пищевой промышленности играют важную роль в экономике. В ряде случаев загрязнения, сбрасываемые этими предприятиями, больше, чем загрязнения бытовых сточных вод. Сброс производственных стоков в городскую канализацию обычно кажется наиболее простым и экономичным решением. Однако показатели качества производственных сточных вод таковы, что не позволяют удовлетворительно эксплуатировать очистные сооружения, если последние не спроектированы специально для очистки сточных вод с соответствующими характеристиками.

Биофильтры с пластмассовой загрузкой особенно пригодны для обработки стоков сельскохозяйственного производства и предприятий пищевой промышленности. Эти воды имеют следующие основные характеристики:

они могут содержать соединения углерода, которые, несмотря на то, что легко усваиваются биомассой, способствуют росту нитчатых бактерий и вызывают вспухание ила. Работа вторичных отстойников нарушается, а избыточный ил сложно уплотнить и обезвоживать;

они имеют высокую концентрацию по растворенной БПК<sub>5</sub>; иногда такие стоки имеют высокую температуру, поэтому они легко подвергаются кислотной ферментации.

В биофильтрах с пластмассовой загрузкой наиболее легко окисляемая фракция загрязнений может быть быстро разрушена биопленкой, которая, даже если и состоит из нитчатых организмов, становится хорошо оседающей. Таким способом 50—

70% загрязнений может быть легко очищено при низком потреблении энергии.

Для очистных сооружений определенного размера наиболее экономичным путем достижения удаления загрязнений на 95—99%, что обычно требуется для очищенных сточных вод этого типа, является сочетание высоконагружаемых биофильтров с пластмассовой загрузкой с последующей очисткой активным илом.

В дополнение к экономическому эффекту сочетание очистки сточных вод на биофильтрах с пластмассовой загрузкой с обработкой активным илом имеет следующие преимущества:

удаляется значительная часть загрязнений при низких энергетических затратах, так как окисление происходит естественным путем при фильтровании;

повышается устойчивость системы к значительным неравномерностям нагрузки, которые более характерны для производственных сточных вод, чем для бытовых;

создается большая устойчивость системы к дебалансу питательных веществ в поступающей воде;

разрушение легкоокисляемых соединений углерода не вызывает забивания фильтрующей загрузки, поэтому активный ил может быть затем использован при средних нагрузках без риска, что этот ил вспухнет.

*Основные характеристики системы «биофильтр с пластмассовой загрузкой + сооружения с активным илом».*

Первичное отстаивание — важный процесс, которым, однако, нередко пренебрегают. Производственные сточные воды часто содержат вещества, которые нужно удалять перед поступлением воды на биофильтры, чтобы избежать серьезных трудностей в эксплуатации (особенно те загрязнения, которые вызывают забивание распределительной системы подачи сточных вод).

Этими веществами являются, например, жиры в стоках предприятий молочной промышленности, барда в стоках пивоваренных заводов, частицы мяса, жира, соломы и т. д. с боен, волосы и мясные отходы кожевенно-дубильных стоков.

Как правило, первичное отстаивание не обязательно (если, конечно, не требуется удаление путем осаждения токсичных веществ), так как угроза забивания биофильтров тонкой фракцией взвешенных веществ мала.

Промежуточный отстойник. Использование промежуточного отстойника с высокой нагрузкой на поверхность рекомендуется для того, чтобы предотвратить перенос частичек биопленки из биофильтра в аэротенк. Частички биопленки содержат высокоактивные бактерии, а также основную массу нерастворимых загрязнений, задержанных фильтром, даже если они еще не полностью метаболизированы. Потребность в кис-

лороде на ступени очистки активным илом значительно уменьшается при задержании всей этой пленки в отстойнике.

Обработка ила. Избыточный ил из вторичного отстойника перемешивается с илом из промежуточного отстойника, объединенный ил после уплотнения может быть обезвожен сразу же или после аэробной стабилизации.

**24.2.5.3. Очистные сооружения, на которых используется чистый кислород.** Гибкость и надежность работы очистных сооружений с активным илом может быть повышена использованием чистого кислорода.

«Чисто кислородные» очистные сооружения целесообразно применять для обработки высококонцентрированных производственных сточных вод, при которой обеспечивается высокая степень распада загрязнений, и для сточных вод, содержащих вещества восстановительного характера или ингибирующие соединения, которые допускается очищать только при наличии большой массы активных бактерий.

Необходимо специально проектировать сооружения, на которых используется кислород: всю поверхность аэротенка и по возможности стабилизатора закрывают газонепроницаемой крышей и установки защищают от избыточного подкисления активного ила диоксидом углерода, образующимся при интенсивном бактериальном метаболизме. Контроль за степенью подкисления осуществляют выдуванием избыточного  $\text{CO}_2$  воздухом или добавкой обычной ступени воздушной очистки к обработке кислородом.

Кроме того, требуется соответствующий контроль для ограничения потерь кислорода, вызванных неизбежными утечками его из резервуара в атмосферу, и поддержания оптимальной концентрации растворенного кислорода в иловой смеси.

Нужно принять специальные меры предосторожности, чтобы избежать накопления неокисленных летучих органических веществ во внутренней воздушной зоне резервуаров.

Специальные устройства требуются для вторичного осветления высококонцентрированного активного ила. Там, где образуется очень большое количество ила, аэротенк должен быть оборудован дополнительной установкой по его задержанию для разгрузки вторичного отстойника.

В том случае, когда бытовые и производственные стоки различного качества смешиваются, очистные сооружения проектируют с учетом возможности изменять эксплуатационные характеристики; аэротенк должен тогда иметь несколько отделений с подачей либо кислорода, либо воздуха.

Примером такой системы является установка в Гранд-Синте около Дюнкерка — первая построенная в Европе установка, в которой используется кислород. Производительность установки соответствует количеству сточных вод от 45 000 эквивалент-

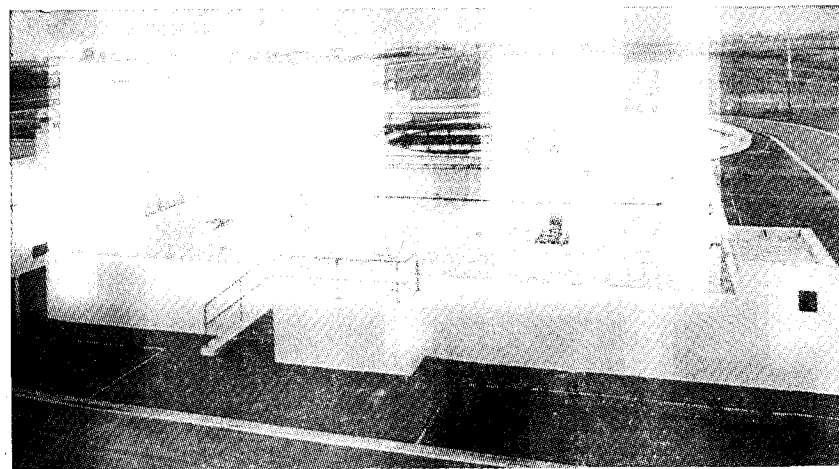
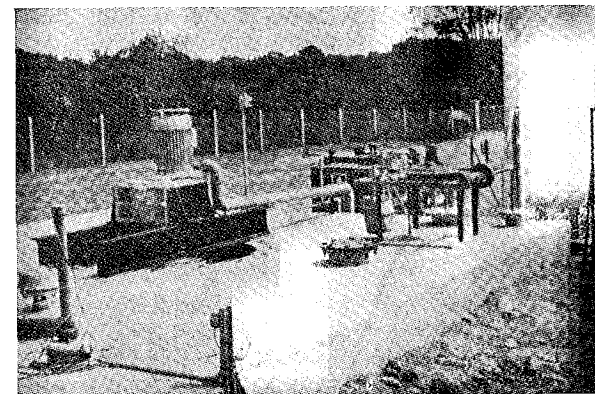


Рис. 24.31. Очистная станция Гранд-Синт в Дюнкерке (Франция). Оксигенк и вторичный отстойник

Рис. 24.32. Очистная станция в Фузланте (Франция). Камеры интенсивного насыщения кислородом



ных жителей с учетом производственных сточных вод различного происхождения (рис. 24.31).

**Подача кислорода.** Там, где очистка связана, главным образом, с бытовыми сточными водами или сравнительно безвредными производственными сточными водами, имеющими постоянное качество, использование чистого кислорода или воздуха, обогащенного кислородом, на сооружениях средних размеров целесообразно только в тех случаях, когда требуется увеличение окислительной мощности системы без дополнительного проектирования и изменения размеров очистных сооружений, т. е. когда на существующих установках нужно очищать производственные стоки от вновь подключаемых промышленных предприятий.



Кроме того, использование кислорода имеет особое значение на тех очистных сооружениях, где необходимо очищать сток с переменными нагрузками. Этот метод можно применять вместо физико-химической очистки для местностей с изменяющимся числом жителей в зонах массового туризма.

Кислород можно подавать эпизодически либо непосредственно в аэротенк через расположенное между обычными аэраторами устройство, позволяющее высокоэффективно растворять кислород в воде, либо путем интенсивной рециркуляции жидкости через расположенную снаружи резервуаров камеру, в которой происходит интенсивное насыщение кислородом (рис. 24.32).

Дополнительное обогащение кислородом особенно эффективно при обработке увеличивающихся расходов быстрозагнивающих бытовых сточных вод, когда сброс сточных вод происходит во время массового их поступления в период отпусков.

Неконтролируемая денитрификация во вторичном отстойнике может быть ограничена поддержанием высокой концентрации растворенного кислорода во время пикового поступления сточных вод.

Введение чистого кислорода в коллекторы под давлением или в сточную воду, поступающую в подъемное устройство, позволяет быстро окислять некоторые соединения серы, тем самым ограничивая дурные запахи, и увеличивать окислительно-восстановительный потенциал. Такое использование кислорода целесообразно в старых системах большой протяженности и особенно в зонах отдыха и при жаркой погоде.

**24.2.5.4. Естественные аэробные пруды, аэрируемые пруды.** Биофильтры с пластмассовой загрузкой перед сооружениями с активным илом и временную подачу кислорода в аэротенк применяют для увеличения надежности работы и гибкости эксплуатации. В некоторых случаях, однако, подобного результата можно достигнуть другим путем, используя экстенсивный процесс.

Естественные аэробные пруды выполняются в виде мелководных резервуаров (глубиной 0,8—1,2 м), в которые проникает свет, что способствует развитию зеленых водорослей. В процессе фотосинтеза образуется кислород, который обуславливает рост аэробных бактерий.

Осуществление этого простого процесса требует значительных территорий, так как продолжительность окисления очень велика. Для обеспечения в прудах оптимальных аэробных условий, при которых не образуются запахи и не выводятся насекомые (мухи и особенно комары), поступающий сток должен подвергаться предварительной очистке, если не применяется предварительное осаждение. Это предотвращает быстрое забивание емкостей.

В зависимости от места расположения мощность очистных сооружений колеблется от 25 до 50 кг БПК<sub>5</sub> на 1 га/сут.

Очищенная сточная вода содержит большое количество водорослей, которые сложно удалить, поэтому содержание взвешенных веществ 80—120 мг/л в очищенном стоке не является необычным.

Только те сточные воды, которые содержат малое количество взвешенных веществ, могут быть очищены в очень больших глубоких аэрируемых прудах (2—3 м глубиной).

При поступлении загрязнений устанавливается равновесие между поступающими биоразлагаемыми загрязнениями и массой выросших на этих загрязнениях бактерий. Осажденный активный ил в таком случае не рециркулирует из вторичного отстойника.

Аэрационные установки выполняются в соответствии с потребностью в кислороде. Если принять во внимание, что используются большие объемы, то удельная мощность оказывается низкой (2—5 Вт/м<sup>3</sup>); часть загрязнений и бактерий осажается на дно резервуара, где они формируют слой, в котором развиваются анаэробные процессы.

Температура воды в прудах оказывает огромное влияние на работу высокодисперсной культуры бактерий, которая развивается в них, и это должно быть учтено при определении размеров емкостей. Обычно принимается, что уменьшение уровня загрязнения  $L_0$  до его конечного значения  $L_f$  описывается уравнением

$$\frac{L_f}{L_0} = \frac{1}{1 + Kt},$$

где  $t$  — время пребывания, сут;  $K$  — зависит от температуры  $T$  в соответствии с соотношением  $K_T = K_{20} \cdot 1,07^{T-20}$ .

Для поступающих сточных вод, близких по составу к бытовым, качество очистки не превышает уровень 3 по французскому стандарту, несмотря на то, что время пребывания сточной воды составляет 10 сут и более. Даже при наличии отстойной зоны содержание взвешенных веществ в очищенной воде остается высоким и часто превышает 50 мг/л.

Вместе с тем большие объемы прудов играют роль важных буферных емкостей, в которых вследствие принудительной рециркуляции увеличивается эффект разбавления поступающей сточной воды водой пруда.

С экономической точки зрения аэрируемые пруды сравнимы с традиционным процессом только при условиях, что земля очень дешевая, требуемые земляные работы незначительны и необходима лишь частичная облицовка стенок и дна.

Кроме того, следует принимать во внимание угрозу загрязнения подземных вод при фильтровании.

Аэрируемые пруды наиболее ценны, когда они используются для третиной очистки в зонах отдыха. Высокая доля патогенных бактерий может быть дешево удалена благодаря продол-

жительному хранению хорошо очищенного стока, находящегося в аэробных условиях, особенно в тех случаях, когда температура воды в прудах превышает  $18^{\circ}\text{C}$ . Если время пребывания сточной воды колеблется от 1,5 до 3 сут, БПК<sub>5</sub> очищенной воды (после традиционной биологической очистки с илом) может быть снижена до 10 мг/л и менее.

Уменьшения остаточных концентраций азота и фосфора при этих условиях не наблюдалось. Чтобы достичь определенных стандартов (уровни 5 и 6 французского стандарта), за биологической очисткой с достаточной степенью нитрификации должна следовать третичная очистка.

#### 24.2.6. ОЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ С ПОСТОЯННО МЕНЯЮЩИМСЯ ЧИСЛОМ ЖИТЕЛЕЙ

Некоторые очистные сооружения, обслуживающие населенные пункты морских побережий и зимние спортивные зоны, подвергаются значительным сезонным колебаниям по нагрузке, которые могут быть более или менее резкими. Нагрузка может изменяться в два раза (в городах, где туризм является важной, но не единственной сферой деятельности), а в некоторых случаях возможна и более высокая неравномерность. В зонах отдыха вне сезона установки закрыты.

Здесь будут рассмотрены только случаи применения очистки с активным илом. При значительных колебаниях расходов биофильтры работают плохо из-за резко меняющихся нагрузок, особенно неблагоприятное влияние на эффективность работы сооружений оказывают низкие гидравлические нагрузки. Возможность применения физико-химической очистки будет обсуждена ниже (см. п. 24.3).

*А. Модификация обычных сооружений.* Значительные изменения нагрузок допускаются для очистных сооружений, работающих при средних нагрузках с отдельной стабилизацией ила: аэрационные установки проектируются так, чтобы при нагрузке по БПК  $1,5 \text{ кг}/(\text{сут}\cdot\text{м}^3)$  сооружение еще эксплуатировалось нормально, в то время как при падении нагрузки до  $0,3 \text{ кг}/(\text{сут}\cdot\text{м}^3)$  обеспечивалась стабилизация ила.

Стабилизационный резервуар может быть использован для хранения ила, что создает буферную емкость, обеспечивающую периодическую работу сооружений для обезвоживания осадка.

*Б. Обычные многоцелевые резервуары.* Изменением числа обрабатываемых линий или использованием различных модификаций аэротенков от средних нагрузок до продленной аэрации может быть достигнута значительная гибкость в работе системы.

В качестве примера можно привести очистные сооружения на Атлантическом побережье Франции, в которых нагрузка из-



Рис. 24.33. Вид на очистные сооружения в Канне (Франция), включающие предварительную очистку, флокуляцию, отстаивание и обработку осадка. Станция обслуживает 153 000 чел. зимой и 225 000 чел. летом

меняется от  $7000 \text{ кг}/\text{сут}$  летом до  $2800 \text{ кг}/\text{сут}$  зимой. Летом очистные сооружения работают по двухступенчатой схеме: аэрация в емкости  $4500 \text{ м}^3$  с нагрузкой по БПК  $1,56 \text{ кг}/(\text{м}^3\cdot\text{сут})$ , стабилизация в емкости, аналогичной аэротенку. Зимой продленная аэрация осуществляется в обоих резервуарах при нагрузке по БПК  $0,31 \text{ кг}/(\text{м}^3\cdot\text{сут})$ .

#### *В. Другие методы.*

*Использование активного угля.* Сезонные колебания могут быть очень резкими, как, например, на станции в зимнем спортивном лагере под г. Нель. Рост биомассы не успевает за увеличением нагрузки, так как нагрузка существенно возрастает, что снижает качество очищенной воды и ухудшает активный ил. Значительного изменения можно достигнуть добавлением порошкообразного активного угля, который не только действует как сорбент, но и способствует росту биомассы, для которой служит наполнителем.

Увеличить производительность сооружений можно введением кислорода (см. п. 24.2.5.3).

Снижение нагрузки на биологические очистные сооружения достигается увеличением эффективности осаждения при применении химических флокулянтов (см. п. 24.3.2).

## 24.3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

### 24.3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Термин «физико-химическая очистка» чаще всего относится к обработке неочищенных сточных вод и означает флокуляцию или выделение в осадок, за которыми следует разделение жидкой и твердой фаз осаждением или флотацией. В некоторых установках используется разделение фильтрованием или процеживанием через сетки.

Эти процессы могут быть использованы как единственный вид очистки, причем в таком случае достигается частичная очистка стока. Они могут также применяться перед сооружениями биологической очистки для уменьшения загрязнений, поступающих на нее. Причем использование физико-химических процессов может быть либо постоянным, а именно для сильно загрязненных смесей бытовых и производственных сточных вод, либо сезонным для очистных сооружений городов или населенных пунктов со значительным колебанием численности населения.

Хотя эти процессы известны в течение многих лет, они мало разработаны. Для бытовых сточных вод и вод без значительного колебания загрязнений они менее эффективны, чем биологическая очистка для обработки органических загрязнений; эксплуатационные затраты на них обычно выше и, кроме того, при их использовании образуется больше осадка. Однако интерес к физико-химическим процессам вновь возник в связи с необходимостью удалять увеличивающиеся загрязнения в зонах отдыха. Основное преимущество физико-химических процессов заключается в их способности немедленно эффективно реагировать на изменение нагрузки. Никакой другой процесс не позволяет осуществлять неравномерную эксплуатацию очистных сооружений, обслуживающих комплексы однодневных домов отдыха, лагерей, гостиниц или каких-либо зимних или приморских зон отдыха с очень малым постоянно живущим населением.

Там, где сточные воды сбрасывают в море, в настоящее время, по крайней мере во Франции, при очистке ограничиваются тщательным удалением взвешенных веществ и умеренным (на 65—75%) снижением органических загрязнений. Очищенный и частично обеззараженный сток может быть затем сброшен не слишком далеко от берега. Физико-химическая очистка приобретает особую ценность в тех случаях, когда сооружения должны быть компактными, иметь небольшие размеры и размещаться недалеко от городской застройки.

Для больших городских территорий, на которых удельное потребление воды растет, вследствие чего образуются менее концентрированные сточные воды, предпочтение отдается процессу частичной очистки. Разработка новых органических и неоргани-

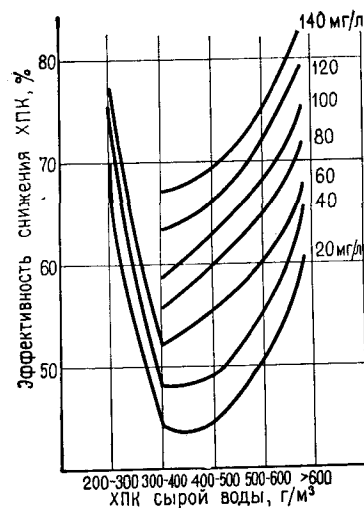


Рис. 24.34. Зависимость эффективности снижения ХПК от концентрации сырой сточной жидкости и количества вводимого хлорного железа (очистные сооружения в Канне)

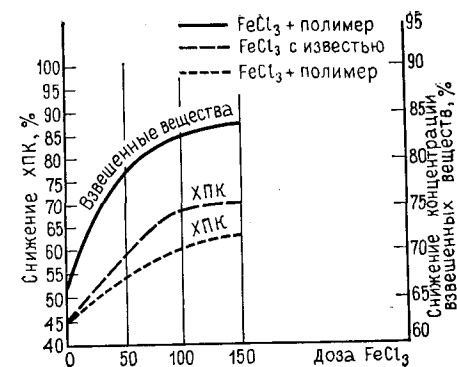


Рис. 24.35. Влияние дозы хлорного железа на эффективность флокуляции и отстаивания



при одновременном снижении текущих затрат. Кроме того, физико-химическая очистка с использованием солей металлов и извести позволяет достигнуть глубокого удаления фосфатов.

Опыт эксплуатации многих очистных сооружений показал, что необходимые реагенты и их дозы значительно различаются в зависимости от качества очищаемого стока.

**Механическая флокуляция** без применения реагентов улучшает контакт между частицами и тем самым повышает эффективность статического осаждения.

**Полиэлектролиты** использовались только для облегчения флокуляции коллоидной части загрязнений. Анионные вещества должны быть использованы для малоконцентрированных сырых сточных вод и катионные — для концентрированных стоков и стоков после септиков. Эти реагенты позволяют обеспечить эффективность удаления БПК на 60% и взвешенных веществ на 75% при осаждении. Катионные вещества могут быть использованы при флотации. Синтетические полиэлектролиты очень специфичны, и влияние, которое они окажут на работу установки, трудно предсказать без предварительных испытаний.

**Соли алюминия и железа** могут быть использованы в комбинации с полиэлектролитом или известью, последнее сочетание благоприятно для флотации и последующего осаждения. Для данного стока эффективности удаления взвешенных веществ и

снижения ХПК и БПК<sub>5</sub> для различных доз реагента и флокулянта могут быть изображены в виде кривых (рис. 24.34). Можно ожидать снижения БПК<sub>5</sub> на 75% и взвешенных веществ более чем на 90%. Необходимо заметить, что в случае очистки поверхностных вод доза применяемого флокулянта зависит от температуры.

**Обработка известью** при высоком значении рН (не менее 11,5) без добавки солей железа позволяет получить результаты, аналогичные предыдущему методу, обеспечивая в то же самое время значительное обеззараживание. Однако очищенная таким способом вода должна быть, как правило, нейтрализована перед сбросом или подачей на последующую ступень биологической очистки, что требует значительных расходов кислотных реагентов. Кроме того, изменение равновесия между карбонатом кальция и диоксидом углерода в воде при введении высоких доз извести может привести к обрастаниям оборудования и труб.

#### 24.3.2. ФЛОКУЛЯЦИЯ И ФИЗИЧЕСКОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ

Флокуляция сточных вод подчиняется тем же правилам, что и флокуляция поверхностных вод, за исключением того, что используемые установки могут быть упрощены, так как контакт облегчается из-за наличия огромного количества частиц.

Сфлокулированные частицы могут быть отделены от очищенного стока всеми возможными способами. Процеживание дает беспорядочные и неопределенные результаты, но статическое отстаивание обеспечивает хорошее разделение для тяжелых осадков. В отстойниках, представляющих собой цилиндрико-конические установки, использование восходящей скорости потока, превышающей 1,5 м/ч при применении полиэлектролитов и 2 м/ч — солей металлов, нежелательно. Осаждение обычно улучшается при применении в качестве добавки извести, но это не является необходимым при обработке некоторых хорошо флокулирующих сточных вод.

Когда используются отстойники с рециркуляцией (такие, как «Турбоциркулятор»), скорость восходящего потока может быть значительно повышена, а дозы реагента снижены. Скорость осаждения может достигать 15—20 м/ч в часы пиковых расходов, если применяются тонкослойные отстойники. Сочетание тонкослойных установок с системой осаждения, в которой используется рециркулирующий ил, или с системой со взвешенным слоем (типа «Пульсатор») позволяет создать компактную установку высокой производительности. Однако при применении тонкослойных установок с небольшими промежутками между пластинами важно иметь между ними решетку с мелкими прозорами и обеспечить тщательное удаление жира при предварительной очистке.

Многие осадительные установки имеют недостаток, заключающийся в формировании мелкого ила, который должен быть уплотнен. Если этот осадок содержит гидроксиды железа или алюминия, процесс уплотнения протекает медленно и содержание взвешенных веществ, несмотря на дополнительное введение реагента, не превышает 35—40 г/л.

В этом отношении преимущество имеет флотационный процесс, позволяющий получить концентрированный осадок (концентрация взвешенных веществ более 50 г/л) без дополнительного уплотнения. Однако максимальная скорость не превышает 10 м/ч, и часто требуется использование специальных реагентов (катионных полиэлектролитов), чтобы упростить прикрепление микропузырьков к хлопьям осадка.

В заключение необходимо упомянуть о флокулирующих фильтрах, которые могут быть иногда использованы для первичной очистки сравнительно мало загрязненных сточных вод, таких, как ливневые воды, или для третичной очистки.

После предварительного осаждения или флотации для улучшения качества очищенной воды используется фильтрование. Заключительная ступень очистки может быть применена для уменьшения концентрации остаточных растворенных биоразлагаемых загрязнений, что приводит к сочетанию физико-химических и биологических процессов.

#### 24.3.3. СОЧЕТАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО И БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОВ

В связи с тем что физико-химический процесс применяется непостоянно, а также в тех случаях, когда достаточно обеспечить неполную биологическую очистку стоков, наиболее предпочтительны системы, сочетающие физико-химическую и биологическую очистку.

Проще всего эта комбинация осуществляется в том случае, когда сооружениям биологической очистки предшествует статический отстойник, включающий камеру флокуляции, в которую вводят полиэлектролит для более глубокого удаления коллоидных загрязнений, или же в этой камере проводят простую флокуляцию.

В любом случае очистке с активным илом не должны предшествовать избыточно интенсивные флокуляция и осаждение, поскольку биологический процесс будет осуществляться только на растворенных загрязнениях. Образующийся в этом случае активный ил будет содержать большое количество органических веществ и трудно осаждаются, а вторичный отстойник должен иметь необоснованно большой объем.

Однако тщательная физико-химическая очистка целесообразна тогда, когда она применяется в сочетании с биофильтрами. Такой способ особенно хорошо применим, когда существу-

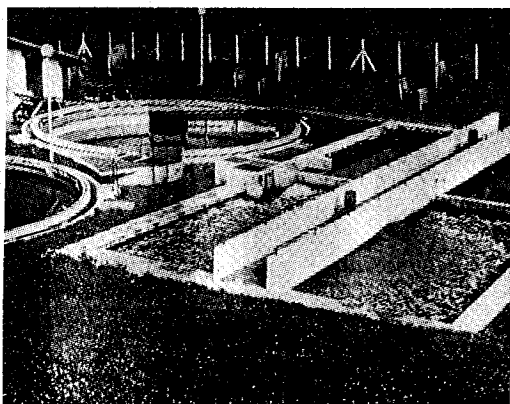


Рис. 24.36. Очистная станция в Гетари (Франция), соответствующая 13 тыс. эквивалентных жителей

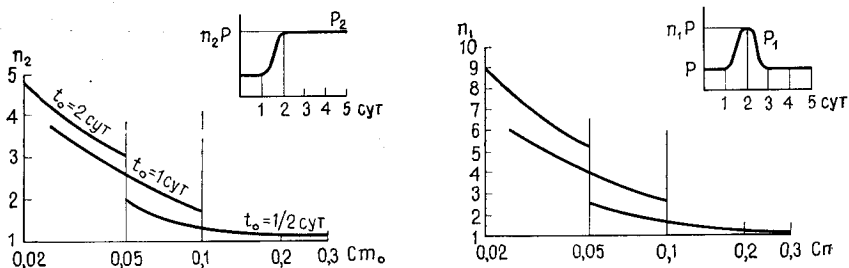


Рис. 24.37. Кривые, характеризующие степень колебания суточной нагрузки, допустимую для биологической очистки (см. п. 8.2.1)

ющие очистные сооружения перегружены. Другим вариантом является добавка реагента на ступени биологической очистки, как, например, при одновременном удалении фосфора, при котором хлорид железа подается в начало аэротенка.

Если временно допускаются резкие подъемы концентрации органических загрязнений в сточных водах, поступающих в аэротенк, в него может быть введен порошкообразный активный уголь, который будет сорбировать молекулы средних размеров органических загрязнений, а действие бактериальной флоры тогда будет направлено на короткие молекулы, которые адсорбируются и легко метаболизируются; большие же молекулы закрепляются на хлопьях ила и впоследствии медленно метаболизируются.

Посредством одновременной или последовательной физико-химической и биологической очистки качество очищенного стока может поддерживаться на высоком уровне независимо от нагрузки. Когда при пиковых расходах допускается обеспечение среднего стандарта качества, очистные сооружения могут быть

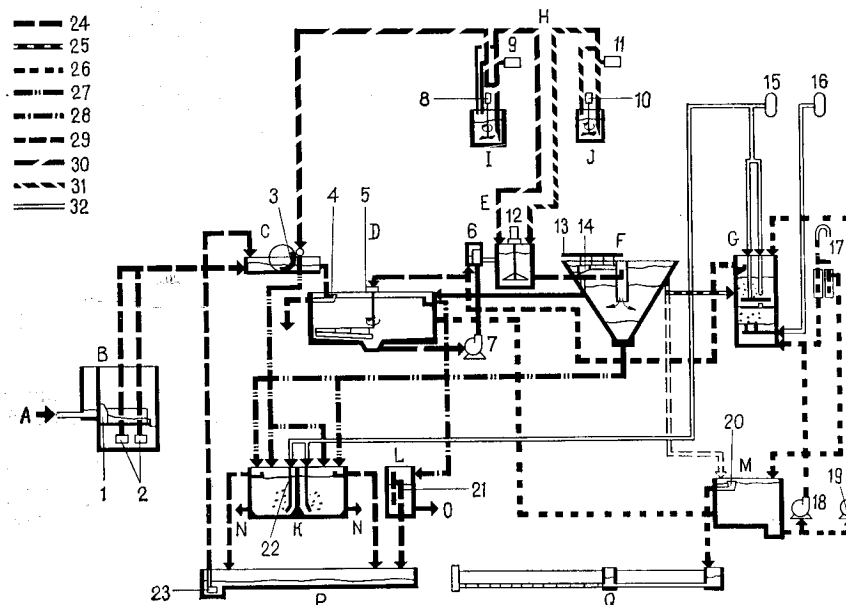


Рис. 24.38. Очистная станция в Ла Барр де Монт (Франция). Система «Флопак», включающая первичную физико-химическую и последующую биологическую очистку

A — впуск сточных вод; B — подъемное устройство; C — решетки; D — резервуар-накопитель; E — камера реакции; F — осветлитель; G — фильтр; H — реагенты; I — резервуар известкового молока; J — резервуар для флокулянта; K — резервуар осадка; L — резервуар для всплывающих загрязнений; M — резервуар промывной воды; N — струситель; O — канал; P — канал; Q — распределительная система; 1 — решетка корзиночного типа; 2 — насос для подъема сырой сточной жидкости; 3 — вращающаяся сетка; 4 — водослив резервуара-накопителя; 5 — мешалка; 6 — резервуар постоянного уровня; 7 — рециркуляционный насос; 8 — лопастная мешалка для резервуара известкового молока; 9 — насос дозирования известкового молока; 10 — лопастная мешалка для резервуара флокулянтов; 11 — насос дозирования флокулянтов; 12 — лопастная мешалка для флокулятора; 13 — скребок; 14 — канал для отведения всплывших загрязнений; 15 — преаэрация и перемешивание воздухом; 16 — воздуходувка для разрыхления загрузки фильтра; 17 — регулируемый перелив; 18 — насос промывной воды фильтров; 19 — насос для разбавления; 20 — перелив для сброса обработанной воды; 21 — перелив из резервуара для всплывающих загрязнений; 22 — трубы для пневматического перемешивания; 23 — колодец для насоса; 24 — сырая сточная вода; 25 — отстоянная вода; 26 — фильтрованная вода; 27 — осадок; 28 — пена; 29 — промывная вода; 30 — известковое молоко; 31 — флокулянт; 32 — воздух

запроектированы с установками биологической очистки на определенный уровень населения. Некоторый запас производительности получается при применении физико-химической очистки, которую можно осуществлять более или менее интенсивно в зависимости от требований. Преимущество такого сочетания заключается в том, что биологическую очистку можно применять при постоянной нагрузке независимо от физико-химических установок.

Процесс «Флопак» представляет собой высокоэффективную и гибкую комбинацию физико-химического и биологического методов. После флокуляции (с последующим осаждением или

#### 24.3.4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ОСАДКА

Когда для удаления веществ, которые не осаждаются в обычных условиях, применяется интенсивная флокуляция, количество задержанного осадка значительно возрастает. Весьма пер-

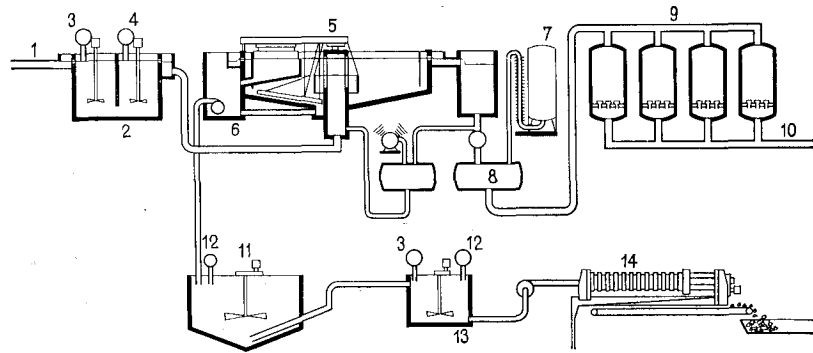


Рис. 24.39. Физико-химическая очистка системы «Флопак» с использованием установки с чистым кислородом «Оксиазер». Очистная станция в Бриансоне (Франция)

1 — сырой сток; 2 — флокулятор (резервуар для флокуляции); 3 — реагенты; 4 — флокулянт; 5 — отстойник-флотатор; 6 — приемок осадка; 7 — чистый кислород; 8 — насыщение под давлением; 9 — фильтрование через байолит; 10 — очищенный сток; 11 — накопитель осадка; 12 — известковое молоко; 13 — резервуар для коагулирования осадка; 14 — фильтр-пресс

флотацией) вода проходит через толщу фильтрующего материала с большой удельной поверхностью, а именно с загрузкой с открытыми макропорами. Иногда рекомендуют применять активный уголь, но это продукт дорогостоящий, ломкий и подвергающийся коагулированию. Его микропористость, которой он обязан своими абсорбционными свойствами, используется здесь недостаточно полно.

Более подходящим является расширяющийся минерал байолит, к поверхности которого прикрепляются аэробные бактерии. После каждой периодической промывки эти бактерии восстанавливают свою биологическую активность, которую можно контролировать и регулировать изменением количества кислорода, необходимого для аэробных микроорганизмов. Можно предусмотреть рециркуляцию фильтрованной воды в окислительный резервуар, в который необходимое количество кислорода подается инъекцией или поверхностной аэрацией. Можно также снизить скорость рециркуляции и повысить концентрацию растворенного кислорода добавлением чистого кислорода, в этом случае окислительный резервуар и фильтры закрывают, и они работают под давлением.

Вне сезона, когда поступающих сточных вод намного меньше, чем в течение активного периода, первичная очистка может быть ограничена отстаиванием без добавления реагентов. Осветленную воду подают на биофильтр и поддерживают очень высокий рециркуляционный поток. Тем не менее достигают удовлетворительных результатов.

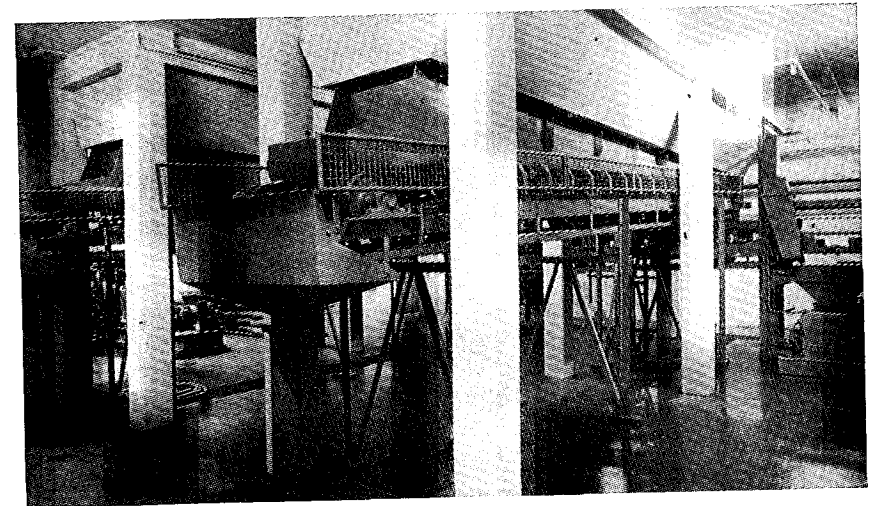


Рис. 24.40. Метод удаления кека с фильтр-пресса, Канн (Франция)

Рис. 24.41. Установка по сжиганию осадка в печи с псевдооживленным слоем, Канн (Франция)

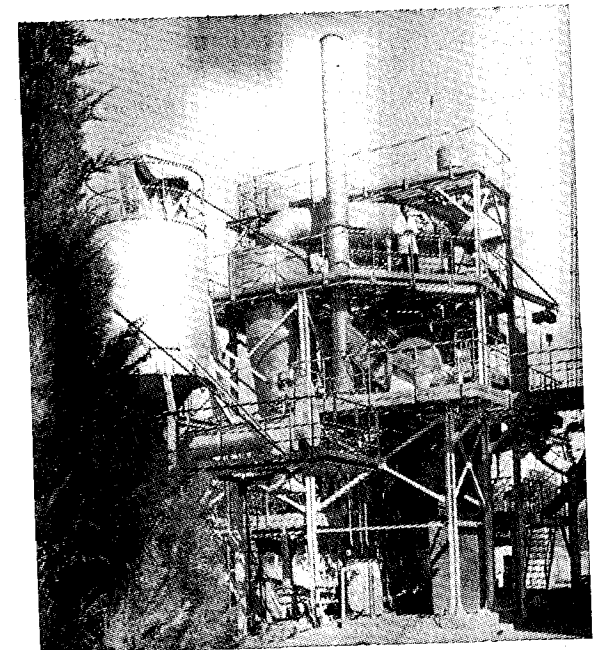




ТАБЛИЦА 24.10. КОЛИЧЕСТВО И КОНЦЕНТРАЦИЯ ИЛА, ПОЛУЧЕННОГО ПРИ ФЛОКУЛЯЦИИ — ОСАЖДЕНИИ В ЛАВАНДУ

Очистка	Количество образующегося ила, Г/М <sup>3</sup>	Концентрация выделенного осадка, Г/Л
Осаждение без флокулирующих веществ	173	40
FeCl <sub>3</sub> 250 мг/л	456	32,5
+ известь 250 мг/л	493	20,6
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> 260 мг/л		
+ известь 280 мг/л		
Известь 800 мг/л	1100	60

менно удаляются присутствующие в воде карбонаты; гидроксиды железа и алюминия осаждаются в виде очень неплотных и гидрофильных хлопьев, которые не могут уплотняться. Увеличение массы осадка сопровождается еще более значительным увеличением его объема.

Существенно, что происходит дополнительное уплотнение осадка при добавлении извести или без нее в зависимости от вида реагента, использованного ранее, и, следовательно, отпадает необходимость в применении флотации.

Такой осадок может быть обезвожен механическим способом, центрифугированием и фильтрованием при непрерывном (ленточный фильтр) или при периодическом (фильтр-пресс) давлении. Центрифугирование и обезвоживание на ленточных фильтрах после отстаивания с применением полиэлектролита позволяет получить концентрацию осадка 20—25%, в то время как фильтр-пресс дает концентрацию осадка 35—45% в зависимости от выбранных условий и примененного давления.

Другим вариантом является обезвоживание на иловых площадках после интенсивной обработки известью и добавочного введения полиэлектролита.

## 24.4. ТРЕТИЧНАЯ ОЧИСТКА

### 24.4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Процесс третичной очистки улучшает показатели качества очищенной воды после биологической или равнозначной ей очистки.

Потребность в применении третичной очистки возникает в случаях, приведенных ниже в порядке возрастания требований к показателям качества очищенной воды:

пективным является использование органических полимеров, так как при этом к поступающей воде добавляется очень мало вещества. С другой стороны, все неорганические электролиты ведут к образованию осаждаемых хлопьев гидроксидов, простых или сложных фосфатов и осаждаемых карбонатов, которые неизбежно увеличивают количество осадка, удаляемого из отстойников. Более того, известь, когда она применяется в больших дозах, дает плотный осадок, особенно если при ее применении одновременно удаляются присутствующие в воде карбонаты; гидроксиды железа и алюминия осаждаются в виде очень неплотных и гидрофильных хлопьев, которые не могут уплотняться. Увеличение массы осадка сопровождается еще более значительным увеличением его объема.

потребность в сельском хозяйстве, ирригация; для целей охлаждения в промышленности; поддержание биотического равновесия; использование в промышленности; пополнение подземных вод; рыбоводство; использование в хозяйственных целях вплоть до потребления человеком.

Степень очистки сточных вод будет меняться в зависимости от целей, для которых предназначена вода.

Известны следующие процессы третичной очистки: доочистка, которая обеспечивает дальнейшее уменьшение концентрации взвешенных веществ и снижение концентрации по БПК<sub>5</sub>;

удаление фосфора для борьбы с эвтрофикацией озер; нитрификация и денитрификация, направленные на снижение всего или части органического либо аммонийного азота; удаление бионеразлагаемых органических загрязнений (ХПК) и органических или неорганических токсичных веществ; снижение цветности и удаление поверхностно-активных веществ;

обеззараживание и удаление патогенной микрофлоры.

Третичная очистка применима как для производственных, так и для бытовых сточных вод.

### 24.4.2. ДООЧИСТКА

Доочистка может проводиться либо биологическими, либо физическими методами.

Широко используемым биологическим способом доочистки является биологическая очистка в прудах. Очищенная сточная вода из вторичного отстойника проходит через мелководный пруд, в который кислород поступает либо естественным путем за счет фотосинтеза водорослей, либо подается искусственно. Поскольку концентрация взвешенных веществ и БПК<sub>5</sub> в поступающей воде сравнительно низкие, выпадающий слой осадка невелик, и пруд требует редкой очистки. Пребывание сточной воды в пруду в течение 48 ч при температуре 15°C позволяет снизить БПК<sub>5</sub> сточной воды с 40 до 20 мг/л.

В естественных прудах вследствие роста водорослей значительно уменьшается содержание азота и фосфора, хотя степень снижения их концентрации зависит от сезона. Однако проблема удаления водорослей из сбрасываемой в водоемы очищенной воды в настоящее время не решена. В мелководных прудах длительное освещение оказывает обеззараживающий эффект.

Биологическая очистка может быть осуществлена фильтрацией через почву.

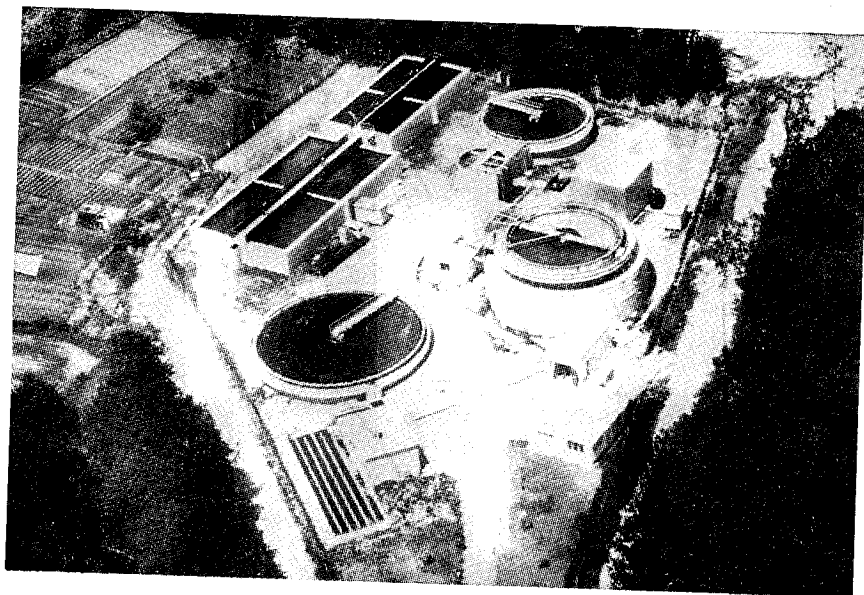


Рис. 24.42. Очистная станция в Ла Тремблде (Франция)

Наиболее широко используется для доочистки фильтрование, которое основано на физическом процессе.

Прямое фильтрование через песчаную загрузку позволяет снизить концентрацию взвешенных веществ на 60—80% и уменьшить концентрацию соединений углерода на 30—40%. Чем ниже нагрузка на ил в предшествующем биологическом процессе, тем достигается более высокая эффективность очистки.

Эффективный размер частиц песка колеблется от 0,95 до 2 мм. При более мелких размерах частиц укорачивается фильтроцикл, при более крупных частицах снижается эффективность очистки. Высота слоя песка колеблется от 1 до 1,5 м. На эффективность очистки влияет скорость фильтрования, которую разные исследователи рекомендуют принимать равной от 5 до 30 м/ч; эффективность процесса значительно снижается при скоростях более 20 м/ч. В большинстве случаев используется скорость 10 м/ч, увеличивающаяся до 20 м/ч при максимальном расходе воды.

В течение многих лет полагали, что сточные воды должны быть обеззаражены до фильтрования. В действительности же эффективность снижения БПК улучшается при бактериальном росте, который может иметь место в фильтре, и это явление, если возможно, целесообразно использовать. Если в фильтре поддерживаются аэробные условия, можно избежать избыточно быстрой коагуляции и слишком частых промывок. Добавочная

подача кислорода не очень эффективна при фильтровании через песок.

С другой стороны, при пористом материале, таком, как байолит, подача кислорода очень перспективна, и третичное фильтрование становится настоящей (подлинной) формой биологического фильтрования, обеспечивающего удаление 70—90% взвешенных веществ и снижение БПК<sub>5</sub> на 40—66%. Кроме того, при использовании байолита фильтроцикл длиннее, чем при песчаной загрузке. До забивания байолитовый фильтр может задержать 8—12 кг загрязнений на 1 м<sup>2</sup> поверхности загрузки по сравнению с 3—5 кг/м<sup>2</sup> для песчаного фильтра.

Сравнение результатов фильтрования свидетельствует о преимуществах применения байолитового фильтра по сравнению с реагентным фильтрованием, поскольку отпадает необходимость в использовании реагентов (15—30 мг/л алюминия, 0,5—1,0 мг/л анионного полиэлектролита). Если требуется удалить только взвешенные вещества и если очищенный сток из вторичных отстойников не содержит коллоидов и очень мелких хлопьев, песчаные и байолитовые фильтры могут быть заменены микросетками.

#### 24.4.3. УДАЛЕНИЕ ФОСФАТОВ

Удаление фосфатов весьма полезно, если очищенный сток сбрасывается в озеро или малопроточный водоем, так как сброс сточной воды, содержащий большое количество годных к потреблению водной растительностью фосфатов, может способствовать развитию эвтрофикации. Указанные фосфаты являются лимитирующим фактором для развития водной растительности и планктона. Вследствие этого в таких странах, как Швейцария, стремящихся защитить свои озера, заключено соглашение о сбросе предельной максимальной дозы общих фосфатов около 1 мг/л в сточных водах, поступающих в озера или сбрасываемых близко от них.

В процессе обычной биологической очистки фосфор удаляется не полностью. Тем не менее благодаря бактериальному действию полифосфаты превращаются в годные для потребления ортофосфаты. В то время как в поступающей в аэротенк сырой сточной воде две трети общего фосфора присутствуют в форме полифосфатов и одна треть — в форме ортофосфатов, для биологически очищенных сточных вод имеет место обратное соотношение.

Современные моющие средства являются основным источником полифосфатов; количество фосфатов в стоке возрастает с увеличением использования моющих средств.

Для удаления фосфатов рекомендуются два процесса: simultaneous осаждение введением солей железа или алюминия в активный ил и раздельное осаждение, которое производится

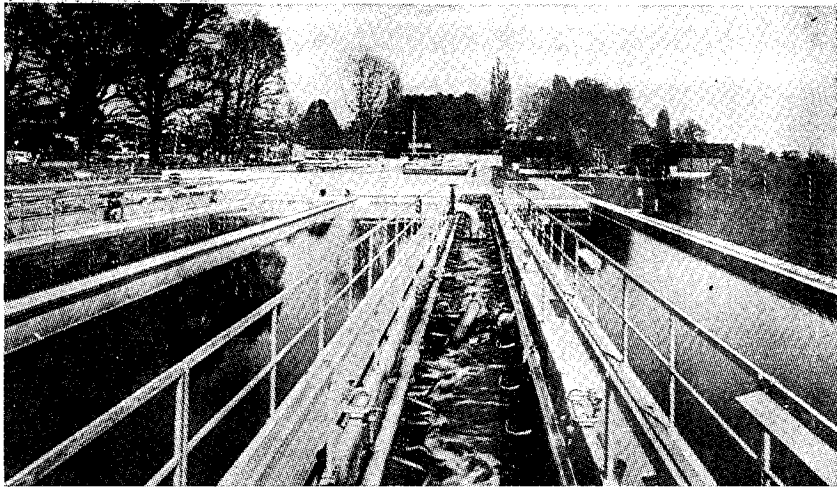


Рис. 24.43. Удаление фосфатов симультанным осаждением, Моргес (Швейцария)

на третьей ступени очистки с флокуляцией и осаждением или флотацией. В последнем случае качество очищенного стока более высокое, поскольку содержание взвешенных веществ и соответствующая им БПК<sub>5</sub> также уменьшаются.

Симультанное осаждение в широких масштабах успешно применяется в Швейцарии. В процессе очистки используется большое количество реагентов, около 1—1,5 мг железа на 1 мг фосфатов (выраженных в  $\text{PO}_4^{3-}$ ), достигаемая эффективность составляет 80—90%. Активный ил становится более тяжелым, иловый индекс падает. Влияние на эффективность очистки не отмечено, хотя определенные трудности имелись при низконагружаемом процессе. При анаэробном сбраживании избыточного ила, содержащего осажденные фосфаты, высвобождения фосфатов в рециркулирующий поток не наблюдалось.

Раздельное осаждение требует огромного количества флокулянта для обеспечения правильной флокуляции. Использование осветлителей со взвешенным слоем повышает степень удаления фосфатов. При применении флотации количество требуемого флокулянта сокращается.

При обработке известно, поскольку значение pH должно быть поднято до 11, перед сбросом сточных вод требуется их нейтрализация.

В связи с получением данных, свидетельствующих о том, что биологический процесс денитрификации позволяет осуществить сверхпоглощение фосфора бактериями, открывается новый подход к удалению фосфора. Однако, хотя пока и не ясно, можно

ли при таком процессе достичь уровня содержания фосфатов, требуемого правилами ряда стран, но он, вероятно, должен уменьшить значение химического удаления фосфатов.

#### 24.4.4. УДАЛЕНИЕ АЗОТА

Во французском стандарте общий азот упомянут в трех из шести уровней очистки. Содержание азота регламентируется во многих странах, допустимые концентрации для сброса часто бывают очень низкими. Имеется ряд причин, объясняющих эти требования:

необходимость ограничения потребления кислорода в водоприемнике, так как для окисления 1 мг аммонийного азота требуется около 4 мг кислорода;

необходимость ограничения эвтрофикации озер и малопроточных водоемов (в этом случае удаление азота должно сочетаться с удалением фосфатов);

обеспечение условий использования поверхностных речных вод для определенных промышленных и хозяйственных целей, когда присутствие азота или вредно, или запрещено.

Наиболее простым способом удаления азота является его окисление в процессе очистки до нитратных форм ( $\text{N}/\text{NO}_3^-$ ), в которых он считается полностью безвредным. Действительно, при биологической нитрификации происходит переход от аммонийных форм  $\text{N}/\text{NH}_3$  в нитратные с образованием промежуточных нитритов  $\text{N}/\text{NO}_2^-$ , которые, находясь в воде, отчасти токсичны для детей, и эти недостатки можно предотвратить при осуществлении процесса нитрификации. С другой стороны, в водном источнике возможны обратные процессы, известные как ассимилятивное восстановление. В конечном счете при нитрификации потребляется кислород, а следовательно, и энергия, тогда как при диссимилятивном восстановлении, когда нитраты превращаются в газообразный азот, высвобождается часть кислорода, использованного ранее для нитрификации, потребляется на окисление загрязнений, содержащих соединения углерода. Общая тенденция поэтому заключается в полном удалении азота. Возможны два способа: физико-химическое удаление; биологическая нитрификация / денитрификация.

*А. Физико-химическое удаление азота.* Наиболее простым способом является значительное повышение величины pH добавлением извести для образования гидроксида аммония и удаление аммиака отдувкой воздухом в контактной башне. Хотя этот процесс может быть совмещен с удалением фосфатов, он используется редко, так как для больших расходов сточных вод требуются огромные сооружения с большим числом вентиляторов. Кроме того, возникает ряд проблем в зимнее время, а также существует постоянная угроза отложения карбоната кальция в башне.

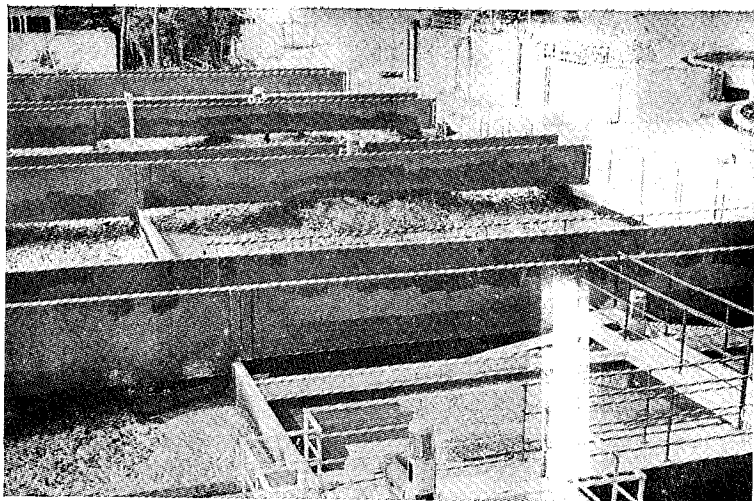


Рис. 24.44. Очистная станция, обслуживающая округ Руайан, Франция. На переднем плане — резервуар для денитрификации

Были предприняты различные попытки использовать ионообмен с применением смол и естественного цеолита (клиноптилолита), электролиза, электрохимического осаждения в виде соединения  $MgNH_4PO_4$  и хлорирования, но ни один из них не доказал свою достаточную эффективность и экономичность, чтобы оправданно применяться в производственных условиях.

**Б. Биологическая нитрификация/денитрификация.** Исследования, проводимые в настоящее время, главным образом связаны с биологическим процессом: перевод аммонийных форм в нитраты в ходе вторичной (биологической) очистки и дополнительная денитрификация в бескислородной среде. Удовлетворительная нитрификация может быть достигнута, если биологический процесс очистки протекает при нагрузке на активный ил ниже некоторого предела, который изменяется в зависимости от температуры и рН стока [нагрузка  $C_m \leq 0,25$  кг БПК/(м<sup>3</sup>·сут), если  $t^\circ \geq 18^\circ C$ ,  $pH \geq 7,2$ ], и при достаточной подаче кислорода для окисления аммония в нитриты, а затем в нитраты. Когда нагрузки сравнительно высокие, ионы  $NO_3^-$  не обнаруживаются, но концентрация ионов аммония все же немного снижается.

Переход нитратов в газообразный азот происходит при дополнительной стадии денитрификации, которая может быть осуществлена в нескольких видах. В то время как нитрификация происходит за счет главным образом жизнедеятельности специфических автотрофных бактерий (*Nitrobacter* и *Nitrosomonas*), денитрификация осуществляется широким спектром гетеротрофных микроорганизмов. Однако для осуществления процесса денитрификации требуется, чтобы удовлетворились три условия:

прежде всего, должна пройти глубокая нитрификация; должен присутствовать энергетический источник, такой, как усваиваемый углерод;

должны быть обеспечены бескислородные условия.

Различные процессы денитрификации могут быть подразделены в соответствии с происхождением источника углерода.

Процессы, в которых используется внешний углеродный источник. Обычно рекомендуется использовать метанол; его вводят в иловую смесь, выходящую из аэротенка, который имеет размеры, достаточные для обеспечения хорошей нитрификации. Реагент вводят в трубу, подающую воду в денитрификатор, в котором происходит медленное перемешивание и где поддерживаются бескислородные условия. Затем смесь подается, как обычно, во вторичный отстойник. Требуется 2,4—3 мг метанола, чтобы снизить содержание азота  $N-NO_3$  на 1 мл. Время пребывания в денитрификаторе зависит от температуры и может достигать нескольких часов.

Значительно быстрее денитрификация достигается при биологической фильтрации на байолите, и в этом случае, если содержание нитратов не очень высокое, денитрификация может эффективно совмещаться с третичной фильтрацией; доза метанола уменьшается до минимума.

Более дешевый источник углерода может быть найден среди отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности.

Процессы, использующие эндогенное дыхание активного ила. Когда ил голоден, он переходит в стадию эндогенного дыхания. Некоторое количество клеток лизируется, и растворенные таким образом питательные вещества используются как пища. Высвобожденная при эндогенном дыхании энергия рассматривается как вторичная, но она имеет преимущество, что ничего не стоит. Скорость реакции зависит от возраста ила и температуры. Установки аналогичны предыдущим, но отсутствует введение углерода и продлено время анаэробных условий. В аэротенках с продленной аэрацией частичная денитрификация может быть достигнута при прерывистой работе аэраторов.

Эндогенное дыхание ила вызывает затруднение контроля денитрификации, происходящей во вторичных отстойниках, когда ил всплывает на поверхность из-за образования микропузырьков азота. Это отрицательное явление, с которым необходимо бороться.

Процессы, в которых используется углерод, содержащийся в сырой сточной воде. Сооружения типа U.I. (см. п. 24.2.2.4), рассчитанные на очень низкую нагрузку, удаляют азот при нитрификации/денитрификации с эффективностью, превышающей 70%, благодаря подаче сырой сточной воды во время переключения циклов.

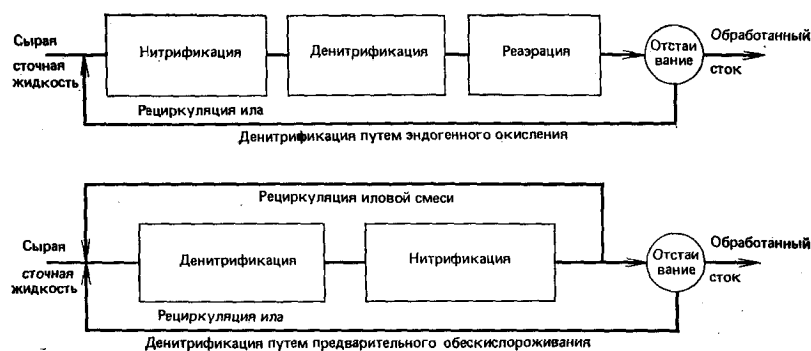


Рис. 24.45

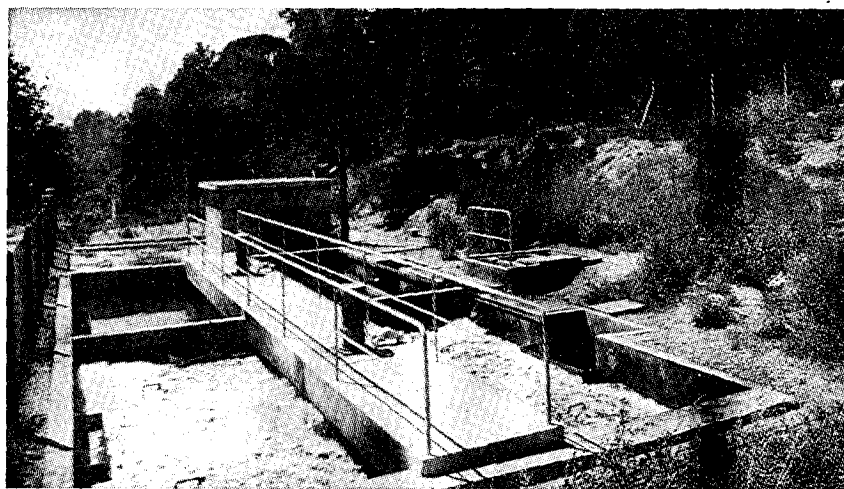


Рис. 24.46. Установка типа U.I. (1000 эквивалентных жителей), нитрификация-денитрификация

Сырая сточная вода подается в первую емкость, находящуюся в бескислородных условиях, в которую поступает иловая смесь с большим расходом из последующей аэрируемой емкости, рассчитанной на полную нитрификацию.

В результате контакта с углеродными загрязнениями сырой воды происходит быстрая денитрификация, которая позволяет также компенсировать 50—60% необходимого для денитрификации кислорода. Этот процесс применим для очистки бытовых и производственных сточных вод, в которых содержание соединений азота не превышает 300 мг/л общего азота; при таких ус-

ловиях метод особенно эффективен и обеспечивает удаление азота примерно на 95%. Более того, в процессе денитрификации происходит повышенное потребление фосфора.

#### 24.4.5. УДАЛЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИ НЕ РАЗЛАГАЕМЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Для закрепления растворенных бионеразлагаемых молекул может быть использована адсорбция порошкообразным и гранулированным углем. Если применяется гранулированный продукт, то для предотвращения обильного роста бактерий в толще угольной загрузки практически все бионеразлагаемые загрязнения должны быть предварительно удалены. Такая очистка осуществлена на некоторых американских сооружениях, однако в Европе она не нашла применения.

Активный уголь обычно регенерируется термическим или химическим методами.

Применение угля особенно эффективно для очистки от поверхностно-активных веществ, а также от ряда органических молекул, обуславливающих цветность некоторых производственных сточных вод.

#### 24.4.6. ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ

После биологической и даже третичной очистки перед сбросом сточные воды должны быть обеззаражены. Это необходимо для таких вод, в которых возможно скопление большого количества патогенных микроорганизмов, а именно стоков из госпиталей, санаториев и т. д. Обеззараживание также рекомендуется, если очищенный сток должен быть использован повторно разбрызгиванием с образованием аэрозолей.

Обеззараживание бесполезно до тех пор, пока вода предварительно не очищена. Наиболее распространено обеззараживание хлорированием, минимальное время контакта для получения эффекта составляет 15 мин. Для снижения Coli-форм на 99,9% требуются следующие дозы хлора:

после химической очистки . . . . .	3—10 мг/л
после биологической очистки . . . . .	2—10 мг/л
после фильтрования на песчаных фильтрах и обработки активным углем . . . . .	2—5 мг/л

Чем лучше качество предшествующей очистки, тем более эффективно обеззараживающее действие хлора. Присутствие ионов  $NH_4^+$  снижает бактерицидный эффект хлора за счет образования сравнительно неактивных хлораминов. Этот недостаток может быть значительно уменьшен при использовании диоксида хлора, а при интенсивной нитрификации/денитрификации целесообразно обеззараживание хлором.

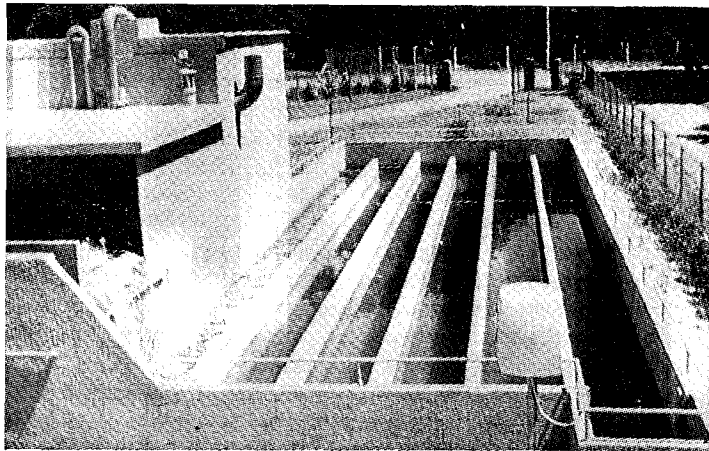


Рис. 24.47. Очистная станция в Ла Тремблде (Франция). Контактный канал хлорирования очищенного стока

Чтобы избежать образования хлорорганических соединений, токсичных для фауны и флоры водоприемника, предлагается использование брома и ультрафиолетового излучения. Экономичность и эффективность этих процессов для очистки бытовых сточных вод должна быть еще доказана.

Озон является и активным обеззараживающим средством, особенно по отношению к вирусам, и окислителем органических загрязнений; поэтому он, очевидно, в сравнительно недалеком будущем будет применяться для очистки бытовых сточных вод.

## 25. ОБРАБОТКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

### 25.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Характер и концентрация неорганических и органических примесей бытовых сточных вод сравнительно постоянны, что позволяет применять одни и те же методы очистки во всех случаях, в то время как чрезвычайное разнообразие производственных стоков требует специальных исследований для каждого вида производства и приводит к использованию специфических методов обработки.

Даже если примеси производственного стока по некоторым основным показателям аналогичны примесям бытовых сточных вод, способы очистки обычно следует определять для каждой отрасли промышленности.

В перечне основных отраслей промышленности, рассматриваемых в этой главе, первое место занимает пищевая промышленность и промышленность по переработке продуктов сельского хозяйства, характер стоков которых позволяет применять, в основном, биологическую очистку, как и для бытовых сточных вод.

Производственные сточные воды, сбрасываемые после очистной установки, должны удовлетворять требованиям стандарта не только по БПК<sub>5</sub>, ХПК, взвешенным веществам, но и по концентрации в них ряда органических и неорганических соединений. В некоторых странах для различных отраслей промышленности установлены разные стандарты.

Схему очистки нужно всегда разрабатывать на основе: знания многообразных примесей стока; характеристики сточной воды; организации канализационной сети и разделения потоков загрязнений;

выбора метода очистки среди возможных физико-химических и биологических методов и их сочетаний.

Успешная эксплуатация очистной станции будет, таким образом, зависеть от детального первоначального обследования предприятия, так как упущение какого-либо источника загрязнений может привести к серьезным нарушениям в работе станции.

#### 25.1.1. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Основные типы примесей сточных вод, приведенные ниже, классифицированы в соответствии с методами, с помощью которых они могут быть удалены.

**Нерастворимые вещества, которые могут быть выделены из воды физическими методами с помощью флокулянтов или без них:** плавающие жироподобные вещества (жиры, алифатические углеводороды, смолы, органические масла и т. д.); взвешенные вещества (песок, оксиды, гидроксиды, пигменты, коллоидная сера, латексы, волокна и т. д.).

**Органические вещества, выделяемые адсорбцией:** красители, детергенты, разнообразные высокомолекулярные соединения, фенолы.

**Вещества, выделяемые методом осаждения:** токсичные и нетоксичные металлы Fe, Cu, Zn, Ni, Be, Ti, Al, Pb, Hg, Cr, которые могут быть осаждены при определенных значениях pH; сульфиты, фосфаты, сульфаты, соединения фтора, осаждаемые с помощью Ca<sup>2+</sup>.

**Вещества, которые можно осадить в виде нерастворимых солей железа или хелатных соединений:** сульфиды, фосфаты, цианиды, сульфоцианиды.

**Вещества, удаляемые дегазацией или отдувкой:** сероводород, аммиак, спирты, фенолы, сульфиды.



**Вещества, удаляемые в ходе окислительно-восстановительных реакций:**

цианиды, шестивалентный хром, сульфиды, хлор, нитриты.

**Кислоты и основания:**

соляная, азотная, серная и фтористоводородная кислоты; разнообразные основания.

**Вещества, которые могут быть извлечены из воды и сконцентрированы в результате процессов ионного обмена и обратного осмоса:**

радиоактивные изотопы, такие, как  $J^*$ ,  $Mo^*$ ,  $Cs^*$ ;

соли сильных кислот и оснований; ионизированные (ионный обмен) и неионизированные (обратный осмос) органические соединения.

**Вещества, удаляемые из воды биологическими методами:**

все биоразлагаемые вещества, например сахара, протеины, фенолы; после акклиматизации активного ила биологическую очистку можно применять для таких органических соединений, как формальдегид, анилин и некоторые детергенты.

Необходимо помнить следующее:

1) для производственных стоков отношение ХПК/БПК<sub>5</sub> существенно отличается от аналогичного отношения для бытовых сточных вод. Оно может изменяться в процессе обработки, при этом конечная ХПК иногда более чем в 5 раз может превышать величину БПК;

2) присутствие в воде очень активных токсичных веществ может маскировать наличие биоразлагаемых веществ и таким образом серьезно исказить определение БПК;

3) основная информация по биологической очистке сточных вод приведена в гл. 8.

### 25.1.2. ХАРАКТЕРИСТИКА СТОЧНЫХ ВОД

Для правильного проектирования очистной станции должны быть точно установлены следующие параметры:

суточный приток сточных вод;

минимальный и максимальный часовые расходы;

состав воды, используемой в производстве;

непрерывность и периодичность технологических процессов; интенсивность и время максимального поступления загрязнений;

возможность разделения канализационных сетей;

возможность локальной или частичной обработки и рециркуляции сточных вод;

присутствие в сточной воде некоторых примесей, способных мешать работе сооружений, даже если эти примеси (клеи, смолы, волокна, масла, песок и т. д.) присутствуют в воде в небольшом количестве и появляются периодически.

В случае проектирования нового предприятия эти параметры устанавливаются на основе анализа технологического процесса производства и сравнения с показателями аналогичных существующих предприятий.

Если очистные сооружения должны быть построены на уже действующем предприятии, полезно сравнить количество загрязнений, обнаруженное длительным и систематическим анализом сточных вод, с количеством различных химикатов, потребляемых предприятием.

### 25.1.3. РАЗДЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Часто выгодно изолировать некоторые стоки и подвергать их соответствующей обработке. Такой подход необходим всякий раз, когда для производственного стока характерны:

очень высокая концентрация стока по ХПК или БПК<sub>5</sub> вследствие присутствия растворимых веществ;

средняя или высокая концентрация  $H_2S$ ,  $NH_4^+$  или токсичных соединений.

Применение одного из следующих методов часто более экономично и правильно, чем разбавление таких стоков;

концентрирование с целью повторного использования продукта;

деструкция непосредственным пиролизом стока или отгонкой с водяным паром;

жидкостно-жидкостная экстракция.

Приведем три примера регенеративной очистки стока промышленного предприятия:

регенерация самых разнообразных отработанных ванн (от гальванопокрытий, механической обработки) периодическим или непрерывным удалением из них растворенных или взвешенных примесей;

химическая обработка стока, содержащего соль или кислоту, молярная концентрация которых выше порога растворимости соответствующей кальциевой соли, которую можно высадить;

обработка растворенных масел химическим или термическим методами или сепарацией с помощью мембран.

### 25.1.4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Варианты предварительной очистки общего стока промышленных предприятий значительно более разнообразны, чем для бытовых сточных вод.

При обработке сточных вод большинства производств установка автоматизированных решеток желательна, а в ряде случаев (бумажная, пищевая промышленность и переработка продуктов сельского хозяйства) необходима.

Удаление песка производят только в некоторых специальных

случаях (сточные воды прокатных станков, песчаных карьеров, литейных цехов и ливневые воды).

Удаление масел предусматривается часто: углеводороды и масла иногда попадают в сточные воды от технологических процессов и почти всегда — от мест хранения смазочных материалов и топлива.

Часто предусматривается также усреднение потока сточных вод по расходу и концентрации одним из следующих способов: использованием буферных емкостей для накопления ливневых вод при комбинированной системе канализации (объем их всегда меньше, чем объем ливневых стоков при канализовании города). Эту воду затем используют для разбавления производственных стоков. Назначение буферных емкостей — устранение необходимости чрезмерного увеличения объемов очистных сооружений для обработки стоков в момент пиковых нагрузок;

использованием усреднителей, в которых вся сточная вода, образующаяся в цехе или на предприятии, накапливается в течение нескольких часов или даже нескольких суток. Усреднители должны быть оборудованы перемешивающими устройствами. Функция усреднителей заключается в сглаживании пиковых нагрузок и предотвращении перегрузки очистных сооружений, плохо отражающейся на их работе. Эти сооружения позволяют также до некоторой степени прогнозировать эксплуатацию очистных сооружений.

При обработке концентрированных или токсичных стоков часто применяют предварительную нейтрализацию и окислительно-восстановительные процессы. В этом случае предусматривают автоматическое измерение рН или окислительно-восстановительного потенциала.

#### 25.1.5. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

Физико-химические методы применяют на промежуточных или конечной стадиях очистки в зависимости от местных условий. Они выполняют одну или более функций:

- осаждение токсичных металлов или солей;
- удаление эмульгированных масел и различных суспендированных веществ;
- осветление, сопровождающееся снижением БПК за счет удаления коллоидных веществ и соответствующим снижением ХПК.

Для такой обработки важно поддерживать значение рН в сравнительно узких пределах. В зависимости от характера процесса (осаждение, кристаллизация, адсорбция или флокуляция) физико-химическую очистку можно осуществлять в сложных реакторах или в отстойниках и осветлителях самых различных типов:

флотационные установки, такие, как «Флотазер» или «Седифлотазер», для удаления масел и волокон;

реакторы, такие, как «Турбактор», и реакторы-отстойники, например «Циркулятор», «Денсатор», «Турбоциркулятор» для осаждения солей кальция или гидроксидов;

реакторы-осветлители, такие, как «Турбоциркулятор», отстойники полочного типа RPS или «Акселятор» (в сложных ситуациях);

осветлители со взвешенным слоем осадка, такие, как «Пульсатор» и «Суперпульсатор», для отделения легких хлопьев или для улучшения адсорбционных свойств взвешенного слоя.

Выбор соответствующего оборудования из перечисленных выше сооружений зависит не только от основного метода обработки, который должен быть использован, но и от других условий, характерных для соответствующей отрасли промышленности.

В зависимости от обстоятельств физико-химическая очистка может предшествовать или осуществляться после следующих процессов:

- нейтрализации;
- окисления или восстановления;
- дегазации или отгонки.

Если к сбрасываемой воде предъявляются очень строгие требования по взвешенным веществам и содержанию металлов, может потребоваться фильтрование.

#### 25.1.6. БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

Применимость метода биологической очистки зависит от способности компонентов стока к биологическому разложению. При проектировании очистных сооружений должны быть приняты во внимание некоторые специфические особенности производственных стоков:

производственный сток, прошедший предварительную физико-химическую очистку, часто с несколькими целями, содержит мало взвешенных веществ;

в производственных стоках редко сбалансировано количество биогенных элементов, и может оказаться необходимой добавка азота или фосфора или того и другого;

отсутствие микроорганизмов в производственном стоке можно компенсировать заражением его специфическими микроорганизмами с последующей их акклиматизацией;

присутствие веществ, способных к биоразложению, вынуждает поддерживать их концентрацию приблизительно постоянной и развивать специфическую микрофлору;

чрезмерно высокая концентрация неорганических солей и особенно резкие ее колебания могут мешать развитию биологических процессов;

процессам нитрификации/денитрификации могут препятствовать чрезмерно высокая концентрация стока по ХПК и аммо-

нийному азоту (см. п. 3.2.5.) и отклонение значения рН от оптимального;

особое внимание следует обратить на поддержание относительно постоянной температуры. Температура некоторых производственных стоков благоприятна для развития термофильных бактерий.

Для биологической очистки применяют следующие сооружения:

аэротенки (с высокой или средней нагрузкой или, в большинстве случаев, с продленной аэрацией);

биофильтры с пластмассовой загрузкой определенной конфигурации для предварительной или окончательной очистки;

традиционные биологические фильтры;

байолит-фильтры для основной очистки или доочистки;

лагуны с перемешиванием или аэрацией для доочистки.

#### 25.1.7. УДАЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ НЕРАЗЛАГАЕМЫХ ВЕЩЕСТВ

Биологическая очистка — наиболее рациональный способ снижения БПК<sub>5</sub> и соответственной части ХПК. Однако требования к качеству очищенной воды становятся все более и более жесткими, что может привести к необходимости обесцвечивания и удаления некоторых специфических соединений, т. е. дальнейшего снижения величины ХПК, той ее части, которая характеризует наличие в воде биологически неразлагаемых веществ.

Эта часть ХПК определяет присутствие в воде органических соединений, как правило, растворенных и очень разнообразных: растворителей, ароматических углеводородов, нитросоединений, сульфированных соединений и т. д.

Общие методы снижения этой части ХПК следующие:

адсорбция на активном угле с термической или химической его регенерацией или на разнообразных адсорбентах;

ультрафильтрация и обратный осмос;

ионный обмен;

различные окислительные методы (использование воздуха, кислорода, озона или хлора).

#### 25.1.8. ОСАДКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Отмеченная специфичность производственных сточных вод, безусловно, отражается и на характере образующихся при очистке осадков, которые иногда состоят преимущественно из органических веществ, иногда — не менее часто — из неорганических.

Обычно при физико-химической очистке образуется больше осадка, чем в процессе биологической очистки. Отметим, наконец, что иногда в количественном отношении преобладает осадок, образующийся в процессе подготовки воды в целях промышлен-

ного водоснабжения. Все методы, применимые к обработке осадков бытовых сточных вод, применимы и для осадков производственных стоков. В этом разделе обсуждаются лишь некоторые специальные вопросы, касающиеся уплотнения и механического обезвоживания осадков.

*А. Уплотнение осадков.* Осадок концентрируют, главным образом, методом уплотнения. При этом нагрузка на поверхность уплотнителя может изменяться в очень широких пределах — от 10 до 800 кг/(м<sup>2</sup>·сут) по сухому веществу в зависимости от состава осадка. При наличии в осадке большого количества углеводородов в уплотнителе может образоваться вторая жидкая фаза, что ухудшает его работу. На нефтеперерабатывающих заводах это иногда приводит к тому, что уплотнители функционируют только как резервуары-накопители.

*Б. Обезвоживание осадков.* — Тепловое кондиционирование обычно не оправдывает себя в случае обработки органического осадка производственных сточных вод. Химическое кондиционирование, напротив, применяется широко. При этом используют синтетические полиэлектролиты, неорганические реагенты или их сочетание и значительно реже инертные добавки, такие, как кизельгур, карбонат кальция, древесная мука.

Способность осадка к фильтрованию и центрифугированию зависит не только от его химического состава, но и от метода выделения осадка. Фильтруемость различных осадков может изменяться в соотношении от 1 до 10, а для одного и того же осадка — от 1 до 3.

В случае когда осадок недостаточно изучен, существенное значение имеют предварительные опыты.

При вакуум-фильтровании некоторых гидроксидов или флокулированных масел необходимо использовать подстилающий слой (древесная мука, диатомит и т. д.).

Для улучшения фильтруемости осадка иногда возможно использовать отходы предприятия.

Ленточный вакуум-фильтр «Прессдег» особенно пригоден для обезвоживания оксидов, карбонатов и других зернистых или волокнистых осадков.

*Вывоз осадка.* Осадок можно удалять различными путями в зависимости от его состава.

Относительно стабильные и нетоксичные неорганические осадки (карбонат кальция, гидроксид трехвалентного железа, сульфат кальция) могут быть внесены в почву (для улучшения почв), сброшены в открытое море или использованы в качестве инертных наполнителей (например, при строительстве дорог).

Нестабильные или токсичные неорганические осадки (гидроксид двухвалентного железа, гидроксиды различных металлов, фтористый кальций) нужно вывозить на контролируемую свалку или в некоторых случаях сжигать; токсичные осадки, особенно

содержащие тяжелые металлы, подлежат захоронению в водонепроницаемых накопителях, изолированных от грунтовых вод.

Органический осадок, обычно склонный к загниванию, перед вывозом на поле или свалку должен быть стабилизирован. Возможно также его сжигание.

Маслосодержащие осадки, которые не могут быть возвращены в производство, подлежат сжиганию. Если такой осадок содержит много горючих веществ, он облегчает сжигание других осадков, более бедных горючими компонентами.

Лучшим вариантом является, конечно, повторное использование осадка в производстве, но это редко бывает возможным. Следует, если это осуществимо, найти применение осадку, однако его товарность теснейшим образом связана со стоимостью перевозки.

## 25.2. ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Общим для всех стоков пищевой промышленности является наличие в них главным образом органических соединений, способных к биохимическому разложению, склонность стоков к закисанию и быстрому загниванию. Все эти стоки обрабатываются главным образом биологическими методами, но им часто свойствен недостаток азота и фосфора.

### 25.2.1. ПРОИЗВОДСТВО МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

Стоки этого вида производства различаются по составу в зависимости от источника образования. Из цехов пастеризации и расфасовки цельномолочных продуктов сбрасываются только промывные воды, содержащие очень разбавленное молоко. Они могут быть сильнокислыми или сильнощелочными вследствие использования азотной кислоты или соды для мытья пастеризаторов и другого оборудования.

На сыроваренных заводах и фабриках по производству казеина образуется сыворотка, богатая лактозой, но содержащая мало белков, тогда как на маслодельных заводах образуется пахта, богатая лактозой и белками, но с небольшим содержанием жиров. Пахта и сыворотка значительно повышают загрязненность сточных вод, так как БПК<sub>5</sub> пахты составляет 60 000—70 000 мг/л, а сыворотки — 30 000—40 000 мг/л. Их можно подвергать анаэробному сбраживанию, однако эксплуатация такой очистной станции сложна и дорога. На практике эти отходы утилизируют главным образом на корм крупному рогатому скоту, и в настоящее время на очистные сооружения сбрасывают только промывные воды.

Расход и состав сточных вод в большой степени зависят от условий производства: потерь молока, примеси охлаждающей во-

ды, процессов обработки молока. Например, БПК<sub>5</sub> цельных сливок составляет 100 000 мг/л.

Загрязнения, сбрасываемые предприятиями молочной промышленности, можно оценить следующим образом:

Основное производство	г БПК <sub>5</sub> на 100 л переработанного молока
Порошковое молоко . . . . .	100—300
Масло и порошковое молоко без утилизации пахты . . . . .	370—630
Масло . . . . .	100—300
Сыр . . . . .	650—1050
Жидкое молоко и различные молочные продукты . . . . .	350—750

Часто требуется выделение песка и жира из сточных вод (перед биофильтрами — всегда). Рекомендуется использовать буферные емкости с перемешивающим устройством для выравнивания значения рН.

Наиболее подходящим решением является применение биологической очистки, главным образом в аэротенках с продленной аэрацией. При этом скорость восходящего потока в осветлителе должна быть низкой. Продленная аэрация позволяет существенно снизить объем образующегося избыточного ила и обеспечить благодаря большому объему аэротенка значительную буферность системы, что дает ей возможность справиться с особенно резкими колебаниями нагрузки, характерными для системы очистки стоков предприятий этой отрасли промышленности.

На станциях большой производительности (свыше 800 кг БПК<sub>5</sub>/сут) аэротенки с продленной аэрацией могут применяться отдельно или с биологическими фильтрами с пластмассовой загрузкой в качестве первой ступени. Эти фильтры не только экономичны (низкие эксплуатационные затраты), но также более устойчивы к внезапным изменениям нагрузки. Процесс окисления усвояемых углеродсодержащих соединений (лактоза) происходит в них очень быстро. Это может предотвратить вспухание ила на второй стадии очистки (в аэротенках). При обработке на биофильтрах стоков предприятий молочной промышленности существенное значение имеет рециркуляция для поддержания минимальной нагрузки [около 2 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч)], которая зависит от фильтрующего материала. При нагрузке на биофильтр 2—5 кг БПК<sub>5</sub>/(м<sup>3</sup>·сут) достигается эффективность очистки 50—70% по БПК<sub>5</sub>. Образующаяся биопленка нестабильна.

Концентрация в сточной воде молока или сыворотки, превышающая 1—2%, быстро приводит к неуправляемому процессу кислотообразования (молочнокислая ферментация), который может полностью подавить биологическую активность микроорганизмов.

В настоящее время уже построено много больших станций для очистки таких стоков.

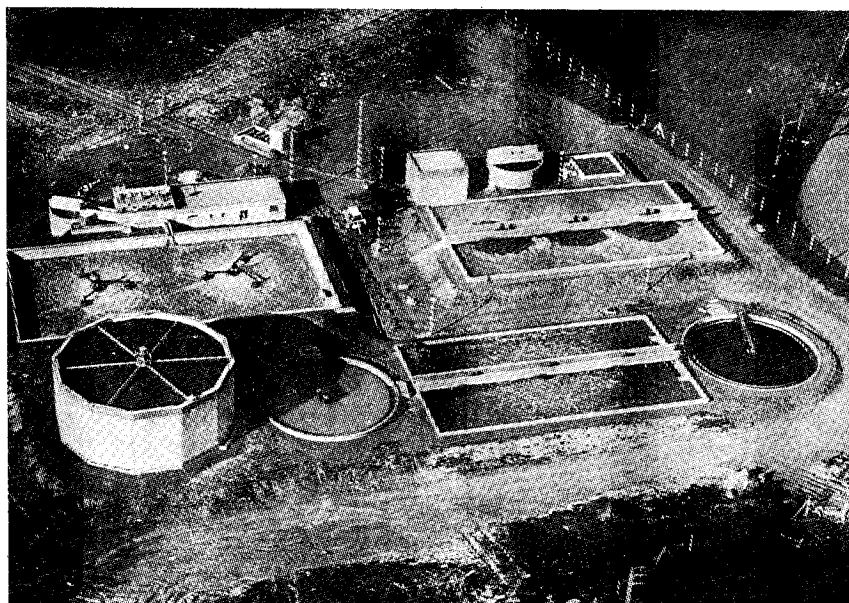


Рис. 25.1. Станция очистки сточных вод молочного завода в Изиньи (Франция). Производительность 3820 м³/сут; БПК=4165 кг/сут

Для рассматриваемых стоков применимы также разлив и распыление их на почву. Нагрузка при этом должна быть ограничена 20—40 м³/сут на 1 га в зависимости от проницаемости почв.

### 25.2.2. ФАБРИКИ КОНСЕРВИРОВАНИЯ ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ

Это производство является сезонным; его сточные воды содержат сравнительно мало загрязнений и включают воды от операции «бланширования», которые представляют собой очень концентрированный отвар (БПК<sub>5</sub> около 25 000 мг/л). Степень загрязненности стоков существенно изменяется в зависимости от использованных методов и вида обрабатываемых продуктов. Эти стоки имеют следующие показатели загрязненности:

Продукты	Количество сбрасываемых загрязнений (г БПК <sub>5</sub> отработанных продуктов)
Фасоль . . . . .	3—5
Маслосодержащие бобы и т. п. . . . .	5—7,5
Зеленый горошек . . . . .	15—18
Морковь . . . . .	18—20
Шпинат . . . . .	25—35
Томатная паста . . . . .	6
Сельдерей . . . . .	2—9

Грибы . . . . .	20
Компоты из фруктов . . . . .	7—12
Фруктовые соки . . . . .	3—6

Рассматриваемые стоки обычно богаты сахарами. Как правило, в стоках от переработки овощей (горошка и бобов) много азота, но содержание фосфора часто недостаточно для биологической очистки. В сточных водах от переработки фруктов, наоборот, часто наблюдается дефицит азота при достаточном содержании фосфора.

При обработке данных стоков всегда нужно предусматривать тщательное процеживание, чтобы задержать кусочки овощей, листья и корки. Уловленные отбросы компостируют или сжигают. Орошение полей — теоретически возможный метод очистки, но в действительности условия для его осуществления часто оказываются неблагоприятными, так как количество стоков и доступная для орошения площадь редко адекватны, а сточная вода быстро загнивает.

Принимая во внимание характер загрязнений стока, можно полагать, что наиболее приемлемым методом обработки сточных вод этого производства является биологическая очистка при низких нагрузках на активный ил.

### 25.2.3. СКОТОВОЙНИ И МЯСОКОМБИНАТЫ

Состав стоков зависит от метода удаления навоза, производительности цехов по переработке рубца и требухи и вида животных, подлежащих убою. Расход сточных вод можно подсчитать исходя из массы разделанных туш, которую легко установить на бойне, принимая удельные расходы в соответствии с табл. 25.1.

ТАБЛИЦА 25.1

Вид скота, подлежащего убою	Производительность цеха по обработке рубца	Способ удаления навоза	Расход воды на 1 кг туши
Свиньи, мелкий домашний скот			8 л
			10—13 л с рециркуляцией транспортирующей воды; 18—21 л без рециркуляции
Крупный рогатый скот комплексных боен	Малая	Сухой	5 л
		Гидравлический	15 л
	Большая	Сухой	13 л
		Гидравлический	27 л

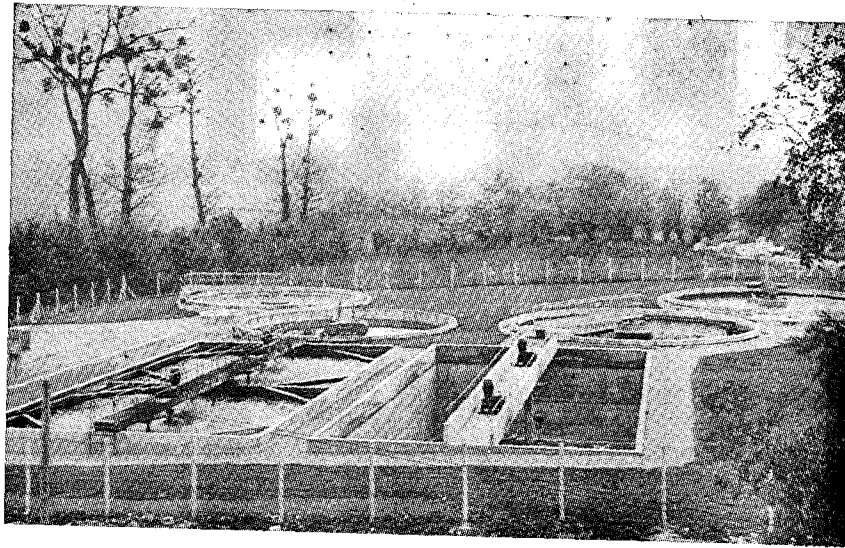


Рис. 25.2. Обработка сточных вод скотобойни (1600 кг БПК<sub>5</sub>/сут)

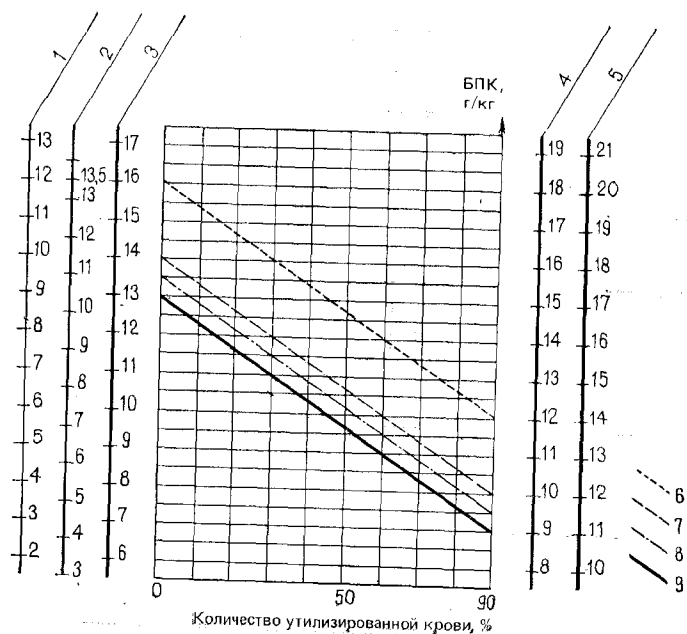


Рис. 25.3. БПК, выраженная в г/кг массы туши, в зависимости от типа бойни

1 — цех переработки требухи (ЦПТ), холодная промывка; 2 — ЦПТ — небольшой производительности; 3 — ЦПТ средней производительности; 4 — ЦПТ, завершённый процесс; 5 — ЦПТ, производственный процесс; 6 — гидравлический способ; 7 — перекачка и прессование; 8 — пневматический способ или откачка; 9 — сухой способ

Концентрация этих стоков зависит от быстроты утилизации крови, а также от способа удаления навоза и мощности цеха по обработке рубца и требухи. На основе чрезвычайно детальных обследований Министерством сельского хозяйства Франции составлена диаграмма, учитывающая все эти факторы (рис. 25.3).

В целом для данного производства могут быть приняты следующие цифры: 3—5 кг БПК<sub>5</sub>/кг продукта при солении мяса; 14—16 кг БПК<sub>5</sub>/кг продукта при консервировании мяса.

Сбросу в канализацию стоков боен обязательно должны предшествовать удаление песка, жира, процеживание и, если возможно, фильтрование, цель которых — снизить концентрацию загрязнений на 10—15%. Если производительность бойни в течение недели значительно колеблется, желательнее применение накопительных аэрируемых прудов.

Жировые вещества и протеины, содержащиеся в сточных водах, могут быть извлечены методом флотации с предварительной флокуляцией. Образующийся осадок может иногда использоваться на корм животным; БПК снижается на 70—90%.

Стоки боен прекрасно очищаются биологическими методами. Очень хорошие результаты дает биологическая очистка их в аэротенках со средними или низкими нагрузками. Можно также применять биофильтры с пластмассовой загрузкой, но при этом требуется полная предварительная обработка стоков, чтобы предотвратить заиливание фильтра за счет жировых веществ. Желательно предусматривать аэробную стабилизацию избыточного ила, если позволяет производительность очистной станции.

#### 25.2.4. ПИВОВАРЕННЫЕ ЗАВОДЫ И ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ ПРОИЗВОДСТВА

Сточные воды пивоваренного завода образуются от мытья производственных помещений, охлаждения квашней, бродильных и накопительных чанов, мытья бутылок и бочек. Кроме этих сточных вод (которые содержат взвешенные вещества, азотистые соединения, остатки пива и дрожжей, частички барды и кизельгура) иногда сбрасывается охлаждающая вода, содержащая очень небольшое количество загрязнений.

Считается, что производство одного гектолитра пива сопровождается образованием загрязнений, масса которых в среднем составляет около 800 г по БПК<sub>5</sub>.

В то время как сточные воды от мойки бутылок являются малоконцентрированными (БПК<sub>5</sub> от 200 до 400 мг/л), стоки от очистки бродильных чанов или фильтров имеют концентрацию по БПК<sub>5</sub> до 3000 мг/л, а от мытья хранилищ — 16000 мг/л.

Иногда необходимо добавлять биогенные элементы (азот и фосфор), особенно когда практикуется интенсивная утилизация отходов. Предварительная обработка состоит в процеживании через тонкие решетки и последующей нейтрализации.



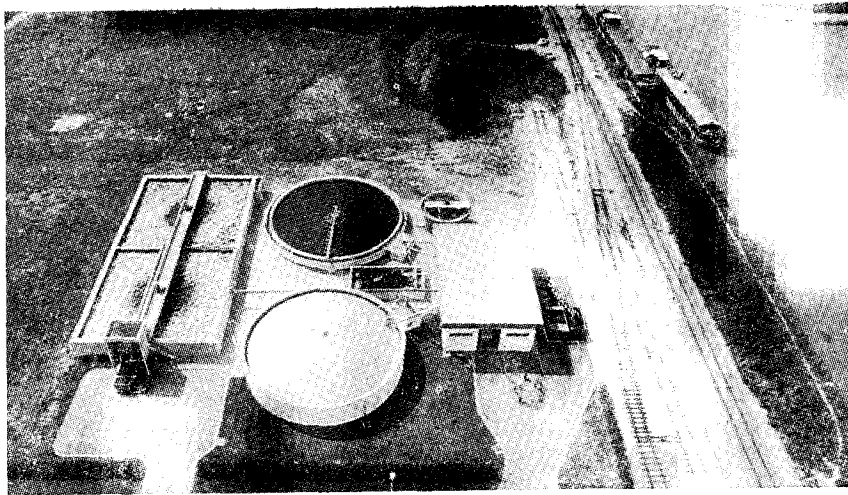


Рис. 25.4. Биологическая и третичная очистка сточных вод солодового завода с рециркуляцией воды. Производительность 100 м<sup>3</sup>/ч

Аэротенки с низкой нагрузкой позволяют при очистке этих стоков получить высокий эффект — снижение БПК<sub>5</sub> более 95% при условии поддержания на стадии осветления низкой скорости потока.

На больших станциях может оказаться выгодным применение двухстадийной обработки. На первой стадии неполной очистки происходит быстрое изъятие из стока сахарозы. Для этой цели могут быть применены биофильтры с пластмассовой загрузкой. Вторая стадия протекает в аэротенках, работающих в режиме средних или низких нагрузок. Биофильтры в совокупности с отстаиванием обеспечивают снижение БПК<sub>5</sub> на 60%. Следует упомянуть, что при использовании биофильтров для очистки сточных вод пивоваренных заводов часто появляются неприятные запахи. Взвешенные вещества, выносимые с биофильтров, очень хорошо оседают, но образующийся осадок чрезвычайно быстро загнивает.

Осадок после концентрирования обрабатывают на вакуум-фильтрах, фильтр-прессах с предварительным кондиционированием солями железа и известью или на центрифугах с добавлением органических флокулянтов.

На производствах, использующих ферментативные процессы (получение аминокислот, ферментов, антибиотиков, дрожжей), образуются концентрированные стоки с кислой реакцией среды, часто богатые азотом и, как правило, лишенные взвешенных веществ (исключая аварийные ситуации, например потерю культуры). Для этих стоков могут быть применены различные модифи-

кации биологического метода очистки. Бактерии, осуществляющие процесс очистки, легко адаптируются к различным видам стоков. Так, отходы производства антибиотиков можно удовлетворительно очищать в аэротенках.

#### 25.2.5. САХАРНЫЕ И ВИНОКУРЕННЫЕ ЗАВОДЫ

Сточные воды, сбрасываемые сахарными заводами, различаются по своему происхождению. Основными источниками загрязнений являются:

- грязная вода от мойки свеклы;
- вода, участвующая в технологическом процессе (образующаяся в процессе отжима пульпы, транспортирующая грязь);
- регенерационный сток от установки деминерализации сахарного сиропа.

Вода, используемая для мытья и транспортировки свеклы, обычно возвращается в цикл. В течение сезона концентрация взвешенных веществ в этой воде может легко достичь нескольких граммов в 1 л. Для снижения концентрации взвешенных веществ в схему включены отстойники-уплотнители.

Загрязненность сырой свеклы определяет концентрацию взвешенных веществ в промывной воде и в большой степени сказывается на объеме отстойников.

В результате отстаивания можно получить осадок с концентрацией более 300 г/л. Перед отстойником желательнее устраивать решетки и песколовки. Для улучшения отстаивания в сток иногда добавляют известь или полиэлектролиты. Традиционно осадок передается в большие земляные емкости, которые постепенно заполняются. Сливная вода из этих накопителей имеет высокую концентрацию загрязнений и легко загнивает.

В продолжение сезона (который в Европе длится около двух-трех месяцев) промывные воды обогащаются загрязнениями в результате попадания в них остатков попорченной свеклы и частиц почвы.

Отмечено повышение БПК<sub>5</sub> этих стоков на 70 мг/л в сутки, так что к концу сезона их концентрация может достигать 3000—5000 мг/л по БПК<sub>5</sub>.

В межсезонный период все отходы сахарного завода накапливаются в больших резервуарах. Практикуется анаэробное сбраживание их. Этот метод все еще остается наиболее экономичным и, конечно, одним из самых безопасных; достаточно большие резервуары с защитой от инфильтрации при ежегодном уходе за дамбами удобны в эксплуатации. Однако метод требует больших земельных площадей и неизбежно создает неудобства для окружающего района, которые можно устранить применением аэрируемых лагун. Можно использовать и другие методы биологической очистки.

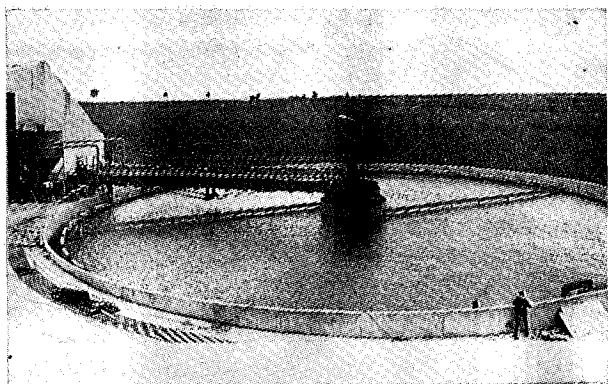


Рис. 25.5. Осветление воды от мойки сахарной свеклы. Производительность 1200 м<sup>3</sup>/ч

Сток винокуренных заводов высококонцентрированный и сильно загрязнен сбрасываемой мелассой или остаточной жидкостью (БПК<sub>5</sub> остаточной жидкости достигает 40 000 мг/л и составляет 5000—10 000 мг/л для суммарного стока). Остаточная жидкость содержит много взвешенных веществ и обрабатывается на центрифугах с предварительным кондиционированием или без него. Биологическая очистка стоков винокуренных заводов на биофильтрах с пластмассовой загрузкой (одна или более ступеней) оказалась наиболее подходящим решением проблемы. Меласса и остаточная жидкость при сбросе имеют температуру 95°С и рН между 4 и 5; после нейтрализации и смешения их подают на биофильтры с пластмассовой загрузкой, работающие с высоким коэффициентом рециркуляции (20—100), что позволяет достаточно охладить жидкость перед биологической очисткой. После биофильтров может быть предусмотрена обработка стока в лагунах или аэротенках. Свекольная меласса может также направляться на анаэробное сбраживание.

Эксперименты, поставленные с целью утилизации остаточной жидкости, показали, что она может быть использована для выращивания дрожжей рода *Torula*; при этом концентрация остаточной жидкости по БПК<sub>5</sub> может быть снижена до 1000—1500 мг/л.

#### 25.2.6. КРАХМАЛЬНЫЕ ФАБРИКИ И ПЕРЕРАБОТКА КАРТОФЕЛЯ

Стоки этих производств очень склонны к ферментации, так как они содержат крахмал и белки. Их объем возрастает вследствие постоянно увеличивающегося спроса на хрустящий картофель, сухое картофельное пюре и т. д.

При переработке картофеля образуются два вида стоков: во-первых, вода от мытья и транспортировки картофеля, содержащая землю, растительные остатки и кусочки картофеля, и, во-вторых, вода от машин для очистки картофеля, содержащая кар-

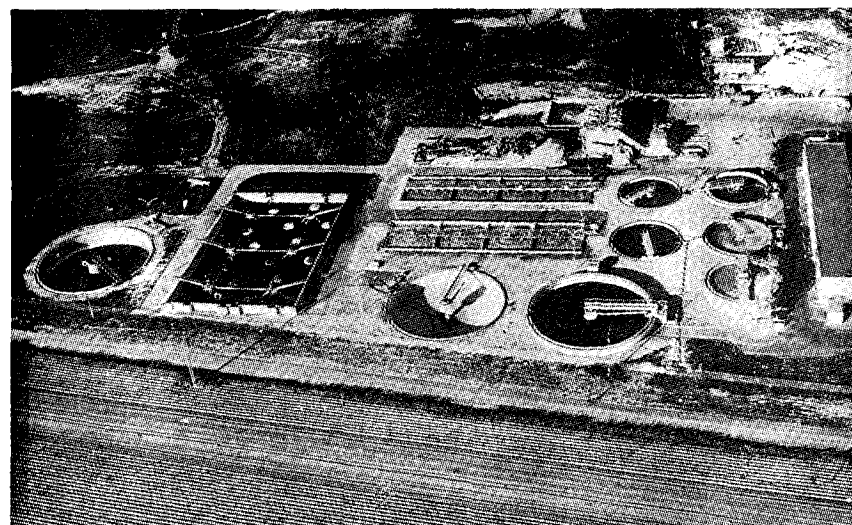


Рис. 25.6. Обработка сточных вод от производства картофельного пюре. Производительность 500 м<sup>3</sup>/ч

тофельные очистки и пульпу. Количество образующейся пульпы может быть достаточно большим, поэтому целесообразно рассмотреть вопрос об использовании ее на корм животным.

Такую утилизацию, несколько усложняющую эксплуатацию, осуществляют простым статическим отстаиванием пульпы в самостоятельном сооружении, после которого осевшую пульпу центрифугируют и затем высушивают на сушильных барабанах. Сливную воду из отстойников смешивают с водой от промывки картофеля, и этот комбинированный сток подают в аэротенки, рассчитанные на низкие или средние нагрузки. Концентрация стока по БПК<sub>5</sub> на входе в аэротенки может достигать 500—1200 мг/л.

Седиментационные свойства активного ила могут ухудшаться из-за накопления стока и влияния стабилизаторов и антиокислителей, использованных в производстве. Нагрузка на отстойники должна быть очень низкой. Может быть рассмотрен вариант применения биофильтров с пластмассовой загрузкой в качестве первой стадии снижения БПК.

На предприятиях крахмального производства концентрация загрязнений в стоке выше вследствие сброса значительного количества конденсата из выпаривателя и воды от промывки крахмала. Обычно средняя концентрация стока по БПК<sub>5</sub> составляет 1500—2500 мг/л, тем не менее эти стоки могут быть переданы на сооружения экстенсивной биологической очистки.

### 25.2.7. МАСЛОБОЙНЫЕ ЗАВОДЫ И ФАБРИКИ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МЫЛА

Стоки данных производств часто имеют чрезвычайно высокое или очень низкое значение рН в зависимости от цехов, входящих в состав предприятия. Так, жиробогащительные цехи сбрасывают сильноокислый сток ( $\text{pH}=1-2$ ), в то время как при омылении жирных кислот в производстве мыла образующиеся сточные воды имеют сильнощелочную реакцию ( $\text{pH}\approx 13$ ).

Таким образом, эти разнохарактерные стоки выгодно смешивать. Процесс взаимной нейтрализации широко применяется и осуществляется в нейтрализаторах.

Обезжиривание сточных вод обычно проводят, обрабатывая сток кислотой; иногда этот процесс сочетают с флокуляцией и последующей флотацией.

Как правило, применение физико-химического обезжиривания с предварительной флокуляцией позволяет снизить концентрацию органических примесей на 50—70%. Далее необходима биологическая очистка. Осадок, образующийся в процессе предварительной очистки стока, очень быстро загнивает. Обезводить его фильтрованием возможно только при условии, что брожение еще не началось. В промышленном масштабе методы обработки таких стоков нужно подбирать индивидуально и тщательно продумывать их в каждом случае.

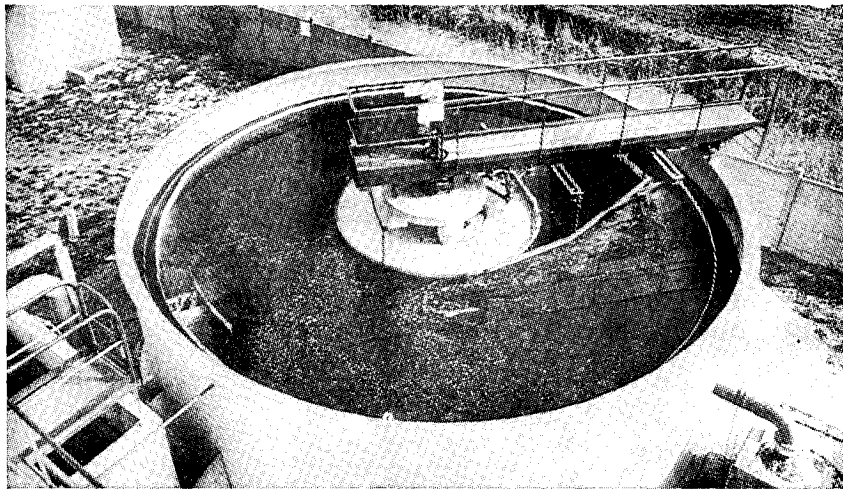


Рис. 25.7. Биологическая очистка стока маслозавода

### 25.2.8. КОЖЕВЕННЫЕ ЗАВОДЫ И ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОЖИ

Количество воды, используемой в этом производстве, очень велико и может достигать 5 м<sup>3</sup> на 100 кг сухой обработанной кожи. Высококонцентрированные сточные воды содержат коллоидные белки, жиры и танины, кусочки мяса и шерсти, красители, а также токсичные соединения, такие, как сульфиды от цеха обезволаживания и, кроме того, хром от операций дубления. Концентрация стока по БПК<sub>5</sub> достигает 700—900 мг/л. При любых способах обработки существенное значение имеет предварительное процеживание сточных вод.

При смешении сточных вод всех цехов образуется общий сток, имеющий щелочную реакцию. При этом трехвалентный хром осаждается и находится главным образом в осадке. Не может быть и речи о сбраживании такого осадка, так как хром токсичен для метановой фазы брожения.

Сульфиды постепенно разлагаются благодаря естественному окислению. Если желательно ускорить этот процесс, необходимо применять катализаторы, а именно соли кобальта и марганца. Можно также использовать вариант продувки подкисленных сернистых вод.

Сульфиды удаляют также осаждением сульфатами железа (двухвалентного) или алюминия; этот процесс сопровождается флокуляцией, в результате чего БПК снижается примерно на 70%.

Биологической очистке таких стоков должны предшествовать усреднение, нейтрализация и осветление. При этом не возникает каких-либо особых проблем, и биологическую очистку можно осуществлять при достаточно высоких нагрузках. Единственным осложнением является опасность пенообразования, которую можно предотвратить разбрызгиванием воды или применением антипенователей. Растительные танины не разрушаются в процессе биологической очистки, и очищенная вода имеет коричневый оттенок.

Сточная вода от производства животных клеев и желатина из таких отходов, как обрезки шкур, кости, остатки рыбы, очень сильно загрязнена. Считается, что при производстве 100 кг клея образующаяся масса загрязнений эквивалентна 5 кг БПК<sub>5</sub>.

Хороший эффект дает обработка стока известью, после чего возможна биологическая очистка.

### 25.2.9. СВИНОФЕРМЫ И СТОЙЛОВОЕ РАЗВЕДЕНИЕ СКОТА

Этот источник загрязнений, широко распространенный в настоящее время, имеет тенденцию становиться все более концентрированным с развитием промышленных методов стойлового разведения скота, особенно свиней. Количество сточных вод и

степень загрязненности их зависят от метода очистки свиарника, который может быть сухим, с помощью воды или комбинированным.

Количество жидких отбросов составляет 17—18 л/сут на одну свинью при водном смыве и 11—13 л/сут при сухой очистке. Коэффициент неравномерности очень высок и колеблется от 8 до 12. В стоке содержится большое количество органических веществ. Масса загрязнений на одну свинью составляет 150—200 г БПК<sub>5</sub> при водном смыве и 80—100 г БПК<sub>5</sub> при сухой очистке.

Воду от навоза можно отделить механическими средствами. Полученный остаток смешивают с негашеной известью или доломитом и получают транспортабельное удобрение.

На маленьких фермах домашнего скота жидкую фракцию отходов после дезодорации можно разливать на поля. На больших фермах применяют биологическую очистку — аэротенки с продленной аэрацией или, лучше, аэрируемые лагуны.

## 25.3. ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

### 25.3.1. ПРОИЗВОДСТВО БУМАГИ И КАРТОНА

Для сточных вод этих фабрик характерно следующее:

большое содержание нерастворенных примесей — волокон — и крафт-бумаги и картона до 150—200 м<sup>3</sup>/т тонкой оберточной и журнальной бумаги;

большое содержание нерастворенных примесей — волокон — вследствие их потерь в технологическом цикле, наполнителей, используемых для улучшения качества бумаги [CaCO<sub>3</sub>, каолина, диоксида кремния, крахмала, Al(OH)<sub>3</sub>, грунтующих или связующих веществ, таких, как латекс, и т. д.].

Следовательно, для очистки таких стоков логично использовать физико-химические методы, обычно применяемые с целью возврата воды и материалов в производство.

Фактически полное удаление взвешенных веществ и коллоидов возможно при реагентной обработке воды квасцами с последующим отстаиванием или флотацией («Турбоциркулятор» или «Седифлотазер»). Квасцы являются самым доступным и наиболее приемлемым реагентом для данной отрасли промышленности в случае обработки воды с целью повторного использования.

Осадок, полученный в результате отстаивания или флотации, снова поступает в производство или после обезвоживания вывозится (в зависимости от качества выпускаемой бумаги).

Обработанная вода может быть использована повторно. Коэффициент рециркуляции зависит от допустимой концентрации примесей в циркуляционной воде, которая, в свою очередь,

ТАБЛИЦА 25.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ СТОКОВ БУМАЖНОЙ ФАБРИКИ ПО СХЕМЕ: ФЛОКУЛЯЦИЯ — ОТСТАИВАНИЕ ИЛИ ФЛОТАЦИЯ — БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА

Продукт	Поступающая сточная вода, мг/л			После флокуляции — отстаивания, мг/л			После биологической очистки, мг/л			Примечания
	взвешенные вещества	ХПК <sub>2</sub> *	БПК <sub>2</sub> *	взвешенные вещества	ХПК	БПК	взвешенные вещества	ХПК	БПК	
Упаковочная бумага и картон	300—3000	1550	780	30	1230	700	30	100—150	30—40	Рециркуляция материалов 100% Рециркуляция воды 75% Биологическая очистка в аэротенках
Печатная и писчая бумага на основе отбеленного крафта	1001—700	2001	901	20—25	1001 2102	551 1002	30	50	20	1 Без рециркуляции воды 2 Рециркуляция воды 50% Биологическая очистка в аэротенках
Газетная бумага и термомеханическая пульпа	550	2700	1230	150	2500	1110	80	300	60	Крупномасштабная рециркуляция на заводском уровне Биологическая очистка: аэротенки + биофильтры

\* ХПК<sub>2</sub>, БПК<sub>2</sub> — ХПК и БПК в пробе после 2 ч отстаивания.

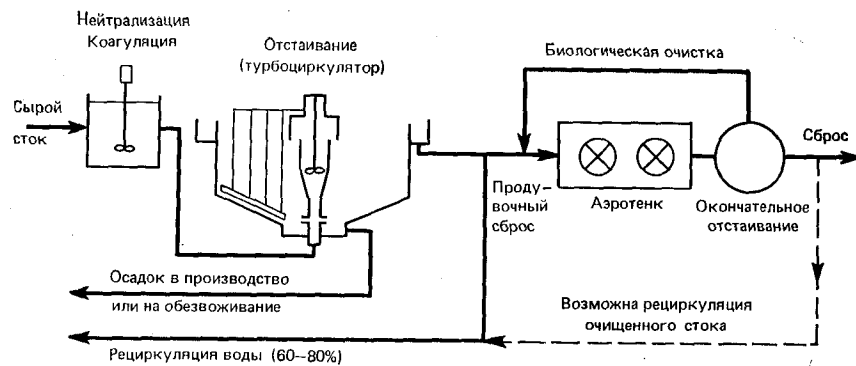


Рис. 25.8. Вариант станции очистки сточных вод целлюлозно-бумажной фабрики

определяется концентрацией растворенных примесей в воде, поступающей в цикл (соленость, БПК). В большинстве изученных случаев экономия воды может достигать 60–80% без каких-либо очевидных нарушений в технологическом процессе.

Для продувочного сброса применяется биологическая очистка без каких-либо специфических особенностей (рис. 25.8).

В табл. 25.2 приведены результаты, полученные на трех различных бумажных фабриках.

### 25.3.2. ЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ЗАВОДЫ

**25.3.2.1. Основные свойства стоков.** Состав стоков зависит от технологического процесса получения целлюлозы и характера использованного растительного сырья. Неотбеленную или, наиболее часто, отбеленную целлюлозу получают четырьмя основными методами. Отбеливание, позволяющее более интенсивно разрушать осколки лигнина (главным образом за счет щелочного растворения хлорлигнина), вносит существенный вклад в суммарное загрязнение стока (см. табл. 25.3).

*А. Получение крафт-целлюлозы* основано на щелочной варке древесины ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ ), приводящей к растворению 40–50% сухого вещества древесины (эффективность 60–50%). Эти органические вещества переходят в варочный щелок (черный поток) и в промывные воды.

При отбеливании целлюлозы, полученной этим методом, суммарная эффективность процесса снижается примерно на 10%. Процесс отбеливания значительно повышает цветность сточных вод.

*Б. Бисульфитный метод* получения целлюлозы основан на кислой варке древесины (растворение лигнина бисульфитом). Эта целлюлоза почти всегда отбеливается, суммарная эффективность достигает 50%.

*В. «Полухимический» метод* заключается в комбинированном химическом и механическом воздействии на древесину; данный метод более известен как «нейтральный сульфитный полухимический процесс» (НСПП), эффективность которого составляет 75%.

*Г. Метод с использованием механической или термомеханической дезинтеграции древесины:* эффективность 90–95%.

#### Основные характеристики стоков:

очень большой расход: от 50 м<sup>3</sup>/т (механическая дезинтеграция древесины) до 400 м<sup>3</sup>/т (отбеленная бисульфитная целлюлоза без регенерации черного потока);

высокая концентрация растворенных органических загрязнений, изменяющаяся в следующих пределах:

БПК<sub>5</sub> — между 100 и 500 мг/л;

ХПК — между 300 и 4000 мг/л (биоразлагаемые вещества составляют, самое большее, 50%);

цветность — значительная, не снимаемая биологическими методами.

В табл. 25.3 приведены цифры, характеризующие количество сбрасываемых загрязнений на 1 т конечного продукта, для заводов, на которых варочные щелока сжигаются.

ТАБЛИЦА 25.3

Продукт	БПК, кг/т	Взвешенные вещества, кг/т	Цветность по Pt-Co-шкале, кг/т	Расход воды, м <sup>3</sup> /т
Крафт-целлюлоза:				
	неотбеленная	25–35	20–30	10–50
отбеленная	45–65	25–35	170–240	120–350
Бисульфитная целлюлоза:				
	неотбеленная	50–160	20–55	10
отбеленная	60–250	25–60	75	200–650
Отбеленная целлюлоза, полученная методом НСПП	60	20–40	40	250

**25.3.2.2. Методы очистки стоков целлюлозно-бумажных предприятий.** Для полной очистки этих стоков применяют несколько методов:

взвешенные вещества обычно удаляют отстаиванием без добавления реагентов; особое внимание при проектировании нужно уделять системе удаления осадка вследствие значительного слипания его частиц;



Рис. 25.9. Аэрируемые лагуны для обработки сточных вод целлюлозно-бумажного производства. Целлюлозно-бумажное предприятие «Оребро Фровифор» (Швеция)

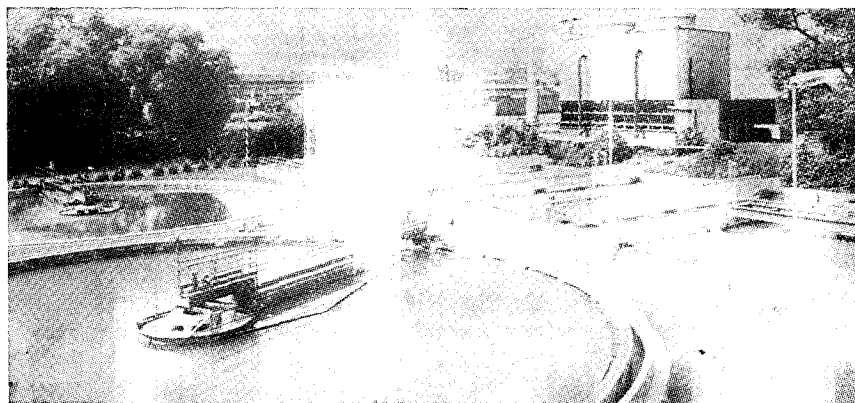


Рис. 25.10. Очистка производственных сточных вод. Производительность 1100 м<sup>3</sup>/ч. Бумажная фабрика Зандер (ФРГ)

снижения БПК<sub>5</sub> приблизительно на 90% достигают обычно биологическими методами очистки — либо в аэрируемых лагунах (4—10 сут), либо в аэротенках (с подачей воздуха или чистого кислорода);

обесцвечивание и изъятие биологически неразлагаемых веществ требует специфических методов обработки: адсорбции на смолах или активном угле, ультрафильтрации наиболее окрашенных стоков (щелочная экстракция) или химического осаждения, применяемого для общего стока.

## 25.4. ТЕКСТИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Основная особенность данной отрасли промышленности заключается в чрезвычайном многообразии обрабатываемых волокон (натуральных, искусственных, синтетических), способов крашения и отделки (крашение полным полотном, крашение жгутом, отбеливание, печатание на многовалвных печатных машинах, печатание сетчатыми шаблонами) и используемых материалов (особенно красителей).

Очевидно, что это многообразие сказывается и на характере, и на количестве сбрасываемых загрязнений.

### 25.4.1. ХАРАКТЕР ОТХОДОВ

Текстильное производство включает два основных вида обработки материалов:

механическая обработка (пряжение, ткачество и т. д.), при которой образуется мало загрязнений (исключение составляют шерсточесальные и шерстомойные цеха);

отбеливание, крашение, печатание и окончательная отделка текстиля.

Второй вид обработки обычно сопровождается образованием значительного количества сточных вод, для которых характерны разбавление, часто за счет огромного количества промывных вод, и интенсивная окраска, зависящая от типа применяемых красителей и технологии крашения.

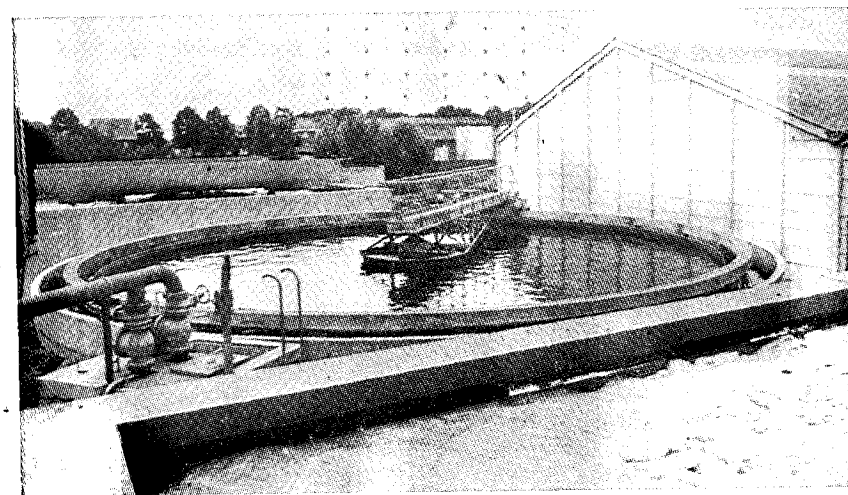


Рис. 25.11. Обработка стока красильной фабрики. Производительность 2500 м<sup>3</sup>/сут



Используют следующие типы красителей: красители, сбрасываемые в растворенном состоянии — кислотные, основные, закрепители, реактивные и др.; красители, сбрасываемые в нерастворенном виде — кубовые, окислители, дисперсные, нафтоловые (растворимые при определенных значениях рН), пигменты, серпистые и др.

Прочие примеси включают:

- органические (обычно биоразлагаемые) и неорганические кислоты;
- щелочи (каустическая сода, карбонаты);
- окислители от стадии отбеливания, выносимые с насыщенной кислородом водой, растворами гипохлорита, хлорита или пербората, или от обработки материала бихроматом, используемым в качестве проявителя для некоторых красителей;
- восстановители (гидросульфит или сульфит натрия);
- вспомогательные средства (смачиватели и детергенты);
- отходы от стадий мерсеризации и окончательной отделки (крахмал, альгинаты, ферменты, карбометилцеллюлоза и т. д.);
- эмульгаторы (альгинаты и уайт-спирит), используемые для приготовления печатной пасты.

#### 25.4.2. ХАРАКТЕРИСТИКА СТОКОВ

*А. Общий сток* текстильной отделочной фабрики, на которой используются хлопчатобумажные, искусственные и синтетические нити, обычно имеет следующие показатели:

Расход	80—400 м <sup>3</sup> /т пряжи
рН	3—12 (чаще щелочная реакция)
ХПК	200—1200 мг/л
БПК <sub>5</sub>	60—400 мг/л
ХПК/БПК <sub>5</sub>	2,5—6
Взвешенные вещества	30—100 мг/л (главным образом пух, шерсть и волокна)

Сточные воды могут также содержать токсичные шестивалентный хром (до 2—3 мг/л) и сульфиды (до 100 мг/л), что нужно учитывать при применении биологической очистки.

*Б. Сточные воды от промывки и обезжиривания шерсти с использованием детергентов:*

Расход	8—35 м <sup>3</sup> /т шерсти
рН	9—10
БПК <sub>5</sub> в пробе после 2 ч отстаивания	2000 мг/л
Взвешенные вещества	20 000 мг/л
Жир	5000 мг/л

#### 25.4.3. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ

В большинстве случаев прежде всего стремятся к максимально возможной экономии воды. Для любых сточных вод необходимо предусматривать процеживание через тонкие решетки

(для задержания пуха и волокон), может потребоваться удаление масел, жира и песка, существенное значение имеет усреднение стока.

После этого следует выбрать схему очистки. Применимы и достаточно эффективны следующие три метода очистки.

*А. Физико-химическая обработка*, которая заключается в нейтрализации, коагуляции, флокуляции (с солями металлов) и отстаивании.

Эффективность снижения ХПК для разных вод колеблется от 35 до 70% (эффект очистки по БПК значительно ниже — 10—30%). В зависимости от типа красителей и доли нерастворимых красителей, использованных в производстве, цветность может быть снижена на 50—95%.

Такая обработка имеет существенное значение во всех случаях, когда в сточной воде содержатся жиры и токсичные соединения (Cr<sup>6+</sup>, S<sup>2-</sup>), а также для стоков от печатных цехов, использующих растворители. В последнем случае можно добиться снижения ХПК на 90%.

Недостатком физико-химического метода очистки является образование сравнительно гидрофильного, не имеющего спроса, осадка, который необходимо обезвоживать (например, на фильтр-прессах или центрифугах).

При очистке сточных вод от операций промывки и расчесывания шерсти в производство может быть возвращен ланолин, если предусмотрено обезжиривание стоков с помощью растворителей или центрифугирования.

*Б. Биологическая очистка.* Наиболее пригодным методом является обработка стока в аэротенках или аэрируемых лагунах. Такая биологическая очистка (после удаления токсичных соединений) наиболее эффективна. Эффективность снижения БПК<sub>5</sub> обычно превышает 80% при нагрузке на ил 0,5 кг БПК/кг беззольного вещества ила в сутки и может превышать 90% при нагрузке 0,2 кг БПК/кг беззольного вещества ила в сутки.

Однако цветность снижается незначительно, так как красители не окисляются биохимическим путем. При комбинации физико-химического и биологического методов очистки в большинстве случаев оказывается возможным добавлять к воде, подаваемой в производство, очищенный сток, цветность которого снижена на 85%, а остаточная величина БПК<sub>5</sub> менее 40 мг/л. Величина БПК<sub>5</sub> может быть еще снижена при доочистке на байолит-фильтрах (погружных биофильтрах, см. п. 24.3.3).

*В. Доочистка сточных вод.* Лучшим способом снятия остаточной цветности и ХПК является адсорбция на активном угле. При использовании этого процесса в качестве третичной обработки после физико-химической и биологической очистки можно получить полностью обесцвеченную воду. В таком случае можно рассматривать вопрос о возврате очищенной воды в техноло-

гический процесс. Иногда при очень низкой величине БПК<sub>5</sub> сточной воды возможно применение процесса адсорбции на активном угле непосредственно после стадии флокуляции и отстаивания.

## 25.5. НЕФТЯНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Основными примесями в специфических стоках предприятий нефтяной промышленности являются углеводороды. Кроме того, в состав стоков входят разнообразные компоненты, а именно:

органические соединения (фенолы, сульфокислоты, спирты и т. д.);

сернистые соединения (сульфиды, меркаптаны, тиосульфаты и т. д.);

соли натрия;

взвешенные вещества (песок, глина, коксовый пек, катализаторы).

Так как углеводороды — основные компоненты стоков, обработка стоков обычно начинается с отделения нефтепродуктов в две стадии: первая стадия — гравитационная сепарация и вторая — флотация. Биологическую очистку применяют для сточных вод, из которых предварительно удалена большая часть нефтепродуктов и которые не содержат сульфидов и тяжелых металлов.

### 25.5.1. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Загрязнение окружающей среды углеводородами происходит главным образом в результате аварийных или преднамеренных выбросов нефтепродуктов в процессе их транспортировки и особенно при использовании продуктов переработки нефти. Ограничимся здесь обсуждением известных, а значит, поддающихся контролю источников загрязнения, с которыми сталкиваются на трех стадиях нефтяного производства: при добыче, транспортировании и очистке.

**25.5.1.1. Добыча нефти.** При добыче нефти учитывают *пластовую воду* (т. е. воду, которая находится в нефтеносном пласте), извлекаемую вместе с сырой нефтью и отделяемую от нее в процессе последующего деэмульгирования и нагревания.

Температура этой воды 50—90° С. Она соленая и представляет собой механическую эмульсию, содержащую 0,5—2 г/л углеводородов. Эмульсию можно дестабилизировать коалесценцией (метод фирмы «Дегремон»). Гравитационное разделение в полочных нефтеловушках или механическая флотация не обеспечивают требований, предъявляемых новыми международными правилами к сбросу в море.

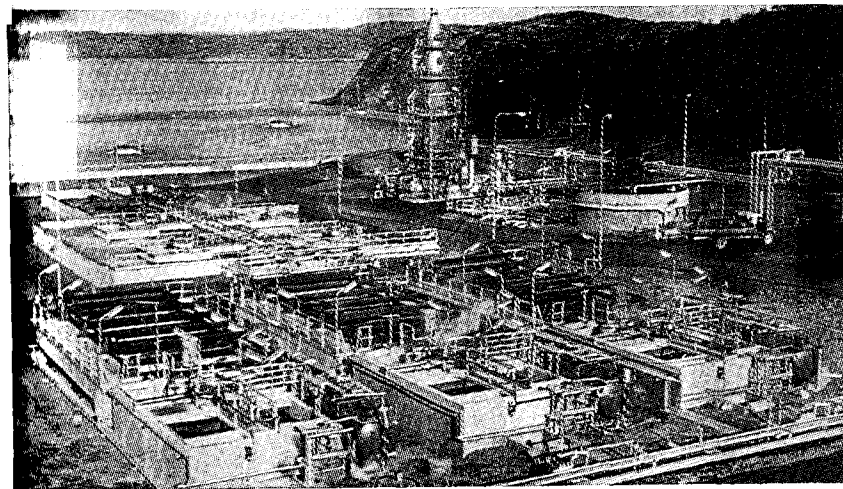


Рис. 25.12. Станция очистки балластной и производственной воды на европейском нефтеперерабатывающем заводе

*Осадок от бурения.* При бурении скважин образуется большое количество осадка, богатого бентонитом. Его подвергают статическому отстаиванию. Сливная вода из отстойников представляет собой устойчивую эмульсию углеводородов, которая перед сбросом должна быть разрушена и отделена флотацией.

**25.5.1.2. Транспортирование нефти по морю.** *Балластные воды в порту выгрузки* в зависимости от размера танкеров составляют от 33 до 25% их полного объема. Считается, что эти воды содержат около 0,4% перевозимой нефти, что соответствует возможной концентрации углеводородов в воде около 1%.

Балластные воды обычно имеют высокую соленость и температуру морской воды. После обычного буферного накопителя они содержат очень небольшое количество взвешенных веществ и углеводородов, которые легко удаляются в процессе напорной флотации с предварительной обработкой воды катионным полиэлектролитом (таким, как прозедим).

*Воды от промывки танкеров.* Перед заливкой танкеры промывают мощной струей воды, благодаря чему с их внутренней поверхности снимается толстый слой жидкой вязкой грязи, содержащей асфальто- и битумоподобные вещества. Иногда применяют высокие дозы детергентов (0,1—3 г/л) или растворителей, или и то, и другое.

Промывные воды представляют собой очень стойкую химическую эмульсию, разрушение которой протекает с трудом и требует применения большого количества коагулянтов. При необходимости удаления из них тяжелых веществ промывные воды нагревают.

**25.5.1.3. Очистка нефти.** Характер образующихся сточных вод зависит от системы канализации.

Вода, использованная в процессе обработки, включает: воду от процесса обессоливания, сравнительно горячую и соленую, составляющую 2—10% расхода сырой нефти;

конденсат от процесса дистилляции, который обычно подвергают предварительной отгонке (1—1,5% расхода сырой нефти);

конденсат от каталитического крекинга нефти (2—6% расхода нефти, подвергнутой крекингу), содержащий большие количества аммиака, сульфидов и фенолов. Перед подачей на основную очистку этот конденсат направляют на эвапорацию;

конденсат от крекинга паром, загрязненный в значительно меньшей степени.

Нефте содержащие воды состоят из ливневых сточных вод, собираемых с мощеной территории предприятия, воды от промывки системы и насосных установок, воды для поливки и сливов со дна емкостей.

Эти сточные воды, расход которых колеблется в широких пределах, загрязнены главным образом нефтепродуктами и взвешенными веществами; они обычно холодные.

Концентрированные стоки: отработанные растворы каустической соды, требующие специфической обработки.

## 25.5.2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СТОЧНЫХ ВОД

**25.5.2.1. Предварительное удаление нефти.** Для предварительной очистки от нефти сточных вод, поступающих на станцию, применяют несколько различных типов сооружений, выбор которых зависит от состава сточной воды — содержания тяжелых или битумоподобных веществ, воска, парафинов, концентрации взвешенных веществ и т. д. Это следующие сооружения:

горизонтальные отстойники типа API. Они должны быть оборудованы механическими скребками;

нефтеловушки радиальные фирмы «Дегремон» с предварительным выделением всплывающих веществ в секции, изолированной от атмосферы (рис. 25.13);

полочные отстойники; так как пластины постепенно забиваются, эффективность этих сооружений снижается, поэтому они должны периодически очищаться или применяться для очистки горячих стоков или стоков, содержащих мало оседающих веществ;

механические флотаторы с диспергированием воздуха.

**25.5.2.2. Удаление нефти из стоков нефтеперерабатывающих заводов.** В зависимости от состава обрабатываемой воды описанные выше сооружения позволяют снизить содержание нефтепродуктов до 25—100 мг/л (иногда больше). Необходима вторичная очистка этих стоков от нефтепродуктов, чтобы сни-

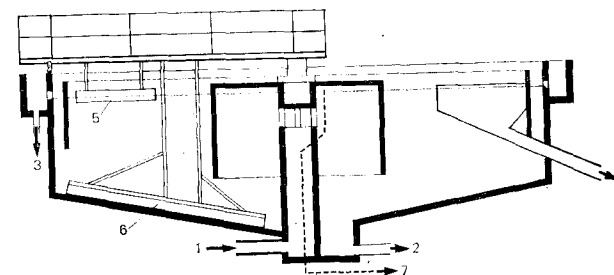


Рис. 25.13. Схема радиальной нефтеловушки

1 — выпуск необработанной сточной воды; 2 — выпуск осадка; 3 — выпуск очищенной сточной воды; 4 — выпуск тяжелых масел; 5 — поверхностный скребок; 6 — донный скребок; 7 — выпуск легких масел

знить их концентрацию до 5—20 мг/л в соответствии с требованиями, предъявляемыми к сбросу данных вод в водоем или на последующую биологическую очистку. С этой целью могут быть использованы несколько методов:

напорная флотация («Седифлотатор», «Седифлотазер») с добавкой полиэлектролитов. Осаждение сульфидов и полное осветление воды может быть достигнуто при одновременной добавке коагулянтов;

коалесцентное фильтрование под давлением с добавкой катионных полиэлектролитов (прозедим Cs53). Для обработки промывных вод фильтра с целью разрушения образующейся эмульсии следует применять специальные устройства (патент фирмы «Дегремон»).

**25.5.2.3. Десульфирование.** В зависимости от исходной концентрации сточных вод могут применяться различные методы:

отгонка с паром для концентрированных сточных вод, таких как конденсат каталитического крекинга нефти;

медленное окисление воздухом с катализатором или без него (отработанные растворы каустической соды);

подкисление стока с последующей отдувкой сероводорода на холоду и сжиганием его (для стоков, содержащих 100—500 мг/л S<sup>2-</sup>);

осаждение солями железа (для стоков, содержащих менее 25 мг/л S<sup>2-</sup>).

**25.5.2.4. Биологическая очистка.** Существует несколько методов, выбор того или иного зависит от состава стока и концентрации его по БПК<sub>5</sub>:

аэрация/окисление с целью снижения потребности стока в кислороде, обусловленной присутствием неорганических восстановителей;

применение аэротенков со средней нагрузкой или продленной аэрацией;

использование традиционных биофильтров или, предпочтительнее, биофильтров с пластмассовой загрузкой определенной

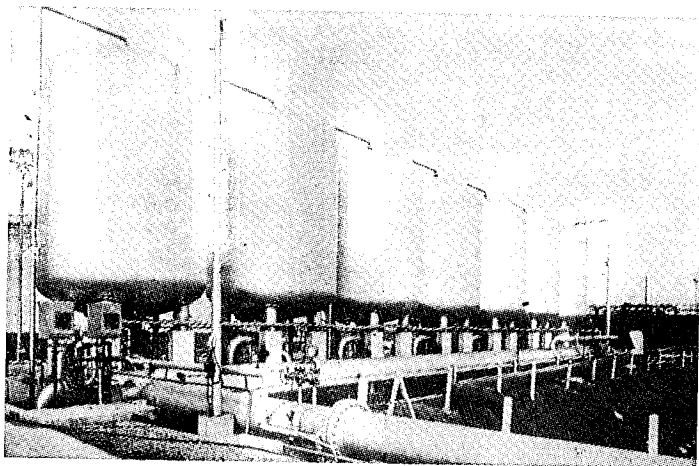


Рис. 25.14. Обработка нефтесодержащих сточных вод. Семь песчаных фильтров диаметром 4,3 м. Общая производительность 1500 м<sup>3</sup>/ч. Нефтеперерабатывающий завод S.I.V.P. в Антверпене (Бельгия)

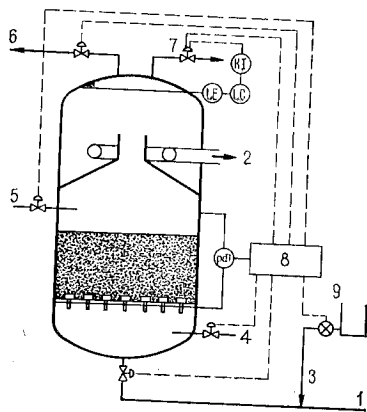


Рис. 25.15. Коалесцентный нефтееделитель фирмы «Дегремон»

1 — впуск необработанной воды; 2 — выпуск обработанной воды; 3 — кондиционирование; 4 — впуск газа на промывку; 5 — выпуск промывной воды; 6 — вентиляция; 7 — удаление нефтепродуктов; 8 — пневматический регулятор последовательности операций; 9 — кондиционирующий реагент

Небольшие концентрации фенолов можно снять на байолит-фильтре.

**25.5.2.6. Обработка осадка.** Нефтешлам, полученный в процессе флотации без применения неорганических коагулянтов,

геометрической формы; при биологической очистке на фильтрах требуется более тщательное удаление нефтепродуктов из сточных вод, чем для аэротенков;

пропускание через байолит-фильтры; этот патентованный способ очистки применим для сточных вод нефтеперерабатывающих заводов, если их БПК<sub>5</sub> после двухстадийного удаления нефти менее 50—60 мг/л.

**25.5.2.5. Третьичная обработка.** Для третичной обработки могут быть применены фильтрование, пропускание через байолит-фильтр или активный уголь, озонирование, флокуляция и осветление во взвешенном слое.

очень часто возвращают в производство. В противном случае он может обезвоживаться на центрифугах непрерывного или периодического действия (флотошлам и осадок со дна отстойников API) или на фильтр-прессах (осадок после биологической очистки).

Затем осадок подвергают пиролизу или сжигают в печах со взвешенным слоем инертного носителя.

### 25.5.3. УДАЛЕНИЕ НЕФТИ ИЗ ПЛАСТОВОЙ ВОДЫ, ВЫДЕЛЯЮЩЕЙСЯ В ПРОЦЕССЕ ДОБЫЧИ НЕФТИ

Эта очень горячая и соленая вода содержит от 200 до 5000 мг/л углеводородов. Для нее неприменим обычный метод флотации, так как требуется удалить нефть в одну ступень в целях обеспечения компактности установки. Проблема решается с помощью установки фирмы «Дегремон», в основе работы которой лежит процесс коалесценции.

Процесс очистки заключается в фильтровании сточной воды снизу вверх через слой олеофильной гранулированной массы. Пленка нефти непрерывно образуется на поверхности, и нефть, эмульгированная в сточной воде, сливается с этой пленкой. Пленка сама отрывается от поверхности фильтрующего слоя и превращается в глобулы с размером в диаметре несколько миллиметров. Глобулы быстро отделяются от воды вследствие их собственной, более высокой скорости всплывания. В этом про-



Рис. 25.16. Обработка стока нефтехимического завода. Средняя производительность 650 м<sup>3</sup>/ч

цессе можно достигнуть очень высокой степени разделения. Предусмотрена автоматическая промывка фильтра воздухом и водой.

## 25.6. ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Производства промышленности органического синтеза очень сложны и разнообразны.

Предприятия этой отрасли промышленности производят мономеры, начиная с простых продуктов, получаемых в процессе перегонки угля или нефти, например этилена, пропилена, бензола, толуола, фенола, формальдегида и т. д., которые, в свою очередь, используются как сырье для получения пластмасс, пластификаторов, поверхностно-активных веществ, красок, лаков, растворителей, клеев, смол, латексов, косметических и фармацевтических препаратов и других продуктов.

Процесс производства включает множество чередующихся элементарных операций: окисление, гидрирование, дегидрирование, алкилирование, сульфирование, аминирование и полимеризация. При этом используются органические и неорганические (Zn, Cu, Co, Th, Cr, Ti) катализаторы, иногда процесс идет в среде с высокой концентрацией солей (кальция, натрия и аммония), применяются соединения серы, которые могут повышать количество образующихся сульфидов, меркаптанов, а также других соединений.

За указанными операциями следует операция выделения продукта и его очистки с помощью разнообразных методов, таких, как осаждение, промывка, центрифугирование и т. д., обычно осуществляемых в водной среде. В результате получают готовый продукт, а избыток исходных реагентов и ненужные промежуточные продукты реакций сбрасывают в канализацию.

Воды, сбрасываемые от технологических операций и мытья оборудования, обычно являются самым концентрированным, но не единственным источником сточных вод. Загрязненная вода попадает в канализацию также от мытья полов, мокрой очистки газов. Кроме того, загрязнены и ливневые сточные воды, собираемые с территории предприятия.

Ввиду сложности и многообразия этих стоков особенно важными оказываются рекомендации, приведенные в п. 25.1.3: предварительное обследование всех цехов, выделение наиболее концентрированных стоков, упорядочение концентрированных потоков и т. д.

Ни одним самостоятельно примененным методом нельзя решить проблему очистки сточных вод этих производств. Необходима определенная последовательность обработки, в основном сочетающая как физико-химические, так и биологические процессы. Это иллюстрируется приведенными ниже примерами,

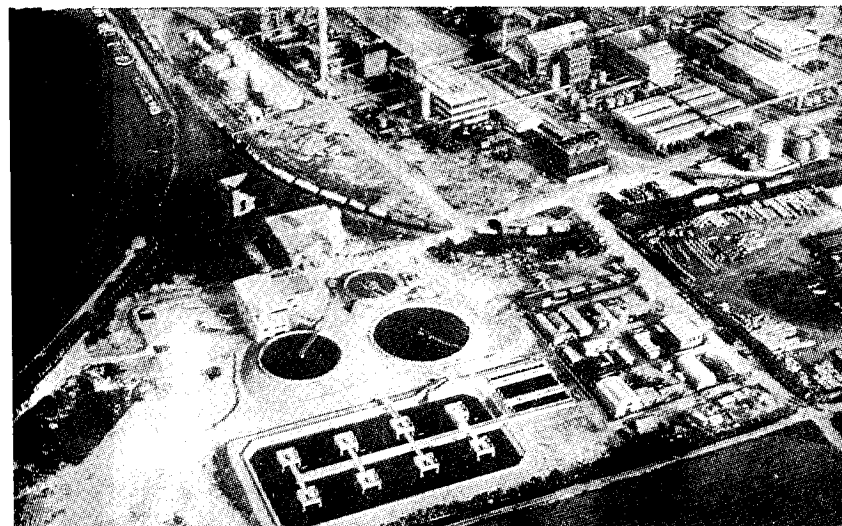


Рис. 25.17. Обработка сточных вод химических производств. Производительность 400 м<sup>3</sup>/ч. Французская фирма ОЭШТ

взятыми из практики фирмы «Дегремон» и основанными на промышленных испытаниях и опыте эксплуатации действующих сооружений.

### 25.6.1. СИСТЕМЫ ПОЛНОЙ ОБРАБОТКИ

**25.6.1.1. Предварительная физико-химическая очистка.** Разделение систем жидкость — жидкость или жидкость — твердая фаза может быть проведено без предварительной обработки или после коагуляции или флокуляции. Такая обработка имеет существенное значение, если:

концентрация масел или нерастворимых в воде растворителей превышает несколько десятков мг/л;

концентрация взвешенных или коллоидных веществ такова, что необходимо ее снижение минимум на 20—30% при низких затратах;

можно к тому же удалить токсичные неорганические соединения, такие, как сульфиды, соединения фтора, соли тяжелых металлов.

На лакокрасочной фабрике станция очистки стоков, включающая отделение масел, усреднение (в течение 8 ч), флокуляцию при высоком значении рН (используют хлорное железо, известь и полиэлектrolит), с последующей напорной флотацией обеспечивает снижение взвешенных веществ с 300 до 15, а ХПК с 2900 до 1650 мг/л. При этом удаляются также некоторые

токсичные металлы (Сг, Рb, Zn) и обеспечиваются благоприятные условия для последующей биологической очистки.

В фармацевтической промышленности и при производстве и расфасовке пестицидов образуются сточные воды, содержащие коллоидные вещества, остатки бактерицидных соединений и пестицидов. Адсорбционная очистка этих стоков на порошкообразном активном угле позволяет направить их на последующую биологическую очистку вместе с бытовыми сточными водами предприятия.

**25.6.1.2. Вторичная биологическая очистка.** Биологическая очистка является наиболее подходящим методом обработки стока с большим расходом, содержащего сложные загрязнения, значительную часть которых часто составляют быстро разрушаемые биохимическим путем летучие растворители (спирты, уксусная кислота, ацетон). Некоторые органические соединения не могут разлагаться бактериями, если этому не способствует среда или же если такие соединения поступают недостаточно постоянно по времени, что в совокупности препятствует эффективной адаптации соответствующих бактериальных штаммов и их выживанию.

Однако такие случаи очень редки. Обычно ненасыщенные алифатические соединения более быстро биохимически окисляются, чем ароматические. Органические вещества можно классифицировать по их способности к биоокислению: некоторые, такие, как эпихлоргидрин, токсичны, тогда как другие, например, изопропиловый эфир, диэтаноламин, полиэтиленгликоль, морфолин и т. д., высокоустойчивы, хотя некоторые штаммы бактерий могут адаптироваться к ним.

Подобным образом активный ил можно акклиматизировать к использованию анилина, хотя это соединение считается токсичным. В присутствии фенола и формальдегида анилин оказывает даже благотворное влияние на процесс биологической очистки.

Другой пример: на предприятии, производящем растворители и синтетический каучук (полиуретан, полипропилен), построена очистная станция с аэротенками производительностью 15 000 м<sup>3</sup>/сут. Сточная вода содержит диизобутил, изобутен, бутиловый и изопропиловый спирты, парафин, фурфурол, алкилфенолы, стирол и бутадиев. Количество загрязнений, поступающих на станцию в сутки, составляет по ХПК 20—30 т и по БПК<sub>5</sub> 10—15 т. При времени аэрации 8—10 ч аэротенки позволяют снизить концентрацию стока по ХПК на 85%, по БПК<sub>5</sub> на 95%.

Полупроизводственные испытания, предшествовавшие проектированию и строительству станции, показали, что в этом случае применение чистого кислорода не только не улучшает качество очистки, но и экономически не оправдано. Те же самые исследо-

ватели пришли к противоположному заключению при параллельно выполненных экспериментах на подобном стоке соседней очистной станции, отличающемся, однако, высоким содержанием кальциевых солей и сернистых соединений-восстановителей.

Биологическая очистка в аэротенках с успехом применяется для очистки сточных вод от производства фенолформальдегидной, карбамидной, эпоксидной смол и эпоксидных отвердителей. Сточная вода содержит, как правило, 400—500 мг/л фенолов, 300—400 мг/л формальдегида и иногда 1000—1500 мг/л апилина. Эффективность окисления примесей была стабильно высокой: 97,5—99% для фенолов, 96,6—99,8% для формальдегида, 95—100% для анилина.

При производстве ионообменных смол сополимеризацией стирола и дивинилбензола с последующим сульфированием или аминированием и хлорметилированием сбрасывается около 2000 м<sup>3</sup>/сут сточных вод. Аэротенки при нагрузке по БПК<sub>5</sub> около 1 кг/(м<sup>3</sup>·сут) обеспечивают БПК<sub>5</sub> очищенной воды менее 30 мг/л. В то же время остаточная концентрация по ХПК оказывается высокой (250—400 мг/л).

Для получения более чистой воды необходима дальнейшая обработка: третичная фильтрация через пористые материалы (байолит), чтобы концентрация взвешенных веществ была ниже 30 мг/л, и адсорбция на активном угле для снижения ХПК до значения менее 200 мг/л.

На предприятии, производящем синтетические полимеры, глиоксаль, этилсульфонат, галлиевую кислоту и т. д., применена сложная система очистки, включающая предварительную нейтрализацию, усреднение, обезжелезивание с помощью извести при рН=12 в «Турбоциркуляторе», очистку в аэротенках с последующей денитрификацией в анаэробных условиях и окончательное осветление. При этом БПК<sub>5</sub> снижается с 1800 до 30 мг/л, ХПК — с 3000 до 400 мг/л и менее, общий азот — с 200 до 30 мг/л, нитраты — с 200 до 50 мг/л и менее.

**25.6.1.3. Вторичная физико-химическая очистка.** Если примеси сточных вод биологически не разрушаемы или токсичны, применяют физико-химическую очистку, обычно адсорбцию на активном угле — единственно эффективный способ удаления растворенных органических соединений.

Сточная вода от производства нитрованных полупродуктов для фармацевтической промышленности и получения красителей содержит ароматические нитросоединения (например, динитротолуол и динитробензол) и хлорированные растворители (например, хлористый метил и хлорбензол). После усреднения и фильтрования через песчаные фильтры сточную воду пропускают через слой активного угля при рН=3 и перед сбросом нейтрализуют до значения рН=7.



Таким путем удаляется свыше 85% органического углерода при его исходной концентрации в стоке 800—1000 мг/л. Совершенно очевидно, что величина БПК таких сточных вод не может быть измерена.

#### 25.6.2. ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИМЕРОВ И ВОЛОКОН

Для получения таких важных продуктов, как полимеры и волокна, на отдельных предприятиях применяется несколько видов производственных процессов. Если точно известен применяемый технологический процесс, можно получить характеристику образующихся сточных вод, что позволит выбрать соответствующий метод обработки.

*А. Нейлон.* Нейлон-6 и иногда также нейлон-12 получают полимеризацией капролактама, который, в свою очередь, можно синтезировать из циклогексанона и гидроксиламинсульфата. Сточная вода содержит большое количество сульфата аммония, хотя частично это соединение извлекается из воды кристаллизацией. Концентрация стока по БПК велика из-за присутствия растворенных быстро разрушаемых микроорганизмами, несмотря на присутствие эпихлоргидрина, органических веществ (низкое отношение ХПК/БПК). Эти сточные воды могут вызывать вспухание активного ила.

В сточных водах от производства нейлона-11 из аминокислотной кислоты растворенные примеси менее значительны, чем в описанном выше производстве, но наличие в стоке нерастворенных веществ требует более интенсивной предварительной физико-химической обработки.

*Б. Латексы.* Получение органических полимеров водным способом (стирол, бутадиен, сополимеры акрилонитрила) приводит к образованию двух видов загрязнений:

оседающие вещества, преимущественно органические (коагулированный латекс), которые непосредственно отделяются флотацией;

эмульгированные или коллоидные вещества, которые необходимо коагулировать перед флотацией. На конечную стадию обработки — биохимическую очистку — вода поступает со сравнительно низкой остаточной БПК<sub>5</sub>.

При синтезе этилен-пропиленовых сополимеров в сточной воде появляются также металлы (Ti, Al), применяемые в качестве катализаторов.

*В. Бутиловый каучук.* При сополимеризации изобутилена образуются преимущественно щелочные стоки, содержащие различные растворенные органические соединения и стеарат цинка в виде эмульсии.

*Г. Полистирол.* При полимеризации на холоду и введении H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> образуются сточные воды, загрязненные в большой степени фосфорной и в меньшей — соляной кислотами. Эти стоки

содержат также суспензию мелких частиц полистирола и обычно имеют низкую концентрацию по БПК<sub>5</sub>. Сточную воду нейтрализуют известью и отстаивают, добавляя флокулянты.

*Д. Полиэтилен.* Для этого производства характерно многообразие технологических процессов получения полиэтилена различных сортов (высокой и низкой плотности, высокого и низкого давления). В процессе полимеризации в безводной среде при высоком давлении в канализацию сбрасывают шаровидные полимерные частицы и большое количество масел от компрессоров. После отделения их флотацией остаточная БПК стока обычно незначительна.

*Е. Производство полипропилена.* Сточная вода содержит значительное количество загрязнений: взвешенных веществ (покрошок полипропилена, гидроксиды алюминия и титана), пигментов, используемых в качестве добавок, и неионогенных поверхностно-активных веществ, применяемых при промывке волокна. Система очистки обычно включает две стадии — физико-химическую обработку и биологическую очистку — и рассчитывается на высокую степень удаления детергентов. При этом принимаются во внимание чувствительность активного ила и склонность его к вспуханию.

*Ж. Стирол.* Этилбензол, полученный алкилированием бензола, промывают с каустической содой и очищают перед конверсией.

Сточная вода обычно имеет сильно щелочную реакцию и содержит значительное количество взвешенных (гидроксид алюминия) или эмульгированных (масла, смолы, стирол, этилбензол) веществ. После флокуляции и флотации остаточная БПК<sub>5</sub> стока незначительна.

*И. Вискоза.* Вискозу получают из целлюлозы осаждением в виде тонких нитей в кислой среде в присутствии солей меди и цинка.

Потери цинка с промывной водой могут достигать 3—6 кг на 1 т вискозы. Цинк можно регенерировать в процессе одно- или двухстадийной нейтрализации и подкисления образующегося осадка гидроксида цинка. Осадок затем отделяется в сооружении типа «Седифлотор».

#### 25.7. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ И СВЯЗАННЫЕ С НЕЙ ПРОИЗВОДСТВА

##### 25.7.1. ЧУГУНО- И СТАЛЕЛИТЕЙНЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ

Большая часть использованной на предприятиях воды возвращается в оборот. Основными стоками являются аммиачные воды от коксовых установок, продувка оборотных циклов мокрой газоочистки доменных печей и кислородных конвертеров и сток от цеха холодной прокатки.

*А. Аммиачная вода от коксовальних установок* состоит из угольной воды (4% воды, использованной для подготовки угля, и 8% — содержание влаги в угле, если он не был предварительно нагрет) и воды, сбрасываемой из оборотного цикла очистки газов при добавлении в него умягченной воды.

Примеси этой сточной воды состоят главным образом из фенолов и аммиака в концентрации несколько г/л, а также сульфидов, цианидов и сульфоцианидов. Для нее характерно высокое содержание хлоридов.

Обработка воды включает следующие стадии:

удаление смол из аммиачной воды отстаиванием и (или) фильтрованием;

отдувка летучего аммиака с последующей фиксацией его каустической содой или, что более экономично, известью. Фирма «Дегремон» предлагает предварительную обработку известью, несмотря на трудности, связанные с накипеобразованием;

сбор воды после отгонки в буферных емкостях и охлаждение ее до 35° С;

биологическая очистка обычно в одно- или двухступенчатых аэротенках, возможно применение лагун;

третичная очистка с возможной адсорбцией остаточной ХПК на активном угле.

*Б. Мокрая газоочистка доменных печей.* Сточная вода содержит аммиак, цианиды, сульфоцианиды и следы фенолов и металлов (Zn, Pb). Обработка сточных вод заключается в удалении металлов подщелачиванием, удалении хелатных комплексов цианидов в результате добавки солей двухвалентного железа или их окисления перекисями и удалении аммиака в процессе биологической нитрификации или отгонкой.

*В. Мокрая газоочистка кислородных конвертеров.* Стоки могут содержать соединения фтора, которые осаждают, добавляя известь, если сточная вода содержит бикарбонат натрия (в случае десульфуризации стали содой).

*Г. Сточные воды цеха холодной прокатки.* Они включают в основном:

кислые промывные воды с остатками серной, соляной или азотной кислот, обработка которых состоит в нейтрализации, окислении воздухом и осаждении трехвалентного железа;

сточные воды от процесса хромирования, которые иногда смешивают с кислыми промывными водами или очищают на ионообменных смолах с целью повторного использования;

сточные воды от электролитического обезжиривания, имеющие высокую концентрацию по ХПК; могут обрабатываться в незамкнутом цикле методами коагуляции и флотации;

эмульсии масел и жиров от смазки 4- или 5-клетевых прокатных станов, которые с целью снижения концентрации направляют на флотацию и флотацию;

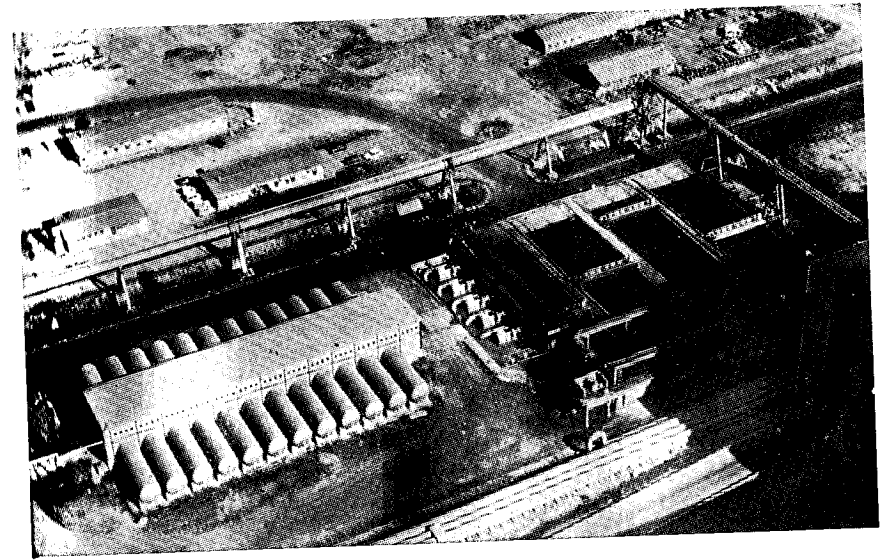


Рис. 25.18. Водоподготовка и обработка сточных вод прокатного цеха. Сталелитейное предприятие фирмы «Солмер», Франция

растворимые охлаждающие масла от 3-клетевых установок, которые собирают и периодически сбрасывают, разрушая кислотой. Нижний водный слой после флокуляции отстаивают или флотируют либо направляют на ультрафильтрацию (см. табл. 25.7);

сточные воды от других операций пассивации, бондеризации, удаления цинка, так же как и сбросы разнообразных концентрированных ванн, которые могут быть регенерированы или обработаны (см. п. 25.7.3.1).

## 25.7.2. МЕТАЛЛУРГИЯ АЛЮМИНИЯ

Добыча алюминия и его металлургия включают множество последовательных операций, каждая из которых сопровождается образованием специфических отходов, обрабатываемых обычно отдельно:

жидкость от выщелачивания бокситов, содержащая алюминат натрия. Это концентрированная жидкость (290 г/л  $\text{Na}_2\text{O}$ ), горячая, с содержанием сухих веществ 100—180 г/л. После истощения ее направляют в отстойники-уплотнители, оборудованные скребковыми механизмами;

сточная вода, образующаяся в процессе очистки газа от электролиза криолита с применением непрерывных анодов Зодербергерера или предварительно обожженных анодов. Этот сток обычно имеет кислую реакцию среды, содержит сульфиты и

фториды. Взвешенные вещества стока состоят из частиц угля, глинозема и криолита;

сточная вода от производства предварительно обожженных анодов; имеет кислую реакцию среды и содержит растворенный алюминий, фториды и смолы. Концентрация по ХПК высокая; щелочная сточная вода от дробления глинистой породы, содержащая фториды и цианиды;

охлаждающая вода от отливки алюминия в формовочной земле, содержащая небольшое количество жира и каолин; кислые воды, содержащие хлорид алюминия.

Все кислые воды можно обрабатывать в следующем порядке: нейтрализация, осаждение и коагуляция, отстаивание в осветлителях типа «Циркулятор» и «Турбоциркулятор». Концентрация осадка и скорость отстаивания значительно изменяются в зависимости от состава осадка:  $Al_2O_3$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $CaF_2$ ,  $C$  и т. д. Щелочную очистку газов электролиза применяют реже. В этом случае требуется более сложное оборудование для очистки сточных вод, позволяющее регенерировать криолит.

В цехах обработки поверхности выпускаемых изделий образуются сточные воды менее сложного состава:

щелочные стоки от обезжиривания;  
сток от стадий отделки изделий;  
сточная вода от процесса анодирования, содержащая серную кислоту и алюминий;  
возможно появление сточных вод от операций хромирования.

Стоки от стадий шлифовки и хромирования после полной деминерализации возвращаются в производство, тогда как воды от обезжиривания с большим содержанием алюминия после обработки сбрасываются в канализацию.

Во всех процессах стремятся снизить расход кислоты и каустической соды и увеличить концентрацию образующегося осадка.

### 25.7.3. МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

**25.7.3.1. Технология обработки металлов; источники образования загрязнений.** Поверхностная обработка применяется, главным образом, для металлических деталей, но применима также и для некоторых синтетических материалов, чтобы предупредить коррозионные процессы, видоизменить физические свойства поверхности или в декоративных целях для улучшения внешнего вида.

Подготовка поверхности и процесс ее обработки заключаются в последовательном погружении детали в несколько ванн, в которых происходят химические или электролитические реакции. На деталях при переносе их из одной ванны в другую остается значительное количество раствора вследствие сложной

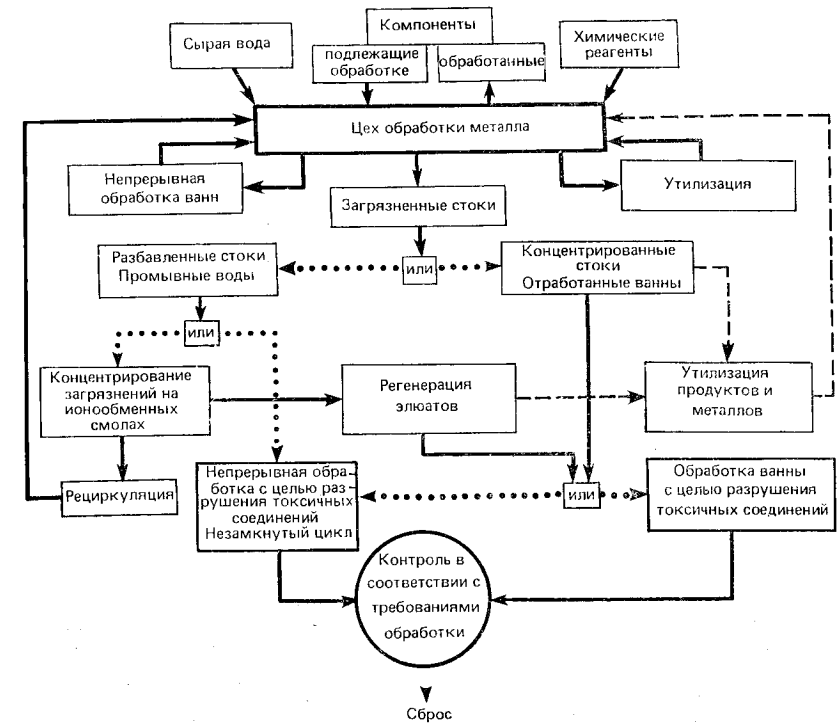


Рис. 25.19

конфигурации деталей и явления поверхностного натяжения. Поэтому перед каждой последующей операцией обработки детали нужно тщательно промывать.

Таким образом, сточные воды от обработки металлических поверхностей делятся на два типа (рис. 25.19, схема организации цеха обработки металла):

отработанные растворы из ванн с большой концентрацией загрязнений;  
разбавленные промывные воды.

Характерными загрязнителями этих вод являются органические вещества, главным образом от операций обезжиривания (смачивающие и хелатирующие вещества, которые в настоящее время все более и более широко применяются в современных ваннах), взвешенные вещества (оксиды, гидроксиды, мыла и т. д.) и особенно растворенные и ионизированные неорганические соединения.

В табл. 25.4 приведены основные типы применяемых в обработке ванн и состав используемых растворов. Очевидно, что перечисленные в табл. 25.4 составы ванн не все одинаково важны, и, хотя перечень используемых реагентов включает все

ТАБЛИЦА 25.4. ЗАГРЯЗНЕНИЕ СТОЧНЫХ ВОД, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

ОСНОВНЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ, ВСТРЕЧАЮЩИЕСЯ В ИОННОЙ ФОРМЕ	ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА				МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ																
	Характер загрязнений				Характер загрязнений																
	токсичные	изменяющие pH	взвешенные вещества	ламенты-румы	химическое	электролитическое	щелочное (для А1)	кислотное	стабилизация	активация	активация	нейтрализация	фосфатирование	аморфное	кристаллическое	анодное окисление	наполнение анодной пленки	придание электролитическое и химическое	пассивация	электролитическое полирование	
Cr <sup>III</sup>																					
Sn																					
Cd																					
Cu																					
Al																					
Zn																					
Ni																					
Fe <sup>II</sup>																					
Fe <sup>III</sup>																					
Ag																					
Au																					
Pt																					
Rh																					
Pd																					
Pb																					
In																					
Sb																					
As																					
Ba																					
Na																					
K																					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>																					
Cl <sup>-</sup>																					
PO <sub>3</sub> <sup>-</sup>																					
HPO <sub>3</sub> <sup>-</sup>																					
P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>-</sup>																					
S <sup>-</sup>																					
HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>																					
SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>																					
NH <sub>4</sub> SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>																					
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>																					
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>																					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>																					
F <sup>-</sup>																					
BF <sub>4</sub> <sup>-</sup>																					
H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub>																					
CN <sup>-</sup>																					
HCrO <sub>4</sub> <sup>-</sup>																					
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>																					
AsO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>																					
SiO <sub>4</sub> <sup>-</sup>																					
SiF <sub>6</sub> <sup>-</sup>																					
C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> <sup>-</sup>																					
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>																					
Основные отрасли промышленности, использующие данный процесс																					
	автомобильная																				
	выпечного электрооборудования																				
	авиапромышленность																				
	металлической структуры																				
	VELO- и мотопромышленность																				
	производство украшений																				
	металлическая архитектура																				
	электропромышленность, электроника																				

		НАНЕСЕНИЕ СЛОЯ МЕТАЛЛА ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ												
		МЕДНЕНИЕ	НИКЕЛИРО- ВАНИЕ	ХРОМИРО- ВАНИЕ	ЦИНКОВАНИЕ	КАДМИРО- ВАНИЕ	ЛУЖЕНИЕ							
		в щелочной среде	с пирофорсфатом	с пирофорсфатом	с пирофорсфатом	в щелочной среде	в щелочной среде	с пирофорсфатом	с пирофорсфатом	с пирофорсфатом	с пирофорсфатом	с пирофорсфатом	с пирофорсфатом	с пирофорсфатом
	Cr, Ni, K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , K <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , Na <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> H <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>7</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>8</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>9</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>10</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>11</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>12</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>13</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>14</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>15</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>16</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>17</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>18</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>19</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>20</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>21</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>22</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>23</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>24</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>25</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>26</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>27</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>28</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>29</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>30</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>31</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>32</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>33</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>34</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>35</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>36</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>37</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>38</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>39</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>40</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>41</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>42</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>43</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>44</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>45</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>46</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>47</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>48</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>49</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>50</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>51</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>52</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>53</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>54</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>55</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>56</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>57</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>58</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>59</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>60</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>61</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>62</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>63</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>64</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>65</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>66</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>67</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>68</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>69</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>70</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>71</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>72</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>73</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>74</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>75</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>76</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>77</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>78</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>79</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>80</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>81</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>82</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>83</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>84</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>85</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>86</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>87</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>88</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>89</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>90</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>91</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>92</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>93</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>94</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>95</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>96</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>97</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>98</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>99</sub> , Na <sub>2</sub> SiF <sub>100</sub>													



возможные варианты, некоторые из реагентов преобладают, тогда как другие применяются редко.

Все компоненты ванны присутствуют и в промывной воде, которая может также содержать ионы металлов, появляющиеся в результате химического воздействия на обрабатываемую деталь.

Во Франции Министерством охраны окружающей среды совместно со специалистами в области обработки металлов и фирмами, занимающимися обезвреживанием сточных вод, проведены серьезные исследования по разработке системы мероприятий по управлению и контролю за сбросом загрязнений со сточными водами. Эта работа завершилась постановлением Министерства, в котором изложены точные правила сброса стоков и стандарты для различных загрязняющих веществ вместе с рекомендациями по применению в цехах и на очистных станциях оборудования, наиболее целесообразного с технической и экономической точек зрения.

**25.7.3.2. Предотвращение образования загрязнений и утилизация отходов.** Чтобы достичь наиболее полного обезвреживания сточных вод в соответствии с установленными стандартами, инженер, занимающийся контролем выбросов, должен рассматривать каждый проект по очистке стоков с двух точек зрения: возможности предотвращения образования загрязнений и утилизации отходов.

Прежде всего он должен серьезно ознакомиться с детальным устройством цеха поверхностной обработки металла и его технологией, чтобы облегчить себе правильное решение этих двух задач.

Далее следует добиться снижения сброса загрязнений в самом цехе различными методами:

уменьшением переноса растворов из ванны в ванну путем изменения геометрии оборудования для переноса обрабатываемых деталей, оптимизацией процесса промывки, особенно при обработке в барабане, введением спринклерной системы промывки и т. д.;

непосредственным вмешательством в технологический процесс, если это необходимо, возможно заменой одного состава ванн на другой, дающий те же результаты, но химически менее токсичный и более безопасный, например, заменой осадительных ванн с высоким содержанием цианидов ваннами с низким содержанием цианидов, а в некоторых случаях — кислыми или щелочными ваннами, не содержащими ни цианидов, ни органических хелатных комплексов.

После проведения этих первоначальных внутрицеховых мероприятий должны быть извлечены некоторые вещества и доведены до товарного продукта.

Прежде всего нужно позаботиться о рациональном использовании воды в производстве: можно показать, что существуют

системы промывки, позволяющие значительно снизить расход воды для данной операции при равноценном качестве промывки и готовых изделий. Поэтому должна быть рассмотрена возможность (существуют также и другие возможности) модификации цикла обработки введением устройств следующих типов:

установки стационарной промывки или промывки с возвратом воды;

установки двух- или трехстадийной промывки.

С целью возврата в производство материалов, использованных в технологическом процессе, в некоторых случаях может оказаться целесообразным:

монтаж установки для их извлечения и утилизации;

применение обратного осмоса для извлечения солей никеля, меди или других металлов;

применение ионного обмена для извлечения солей хрома и кислоты из травильных ванн.

**25.7.3.3. Очистка сточных вод.** После выполнения основных работ, описанных выше, составляется баланс загрязненных стоков, подлежащих очистке. Эти стоки включают отработанные ванны, которые не могут быть рекламированы или повторно использованы, и промывные воды.

*А. Классификация видов загрязнений и методов обработки сточных вод.* Все загрязнения рассматриваемого производства можно подразделить на четыре категории:

токсичные загрязнения, такие, как цианиды, шестивалентный хром и фториды;

загрязнения, изменяющие значение рН, т. е. вещества кислотного и щелочного характера;

загрязнения, приводящие к увеличению содержания взвешенных веществ в стоке, например, гидроксиды, карбонаты и фосфаты;

загрязнения, регламентируемые особо, например, примеси, влияющие на концентрацию стока по ХПК (сульфиды, соли двухвалентного железа).

Методы обработки также делятся на четыре группы:

окислительные методы для цианидов, солей двухвалентного железа, сульфитов и нитритов;

восстановительные методы для шестивалентного хрома;

регулирование значения рН;

выделение в осадок и отстаивание, возможно с последующим фильтрованием.

*Б. Основные реакции окислительно-восстановительных методов.* Вследствие важности мероприятий по удалению цианидов и хроматов из сточных вод особое внимание будет уделено соответствующим реакциям.

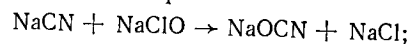
**Пример окисления. Обработка цианосодержащих стоков.** Высокотоксичные цианиды превращаются в нетоксичные цианаты под действием сильных окислителей, таких, как гипохлорит на-



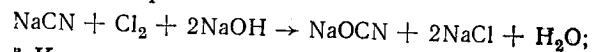
трия, газообразный хлор, мононадсерная кислота (кислота Каро), в щелочной среде.

Ниже даны суммарные уравнения этих реакций.

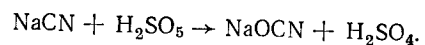
Реакция с гипохлоритом натрия:



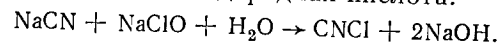
с газообразным хлором:



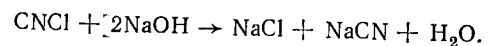
с кислотой Каро:



Первые две реакции протекают практически мгновенно при значении pH более 12, но скорость их быстро падает при снижении pH (критическое значение pH=10,5). При любом значении pH сначала образуется хлористый циан CNCl, который так же опасен, как и цианистоводородная кислота:

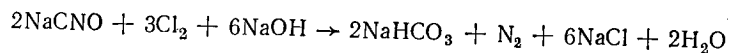


Начиная со значения pH=10,5 хлористый циан быстро гидролизуются по реакции



С кислотой Каро скорость реакции оказывается приемлемой, если значение pH превышает 9,5.

Замечено, что во всех случаях переход от цианата к азоту по реакции



идет при том же самом значении pH, как и превращение цианида в цианат, но расход реагента повышается в три раза, а время реакции изменяется с 5 до 90 мин. Такой расход реагента не оправдан, так как цианаты обладают очень незначительной токсичностью.

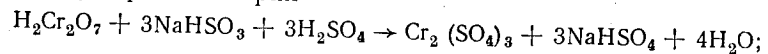
В табл. 25.5. приведены расходы реагентов на окисление до цианата 1 г CN<sup>-</sup>, присутствующего в сточной воде, значение pH которой предварительно доведено до оптимальной величины.

**Пример восстановления. Обработка стока, содержащего шестивалентный хром.** Цель — восстановление шестивалентного хрома в трехвалентный, который менее токсичен и может быть осажден в виде гидроксида.

Реакция восстановления протекает в кислой среде под действием бисульфита натрия или сульфата двухвалентного железа.

Реакции:

с бисульфитом натрия



с сульфатом двухвалентного железа

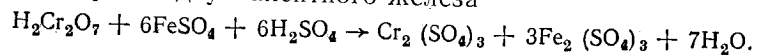


ТАБЛИЦА 25.5. ОКИСЛЕНИЕ СВОБОДНЫХ ЦИАНИДОВ

Реагенты	Продажный NaClO*, мл	Продажная H <sub>2</sub> SO <sub>5</sub> **, мл	
		Cl <sub>2</sub> , г NaOH, г	NaOH, г
На 1 г CN <sup>-</sup> по стехиометрии	18,2	2,75	22
		3,10	3,10
Практический расход товарного реагента на 1 г CN <sup>-</sup>	21,0, избыток 20%***	3,0	24
		3,5, избыток 10%***	3,5, избыток 10%***

\* NaClO — продажный раствор продукта с концентрацией по активному хлору 150 мг/л, или 47—50 хлорометрических градусов.  
 \*\* H<sub>2</sub>SO<sub>5</sub> — продажный раствор продукта с концентрацией 200 г/л.  
 \*\*\* Избыток, обычно принимаемый при концентрации цианидов менее 100 мг/л (как в случае промывных вод).

Первая из этих реакций протекает практически мгновенно при значении pH ниже 2,5, но скорость реакции быстро падает с увеличением pH (критическое значение pH=3,5).

Восстановление сульфатом двухвалентного железа протекает более устойчиво и эффективно при значении pH менее 6.

В табл. 25.6 приведены расходы реагентов на восстановление 1 г Cr<sup>6+</sup>.

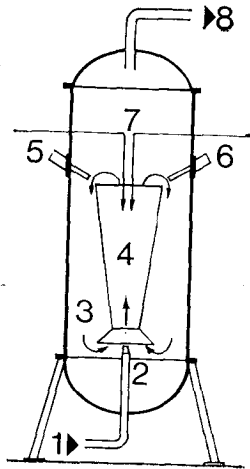
**В. Системы обработки.** Существуют два основных варианта обработки, система очистки сточных вод иногда включает элементы обоих.

ТАБЛИЦА 25.6. ПРИМЕР ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА: ОБРАБОТКА СТОКА, СОДЕРЖАЩЕГО ШЕСТИВАЛЕНТНЫЙ ХРОМ

Реагенты	FeSO <sub>4</sub> ·7 H <sub>2</sub> O, г	
	NaHSO <sub>3</sub> (d=1,33), мл*	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , г
На 1 г Cr <sup>6+</sup> по стехиометрии	5,7	16
	0,95	1,90
Практический расход товарного реагента на 1 г Cr <sup>6+</sup>	6,5, избыток 15%**	20, избыток 25%**
	1,0	2,0

\* Продажный раствор NaHSO<sub>3</sub> (d=1,33) с концентрацией 530 г/л.  
 \*\* Избыток, необходимый для обработки промывных вод.

**Обработка стока в незамкнутом цикле со сбросом очищенной воды.** В данном издании не представляется возможным перечислить все варианты схем очистных установок. Однако любой из этих вариантов всегда включает несколько процессов (см. рис. 25.22), в основе которых лежат реакции окисления, восстановления и нейтрализации с последующим осаждением различных токсичных веществ и гидроксидов металлов.



Следует отметить, что в незамкнутых системах очистки часто применяют высокоскоростные реакторы-смесители («Турбактор») — закрытые емкости, работающие под давлением, в которых обезвреживание стока и нейтрализация протекают за более короткое время, чем в обычно применяемых сооружениях, что обеспечивает компактность очистной установки (рис. 25.21 и 25.23).

«Турбактор» (рис. 25.20) представляет собой реактор-смеситель с мощным

Рис. 25.20. Быстродействующий реактор «Турбактор»

1 — неочищенная вода; 2 — инжекторная насадка; 3 — зона быстрой циркуляции; 4 — диффузор давления; 5 — датчик гН-метра; 6 — датчик pH-метра; 7 — реагенты; 8 — очищенная вода

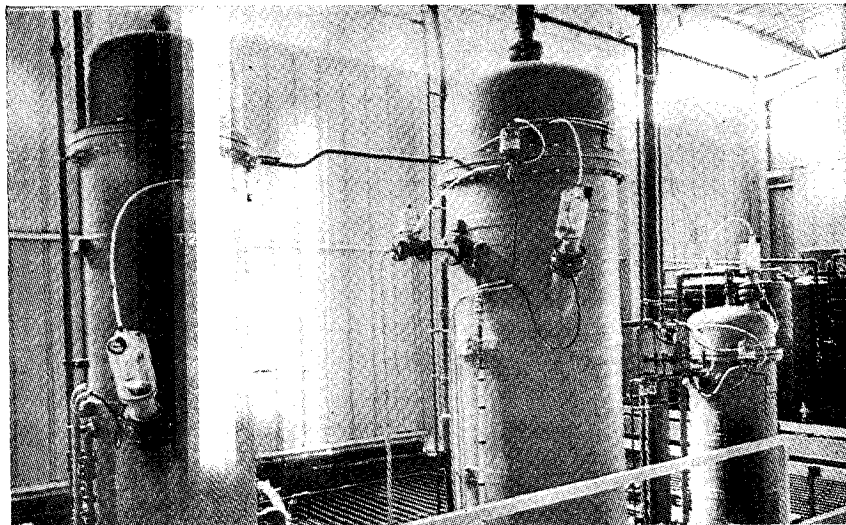


Рис. 25.21. Установка «Турбактор» для детоксикации стока. Производительность 50 м³/ч

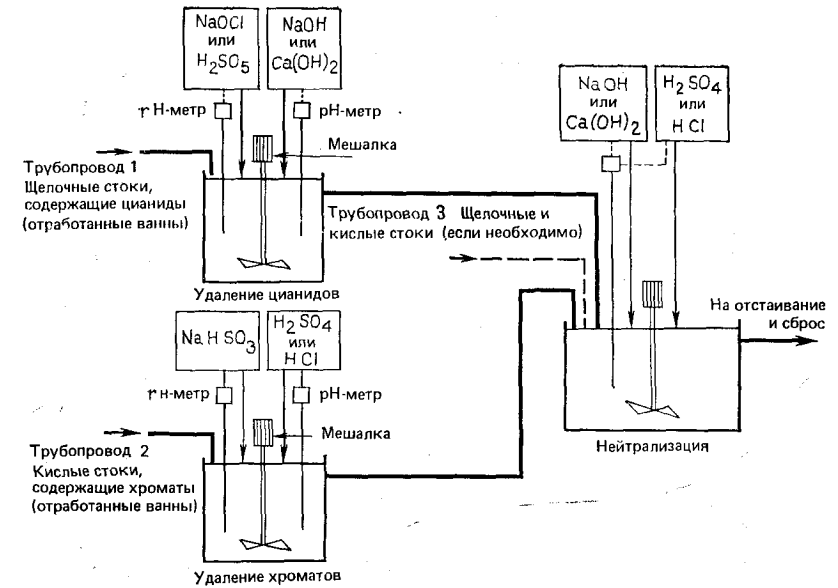


Рис. 25.22. Схема процесса обезвреживания стока в обычной незамкнутой системе с непрерывным автоматическим управлением

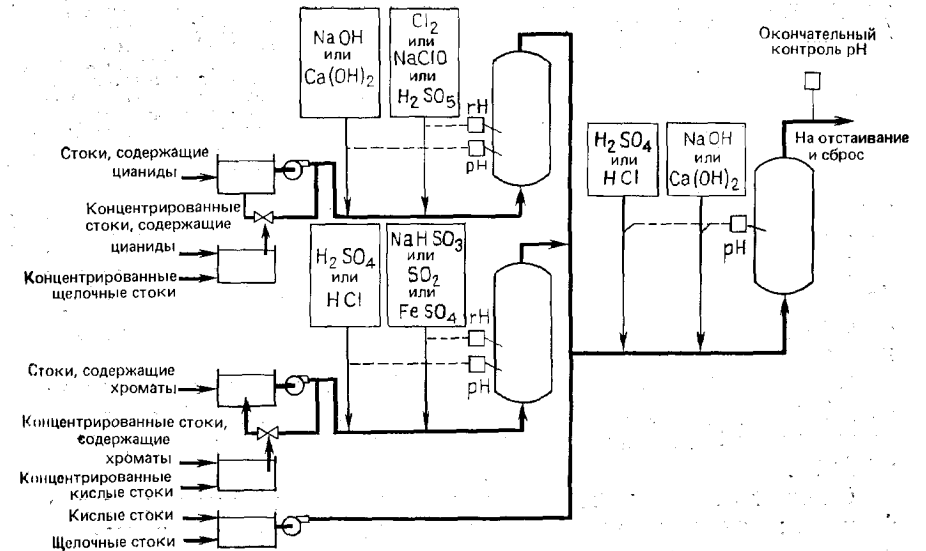


Рис. 25.23. Схема процесса обезвреживания стоков в незамкнутой системе, включающей установку «Турбактор», с непрерывным автоматическим управлением

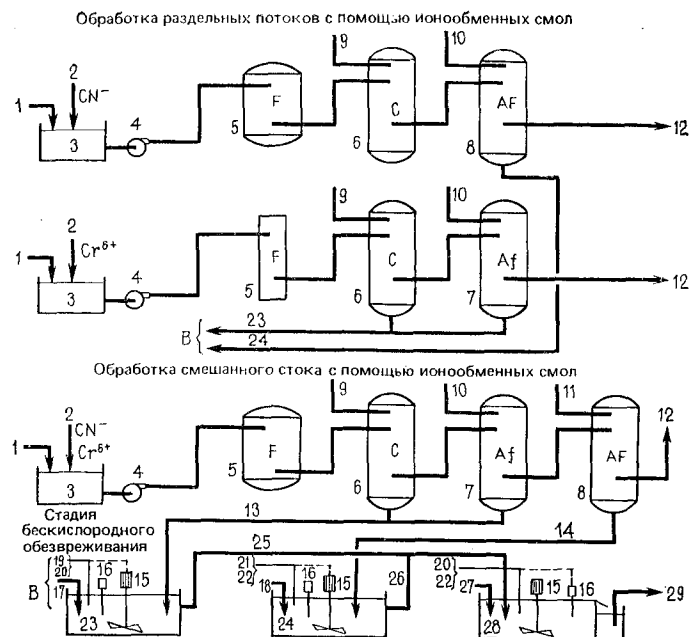


Рис. 25.24. Обработка в замкнутом цикле

1 — добавочная вода; 2 — сток, подлежащий обработке; 3 — буферная емкость; 4 — насосная установка; 5 — фильтр; 6 — сильнокислый катионообменник; 7 — среднеосновный анионообменник; 8 — сильноосновный анионообменник; 9 — кислота для регенерации; 10—11 — щелочь для регенерации; 12 — очищенная вода в оборот; 13 — регенерация элюатов С и АІ (токсичные); 14 — регенерация элюатов АF (токсичные); 15 — мешалки; 16 — контроль рН и гІІ; 17 — подача кислых отработанных ванн, содержащих хроматы; 18 — подача щелочных отработанных ванн, содержащих цианиды; 19 — ввод восстанавливающих агентов; 20 — ввод кислых реагентов; 21 — ввод окислителей; 22 — ввод щелочных реагентов; 23 — автоматическое удаление хроматов; 24 — автоматическое удаление цианидов; 25, 26 — передача обезвреженных концентрированных и полуконцентрированных стоков; 27 — подача кислых и щелочных стоков; 28 — автоматическая установка нейтрализации; 29 — сток на флокуляцию или отстаивание

перемешиванием, в вертикальной цилиндрической части которого смонтирована «сердцевина» «Циркулятора» (см. п. 7.2.2.2).

Правильное определение размера инжектирующей трубы (в соответствии с типом осуществляемой реакции) и соосность ее с диффузором обеспечивают интенсивное смешение и активную рециркуляцию потока.

Очистка промывных вод на ионообменных смолах с последующей рециркуляцией (замкнутый цикл). Рис. 25.24 является иллюстрацией к применению этого метода (см. также рис. 25.25 и 25.26).

Следует отметить, что такая система очистки выполняет две функции: рекламацию — повторное использование воды — и концентрирование загрязнений. Таким образом, применение этого варианта очистки всегда сопровождается обработкой изъятых из стока токсичных веществ, которую обычно осуществляют в ваннах.

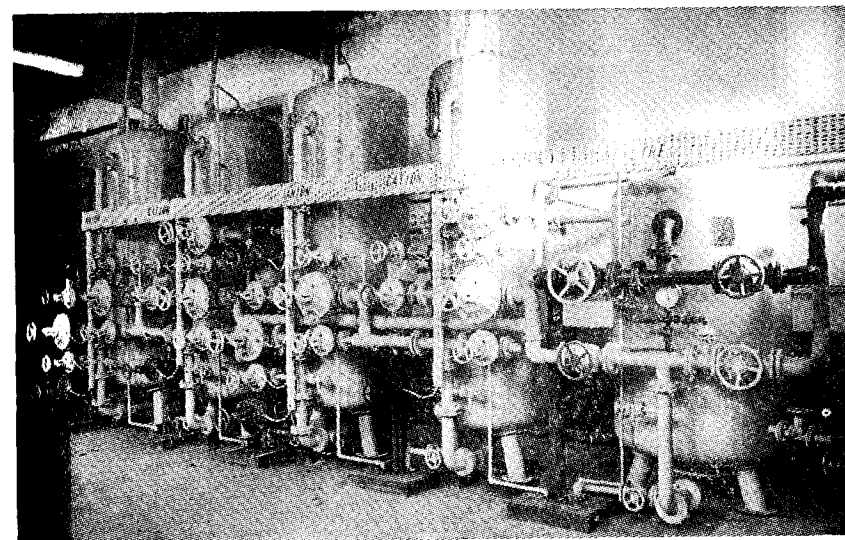


Рис. 25.25. Обработка кислых и щелочных стоков, содержащих хроматы. Автоматическая рециркуляция через ионообменники. Производительность  $2 \times 20 \text{ м}^3/\text{ч}$

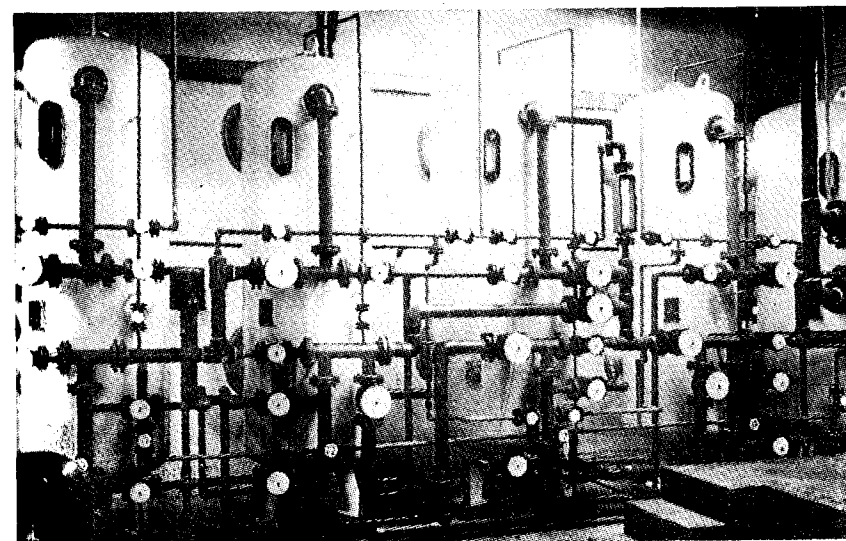


Рис. 25.26. Обработка стоков, содержащих хроматы и цианиды. Рециркуляция через ионообменники. Производительность  $2 \times 25 \text{ м}^3/\text{ч}$

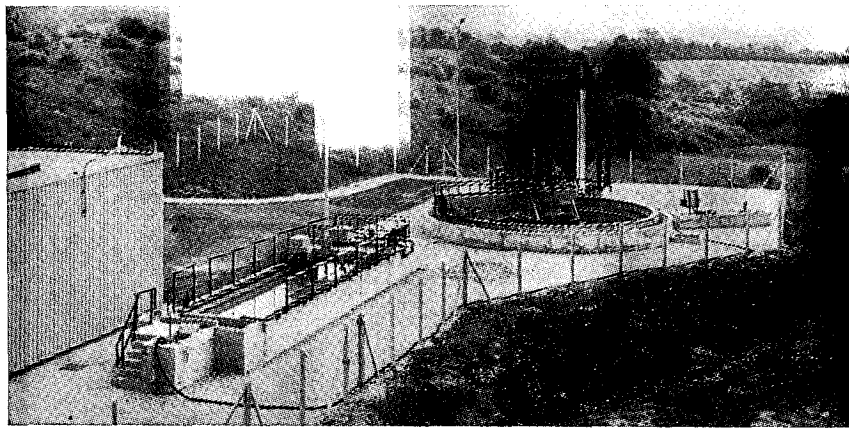


Рис. 25.27. Нейтрализация и отстаивание. Производительность 80 м<sup>3</sup>/ч. Монсо-ле-Мин (Франция)

На рис. 25.19 показаны все возможные варианты организации цеха и системы очистки стоков.

Преимущества, которые дает применение системы очистки на ионообменных смолах с возвратом воды, сводятся к следующему:

- значительное снижение расхода воды;
- очень высокое качество очищенной воды, что позволяет при небольших затратах улучшить качество промывки, а следовательно, и качество готовых изделий;
- концентрирование загрязнений и возможность возврата некоторых дорогостоящих соединений;
- упрощение операций обезвреживания, которые могут осуществляться в ваннах, при этом не требуется постоянный контроль.

**Г. Централизованные станции обезвреживания.** Идея передачи в субаренду обезвреживания отходов цехов обработки металлов привела к созданию централизованных станций обезвреживания.

Последние экономические изыскания показали, что этот вариант экономичен (по сравнению с очисткой на месте) только в том случае, если количество подлежащих обработке и транспортированию отходов не слишком велико и если расстояние от цеха до центра обезвреживания незначительно.

Практически промывные воды можно обрабатывать только на месте. Централизованная обработка стока от регенерации ионообменных смол возможна в случае близко расположенных небольших цехов, но для больших производств стоимость обработки становится непомерно высокой.

#### 25.7.4. ОЧИСТКА ОТРАБОТАННЫХ РАСТВОРИМЫХ МАСЕЛ

Термин «растворимые масла» обычно используется для обозначения всех жидкостей, применяемых для охлаждения и смазки металлорежущих станков (для которых они известны как режущие масла), прессов, штампов, прокатных станков и т. д. в металлообрабатывающей промышленности.

Следует различать три группы продуктов:

**эмульгированные масла**, основу которых составляют нефтяные погоны, удерживаемые в состоянии устойчивой эмульсии с помощью эмульгаторов (анионоактивных или неионогенных поверхностно-активных веществ);

**синтетические масла или истинные растворы**, которые вместо нефтяных продуктов содержат синтетические смазочные вещества с подобными или даже лучшими характеристиками: полигликоли, полиоксиды углеводов и т. д.;

**полусинтетические масла**, представляющие собой смеси с различным соотношением двух описанных выше продуктов.

Кроме того, все смазочные и охлаждающие составы включают «антиокислители», «бактерициды», «антивспениватели» и другие добавки, в том числе добавки к смазочным составам для оборудования, работающего под большим давлением.

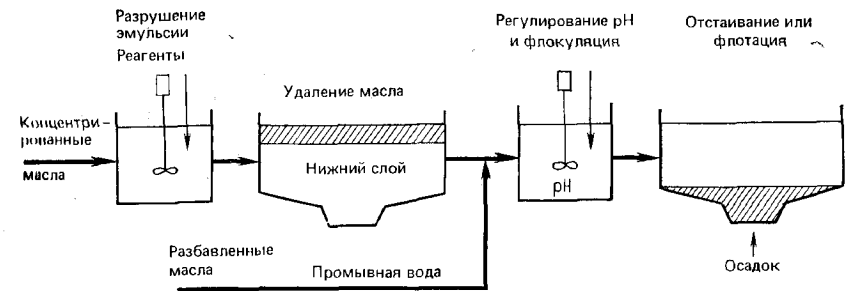


Рис. 25.28. Химическое разрушение масляных эмульсий и флокуляция

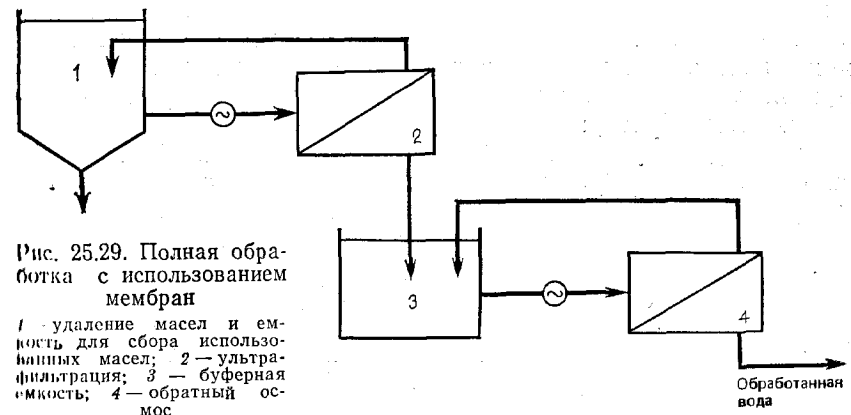


Рис. 25.29. Полная обработка с использованием мембран

1 — удаление масел и емкость для сбора использованных масел; 2 — ультрафильтрация; 3 — буферная емкость; 4 — обратный осмос

ТАБЛИЦА 25.7. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РАСТВОРИМЫХ МАСЕЛ

Жидкость, подлежащая обработке	Метод обработки	Продукты обработки
Концентрированные полусинтетические эмульсии (20—80 г/л масел)	Химическое разрушение (на холоду или при нагреве) с последующей флокуляцией водной фазы (рис. 25.28). Ультрафильтрация	Масло (90%) + флокулированный осадок (10—30% от исходного объема эмульсии). Масло 40—50% (самосгораемое)
Разбавленные эмульсии (менее 1 г масла в 1 л)	Химическая флокуляция (возможно повторное использование солей железа, травильных ванн и т. д.)	Осадок гидроксидов, содержащий 50—100 г/л взвешенных веществ. Подлежит обезвоживанию
Истинные растворы (ХПК: 15—50 г/л)	Ультрафильтрация для выделения полезных примесей из жидкости с целью последующего возврата в производство. Обратный осмос в дополнение к ультрафильтрации с целью снятия большей части ХПК и бактерицидов (рис. 25.29). Биологическая очистка в дополнение к ультрафильтрации с предварительным разбавлением, необходимым для предотвращения токсичного действия бактерицидов	Концентрат (45—50% органических веществ) (самосгораемый). Концентрат от процесса обратного осмоса (8—20% органических веществ в зависимости от осмотического давления раствора). Избыточный активный ил

Для выбора метода обработки отработанных жидкостей необходимо ознакомиться с составом жидкости, типом продукта или смеси продуктов. При этом следует помнить, что использование растворимых масел в различных машинах приводит к серьезным изменениям в их составе (которые и вызывают необходимость сброса):

включение отходов производственного процесса (мелкая металлическая стружка, металлические опилки, оксиды металлов, шлифовальная паста, машинное масло и жир и т. д.);

окисление и полимеризация наименее стойких веществ;

бактериальное разложение, которое может быть более или менее интенсивным в зависимости от эффективности и стойкости использованных бактерицидных добавок.

В табл. 25.7 приведены принципиальные методы обработки отработанных растворимых масел.

## 25.8. ДРУГИЕ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

### 25.8.1. СИЛОВЫЕ СТАНЦИИ НА ИСКОПАЕМОМ ТОПЛИВЕ

Для обычных силовых установок, на которых используются каменный или бурый уголь или жидкое топливо, характерен периодический сброс небольшого количества концентрированных сточных вод. Эти воды обрабатывают периодически по мере их образования. Они включают следующие виды стоков:

*сточную воду от очистки блока труб парового котла*, содержащую лимонную кислоту, а также фтористые соединения натрия либо серную или соляную кислоты. На станции мощностью 250 МВт каждый сброс может содержать 1000—1500 кг оксидов железа;

*сточную воду от ежегодной чистки воздухонагревателей*, содержащую, в основном, окисленный щелочный осадок (персульфат аммония) и слабую фтористоводородную кислоту в виде воздушной эмульсии. Сточная вода от станции, работающей на жидком топливе, содержит медь, магнетит, ванадий и имеет значительный маслянистый отстой. При нейтрализации известью следует избегать образования пересыщенных растворов сульфата кальция;

*сточные воды от регенерации ионообменных смол*, содержащие большое количество сульфата или хлорида кальция; обычно они нуждаются только в нейтрализации;

*поверхностный сток с территории складов топлива*. В зависимости от требований стандарта к сбрасываемым сточным водам из поверхностного стока удаляют только масла в нефтеловушках или подвергают его полной очистке в процессе флотации с флокуляцией;

недавно введенный метод *десульфуризации дымовых газов* может представлять серьезный источник образования сточных вод, состав которых изменяется в зависимости от применяемого метода десульфуризации;

одновременное поглощение  $SO_3$  и  $SO_2$  избытком аммиака с рекуперацией бисульфита, восстановленного до серы по реакции Клауса;

поглощение аммиаком только  $SO_3$  с образованием сульфата аммония, из которого аммиак вытесняется известью. Обработка заключается в осаждении сульфата кальция из жидкости, использованной в оборотном цикле. Процесс может проводиться в «Циркуляторе», осадок обезвоживается на фильтр-прессе или ленточном фильтре.

На станциях, где используется бурый уголь, процесс мокрой обработки зольной пыли требует применения отстойников, оборудованных скребковыми механизмами.

## 25.8.2. ЯДЕРНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

**25.8.2.1. Происхождение отходов.** Радиоактивные отходы образуются главным образом на атомных электростанциях, при обработке ядерного топлива, в ядерных исследовательских центрах.

На современных атомных электростанциях с корпусными реакторами (PWR) или кипящими (BWR) предусмотрены различные варианты обработки оборотной воды и радиоактивных стоков, например:

очистка воды реактора отведением части ее из оборота (продувка);

обработка конденсата;

обеззараживание воды для бытовых целей (стирки, мытья полов, умывания и т. д.);

обработка воды прудов-накопителей;

обработка регенерационных вод.

Атомные электростанции PWR имеют также системы деминерализации, связанные с первичным оборотом, с целью регулирования в последнем содержания лития и бора.

**25.8.2.2. Обработка сточных вод.** Радиоактивные сточные воды подвергаются различной обработке в зависимости от уровня их активности и содержания в них твердых веществ и растворенных примесей.

Воды с низким содержанием и небольшим количеством взвешенных веществ обрабатывают на намывных фильтрах или ионообменных смолах (продувка, конденсаты, вода накопительных прудов).

Воды с высоким содержанием или с большой концентрацией взвешенных веществ предварительно должны подвергаться флокуляции — адсорбции (сток от обработки конденсатов, вода от стирки, мытья полов и различные дренажные воды). Комбинацией этих методов кроме взвешенных веществ можно удалить значительную часть растворенных радиоактивных примесей в результате соосаждения в присутствии таких веществ, как карбонат кальция, фосфат кальция, таннат, ферроцианиды меди или никеля, которые, осаждаясь, увлекают за собой и радиоактивные вещества. Остаточные растворенные примеси задерживаются на ионообменных смолах.

Растворенные и коллоидные радиоактивные вещества можно концентрировать методом обратного осмоса, дающим коэффициент обезвреживания около 10.

Основная цель при обработке воды прудов — поддержание ее чистоты. Наиболее часто система очистки предусматривает фильтрование через мелкозернистые, патронные или намывные фильтры, последние в этом случае в качестве фильтрующего слоя имеют инертный материал или ионообменные смолы.

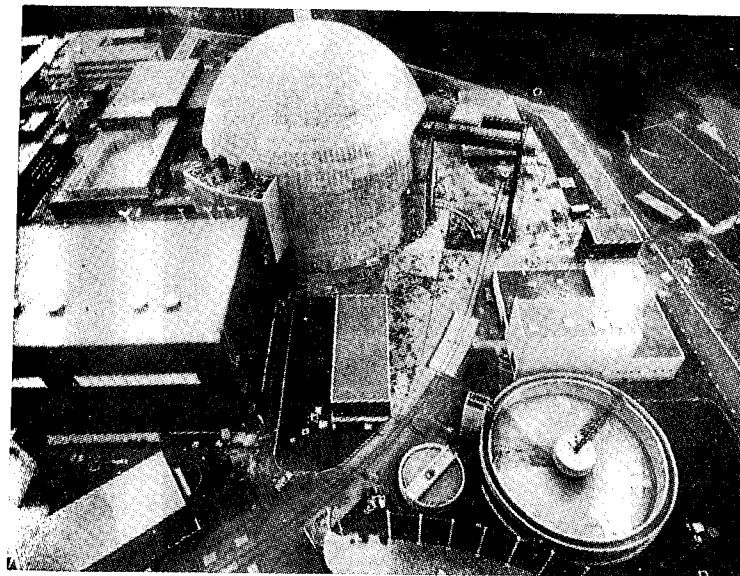


Рис. 25.30. Ядерная установка 970 МВт, Гесген (Швейцария). Подготовка воды для охлаждающей системы. Производительность 3000 м<sup>3</sup>/ч

Все варианты обезвреживания воды должны обеспечить удаление радиоактивных веществ в наиболее концентрированном виде. Твердые остатки (осадок после флокуляции, насыщенные ионообменные смолы) могут быть захоронены после стабилизации; жидкие остатки обычно концентрируют выпариванием.

Для получения концентратов необходимо полностью использовать возможности применяемого метода, часто имеет смысл комбинация двух или более методов, например фильтрования через намывные фильтры и деминерализации на ионообменных смолах.

## 25.8.3. ПРОИЗВОДСТВО УДОБРЕНИЙ И ФОСФОРНОЙ КИСЛОТЫ

Большинство технологических процессов получения удобрений сопровождается образованием специфических сточных вод, общим признаком которых является присутствие в них либо аммиака, нитратов и мочевины, либо фосфатов, фторидов и кремния. Наиболее часто образуются следующие виды сточных вод:

*сточные воды от производства суперфосфата* образуются в процессе обработки трехосновного фосфата кальция серной кислотой (простой суперфосфат), а затем фосфорной кислотой (тройной суперфосфат). Вода, подлежащая обработке, имеет кислую реакцию среды и содержит  $H_2SO_4$  и  $H_2SiF_6$ , которые в



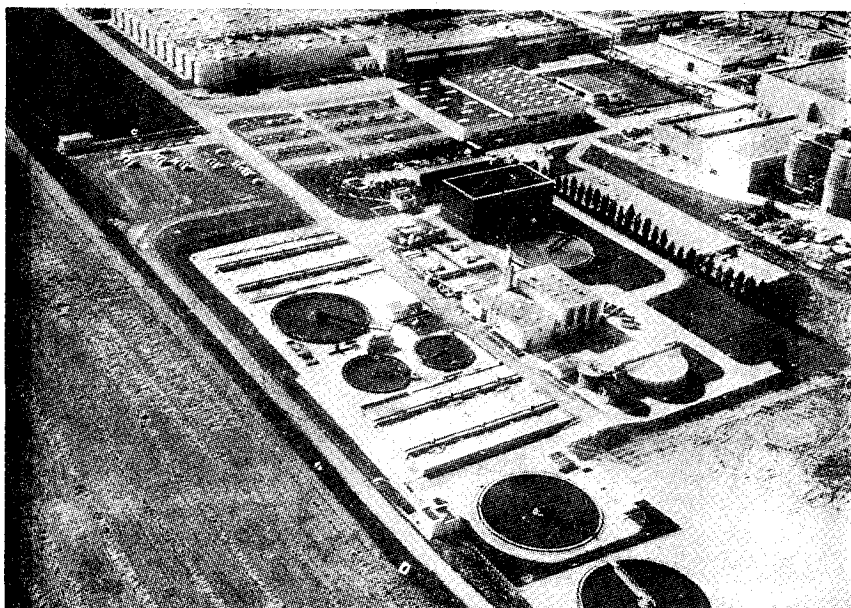


Рис. 25.31. Обработка производственных сточных вод. Пивоваренный завод Кроненбурга в Оберне (Франция). Производительность 14 600 м<sup>3</sup>/сут

процессе нейтрализации превращаются в  $\text{CaF}_2$  и  $\text{SiO}_2$ . Этот кремнесодержащий осадок имеет вид объемного геля;

*сточные воды от производства фосфорной кислоты* сбрасываются от операции интенсивной обработки фосфорита серной кислотой. Этот срок представляет собой жидкую глинистую массу ангидрита сернокислого кальция (фосфогипса) и имеет кислую реакцию. После его нейтрализации известью в осадок выпадают различные фосфаты, фтористый кальций и силикагель;

*сток от операции осушки* при производстве безводной фосфостукатурки, получаемой дегидратацией вышеупомянутого фосфогипса. В зависимости от того, кислота или щелочь используется для операции промывки, образуются сточные воды, содержащие  $\text{HF}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  или  $\text{NaF}$ ,  $\text{Si}(\text{OH})_4$  и  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ . Реакции, происходящие при обработке стока, подобны тем, что происходят в сточной воде от очистки газов электролиза криолита. Для этих реакций требуется большой расход извести, и они сопровождаются образованием обильного осадка, который трудно отстаивается и обезвоживается;

*конденсаты от процессов синтеза аммиака* с высокой концентрацией карбоната и бикарбоната аммония. Конденсаты могут подвергаться отгонке с последующей очисткой (после охлаждения) на карбоксильных ионообменных смолах. Затем конденсаты можно возвращать в котельную в пределах, ограниченных

содержанием в них (иногда значительным) органических веществ (метанола, метиламина и т. д.);

*стоки от производства нитрата аммония*, которые включают конденсаты от дистилляции азотистых паров (2—3 г/л  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и 150—250 мг/л  $\text{NH}_3$ ) и воды от мытья цеха, содержащие большое количество нитратов. В зависимости от концентрации эти стоки могут направляться на установки обратного осмоса или дистилляции;

*стоки от производства мочевины* представляют собой конденсаты, содержащие 8—16 г/л мочевины и 0,5—1 г/л  $\text{NH}_3$ . Для их очистки применима отгонка или щелочной гидролиз. Расходы пара и каустической соды для этих процессов велики. Полная очистка достигается при включении в схему очистных сооружений стадии биологической очистки.

#### 25.8.4. СТОЧНЫЕ ВОДЫ ДРУГИХ ПРОИЗВОДСТВ

Характеристика сточных вод других производств дана в табл. 25.8.

ТАБЛИЦА 25.8

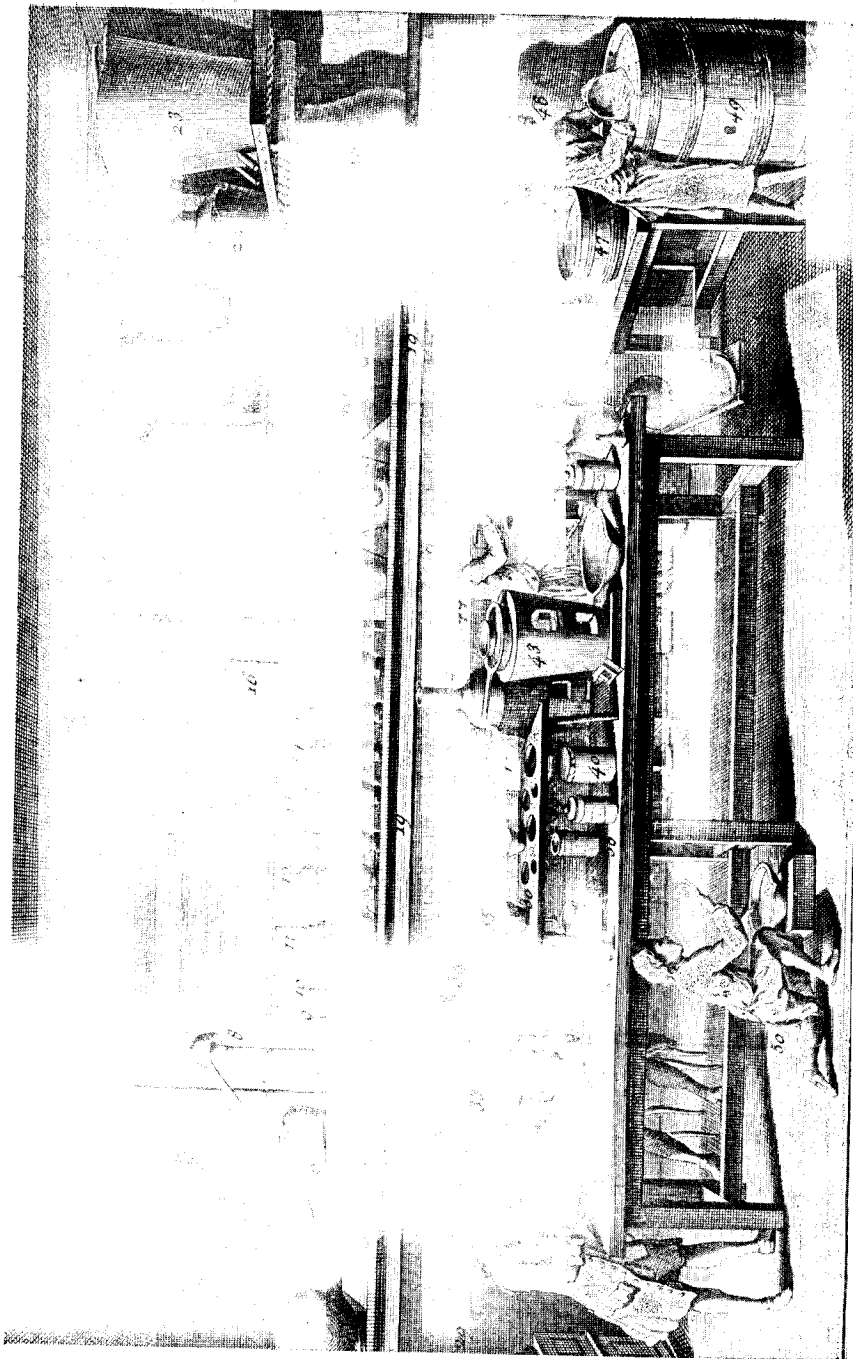
Производство	Источник образования сточных вод	Характеристика загрязнений
Производство стекла и зеркал	Матирование стекла, декорирование и придание формы Распиловка, полировка, отделка	Высокая кислотность из-за присутствия $\text{HF}$ , $\text{NH}_4\text{HF}_2$ Корунд, пемза, наждачный порошок, оксид церия; гранит
Стекловолокно	Производство и об-масливание волокон	Высокая концентрация взвешенных веществ, БПК и ХПК вследствие присутствия декстрина, желатина, силиконов, разнообразных ацетатов, фенольных смол
Абразивы на основе	Приготовление свя-зующих смесей	Фенолформальдегидные и карбамидные смолы, желатина, крахмал, эпоксидные и растворимые смолы Высокая ХПК; средняя загрязненность по БПК и взвешенным веществам
Песчаные карьеры	Просеивание и про-мывка	Воды с повышенной цветностью, содержащие органические и глинистые вещества

Продолжение табл. 25.8

Производство	Источник образования сточных вод	Характеристика загрязнений
Мойка и обслуживание самолетов	Обновление краски Профилактика двигателей	Высокая концентрация по БПК и детергентам; силикаты, фосфаты, хромовая кислота, масла, жиры, фенолы и т. д.
Цементный завод		Взвешенные вещества (глинистая пыль) Высокая щелочность Склонность к затвердению, сгущению
Косметика	Упаковка	Высокое содержание жиров и детергентов ХПК обусловлено растворенными веществами, легко окисляющимися биохимическим путем
Камеры покраски	Промывка газов и улавливание аэрозолей	Высокая щелочность и содержание взвешенных веществ ХПК из-за наличия растворителей
Керамика	Центрифугирование паст Промывка породы	Высокое содержание взвешенных веществ Возможны реакции кристаллизации
Агломерированные волокна		Волокна Высокая ХПК из-за присутствия связующих
Хлорная промышленность Производство ртутных ячеек	Промывка образующихся газов Очистка Потери рассола	В основном примеси металлической и ионизированной ртути Возможна рециркуляция ртути
Вязущие		Клей, смолистые вещества, высокая ХПК Склонность к сгущению

Продолжение табл. 25.8

Производство	Источник образования сточных вод	Характеристика загрязнений
Шины	Изготовление покрышек	Железо и медь Смазочные масла Растворенные масла Травильные стоки
	Синтез резины Изготовление шин	Мыла и соли металлов, растворители Гидравлические масла Жиры
Взрывчатые вещества и пороха	Получение нитросоединений	Высокое содержание серной и азотной кислот; окрашенные воды, содержащие биохимически неразрушаемые вещества Сжигание и обработка на активном угле
	Грануляция и пропитка порохов  Основные и вспомогательные цеха	Этилацетат; нитроцеллюлоза, нитроглицерин, серная кислота, клей, пластификаторы Сток сравнительно хорошо поддается биохимической очистке Соединения фосфора, перхлораты и др.



## 26. ХИМИЯ ВОДЫ И РЕАГЕНТОВ

### 26.1. ОСНОВНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ПОНЯТИЯ

Вещества, встречающиеся в природе, обычно существуют в смеси с другими веществами и могут быть выделены физическими методами или низкоэнергетическими химическими способами.

**Чистым веществом** является такое вещество, которое имеет одинаковые физические свойства во всем объеме вне зависимости от размеров взятого образца.

**Молекула** — это наименьшая часть чистого вещества, обладающая всеми физическими и химическими свойствами, соответствующими чистому веществу. Молекула может быть расщеплена химическими способами, но при больших затратах энергии. В результате расщепления могут быть получены: одинаковые частицы (**атомы**) при распаде простых веществ и различные частицы при распаде химических соединений.

Атом состоит из группы частиц, диаметр атома имеет размеры от 0,1 до 0,5 нм.

Основные частицы — это электрон, протон, нейтрон.

**Электрон** — частица, имеющая отрицательный электрический заряд  $e^- = 1,6 \times 10^{-19}$  Кл. Его масса в состоянии покоя равна  $9,107 \times 10^{-28}$  г. Электрон имеет угловой момент (спин), обуславливающий вращение электрона вокруг собственной оси. Вследствие вращения возникает дипольный магнитный момент, который определяет свойства большинства пара- и ферромагнитных веществ.

**Протон** — положительно заряженная частица ( $e^+ = 1,6 \times 10^{-19}$  Кл) с массой, в 1836 раз большей массы электрона.

**Нейтрон** — электронейтральная частица с массой, практически равной массе протона.

В состав атома входят:

ядро, содержащее  $Z$  протонов и  $N$  нейтронов. Его электрический заряд равен  $Ze^+$ , а размер составляет  $10^{-5}$  нм (приблизительно). Термин **нуклон** используется применительно к протонам или нейтронам. Ядро, представляющее тяжелую часть атома, химически стабильно;

облако, содержащее  $Z$  электронов с электрическим зарядом  $Ze^-$ .

В электронейтральном атоме электроны, притянутые ядром, быстро вращаются вокруг него и образуют облако размером в доли нм.

**Атомное число. Изотопы.** Атомное число — число протонов в ядре. **Массовое число** — это сумма  $Z+N$  (число нуклонов в ядре). Атомная масса равна массовому числу, умноженному на массу одного нуклона.

Два атома, различающихся только числом нейтронов, называются **изотопами**.

Атомы изотопов имеют одинаковые химические свойства, поскольку они содержат равное число протонов. Различается только их химическая кинематика.

Для различения изотопов указывают их примерную атомную массу, которую пишут слева и сверху по отношению к символу атома. Например:  ${}^1\text{H}$  — легкий водород и  ${}^2\text{H}$  — тяжелый водород (дейтерий);  ${}^{35}\text{Cl}$  и  ${}^{37}\text{Cl}$ .

**Атомная масса элемента. Моль.** Масса атома выражается как сумма масс нуклонов; такое приближение достаточно для обычной химии. Численное значение массы атома очень мало и неудобно для использования, а потому обычно используется относительная атомная масса.

На 14-й конференции Палаты мер и весов, состоявшейся в 1971 г., за основу атомной массы был принят изотоп  ${}^{12}\text{C}$ .

Взамен атомной массы пользуются понятием массы моля элемента. Моль определяется как количество вещества в системе, содержащей такое же число атомов, какое содержат 12 г углерода  ${}^{12}\text{C}$  (символ моля). Если используется понятие моля, то оно может относиться к атомам, молекулам, ионам, электронам, другим частицам или специфическим группам таких частиц.

Моль как единица количества вещества, так же как единица массы килограмм, является одной из основных в системе СИ с 1917 г. Число атомов, составляющих один моль элемента, равно  $6,023 \times 10^{23}$  (число Авогадро).

Термин моль заменяет термины грамм-атом, грамм-молекула и грамм-ион; это означает, что масса одного моля углерода  ${}^{12}\text{C}$  составляет точно 12 г, а масса одного моля атома хлора — 35,453 г; количество вещества, составляющего 1 кг  $\text{H}_2\text{O}$ , содержит 55,533 моля.

Молярная масса вещества определяется как масса этого вещества, деленная на его количество; выражается в граммах на моль (г/моль).

Свойства химических элементов не являются случайными, они зависят от электронной структуры атома: два разных атома с идентичным внешним электронным слоем имеют сходные химические свойства (группа щелочных металлов, группа галогенов и т. п.).

На этом сходстве химических свойств основана периодическая таблица элементов (таблица Менделеева).

**Грамм-эквивалент**, или эквивалентная масса, равна массе единицы количества вещества (одного моля), деленной на чис-

	1	2	3	4	5	6		6	7
2	He 4,00260	Ne 20,179	Ar 39,948	Kr 83,80	Xe 131,30	Rn (222)		Lu 174,97	Lr (261)
10		F 18,9984	Cl 35,453	Br 79,904	I 126,9045	At (210)		Yb 173,04	No (289)
8		O 15,9994	S 32,06	Se 78,96	Te 127,60	Po (209)		Tm 168,9342	Md (288)
7		N 14,0067	P 30,9738	As 74,9216	Sb 121,75	Bi 208,9804		Er 167,26	Fm (257)
6		C 12,011	Si 28,086	Ge 72,59	Sn 118,69	Pb 207,2		Ho 164,9303	Es (254)
5		B 10,81	Al 26,9815	Ga 69,72	In 114,82	Tl 204,37		Dy 162,50	Cf (251)
13			Al 26,9815						
30				Zn 65,37	Cd 112,40	Hg 200,53			
29				Cu 63,546	Ag 107,868	Au 196,9665			
28				Ni 58,71	Pd 106,4	Pt 195,08			
27				Co 58,9332	Rh 102,9055	Ir 192,22			
26				Fe 55,847	Ru 101,07	Os 190,2			
25				Mn 54,9380	Tc 98,9062	Re 186,2			
24				Cr 51,996	Mo 95,94	W 183,85			
23				V 50,9414	Nb 92,9064	Ta 180,9479			
22				Ti 47,88	Zr 91,22	Hf 178,49			
21				Sc 44,9559	Y 88,9059	La 138,9055			
20				Ca 40,08	Sr 87,62	Ba 137,34			
19				K 39,098	Rb 85,468	Cs 132,905			
18				Ar 39,948	Kr 83,80	Xe 131,30			
17				Cl 35,453	Br 79,904	I 126,9045			
16				S 32,06	Se 78,96	Te 127,60			
15				P 30,9738	As 74,9216	Sb 121,75			
14				Si 28,086	Ge 72,59	Sn 118,69			
13				Al 26,9815	Ga 69,72	In 114,82			
12				Be 9,01218	Mg 24,306				
11				Li 6,941	Na 22,9898				
10				He 4,00260	Ne 20,179				
9									
8									
7									
6									
5									
4									
3									
2									
1									
89									
88									
87									
86									
85									
84									
83									
82									
81									
80									
79									
78									
77									
76									
75									
74									
73									
72									
71									
70									
69									
68									
67									
66									
65									
64									
63									
62									
61									
60									
59									
58									
57									
56									
55									
54									
53									
52									
51									
50									
49									
48									
47									
46									
45									
44									
43									
42									
41									
40									
39									
38									
37									
36									
35									
34									
33									
32									
31									
30									
29									
28									
27									
26									
25									
24									
23									
22									
21									
20									
19									
18									
17									
16									
15									
14									
13									
12									
11									
10									
9									
8									
7									
6									
5									
4									
3									
2									
1									

Периодическая система элементов

ло зарядов ионов одного знака, могущих образоваться в водном растворе вещества.

Например, молекула ортофосфорной кислоты ( $H_3PO_4$ ) образует ионы с тремя положительными и тремя отрицательными зарядами. Один грамм-эквивалент  $H_3PO_4$  поэтому равен одной трети массы моля  $H_3PO_4$ .

Грамм-эквивалент не включен в последнее издание Организации международных стандартов (ISO 1973) и Международной организации теоретической и прикладной химии (IUPAC 1975). Это понятие, однако, оставлено в данной книге, поскольку оно используется в определениях и в повседневной практике обработки воды.

**Формулы соединений.** Вещества описываются формулами, в которые входят символы элементов, составляющих эти вещества. Если число атомов элементов, составляющих вещество, неодинаково, то численная пропорция различных атомов указывается индексами. Индексы записываются справа и снизу от символа элемента. Например:  $H_2O$  — два атома водорода и один атом кислорода.

Формула органических соединений часто указывает, каким образом в молекуле объединены группы атомов. Например, формула  $CH_3COOH$ , обозначающая уксусную кислоту, показывает, что группа  $CH_3$  соединена с атомом углерода, который, в свою очередь, соединен с одним атомом кислорода и группой  $OH$ .

**Правила написания формул.** Полный свод правил номенклатуры неорганической химии, разработанный Международной организацией теоретической и прикладной химии, был опубликован Химическим обществом Франции (специальный бюллетень, датированный февралем 1975 г.).

Основные правила изложены ниже.

**2.15.** В формулах электроположительный компонент (катион) должен быть всегда написан первым, например  $KCl$ ,  $CaSO_4$ . Если вещество содержит два или более электроположительных или электроотрицательных компонента, то последние должны быть расположены в алфавитном порядке символов. Кислоты рассматриваются как соли водорода, например  $H_2SO_4$  и  $H_2PtCl_6$  (см. далее пп. 6.2 и 6.32.3 для определения положения водорода).

**2.16.1.** В бинарных соединениях неметаллов первым должен быть написан компонент, который раньше стоит в следующем перечне:  $B$ ,  $Si$ ,  $C$ ,  $Sb$ ,  $As$ ,  $P$ ,  $N$ ,  $H$ ,  $Te$ ,  $Se$ ,  $S$ ,  $At$ ,  $J$ ,  $Br$ ,  $Cl$ ,  $O$ ,  $F$ .

Пример:  $NH_3$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $ClO_2$ ,  $OF_2$ .

**6.2.** Соли, содержащие атомы водорода, кислоты. Названия таких солей образуются путем вставки слова «водородо» перед наименованием аниона, что указывает на присутствие в соли незамещенного водорода. Эти соли не следует называть кислыми солями.

ТАБЛИЦА 26.1. МОЛЯРНАЯ МАССА ОСНОВНЫХ СОЛЕЙ

Вещество	Формула	Молярная масса, г/моль
Сульфат алюминия	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$	666,4
Нитрат аммония	$NH_4NO_3$	80,0
Нитрит аммония	$NH_4NO_2$	64,0
Сульфат аммония	$(NH_4)_2SO_4$	132,1
Гидроксид бария	$Ba(OH)_2 \cdot 8 H_2O$	315,5
Карбонат бария	$BaCO_3$	197,4
Хлорид бария	$BaCl_2 \cdot 2 H_2O$	244,3
Карбонат кальция	$CaCO_3$	100,1
Гидрокарбонат кальция	$Ca(HCO_3)_2$	162,1
Хлорид кальция	$CaCl_2 \cdot 6 H_2O$	219,1
Сульфат кальция	$CaSO_4 \cdot 2 H_2O$	172,2
Сульфат меди	$CuSO_4 \cdot 5 H_2O$	249,7
Хлорид железа (III)	$FeCl_3 \cdot 6 H_2O$	270,3
Сульфат железа (II)	$FeSO_4 \cdot 7 H_2O$	278,0
Сульфат железа (III)	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9 H_2O$	562,0
Карбонат свинца	$PbCO_3$	267,2
Сульфат свинца	$PbSO_4$	303,2
Карбонат магния	$MgCO_3$	84,3
Хлорид магния	$MgCl_2 \cdot 6 H_2O$	203,3
Сульфат магния	$MgSO_4 \cdot 7 H_2O$	246,5
Гидроксид марганца	$Mn(OH)_2$	89,0
Карбонат марганца	$MnCO_3$	115,0
Нитрат калия	$KNO_3$	101,1
Перманганат калия	$KMnO_4$	158,0
Фосфат калия	$K_3PO_4$	212,3
Хлорид серебра	$AgCl$	143,3
Алюминат натрия	$Na_2Al_2O_4$	164,0
Гидрокарбонат натрия	$NaHCO_3$	84,0
Карбонат натрия	$Na_2CO_3$	106,0
То же	$Na_2CO_3 \cdot 10 H_2O$	286,1
Хлорид натрия	$NaCl$	58,4
Динатрий ортофосфат	$Na_2HPO_4 \cdot 12 H_2O$	358,1
Тринатрий ортофосфат	$Na_3PO_4 \cdot 12 H_2O$	380,1

Примечание. Молярные массы других соединений, также используемых в обработке воды, приведены в табл. 27.1.

Примеры:  $NaHCO_3$  — гидрокарбонат натрия (натрий водородокарбонат);  $LiH_2PO_4$  — однозамещенный ортофосфат лития (литий диводородофосфат);  $KHS$  — гидросульфид калия (калий водородосульфид).

**6.3.** Двойные и тройные соли.

**6.31.** Катионы. Все катионы в формулах должны предшествовать анионам.

**6.32.1.** Катионы, за исключением водорода, должны быть написаны в алфавитном порядке; порядок в написании и чтении формулы может быть различным. Пример:  $KNaCO_3$  — натрий калий карбонат.

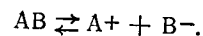
**6.32.3.** Водород кислоты. Водород пишется последним среди катионов, если не следует применить правило 6.2. Пример:

$\text{NaNH}_4\text{HPO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  — натрий-аммоний водородофосфат с четырьмя молекулами воды.

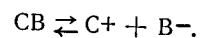
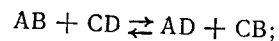
**6.33. Анионы.** Анионы должны быть написаны в алфавитном порядке; порядок написания и чтения формулы может быть различным.

**Свойства электролитов в растворе. Диссоциация.** Знание законов химического равновесия в водной среде — одна из основ науки по обработке воды.

Неорганические соединения, растворимые в воде, диссоциируют в большей или меньшей степени с образованием противоположно заряженных ионов. Растворенное вещество называется электролитом и способствует прохождению через раствор электрического тока:

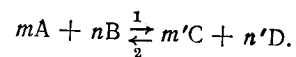


Если раствор содержит ряд электролитов, то каждый диссоциирует в определенной степени, и ионы могут комбинироваться с образованием новых соединений. Например, если два соединения АВ и CD растворимы, то в растворе могут находиться определенные количества молекул АВ, CD, AD и СВ в равновесии с ионами  $\text{A}^+$ ,  $\text{B}^-$ ,  $\text{C}^+$  и  $\text{D}^-$ . Равновесие может измениться, если образуются нерастворимые соединения, комплексы или газы (закон Ле-Шателье). Например, если вещество AD нерастворимо, то равновесие полностью сдвинуто вправо в соответствии с реакцией:



Обычные товарные формы основных реагентов даны в табл. 26.2.

**Закон действия масс.** Равновесную химическую реакцию можно представить в виде уравнения



Скорость реакции 1 может быть записана соотношением

$$V_1 = k_1 (\text{A})^m (\text{B})^n;$$

скорость реакций 2 — соотношением

$$V_2 = k_2 (\text{C})^{m'} (\text{D})^{n'}.$$

В состоянии равновесия  $V_1 = V_2$ , следовательно:

$$k_1 (\text{A})^m (\text{B})^n = k_2 (\text{C})^{m'} (\text{D})^{n'};$$

$$\frac{(\text{A})^m (\text{B})^n}{(\text{C})^{m'} (\text{D})^{n'}} = \frac{k_2}{k_1} = K.$$

ТАБЛИЦА 26.2. ОБЫЧНАЯ ТОВАРНАЯ ФОРМА ОСНОВНЫХ РЕАГЕНТОВ

Наименование товарного продукта	Химическая формула	Плотность, г/см <sup>3</sup> , или состояние	Концентрация, % по массе или г/л		
Кислоты	Соляная	HCl	1,18	35,4% HCl	
	Азотная	HNO <sub>3</sub>	1,35—1,36	56—58% HNO <sub>3</sub>	
	Фосфорная	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1,45	45% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
	»	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1,72	65% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
	Серная	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,83	92,3% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
	»	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,84	98% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	
Щелочи	Известь, оксид кальция	CaO	Негашеная известь (кусовая или порошкообразная)	80—95% CaO	
	Известь, гидроксид кальция	Ca(OH) <sub>2</sub>	Просеянная (порошкообразная)	85—97% Ca(OH) <sub>2</sub>	
	Каустическая сода	NaOH	Кусковая	98% NaOH	
				485 г/л NaOH	
				590 г/л NaOH	
				715 г/л NaOH	
	Реагенты для осветления воды	Хлорное железо	FeCl <sub>3</sub> ·6 H <sub>2</sub> O	Кристаллическое	60% FeCl <sub>3</sub>
		То же	FeCl <sub>3</sub>	»	99% FeCl <sub>3</sub>
		То же, 39—41%-ный раствор		1,41—1,45	596 г/л FeCl <sub>3</sub>
		Хлорсульфат железа	FeClSO <sub>4</sub>	1,6	594 г/л FeCl <sub>3</sub>
Основной хлорид алюминия (WAC)		Al <sub>n</sub> (OH) <sub>m</sub> Cl <sub>3n-m</sub>	1,2	10% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Сульфат алюминия		Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18H <sub>2</sub> O	Кристаллический	17,2% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
То же, 7,5—8,5%-ный раствор			1,3	8,3% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
Силикат натрия		n SiO <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> O	Кристаллический	60% SiO <sub>2</sub>	
То же, 25%-ный раствор			1,33	330 г/л SiO <sub>2</sub>	
То же, 28%-ный раствор			1,37	380 г/л SiO <sub>2</sub>	
Реагенты для снижения жесткости и удаления кремния	Алюминат натрия	1,4 Na <sub>2</sub> O, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , nH <sub>2</sub> O	1,48	21% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	То же		Кристаллический	40% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
	Карбонат натрия	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Порошкообразный	99% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
	То же	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10 H <sub>2</sub> O	Кристаллический	36% Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
Хлорид магния	MgCl <sub>2</sub> ·6 H <sub>2</sub> O	MgO	»	19% MgO	
			Порошкообразная	98% MgO	



Наименование товарного продукта	Химическая формула	Плотность, г/см <sup>3</sup> , или состояние	Концентрация, % по массе или г/л
Реагенты для дезинфекции	Хлорит натрия	NaClO <sub>2</sub>	Кристаллический 80% NaClO <sub>2</sub>
	То же, 25%-ный раствор		1,15 375 г/л активного Cl <sub>2</sub>
	То же, 7,5%-ный раствор		1,05 300 г/л NaClO <sub>2</sub> 112 г/л активного Cl <sub>2</sub>
	Гипохлорит натрия (47—50 хлорометрических градусов)	NaOCl	149—159 г/л активного Cl <sub>2</sub> (приблизительно)
Реагенты для кондиционирования	Гипохлорит кальция	Ca(OCl) <sub>2</sub>	Кристаллический 600 г/л активного Cl <sub>2</sub>
	Бисульфит натрия	NaHSO <sub>3</sub>	1,32 23—24% SO <sub>2</sub>
	Метабисульфит натрия	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Кристаллический 60—62% SO <sub>2</sub>
	Фосфат натрия двухосновной	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12 H <sub>2</sub> O	То же 20% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Фосфат натрия трехосновной	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12 H <sub>2</sub> O	» 20% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Реагенты разного назначения	То же, безводный	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	» 40% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	Сульфит натрия	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> ·7 H <sub>2</sub> O	» 23—24% SO <sub>2</sub>
	То же, безводный	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	» 48% SO <sub>2</sub>
	Хлорид алюминия	AlCl <sub>3</sub> ·6 H <sub>2</sub> O	» 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Морская соль	NaCl	» 97% NaCl

Так записывается закон действия масс. Величина *K* называется термодинамической константой диссоциации; (A), (B), (C) и (D) представляют собой активности веществ в растворе.

**Титрованные растворы.** Для удобства вычисления в определениях объемными методами в качестве единицы концентрации принимают нормальный раствор.

**Нормальный раствор** — это раствор, содержащий 1 грамм-эквивалент соответствующего реагента в 1 л. Используются также растворы концентрации, большей или меньшей однонормального [2 н., (1/10) н., (1/25) н., (1/100) н. и т. д.].

Если реагирует электролит, объем раствора которого *V*<sub>1</sub> и нормальность *N*<sub>1</sub>, с другим электролитом, нормальность которого *N*<sub>2</sub>, то объем *V*<sub>2</sub> определяется из соотношения

$$N_1 V_1 = N_2 V_2.$$

**Единицы концентрации.** В практике часто используется единица концентрации миллиграмм-эквивалент на литр (мг-экв/л); такая концентрация получается при растворении одной тысячной грамм-эквивалента вещества в 1 л раствора. Она составляет (1/1000) н.

**Французский градус**, который соответствует концентрации (1/5000) н., используется в практике обработки воды.

**Пример.** Раствор соли кальция имеет концентрацию 25 французских градусов, т. е.  $25/5 = 5$  мг-экв/л содержат  $40 \times 5 / (2 \times 1000) = 0,1$  г/л кальция Ca (молярная масса 40 г/моль и валентность 2).

**Измерение pH** (см. определение в п. 1.2.1.4).

*а. Электрометрические измерения.* Величина pH может быть измерена с помощью стеклянного электрода в паре с электродом сравнения, погружаемых в анализируемую жидкость; возникающая разность потенциалов зависит от pH раствора. Разность потенциалов передается на электронный милливольтметр, градуированный непосредственно в единицах pH. Такие приборы могут быть достаточно точно откалиброваны по соответствующим растворам; к наиболее часто используемым относятся следующие буферные растворы:

HCl 0,1 н. (буфер H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> /H <sub>2</sub> O)	1
HCl 0,1 н.	2
Хлоруксусная кислота 1 н.	4,8
Уксусная кислота 1 н.	7,4
Насыщенный раствор NaHCO <sub>3</sub> , насыщенный CO <sub>2</sub>	9,2
(NH <sub>4</sub> Cl + NH <sub>3</sub> ) 1 н.	12
NaOH 0,01 н. (буфер H <sub>2</sub> O/OH <sup>-</sup> )	13
NaOH 0,1 н.	13

Величина pH буферного раствора может быть откорректирована варьированием относительных пропорций кислоты и щелочи; значение pH может быть подсчитано из соотношения

$$pH = pK + \lg \frac{\text{Концентрация щелочи}}{\text{Концентрация кислоты}}$$

*б. Использование окрашенных индикаторов.* Величина pH может быть определена с помощью окрашенных индикаторов, интенсивность окраски которых сравнивается с набором окрашенных стандартных растворов с известными значениями pH.

Используют также «универсальный» бумажный индикатор и смешанный индикатор, состоящий из смеси индивидуальных индикаторов, с помощью которых величина pH может быть измерена с точностью до единицы.

Окрашенные индикаторы применимы для измерения pH лишь в слабо минерализованных водах; в противном случае предпочтение отдается электрометрическому методу.

**Измерение окислительно-восстановительного потенци-**

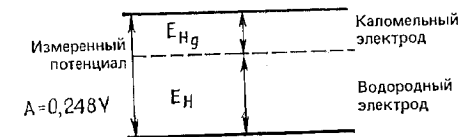


Рис. 26.1. Измерение окислительно-восстановительного потенциала

ТАБЛИЦА 26.3. ОСНОВНЫЕ ОКРАШЕННЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Название	Концентрация раствора, растворитель	Окраска в среде кислой — щелочной	pH при переходе окраски
Тимоловый синий	1‰, вода	Красная — желтая	1,2—2,8
Метиловый оранжевый, или гелиантин	1‰, вода	Красная — оранжевая — желтая	3,1—4,4
Бромфеноловый синий	1‰, вода	Желтая — голубая	3,0—4,6
Бромкрезоловый зеленый	1‰, спирт	Желтая — голубая	3,8—5,4
Метиловый красный	2‰, спирт	Красная — желтая	4,2—6,2
Хлорфеноловый красный	1‰, спирт	Желтая — красная	4,8—6,4
Бромтимоловый синий	1‰, спирт	Желтая — голубая	6,0—7,6
Феноловый красный	1‰, спирт	Желтая — красная	6,4—8,0
Крезоловый красный	1‰, спирт	Красно-желтая — коричневая	7,2—8,8
Тимоловый синий	1‰, спирт	Желтая — голубая	8,0—9,6
Фенолфталеин	1‰, спирт	Бесцветная — розовая	8,2—9,4
Тимолфталеин	1‰, спирт	Бесцветная — голубая	9,3—10,5

ала (определение см. в п. 3.1.4.3). Окислительно-восстановительный потенциал измеряется с помощью пары электродов, соединенных с электронным милливольтметром. Один из электродов обычно изготавливается из некорродирующего материала (платины или золота). Другой является электродом сравнения (обычно это каломельный электрод). Окислительно-восстановительный потенциал выражается в вольтах.

Замеренный потенциал  $E_{Hg}$  (положительный или отрицательный по отношению к каломельному электроду) сравнивают с потенциалом водородного электрода  $E_H$ . При этом следует помнить, что потенциал каломельного электрода по отношению к водородному составляет 0,248 В при 20 °С.

Величина  $rH$  (окислительно-восстановительная мощность) рассчитывается по уравнению, выведенному из уравнения Нернста (рис. 26.1):

$$rH = \frac{E_H}{0,029} + 2pH = \frac{A \pm E_{Hg}}{0,029} + 2pH.$$

ТАБЛИЦА 26.4. УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, Ом·см

Температура, °С	(1/50) н. KCl	(1/100) н. KCl
15	446	872
16	436	852
17	426	834
18	417	817
19	408	800
20	400	782
21	392	766
22	384	751
23	376	736
24	369	721
25	362	708

Индекс насыщения Ланжелье

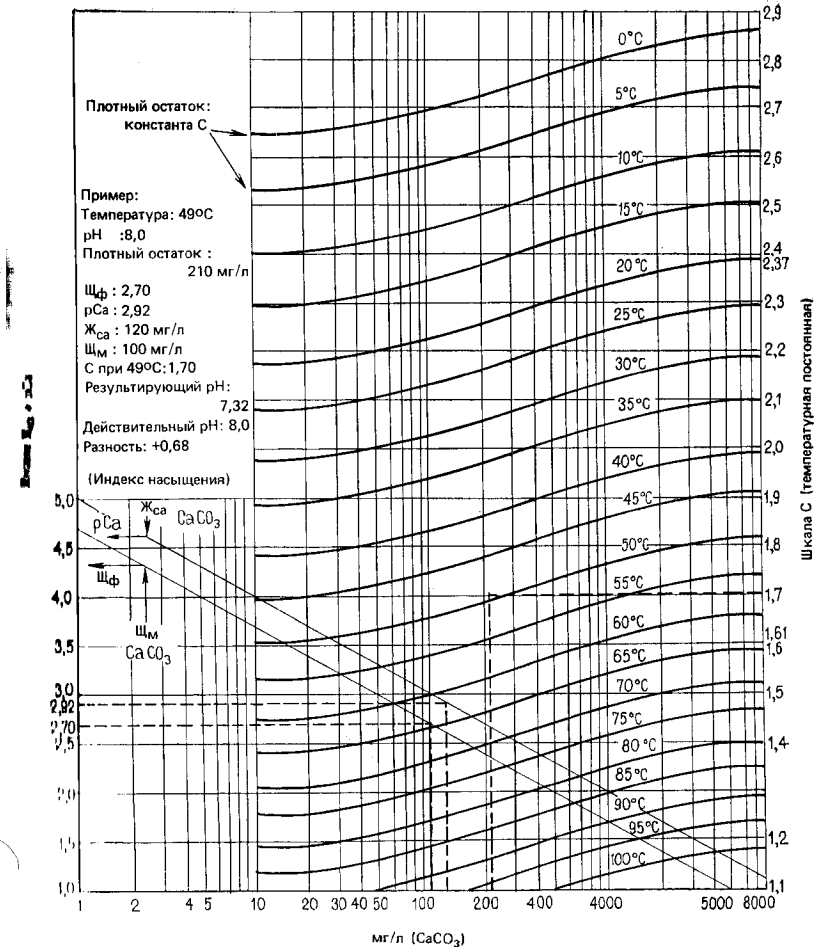
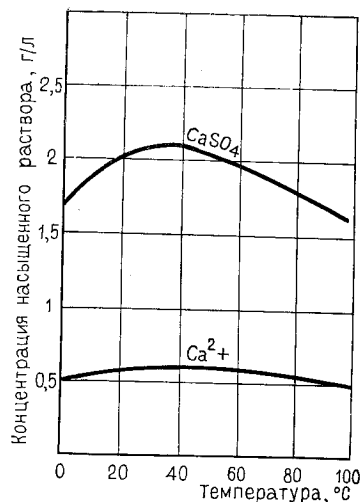


Рис. 26.2. Диаграмма Ланжелье (взята из книги Шеппарда, Т. Пауэлла «Кондиционирование воды в промышленности». Изд-во Мак-Гроу-Хилл, 1954)

Измерение удельного сопротивления и электрической проводимости. Удельное сопротивление измеряют с помощью пары электродов, соединенных через усилитель с индикатором. Полиризация сводится к минимуму путем использования переменного сигнала соответствующей частоты.

В кондуктометрической ячейке константа сосуда  $K$  зависит от его формы. Периодически производят повторную калибровку ячейки по (1/50) н. или (1/100) н. раствору хлорида калия.

$$\text{Константа сосуда } K = \frac{\text{Теоретическое сопротивление}}{\text{Замеренное сопротивление}}$$



Удельное сопротивление измеряют в Ом·см, удельную электрическую проводимость — величину, обратную удельному сопротивлению, — в См/м (чаще в мкСм/см).

Рис. 26.3. Растворимость сульфата кальция в чистой воде в зависимости от температуры

ТАБЛИЦА 26.5. ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ рК СТАНДАРТНЫХ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ РАВНОВЕСИЙ В ВОДЕ ПРИ 25 °С

Вещество	Формула кислотного состояния	Формула основного состояния	рК
Ион оксония	$H_3O^+$	$H_2O$	-1,74
Пирофосфорная кислота	$H_4P_2O_7$	$H_3P_2O_7^-$	0,85
Щавелевая кислота	$H_2C_2O_4$	$HC_2O_4^-$	1,2
Дихлорукусная кислота	$Cl_2CHCO_2H$	$Cl_2CH_2CO_2^-$	1,3
Фосфористая кислота	$H_3PO_3$	$H_2PO_3^-$	1,5—1,8
Гипофосфорная кислота	$H_3PO_2$	$H_2PO_2^-$	1,7
Сернистая кислота	$H_2SO_3$	$HSO_3^-$	1,8
Водородосульфат-ион	$HSO_4^-$	$SO_4^{2-}$	1,9
Ион трехзамещенного пирофосфата	$H_3P_2O_7^-$	$H_2P_2O_7^{2-}$	2,0
Ортофосфорная кислота	$H_3PO_4$	$H_2PO_4^-$	2,2
Мышьяковистая кислота	$H_3AsO_4$	$H_2AsO_4^-$	2,3
Монохлорукусная кислота	$ClCH_2CO_2H$	$ClCH_2CO_2^-$	2,9
Фтористоводородная кислота	$HF$	$F^-$	3,2
Азотистая кислота	$HNO_2$	$NO_2^-$	3,4
Муравьиная кислота	$HCO_2H$	$HCO_2^-$	3,7
Цианистоводородная кислота	$HCNO$	$CNO^-$	3,8
Ион водородооксалата	$HC_2O_4^-$	$C_2O_4^{2-}$	4,1
Бензойная кислота	$C_6H_5CO_2H$	$C_6H_5CO_2^-$	4,2
Ион анилина	$C_6H_5NH_3^+$	$C_6H_5NH_2$	4,6
Аммиак	$NH_3$	$NH_4^+$	4,7
Уксусная кислота	$CH_3CO_2H$	$CH_3CO_2^-$	4,8
Ион алюминия	$Al^{3+}(+H_2O)$	$AlOH^{2+}(+H_2O)$	4,9
Ион гексаметилентетрамина	$(CH_2)_6N_4H^+$	$(CH_2)_6N_4$	4,9

Продолжение табл. 26.5

Вещество	Формула кислотного состояния	Формула основного состояния	рК
Ион пиридина	$C_5H_5NH^+$	$C_5H_5N$	5,15
Ион водородосульфита	$HSO_3^-$	$SO_3^{2-}$	7,1
Ион гидроксиламика	$NH_3OH^+$	$NH_2OH$	6,0
Угльная кислота	$CO_2(+H_2O)$	$HCO_3^-$	6,4
Ион двухзамещенного пирофосфата	$H_2P_2O_7^{2-}$	$HP_2O_7^{3-}$	6,7
Двухзамещенный фосфит-ион	$H_2PO_3^-$	$HPO_3^{2-}$	6,2—6,6
Двухзамещенный арсенат-ион	$H_2AsO_4^-$	$HAsO_4^{2-}$	4,4—7,1
Ион водородохромата	$HCrO_4^-$	$CrO_4^{2-}$	6,4
Сероводород	$H_2S$	$HS^-$	7,1
Ион диводородофосфата (орто)	$H_2PO_4^-$	$HPO_4^{2-}$	7,2
Хлорноватистая кислота	$HClO$	$ClO^-$	7,3
Ион моноводородопирофосфата	$HP_2O_7^{3-}$	$P_2O_7^{4-}$	8,5
Ион цианистоводородной кислоты	$HCN$	$CN^-$	9,1
Ион водородоарсената	$HAsO_4^{2-}$	$AsO_4^{3-}$	9,2—12,0
Мышьяковистая кислота	$HAsO_2$	$AsO_2^-$	9,2
Ион аммония	$NH_4^+$	$NH_3$	9,2
Ортоборная кислота	$HBO_2$	$BO_2^-$	9,3
Ион водородокарбоната	$HSO_3^-$	$CO_3^{2-}$	10,2
Ион моноводородофосфата	$HPO_4^{2-}$	$PO_4^{3-}$	11,9—12,6
Подноватистая кислота	$HJO$	$JO^-$	11,0—12,2
Ион кальция	$Ca^{2+}(+H_2O)$	$CaOH^+$	12,6
Ион водородосульфида	$HS^-$	$S^{2-}$	14,9
Вода	$H_2O$	$OH^-$	15,7
Ион гидроксила	$HO^-$	$O^{2-}$	24,0

Определение рК см. в п. 1.2.1.3.

ТАБЛИЦА 26.6. ВЯЗКОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ ПРИ АТМОСФЕРНОМ ДАВЛЕНИИ

Вещество	Температура, °С	Кинематическая вязкость $\nu$ , м <sup>2</sup> /с
Вода	0	$1,8 \cdot 10^{-6}$
»	20	$1,0 \cdot 10^{-6}$
NaCl (насыщенный рассол)	0	$2,5 \cdot 10^{-6}$
То же	10	$1,8 \cdot 10^{-6}$
Уксусная кислота 100%-ная	20	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Азотная кислота 95%-ная	0	$1,5 \cdot 10^{-6}$
То же	10	$1,2 \cdot 10^{-6}$
Серная кислота, 66 °Боме	-10	$4,4 \cdot 10^{-5}$
То же	0	$2,6 \cdot 10^{-5}$
»	15	$1,7 \cdot 10^{-5}$

Продолжение табл. 26.6

Вещество	Температура, °С	Кинематическая вязкость $\nu$ , м <sup>2</sup> /с
То же	50	6,0·10 <sup>-6</sup>
Соляная кислота, 20—21 °Боме	-10	2,6·10 <sup>-6</sup>
То же	0	2,2·10 <sup>-6</sup>
»	10	2,0·10 <sup>-6</sup>
»	20	1,7·10 <sup>-6</sup>
Содовый щелок 49%-ный	15	7,9·10 <sup>-5</sup>
То же	20	5,4·10 <sup>-5</sup>
»	25	3,6·10 <sup>-5</sup>
Содовый щелок 41%-ный	15	4,5·10 <sup>-5</sup>
То же	20	3,4·10 <sup>-5</sup>
»	25	1,7·10 <sup>-5</sup>
Силикат натрия, 38—40 °Боме	0	5,5·10 <sup>-4</sup>
То же	5	2,9·10 <sup>-4</sup>
»	10	2,05·10 <sup>-4</sup>
»	20	1,13·10 <sup>-4</sup>
Сульфат алюминия, 34 °Боме	8	1,38·10 <sup>-5</sup>
Хлорное железо, 45 °Боме	-15	2,5·10 <sup>-5</sup>
То же	0	1,0·10 <sup>-5</sup>
»	20	3,0·10 <sup>-6</sup>
Воздух	0	1,33·10 <sup>-5</sup>
»	20	1,51·10 <sup>-5</sup>
»	100	2,31·10 <sup>-5</sup>
Кислород	20	1,51·10 <sup>-5</sup>
Хлор	20	4,5·10 <sup>-6</sup>
Насыщенный пар	100 (0,1 МПа)	2,2·10 <sup>-5</sup>
	180 (1,0 МПа)	3,5·10 <sup>-6</sup>
	250 (4,0 МПа)	1,5·10 <sup>-6</sup>

Примечание. Некоторые флокулянты имеют высокую вязкость, это следует учитывать перед их использованием.

## 26.2. ХАРАКТЕРНЫЕ КОНСТАНТЫ РАСТВОРОВ

ТАБЛИЦА 26.7. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПЛОТНОСТЬЮ И КОНЦЕНТРАЦИЕЙ РАСТВОРОВ КИСЛОТ И ЩЕЛОЧЕЙ

Градусы Боме	Плотность	Концентрация, г чистого вещества на 1 л раствора при 15 °С					
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	HNO <sub>3</sub>	NaOH	Аммиак	
						плотность	NH <sub>3</sub>
0	1,000	1,2	2	1,6	0,8	0,998	4,5
0,7	1,005	8,4	12	10,7	5	0,996	10
1,4	1,010	15,7	22	20,0	10	0,994	13,6
2,1	1,015	23	32	28	14	0,9915	19,8
2,8	1,020	31	42	38	19	0,990	22,9
3,5	1,025	39	53	47	23	0,9875	29,6
4,2	1,030	46	64	56	28	0,986	32,5
5,6	1,040	62	85	75	38	0,983	39,3

Градусы Боме	Плотность	Концентрация, г чистого вещества на 1 л раствора при 15 °С					
		H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	HNO <sub>3</sub>	NaOH	Аммиак	
						плотность	NH <sub>3</sub>
0,9	1,050	77	107	94	47	0,982	42,2
0,2	1,060	93	129	113	57	0,979	49
0,4	1,070	109	152	132	67	0,978	51,8
0,7	1,080	125	174	151	78	0,974	61,4
1,0	1,090	142	197	170	88	0,970	70,9
1,1	1,100	158	220	190	99	0,966	80,5
1,3	1,120	191	267	228	121	0,962	89,9
1,5	1,140	223	315	267	143	0,958	100,3
1,7	1,160	257	366	307	167	0,954	110,7
1,9	1,180	292	418	347	191	0,950	121
2,0	1,200	328	469	388	216	0,946	131,3
2,0	1,220	364		431	241	0,942	141,7
2,0	1,240	400		474	267	0,938	152,1
2,0	1,260	436		520	295	0,934	162,7
2,0	1,280	472		568	323	0,930	173,4
3,0	1,300	509		617	352	0,926	184,2
3,0	1,320	548		668	382	0,923	188
3,0	1,340	586		711	412	0,922	195,7
3,0	1,360	624		780	445	0,918	205,6
3,0	1,380	663		843	478	0,914	216,3
3,0	1,400	701		911	512	0,910	225,4
3,0	1,420	739		986	548	0,906	238,3
3,0	1,440	778		1070	584	0,902	249,4
3,0	1,460	818		1163	623	0,898	260,5
3,0	1,480	858		1270	662	0,894	271,5
3,0	1,500	897		1405	703	0,890	282,6
3,0	1,510	916		1474	723		
3,0	1,520	936		1508	744		
3,0	1,530	956			766		

ТАБЛИЦА 26.8. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ПЛОТНОСТЬЮ И КОНЦЕНТРАЦИЕЙ РАСТВОРОВ СОЛЕЙ И ИЗВЕСТКОВОГО МОЛОКА

Градусы Боме	Плотность	Сульфат алюминия	Хлорное железо	Сульфат железа (II)	Карбонат натрия безводный	Хлорид натрия	Гипохлорит натрия (приблизительно)	Известковое молоко (приблизительно)
1	1,007	14	10,1	13,1	6,3	10,1	2,8	7,5
2	1,014	28	20	26,4	13,1	20,5	5,5	16,5
3	1,021	42	29	40,8	19,5	30,5	8	26
4	1,028	57	37	55,5	29	41	10,5	36
5	1,036	73	47	70,5	35,4	51	13,5	46
6	1,044	89	57	85,5	41,1	62	16	56
7	1,051	103	66	102	50,8	73	18,5	65
8	1,059	119	76	116,5	58,8	85	21	75
9	1,067	135	86	132	67,9	97	23	84
10	1,075	152	96	147	76,1	109	25	94
11	1,083	168	106	163	85	121	27,5	104

Продолжение табл. 26.8

Градусы Боме	Плотность	Сульфат алюминия	Хлорное железо	Сульфат железа (II)	Карбонат натрия безводный	Хлорид натрия	Гипохлорит натрия (приблизительно)	Известковое молоко (приблизительно)
12	1,091	184	116	179	93,5	134		
13	1,099	200	126	196	101,2	147	30	115
14	1,108	218	138	213	110,6	160	32	126
15	1,116	235	150	230	122	174	34	137
16	1,125	255	162	247	131	187	36	148
17	1,134	274	174	265	141,5	200	38	159
18	1,143	293	186	284	150,5	215	40	170
19	1,152	312	198	304	162,5	230		181
20	1,161	332	210	324		248		193
21	1,170	351	222	344		262		206
22	1,180	373	236	365		277		218
23	1,190	395	250	387		292		229
24	1,200	417	263	408		310		242
25	1,210	440	279	430				255
26	1,220	462	293	452				268
27	1,230	485	308	473				281
28	1,241	509	323	501				295
29	1,252	534	338					309
30	1,263	558	353					324
32	1,285	609	384					339
34	1,308	663	416					
36	1,332	720	449					
38	1,357		483					
40	1,383		521					
42	1,411		561					
44	1,437		601					
45	1,453		626					
46	1,468		650					

ТАБЛИЦА 26.9. РАСТВОРИМОСТЬ РЕАГЕНТОВ, Г ВЕЩЕСТВА НА 1 Л ВОДЫ

Вещество	Формула	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C
Сульфат алюминия	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ·18 H <sub>2</sub> O	636	659	688	728
Хлорид кальция	CaCl <sub>2</sub>	595	650	745	1020
Сульфат кальция	CaSO <sub>4</sub> ·2 H <sub>2</sub> O	2,22	2,44	2,58	2,65
Сульфат меди	CuSO <sub>4</sub> ·5 H <sub>2</sub> O	233	264	297	340
Хлорид железа	FeCl <sub>3</sub>	744	819	918	—
	FeCl <sub>3</sub> ·6 H <sub>2</sub> O	852	927	1026	—
Сульфат железа (II)	FeSO <sub>4</sub> ·7 H <sub>2</sub> O	282	331	391	455
Перманганат калия	KMnO <sub>4</sub>	28	44	64	90
Фосфат аммония	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	184	219	261	—
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	364	386	408	—
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·2 H <sub>2</sub> O	340	388	—	—
Сульфат аммония	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	413	420	428	—
Карбонат натрия	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ·10 H <sub>2</sub> O	250	305	395	568
Хлорид натрия	NaCl	357	358	360	363

Продолжение табл. 26.9

Вещество	Формула	0 °C	10 °C	20 °C	30 °C
Фторид натрия	NaF	40	—	42,2	—
Гидрокарбонат натрия	NaHCO <sub>3</sub>	69	81,5	96	111
Монофосфат натрия	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2 H <sub>2</sub> O	615	735	888	1010
Динатрийфосфат кристаллический	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> ·12 H <sub>2</sub> O	233	252	293	424
Тринатрийфосфат безводный	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	15	41	110	200
Тринатрий фосфат	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ·12 H <sub>2</sub> O	231	257	326	416
Гидроксид натрия	NaOH	420	515	1090	1190

Примечания. 1. Указана растворимость в отсутствие других солей. 2. Если товарная форма реагента имеет формулу, отличающуюся от показанной в таблице, растворимость следует пересчитать.

ТАБЛИЦА 26.10. РАСТВОРИМОСТЬ ИЗВЕСТИ

Температура, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
CaO, г/л	1,40	1,33	1,25	1,16	1,06	0,97	0,88	0,80	0,71	0,64	0,5
Ca(OH) <sub>2</sub> , г/л	1,85	1,76	1,65	1,53	1,41	1,28	1,16	1,06	0,94	0,85	0,7
Щел раствора внести, град.	250	238	223	207	190	173	157	143	127	115	104

ТАБЛИЦА 26.11. СОСТАВ МОРСКОЙ ВОДЫ (ДАННЫЕ О СОСТАВЕ СТАНДАРТНОЙ МОРСКОЙ ВОДЫ ВЗЯТЫ ИЗ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ КОПЕНГАГЕНА)

Катионы			Анионы		
катион	мг/л	мг-экв/л	анион	мг/л	мг-экв/л
Na <sup>+</sup>	11 035	479,8	Cl <sup>-</sup>	19 841	559,6
Mg <sup>2+</sup>	1330	109,4	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2769	57,6
Ca <sup>2+</sup>	418	20,9	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	146	2,5
K <sup>+</sup>	397	10,2	Br <sup>-</sup>	68	0,9
Sr <sup>+</sup>	13,9	0,3	F <sup>-</sup>	1,4	—

Примечание. Общее солесодержание—36,047 г/л, общая щелочность—119,8 мг-экв/л.

ТАБЛИЦА 26.12. ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСТВОРОВ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , %	Плотность при 15°C, кг/л	Градуусы Боме	Температура плавления, °C	Температура кипения, °C	Удельная теплоемкость при 18°C, кДж/кг	Теплота растворения, кДж/моль	Формула
5	1,033	4,6	- 2	101	3,992	71,06	
10	1,068	9,1	- 5	102	3,857	70,22	
15	1,104	13,5	- 8	103,5	3,666	68,97	
20	1,142	18,0	-14	105	3,532	70,22	
25	1,182	22,2	-22	106,5	3,361	67,72	
30	1,222	26,2	-36	108	3,200	65,62	
35	1,264	30,1	-58	110	3,026	63,54	
40	1,306	33,6	-68	114	2,830	61,03	
45	1,352	37,6	-48	116,5	2,688	58,52	
50	1,399	41,1	-37	124	2,533	56,01	
55	1,449	44,7	-29	130	2,383	53,09	
60	1,502	48,2	-29	141,5	2,236	49,74	
65	1,558	51,7	-47	153,5	2,107	46,40	
68	1,592	53,7	-50	159	2,015	43,89	
68,5	1,598	54	-45	160,5	2,011	43,47	
69	1,604	54,3	-43	162	1,998	43,05	
69,5	1,609	54,6	-42	163,5	1,994	42,64	
70	1,615	54,9	-41	165	1,985	42,22	
70,5	1,621	55,3	-40	166,5	1,977	41,8	
71	1,627	55,6	-40,5	168	1,969	41,38	
71,5	1,633	55,9	-40	169,5	1,965	40,96	
72	1,639	56,3	-39	171,5	1,956	40,55	
72,5	1,644	56,5	-39	173	1,948	40,13	
73	1,650	56,80	-39	175	1,939	39,71	
73,5	1,656	57,2	-39,5	176,5	1,935	39,29	
74	1,662	57,5	-40	178	1,931	38,87	
74,5	1,668	57,8	-40	180	1,923	38,46	
75	1,674	58,1	-41	182	1,873	38,04	
80	1,733	61,0	- 1	202	1,772	32,6	
85	1,784	63,4	+ 7	225	1,735	27,17	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> O
90	1,82	65,0	- 6	255	1,659	18,39	
91	1,825	65,2	-11	268	1,597	16,72	
92	1,829	65,4	-24	274,5	1,584	14,63	
93	1,833	65,6	-38	281,5	1,513	12,54	2H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +H <sub>2</sub> O
94	1,836	65,7	-28	288,5	1,496	10,87	
95	1,839	65,8	-19	295	1,484	8,78	
96	1,8406	65,9	-11	307,5	1,450	7,11	
97	1,8414	65,94	- 5	317,5	1,434	5,02	
98	1,8411	66,92	0	326	1,404	2,93	
99	1,8393	65,85	+ 6	333	1,409	1,25	
100	1,8357	65,72	+10,4	338	1,400	—	
17% SO <sub>3</sub>	1,9000		-11				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
45% SO <sub>3</sub>	2,000		+35				4H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +SO <sub>3</sub>
60% SO <sub>3</sub>	2,020		0				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +SO <sub>3</sub>
100SO <sub>3</sub>	1,980		+40				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> +2SO <sub>3</sub>
							SO <sub>3</sub>

Примечание. Следует обратить внимание на образование различных гидратов с заметно отличающимися точками плавления. Требуется особая осторожность, чтобы избежать замерзания в накопительных емкостях концентрированной серной кислоты и олсума.

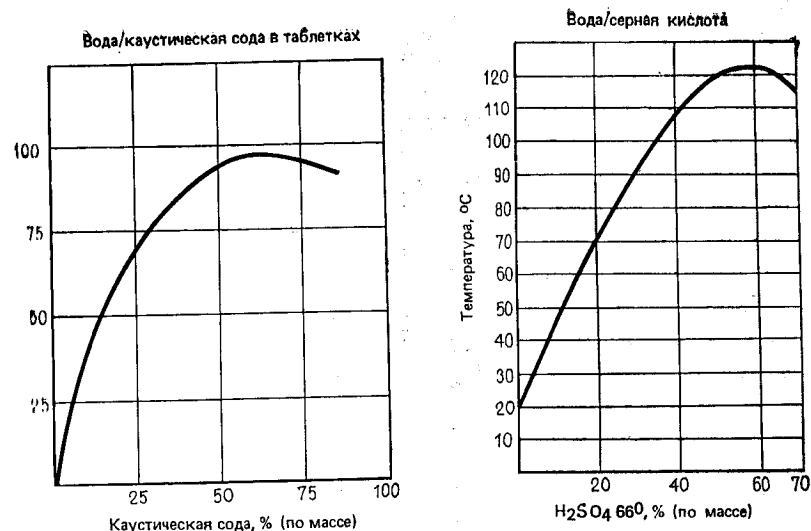


рис. 26.4 и 26.5. Экзотермические реакции (максимальная температура, развивающаяся при смешении)

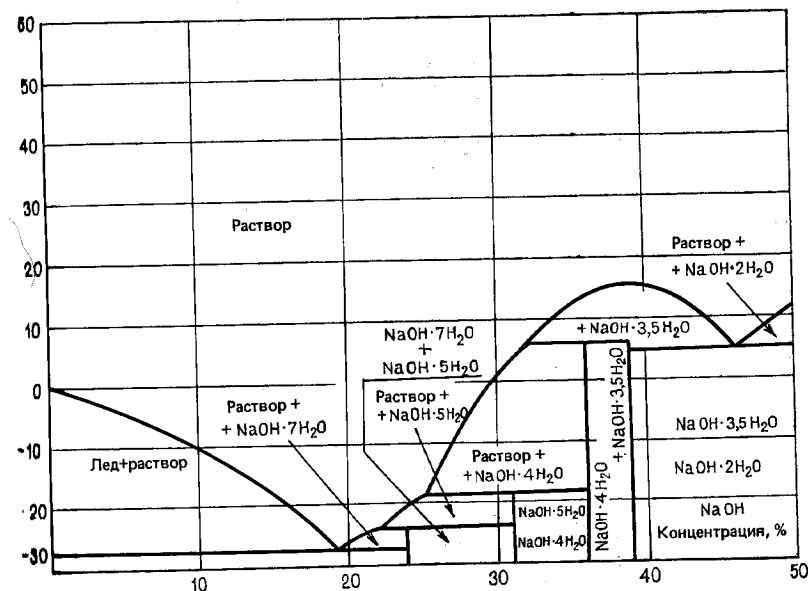


Рис. 26.6. Диаграмма растворимости каустической соды

Соотношение между Брикс-массой и Брикс-объемом. В сахарной промышленности Брикс-градус (или просто Брикс) означает количество вещества, растворенного в 100 г (или в 100 мл) жидкости, под веществом обычно понимают чистую сахарозу. Гидрометры, используемые для измерений плотности,



иногда градуируют сразу в единицах Брикс-массы или Брикс-объема.

ТАБЛИЦА 26.13

Плотность	Брикс-масса	Брикс-объем	Плотность	Брикс-масса	Брикс-объем
1,002	1	1	1,085	21	22,8
1,006	2	2,01	1,090	22	24
1,01	3	3,03	1,094	23	25,17
1,014	4	4,08	1,099	24	26,4
1,017	5	5,09	1,103	25	27,6
1,036	9,65	10	1,108	26	28,8
1,038	10	10,38	1,113	27	30
1,04	10,57	11	1,127	30	33,8
1,042	11	11,47	1,15	34,8	40
1,044	11,5	12	1,175	40	47,6
1,046	12	12,56	1,19	42,1	50
1,048	12,4	13	1,225	49	60
1,051	13	13,66	1,23	50	61,5
1,052	13,32	14	1,26	55,5	70
1,055	14	14,77	1,286	60	77,2
1,056	14,22	15	1,316	65	85,6
1,059	15	15,89	1,347	70	94,4
1,060	15,10	16	1,378	75	103,5
1,063	16	17,02	1,412	80	
1,068	17	18,15	1,418	81	
1,072	18	19,3	1,425	82	
1,076	19	20,45	1,431	83	
1,081	20	21,62	1,438	84	
1,082	20,33	22	1,445	85	

Примечание. В таблицу включены наиболее характерные концентрации, встречающиеся при обработке жидкостей, содержащих сахар.

26.3. ОСНОВНЫЕ КОНСТАНТЫ ГАЗОВ

ТАБЛИЦА 26.14. ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПЛОТНОСТЬ ГАЗОВ И ПЛОТНОСТЬ ПРИ НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Газ	Относительная плотность (по отношению к воздуху)	Плотность газа при нормальных условиях, г/л	Газ	Относительная плотность (по отношению к воздуху)	Плотность газа при нормальных условиях, г/л
Воздух	1	1,29349	Хлор Cl <sub>2</sub>	2,491	3,222
Кислород O <sub>2</sub>	1,1052	1,4295	Аммиак NH <sub>3</sub>	0,5971	0,772
Азот N <sub>2</sub>	0,967	1,2508	Диоксид серы SO <sub>2</sub>	2,263	2,927
Водород H <sub>2</sub>	0,06948	0,08987	Сероводород H <sub>2</sub> S	1,1895	1,539
Диоксид углерода CO <sub>2</sub>	1,5287	1,978			

ТАБЛИЦА 26.15. РАСТВОРИМОСТЬ ГАЗОВ В ВОДЕ

Темп. °C	Растворимость в воде, л газа на 1 л воды, при давлении чистого газа 0,1 МПа									
	воздух	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	Cl <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
0	0,0373	0,0489	0,0235	0,0215	1,713	4,621	4,61	1 135	75,00	0,640
5	0,0330	0,0429	0,0208	0,0204	1,424	3,935	3,75	1 005	62,97	0,571
10	0,0293	0,038	0,0186	0,0196	1,194	3,362	3,095	881	52,52	0,502
15	0,0265	0,0342	0,0168	0,0188	1,019	2,913	2,635	778	43,45	0,432
20	0,0242	0,0310	0,0154	0,0182	0,878	2,554	2,260	681	36,31	0,331
25	0,0223	0,0283	0,0143	0,0175	0,759	2,257	1,985	595	30,50	0,273
30	0,0208	0,0261	0,0134	0,0170	0,665	2,014	1,769	521	25,87	0,207
35	0,0195	0,0244	0,0125	0,0167	0,592	1,811	1,570	460	22,00	0,151
40	0,0184	0,0231	0,0118	0,0164	0,533	1,642	1,414	395	18,91	0,103
50	0,0168	0,0209	0,0109	0,0161	0,437	1,376	1,204	294	15,02	0,045
60	0,0157	0,0195	0,0102	0,0160	0,365	1,176	1,006	198	11,09	
70	0,0150	0,0183	0,0097	0,0160	0,319	0,010	0,848		8,91	
80	0,0146	0,0176	0,0096	0,0160	0,275	0,906	0,672		7,27	
90	0,0144	0,0172	0,0095	0,0160	0,246	0,835	0,380		6,16	
100	0,0144	0,0170	0,0095	0,0160	0,220	0,800				
110					0,204					
120					0,194					
130										
140										

ТАБЛИЦА 26.16. ДАВЛЕНИЕ ПАРОВ ЖИДКОГО АММИАКА

Температура, °C	-31	0	10	20	30	40	50
Давление паров, МПа	0,1	0,42	0,61	0,85	1,16	1,57	1,96

Если  $M_0$  — масса 1 л газа при 0 °C, то масса 1 л газа при температуре  $t$  °C и том же давлении

$$M_t = \frac{M_0}{1 + 0,00367 t}$$

Если  $M'_0$  — масса 1 л газа при 0,1 МПа, то масса 1 л при давлении  $P$

$$M_P = \frac{P}{0,1} M'_0$$

По правилам эксплуатации требуется, чтобы контейнеры для аммиака выдерживали давление 2 МПа; испытываются контейнеры на давление 3 МПа.

Хлор. В нормальном состоянии хлор — газ желто-зеленого цвета; он имеет следующие характеристики: относительная плотность (по отношению к воздуху) — 2,491; плотность — 3,214 г/л при 0 °C и 0,1 МПа;

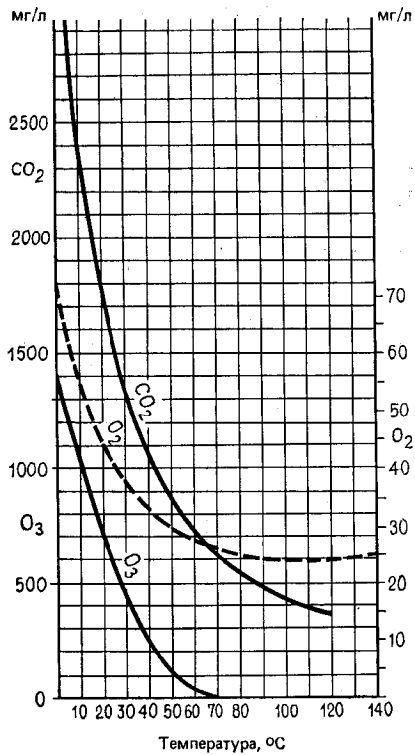


Рис. 26.7. Растворимость  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{O}_3$  в воде (мг газа на 1 л воды при атмосферном давлении и в атмосфере чистого газа)

Рис. 26.8. Растворимость атмосферных газов в воде,  $\text{г/м}^3$ , при атмосферном давлении

A — растворимость азота; B — растворимость кислорода; a — парциальное давление азота; b — парциальное давление кислорода; c — парциальное давление паров воды; d — парциальное давление воздуха

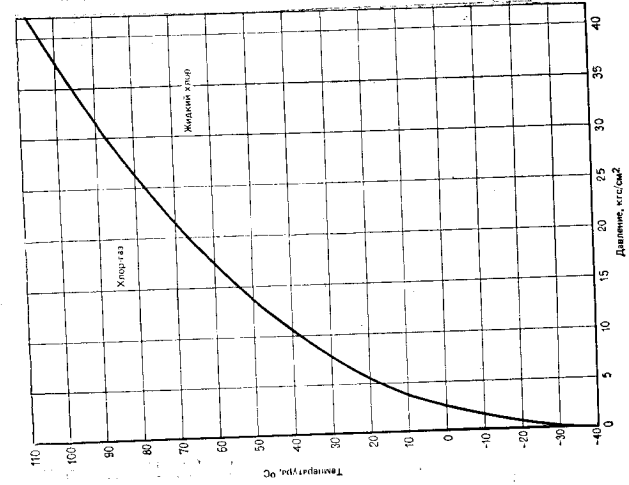
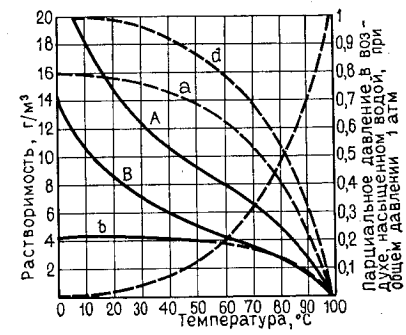


Рис. 26.10. Зависимость температуры от давления для насыщенного газообразного хлора

при  $15^\circ\text{C}$  и  $0,1\text{ МПа}$  1 кг хлора занимает объем 314 л, а 1 л жидкого хлора соответствует 456 л газообразного хлора.

Переход хлора из газообразного в жидкое состояние при охлаждении и сжатии происходит при разных температурах: при давлении 1 МПа при  $40^\circ\text{C}$ , а при давлении  $0,5\text{ МПа}$  при  $18^\circ\text{C}$ .

Температура кипения (при  $0,1\text{ МПа}$ )  $34,1^\circ\text{C}$ , температура плавления минус  $102^\circ\text{C}$ ; критическая температура минус  $144^\circ\text{C}$ .

Удельная теплоемкость газа составляет  $0,518\text{ кДж/кг}$  при температуре от  $15$  до  $100^\circ\text{C}$  и давлении  $0,1\text{ МПа}$ .

Удельная теплоемкость жидкости равна  $0,92\text{ кДж/кг}$ .

Растворимость хлора (в атмосфере чистого хлора) зависит от температуры:  $6,7\text{ г}$  хлора растворяется в 1 л воды при  $20^\circ\text{C}$ ,  $9,6\text{ г}$  — при  $10^\circ\text{C}$ ,  $11,8\text{ г}$  — при  $5^\circ\text{C}$  и  $14,8\text{ г}$  — при  $0^\circ\text{C}$ .

ТАБЛИЦА 26.17. ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ ХЛОРА

Температура, °C	0	10	20	30	50	50	60
Дж/моль	17,64	17,14	16,59	16,01	15,47	14,88	14,3
кДж/кг	249,1	242	234,1	226,1	218,2	209,8	201,5

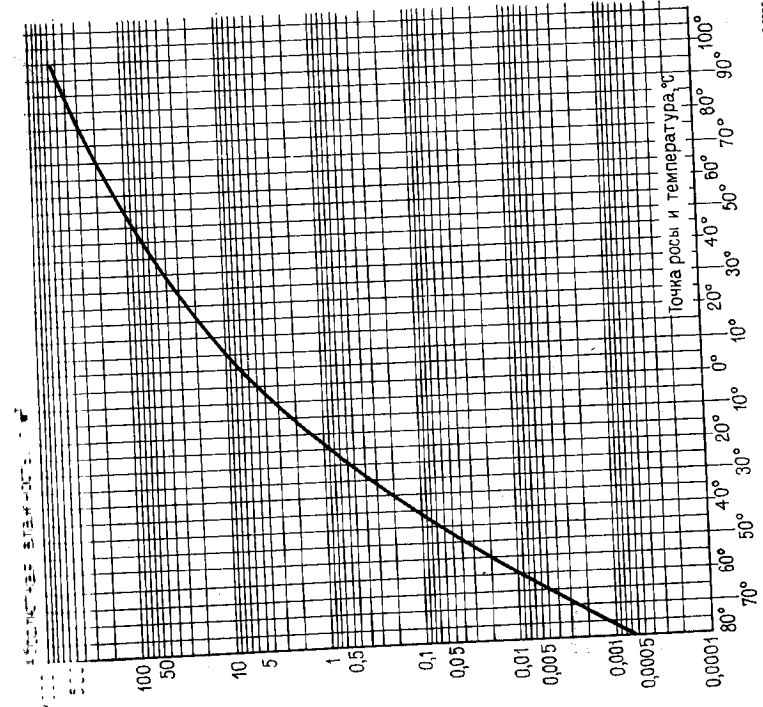


Рис. 26.9. Абсолютная влажность атмосферного воздуха в точке насыщения в зависимости от точки росы

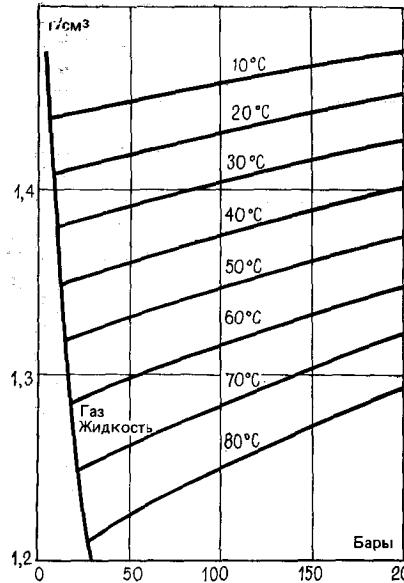


Рис. 26.11. Изменение плотности жидкого хлора при изменении давления при различных температурах

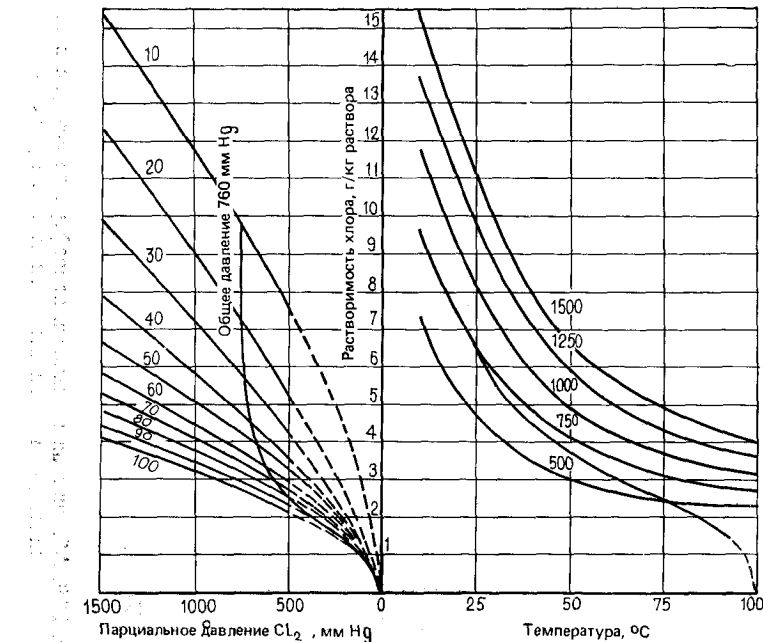


Рис. 26.12. Растворимость хлора в воде (парциальное давление  $Cl_2$  дано на кривых в мм Hg; температура на кривых дана в  $^{\circ}C$ ). Умножением на 0,00133 получают давление в барах

Хлор — раздражающий и удушающий газ, не вызывающий коррозии, если он находится в чистом виде и не содержит влаги. При малейших следах воды он становится чрезвычайно коррозионным.

Хлор обладает высокой реакционной способностью и может вступать при реакции с аммиаком, водородом и другими веществами.

## 27. МЕТОДЫ АНАЛИЗА

### 27.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

#### 27.1.1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИЛЛИГРАММ-ЭКВИВАЛЕНТА И ГРАДУСА ЖЕСТКОСТИ В ХИМИИ ВОДЫ

**27.1.1.1. Французское определение.** С целью упростить расчеты в аналитической химии результаты измерения концентрации принято оценивать не в граммах на литр, а в грамм-эквивалентах на литр (с. 908). На практике в качестве единицы измерения концентрации растворов используют миллиграмм-эквивалент, и это позволяет исключить из рассмотрения децинормальные концентрации. Сокращенно миллиграмм-эквивалент (единица массы) записывается в виде мг-экв. Сокращенно миллиграмм-эквивалент на литр (единица концентрации) записывается в виде мг-экв/л.

Например, если в пробе воды содержится 2 г хлора на 1 л, то концентрация хлора, исходя из того, что относительная атомная масса хлора равна 35,5, может быть представлена в виде  $(2 \times 1) : 35,5 = 0,056$  грамм-эквивалента хлора на литр (или 56 мг-экв/л).

Для многовалентных элементов единица концентрации (мг-экв/л, выраженная в миллиграммах на литр, равняется частному от деления относительной молекулярной массы на валентность.

Так, например, для кальция, являющегося двухвалентным элементом с относительной молекулярной массой 40, концентрация 1 мг-экв/л соответствует  $1 \times 2 = 20$  мг/л.

Преимущество такого способа определения концентрации состоит в простоте расчета солености растворов. Если использовать данные предыдущего примера с раствором, содержащим 1 мг-экв/л хлора, то для случая, когда речь идет о растворе хлорида кальция, концентрация  $CaCl_2$  составит  $(10 : 2 + 35,5 : 1) = 3,1$  г/л и соответствующая концентрация эквивалента будет  $0,56(40 : 2) = 1,1$  г/л.

В химии воды часто требуется знать не содержание растворенных солей в пробе воды, а степень диссоциации раствора на

ТАБЛИЦА 27.1. ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ  
(СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВЫРАЖЕНИЙ КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ)

Формула	Молярная масса	Выражение в мг/л различных единиц				
		мг-экв/л	французский градус	немецкий градус	CaCO <sub>3</sub>	
						мг-экв/л
<b>1. Соли и оксиды кальция и магния, обуславливающие жесткость воды (градусы жесткости)</b>						
Карбонат кальция	CaCO <sub>3</sub>	100	50	10,0	17,8	1,00
Бикарбонат кальция	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	162	81	16,2	28,9	1,62
Сульфат кальция	CaSO <sub>4</sub>	136	68	13,6	24,3	1,36
Хлорид кальция	CaCl <sub>2</sub>	111	55,5	11,1	19,8	1,11
Нитрат кальция	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	164	82	16,4	29,3	1,64
Негашеная известь	CaO	56	28	5,6	10,0	0,56
Гашеная известь	Ca(OH) <sub>2</sub>	74	37	7,4	13,2	0,74
Карбонат магния	MgCO <sub>3</sub>	84	42	8,4	15,0	0,84
Бикарбонат магния	Mg(NCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	146	73	14,6	26,1	1,46
Сульфат магния	MgSO <sub>4</sub>	120	60	12,0	21,4	1,20
Хлорид магния	MgCl <sub>2</sub>	95	47,5	9,5	17,0	0,95
Нитрат магния	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	148	74	14,8	26,4	1,48
Оксиды магния	MgO	40	20	4	7,1	0,40
	Mg(OH) <sub>2</sub>	58	29	5,8	10,3	0,58
<b>2. Анионы</b>						
Карбонат	CO <sub>3</sub>	60	30	6,0	10,7	0,60
Бикарбонат	HCO <sub>3</sub>	61	61	12,2	21,8	1,22
Сульфат	SO <sub>4</sub>	96	48	9,6	17,3	0,96
Сульфит	SO <sub>3</sub>	80	40	8,0	14,3	0,80
Хлорид	Cl	35,5	35,5	7,1	12,7	0,71
Нитрат	NO <sub>3</sub>	62	62	12,4	22,1	1,24
Нитрит	NO <sub>2</sub>	46	46	9,7	16,4	0,97
Ортофосфат	PO <sub>4</sub>	95	31,66	6,32	11,25	0,63
Гидросиликат, силикат	SiO <sub>2</sub>	60	60	12,0	21,4	1,20
<b>3. Кислоты</b>						
Серная	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98	49	9,8	17,5	0,98
Соляная	HCl	36,5	36,5	7,3	12,8	0,13
Азотная	HNO <sub>3</sub>	63	63	12,6	22,5	1,25
Ортофосфорная	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98	32,66	6,52	11,64	0,65
<b>4. Катионы и оксиды</b>						
Кальций	Ca	40	20	0,4	7,15	0,40
Магний	Mg	24,3	12,1	2,43	4,35	0,24
Натрий	Na	23	23	4,6	8,2	0,46
	Na <sub>2</sub> O	62	31	6,2	11,1	0,62
Калий	K	39	39	7,8	13,9	0,78
	K <sub>2</sub> O	94	47,1	9,4	16,8	0,34
Двухвалентное железо	Fe	55,8	27,9	5,6	10,0	0,50

Формула	Молярная масса	Выражение в мг/л различных единиц				
		мг-экв/л	французский градус	немецкий градус	CaCO <sub>3</sub> мг/л*	
<b>3. Двухвалентное железо</b>						
Fe	55,8	18,6	3,7	6,6	0,37	
Al	27	9	1,8	3,2	0,1	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	102	17	3,4	6,1	0,34	
<b>5. Основания</b>						
аммиачный	NH <sub>4</sub>	18	18	3,6	6,4	0,36
калийный натр	NaOH	40	40	8,0	14,3	0,80
натриевый кали	KOH	56	56	11,2	20,0	1,12
гидроксид аммония	NH <sub>4</sub> OH	35	35	7,0	12,5	0,70
<b>6. Разные соли</b>						
карбонат натрия	NaHCO <sub>3</sub>	84	84	16,8	30	1,65
нитрат натрия	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	106	53	10,6	18,9	1,06
сульфат натрия	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	142	71	14,2	25,3	1,42
хлорид натрия	NaCl	58,5	58,5	11,7	20,9	1,17
фосфат натрия	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	164	54,7	10,9	19,5	1,09
силикат натрия	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	122	61	12,2	21,8	1,22
карбонат калия	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	138	69	13,8	24,6	1,38
хлорид калия	KHCO <sub>3</sub>	100	100	20	35,7	2,00
сульфат калия	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	174	87	17,4	31,1	1,14
хлорид калия	KCl	74,5	74,5	14,9	26,6	1,49
фосфат калия	K <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	212,2	70,8	14,1	25,2	1,41
двухвалентное железо (2)	FeSO <sub>4</sub>	152	76	15,2	27,1	1,52
трехвалентное железо (3)	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	400	66,6	13,3	23,8	1,33
хлорид железа	FeCl	162,5	54,2	10,8	19,3	1,08
сульфат алюминия	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	342	57	11,4	20,3	1,14

анионы и катионы. Использование эквивалентных концентраций позволяет упростить при этом численные расчеты.

В Бутрон и Буде при определении щелочноземельных металлов применяли в качестве эталона раствор с содержанием их, соответствующим 11,4 мг/л хлорида кальция.

В настоящее время предпочтение отдается градусам с поправкой жесткости по Бутрону и Буде, введенной для построения простой корреляции с миллиграмм-эквивалентом. Градус жесткости, определенный таким образом, становится единицей концентрации, которая может быть использована непосредственно мг-экв/л для выражения концентрации любой растительной соли в воде, а не только для представления жесткости воды по солям, содержащим кальций и магний.

**27.1.1.2. Прочие единицы.** Основное достоинство эквивалентных и миллиграмм-эквивалентных концентраций состоит в том,

что эти единицы являются международными. Немецкий градус жесткости равен 10 мг СаО в 1 л воды. Английский градус жесткости соответствует 1 грану СаСО<sub>3</sub> в одном галлоне воды или 14,28 мг/л. Последняя единица используется редко. Обычно заменяют содержанием СаСО<sub>3</sub> в мг/л, что соответствует 0,02 мг-экв/л.

**27.1.1.3. Эквивалентные значения жесткости и щелочности**  
1 французский градус = 0,56 немецкого градуса = 0,7 английского градуса = 10 мг/л СаСО<sub>3</sub>;

1 немецкий градус = 1,786 французских градусов = 1,21 английских градусов = 17,86 мг/л СаСО<sub>3</sub>;

1 английский градус = 1,438 французских градусов = 0,8 немецких градусов = 14,38 мг/л СаСО<sub>3</sub>;

1 мг/л СаСО<sub>3</sub> = 0,1 французского градуса = 0,056 немецкого градуса = 0,07 английского градуса.

В табл. 27.1 представлены соотношения между различными единицами концентрации по основным элементам и соединениям, встречающимся в воде.

#### 27.1.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ И ЩЕЛОЧНОСТИ ВОДЫ

(см. методы анализа № 302, 303, 304, 305 и 306)

**27.1.2.1. Общая жесткость.** Титрование с целью определения жесткости  $J_{\text{общ}}$  позволяет установить общее содержание солей кальция и магния, наличие которых характеризует жесткость воды (соли, образующие накипь, ухудшающие разваривание овощей при их приготовлении и ухудшающие пенообразование при намыливании).

Различные составляющие жесткости. Градус жесткости определяет количество присутствующих в воде солей щелочноземельных металлов (бикарбонатов, сульфатов, хлоридов и др.) Различают жесткость общую, кальциевую, карбонатную, некарбонатную.

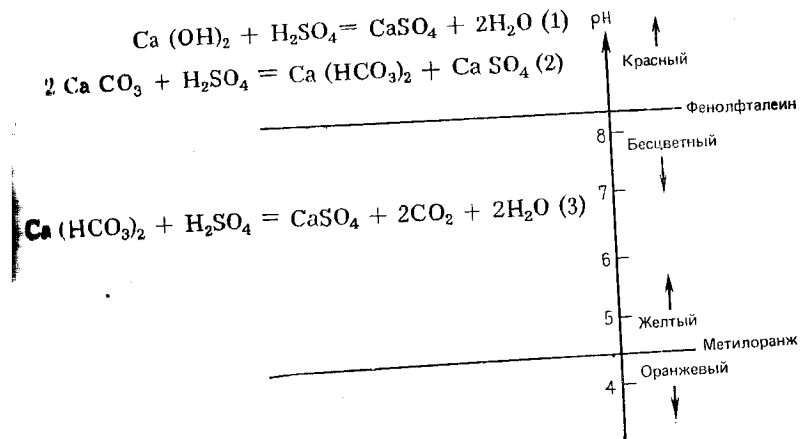
А. Общая  $J_{\text{общ}}$  определяется суммарным содержанием солей кальция и магния.

Б. Кальциевая  $J_{\text{Ca}}$  — мера содержания кальциевых солей.

В. Карбонатная жесткость — определяется наличием в воде карбонатов и бикарбонатов кальция и магния. Она равна ОЩ (см. ниже), если  $J_{\text{общ}} > \text{ОЩ}$ , или равна  $J_{\text{общ}}$ , если  $\text{ОЩ} > J_{\text{общ}}$ .

Г. Некарбонатная жесткость определяется наличием в воде сульфатов и хлоридов кальция и магния и равна разности между А и Г.

**27.1.2.2. Интерпретация результатов определения щелочности титрованием (Щ<sub>ф</sub> и ОЩ).** Результаты титрования щелочности по фенолфталеину и метиловому оранжевому (Щ<sub>ф</sub> и ОЩ) определяют содержание в воде гидратов, карбонатов и бикарбонатов щелочных или щелочноземельных элементов.



Щелочность определяют титрованием пробы воды стандартным раствором кислоты в присутствии индикатора: либо фенолфталеина (щелочность воды по фенолфталеину Щ<sub>ф</sub> или  $p$ ), либо метилового оранжевого или гелиантина (общая щелочность воды ОЩ или  $m$ ).

Фенолфталеин при титровании дает переход окраски от красной к бесцветной (рис. 27.1) при pH=8,3; к этому моменту завершаются реакции (1) и (2), и при этом значении pH начинается реакция (3) с появлением в растворе СО<sub>2</sub>, т. е. Щ<sub>ф</sub> определяет содержание гидратов и половины карбонатов.

Метиловый оранжевый меняет окраску от желтой до оранжевой при pH=4,3, т. е. в момент появления следов свободной сильной кислоты и завершения реакции (3). Таким образом, ОЩ определяет содержание бикарбонатов.

В табл. 27.2 представлены формулы для такого расчета.

В первой колонке перечислены соли, которые обычно встречаются в воде. Количество каждой из них в мг/л получают умножением соответствующего значения, взятого из второй колонки, на значение Щ<sub>ф</sub> или ОЩ, приведенные в последующих колонках табл. 27.2.

**27.1.2.3. Немецкий метод определения щелочности** состоит в определении количества мл децинормальной кислоты, которое следует добавить к 100 мл воды для измерения окраски фенолфталеина или метилового оранжевого (гелиантина).

Количество кислоты в мл, израсходованной на изменение окраски: фенолфталеина  $p$ , метилового оранжевого  $m$ .

Щелочность по фенолфталеину в немецких градусах  $P = 2,8 p$ .

ТАБЛИЦА 27.2

Растворенные соли	мг/л на градус	Соответствующие значения результатов определения Щ <sub>ф</sub> и ОЩ				
		если Щ <sub>ф</sub> =0	если Щ <sub>ф</sub> < $\frac{ОЩ}{2}$	если Щ <sub>ф</sub> = $\frac{ОЩ}{2}$	если Щ <sub>ф</sub> > $\frac{ОЩ}{2}$	если Щ <sub>ф</sub> =ОЩ
(ОН)	3,4					
CaO	5,6					
Ca(OH) <sub>2</sub>	7,4	0	0	0	2Щ <sub>ф</sub> — ОЩ	ОЩ
MgO	4					
Mg(OH) <sub>2</sub>	5,8					
Na(OH)	8					
CO <sub>3</sub>	6,0					
CaCO <sub>3</sub>	10,0					
MgCO <sub>3</sub>	8,4	0	2Щ <sub>ф</sub>	ОЩ	2(ОЩ— Щ <sub>ф</sub> )	0
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	10,6					
HCO <sub>3</sub>	12,2					
Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	16,2	ОЩ	ОЩ— 2Щ <sub>ф</sub>	0	0	0
Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	14,6					
NaHCO <sub>3</sub>	16,8					

Щелочность по метилоранжу в немецких градусах  $M=2,8 m$ .  
Эквивалентные значения во французских градусах: Щ<sub>ф</sub>=  
=5 p, ОЩ=5 m.

### 27.1.3. ПЕРЕЧЕНЬ ФРАНЦУЗСКИХ СТАНДАРТНЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВОДЫ «AFNOR»

Номер	Дата публикации	Источник*	Наименование и метод
NF T 90 000	1974	ENR	Правила составления аналитических отчетов
NF T 90 001	1951	FD	Отбор проб питательной воды для паровых котлов и из напорных трубопроводов оборотных систем
NF T 90 003	1958	НОМ	Определение жесткости с использованием хелатообразующего реагента
NF T 90 004	1968	НОМ	Спектрофотометрическое определение фтора
NF T 90 005	1958	НОМ	Определение магния
NF T 90 006	1950	НОМ	Колориметрическое определение pH
NF T 90 007	1950	НОМ	Определение SiO <sub>2</sub>

\* Условные обозначения источника: NF — французский стандарт; ENR — зарегистрированный; НОМ — официально санкционированный; EXP — экспериментальный; FD — сборник документов.

Продолжение таблицы

Номер	Дата публикации	Источник*	Наименование и метод
NF T 90 008	1953	НОМ	Электрометрическое измерение pH стеклянным электродом
NF T 90 009	1954	НОМ	Определение сульфатов
NF T 90 010	1952	НОМ	Колориметрическое определение малых концентраций свободного кислорода
NF T 90 011	1962	НОМ	Определение диоксида углерода
NF T 90 012	1975	НОМ	Определение нитратов
NF T 90 013	1975	НОМ	Определение нитратов
NF T 90 014	1952	НОМ	Определение хлоридов — объемный метод с использованием нитрата серебра
NF T 90 015	1975	НОМ	Определение аммонийного азота
NF T 90 016	1958	НОМ	Гравиметрическое определение кальция
NF T 90 017	1959	НОМ	Колориметрическое определение железа
NF T 90 018	1960	НОМ	Определение перманганатной окисляемости
NF T 90 019	1959	FD	Определение ионов натрия
NF T 90 020	1959	FD	Гравиметрическое определение ионов калия
NF T 90 021	1962	НОМ	Фотометрическое определение йода
NF T 90 022	1966	FD	Спектрофотометрическое определение малых концентраций меди
NF T 90 023	1963	НОМ	Спектрофотометрическое определение ортофосфатов и полифосфатов
NF T 90 024	1963	НОМ	Спектрофотометрическое определение марганца
NF T 90 025	1967	НОМ	Спектрофотометрическое определение селена
NF T 90 026	1975	ENR	Определение мышьяка
NF T 90 027	1967	FD	Определение общего содержания тяжелых металлов
NF T 90 028	1969	НОМ	Колориметрическое определение свинца
NF T 90 029	1970	НОМ	Определение сухого остатка, прокаленного остатка и сульфатного остатка
NF T 90 030	1973	НОМ	Определение способности к коагуляции
NF T 90 031	1973	НОМ	Определение удельного электрического сопротивления (или удельной электрической проводимости)
NF T 90 032	1975	ENR	Таблица растворимости кислорода в воде



Номер	Дата публикации	Источник*	Наименование и метод
NF T 90 033	1975	ENR	Определение индекса светопропускания — мутности
NF T 90 034	1975	НОМ	Определение цветности по шкале Хазена
NF T 90 035	1975	НОМ	Определение различных привкусов воды
NF T 90 100	1972	FD	Отбор (меры предосторожности), консервация и обработка проб
NF T 90 101	1971	НОМ	Определение химического потребления кислорода (ХПК)
NF T 90 103	1975	ENR	Определение биохимического потребления кислорода (БПК)
NF T 90 104	1972	НОМ	Тест на загнивание
NF T 90 105	1972	EXP	Определение взвешенных веществ
NF T 90 106	1973	ENR	Определение растворенного кислорода
NF T 90 107	1975	EXP	Определение общего содержания цианидов
NF T 90 108	1976	EXP	Определение свободных цианидов
NF T 90 109	1976	EXP	Определение фенольного индекса
NF T 90 111	1975	ENR	Оценка содержания растворенных солей
NF T 90 112	1976	EXP	Определение десяти металлов (Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Ca, Zn, Ag, Cd, Pb) методом атомно-абсорбционной спектроскопии
NF T 90 113	1976	EXP	Определение ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии
NF T 90 201	1973	EXP	Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов — отбор проб
NF T 90 202	1973	EXP	Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов — определение в воде взвешенных органических веществ, экстрагируемых гексаном
NF T 90 203	1973	EXP	Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов — определение общего содержания углеводородов
NF T 90 204	1973	EXP	Сточные воды нефтеперерабатывающих заводов — определение фенолов
NF T 90 301	1974		Определение ингибирования подвижности <i>Daphnia magna</i> Straus (Crustacea, Cladocera)

## 27.2. ОТБОР ПРОБ ДЛЯ АНАЛИЗА

## 27.2.1. ПИТЬЕВАЯ ВОДА

Для анализа необходимо производить тщательный отбор пробы, обеспечивающий представительность отобранной пробы. Пробу из скважины следует отбирать после продолжительной выдержки воды. Для анализа воды, состав которой может измениться, следует отбирать несколько проб (если есть возможность, следует уловить разброс анализируемых показателей). Это относится, в частности, к анализу речной воды, который следует проводить в межень, паводок и периоды значительного выпадения осадков.

Пробы необходимо отбирать в абсолютно чистые бутылки, предварительно ополоснутые несколько раз анализируемой водой. Бутылки заполняют под горлышко. Очень важно, чтобы вода при этом не взмучивалась и не соприкасалась с атмосферным воздухом. Для этой цели один конец сифонного шланга опускают в точку отбора пробы, а второй — на дно бутылки; шланг заполняют доверху и затем продолжают пропускать через нее анализируемую воду, пока вода в бутылке не сменится несколько раз. Затем сразу же закрывают бутылку пробкой.

Для отбора проб с глубины используют бутылку, снабженную насосом и закрытую пробкой, с двумя трубками, проходящими через нее (батометр). Одна из трубок касается дна батометра, другая снабжена пробкой, которую вытягивают прикрепленным к ней тросом на заданной глубине. Это обеспечивает удаление из бутылки воздуха без его прохождения через отобранную пробу.

При определении содержания железа и марганца отбирают дополнительную пробу и подкисляют ее (1 мг азотной кислоты на 1 л воды), чтобы во время транспортировки эти металлы не окислялись.

Пробы для бактериологического анализа должны быть отобраны в стерильные бутылки с пламенной стерилизацией горлышка бутылки и пробоотборного крана. Они должны быть доставлены в аналитическую лабораторию в минимальные сроки и желательнее всего обложены льдом.

Рекомендации по консервации проб приведены в табл. 27.3.

## 27.2.2. СТОЧНЫЕ ВОДЫ

Загрязненность сточной воды может быть оценена только при правильном отборе проб. Как и для питьевой воды, представительная проба должна отражать истинные свойства анализируемой воды. Необходимо обеспечивать сохранность пробы.

Отбор проб сточных вод осложнен в связи с изменением расхода и состава поступающей на очистку воды. В первую очередь

необходимо выбрать место отбора, которое должно характеризоваться хорошим перемешиванием поступающей воды и отсутствием застойных зон.

Необходимо отбирать отдельные пробы, если в анализируемой воде обнаружены концентрации или примеси, необычные или нежелательные:

токсичные воды, содержащие цианиды (определяются по запаху) либо хром или медь (определяются по цвету);

нефтепродукты и масла;

концентрированные сточные воды с молокоперерабатывающих предприятий, скотобоен, фабрик переработки фруктов и овощей, фабрик переработки кож и др.

Если необходимо оценить среднее качество воды за период не более 24 ч, отбирают среднюю пробу. Часто требуется знать, как изменяется загрязненность воды в течение суток, оценить максимальные расходы и установить диапазон изменения загрязненности воды в дневное и ночное время.

Для отбора средней пробы, объем которой изменяется пропорционально расходу воды, разработан пробоотборник. Возможны следующие режимы его работы: либо с отбором пробы через заданные интервалы времени и изменением объема пробы в зависимости от расхода воды, либо с отбором постоянных порций воды через разные промежутки времени, длительность которых зависит от расхода исследуемой воды. Скорость движения отбираемой воды в трубопроводах пробоотборника во избежание образования в них осадков составляет не менее 60 см/с.

Для автоматического отбора проб могут быть использованы перистальтический насос, диафрагменный насос, вакуум-насос, создающий разрежение в пробоотборной бутылки, ковш с возвратно-поступательным либо круговым движением.

При внедрении автоматических пробоотборников ручной отбор проб сохраняет свое значение.

Отобранные пробы следует сохранять и транспортировать в теплоизолированной таре при температуре около 4°C.

При отборе проб необходимо обращать внимание на:

изменение мутности и цветности;

наличие ГДП в отобранной пробе и, если возможно, на их природу (комки жира, лоскуты, волосы, текстильные волокна и др.);

поверхностную иризацию, вызванную наличием нефтепродуктов;

запахи (гнилостный, органический и др.);

изменение температуры.

В настоящее время промышленность выпускает значительное количество автоматических пробоотборных устройств, позволяющих получать представительные пробы сточных вод с различной степенью загрязненности. Такие пробоотборники

могут через каждый час отбирать пробу, объем которой пропорционален расходу анализируемой воды. При этом предусмотрено оборудование для сохранения отобранной пробы при 4°C.

### 27.2.3. КОНСЕРВАЦИЯ ПРОБ ДЛЯ АНАЛИЗА

Для получения представительных результатов при проведении анализа необходимо, чтобы свойства воды в отобранной пробе не изменялись в промежутке времени от момента отбора пробы до ее поступления на анализ. В табл. 27.3 предлагаются некоторые приемы «фиксации» пробы.

ТАБЛИЦА 27.3

Анализируемый показатель	Используемые метод или реактив	Максимальное время сохранения стабильных свойств
Кислотность и щелочность	Охлаждение до 4°C	24 ч
	То же	6 ч
	БПК	24 ч
Кальций	Без рекомендаций	24 ч
	2 мл/л H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> с плотностью 1,84	7 сут
ХПК	Без рекомендаций	7 сут
	Охлаждение до 4°C	24 ч
Хлориды	NaOH до pH=10	24 ч
Цветность	Следует определять на месте	7 сут
Цианиды	Без рекомендаций	24 ч
Растворенный кислород	То же	То же
Фториды	5 мл/л HNO <sub>3</sub> с плотностью 1,33	Несколько недель
Жесткость	Фильтрование и введение 3 мл/л HNO <sub>3</sub> с плотностью 1,33	То же
Общее содержание металлов	40 мл HgCl <sub>2</sub> на 1 л или охлаждение до 4°C	7 сут
	То же	То же
Растворенные металлы	То же	То же
Аммонийный азот	То же	То же
Общий азот по Кьельдалю	То же	То же
	То же	То же
Азот:		
нитратов	»	»
нитритов	»	»
Нефтепродукты и масла	2 мл/л H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> или охлаждение до 4°C	24 ч
	То же	То же
Органический углерод	2 мл/л H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> pH=2	7 сут

### 27.3. ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Для предварительного изучения любой системы очистки так же, как и для оценки работы станции очистки сточных вод, определенные анализы воды должны выполняться непосредственно на месте, так как значение pH, содержание свободного (O<sub>2</sub>) и растворенного кислорода, а также содержание аммиака могут изменяться при транспортировке пробы в лабораторию.

Переносные аналитические комплекты Hydrocure<sup>1</sup> разработаны специально для этих целей и содержат все необходимое для анализов оборудование. Есть несколько различных моделей, удовлетворяющих обычным требованиям потребителей.

Во всех случаях, когда только это возможно, используют простые колориметрические методы анализа на базе компаратора с цветными стандартными образцами, позволяющими быстро получить результат в миллиграммах на литр. В остальных случаях анализы проводят объемным методом с применением специальных бюреток и непосредственным отсчетом по ним результатов, выраженных во французских градусах.

Рассмотрим эти методы применительно к различным случаям.

Для более точных лабораторных анализов лучше обратиться к стандартным французским методам AFNOR<sup>2</sup>, перечень которых приведен на с. 930—932, или к сборнику «Стандартные методы анализа воды и сточных вод» (American Public Health Association—1015, Eighteenth Street NW Washington DS 20036).

#### 27.3.1. МЕТОДЫ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВОДЫ (С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПАРАТОРА HYDROCURE)

При проведении анализа этими методами используют компаратор, представляющий собой пластмассовый чемодан с набором реактивов и склянок, в которые отбирают анализируемую воду. При введении определенных реактивов изменяется интенсивность окраски воды в зависимости от концентрации анализируемого элемента.

Подвижную линейку с рядом цветных стандартных образцов вставляют в компаратор; результаты определения получают при сравнении цвета пробы с цветными стандартными образцами. Линейку размещают горизонтально или вертикально в зависимости от концентрации анализируемого элемента.

Следует помнить, что каждый аналитический комплект содержит также инструкцию по проведению анализов. Измерительная склянка должна быть заполнена до отметки В.

**№ 201. Определение pH в интервале от 3,7 до 11,8.** Заполняют измерительную склянку компаратора и вводят в пробу несколько капель индикатора, количество которых указано на бутылке, из которой он взят. Находят цветной стандартный образец, име-

<sup>1</sup> Hydrocure, P. O. Box 45, 943 80 Bonneuil — sur Marne, France.

<sup>2</sup> Выдержки из стандартов AFNOR, содержащиеся в этой книге, представлены с разрешения «Association Francaise de Normalisation, Tour Europer», Cedex 7, 92 080 Paris La Defense (France), к которой следует обращаться для получения полной документации. Только последнее издание самого стандарта можно считать достоверным.

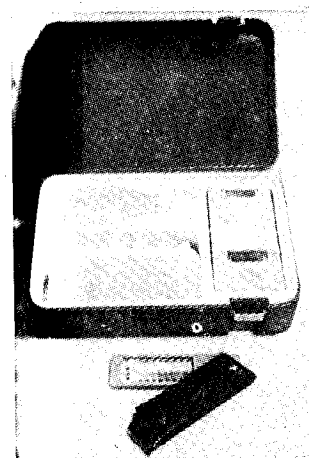


Рис. 27.2. Колориметрический компаратор «Hydrocure»

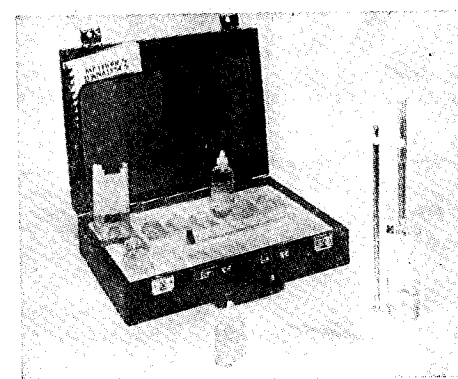


Рис. 27.3. Портативный аналитический комплект для объемных и колориметрических определений

ющий окраску, соответствующую полученному цвету. Если полученный при анализе цвет соответствует одной из границ шкалы, повторяют анализ с индикатором ближайшего диапазона.

**№ 202 С. Определение свободного хлора (от 0,1 до 4 мг/л).** Заполняют измерительную склянку компаратора, вводят в пробу дозу реактива ДРД (диэтил-р-фенилдиндиамин) и находят цветной стандартный образец, имеющий окраску, соответствующую полученному цвету.

**№ 202 Д. Определение общего хлора (свободный + связанный).** Заполняют измерительную склянку компаратора, добавляют последовательно дозы иодида калия и реактива ДРР (см. № 202 С) и находят стандартный образец, имеющий окраску, соответствующую полученному цвету.

**№ 203. Определение железа (от 0,06 до 5 мг/л).** Вносят крупишку бисульфита натрия в 100 мл анализируемой воды (рН от 6 до 8 и температура от 15 до 25 °С), перемешивают и выдерживают в течение 5 мин. Затем добавляют 0,5 мл диметилглиоксима и 1 мл аммиака. Перемешивают. Спустя 15 мин после появления розовой окраски вливают раствор в измерительную склянку компаратора и находят цветной стандартный образец (шкала 0,3—6), имеющий окраску, соответствующую полученному цвету. Если концентрация железа в пробе составляет от 0,06 до 1 мг/л (шкала 0,06—1), за цветом пробы следует наблюдать со стороны верхнего торца склянки.

**№ 204 А. Определение растворенных силикатов (от 3 до 50 мг/л).** Вводят каплю фенолфталеина в 25 мл пробы анализируемой воды. Нейтрализуют серной кислотой до полного исчез-

новения появившейся розовой окраски. Добавляют порцию<sup>1</sup> молибдата аммония и встряхивают до его растворения.

Добавляют 8 капель серной кислоты, и через 5 мин прибавляют 2 мл стабилизатора. Наливают раствор в измерительную склянку компаратора и подбирают стандартный образец, имеющий окраску, соответствующую полученному цвету.

**№ 206 А. Определение фосфатов** (от 0,5 до 10 мг/л). Вливают 10 мл пробы в мерную колбу и доводят до 50 мл дистиллированной или деминерализованной водой. Вводят 5 мл ванадиево-молибденового индикатора. Встряхивают и ждут 5 мин до установления цвета. Затем заполняют измерительную склянку компаратора до отметки В, подбирают стандартный образец, имеющий окраску, соответствующую полученному цвету, глядя на анализируемую пробу со стороны верхнего торца склянки.

Если вода содержит таннин (питательная вода для паровых котлов), ее необходимо после добавления нитрата калия прокипятить, дать остыть и затем отфильтровать через активный уголь.

**№ 206 С. Определение полифосфатов в питьевой и технологической воде.** Предыдущий метод может быть использован также и для определения полифосфатов: берут 100 мл пробы, добавляют в нее 0,5 мл серной кислоты и кипятят в течение часа. Оставляют пробу остывать. Доводят до 100 мл дистиллированной водой. Отбирают 10 мл и продолжают анализ в такой же последовательности, как и в предыдущем методе.

**№ 208. Определение азота нитритов** (от 0,1 до 2 мг/л). К 50 мл анализируемой воды добавляют 2 мл реактива Замбелли, перемешивают и оставляют на 10 мин. Затем добавляют 2 мл раствора аммиака. Жидкость должна сразу стать желтой. Находят стандартный образец того же оттенка.

**№ 209. Определение аммонийного азота** (от 0,1 до 1 мг/л). К 50 мл анализируемой воды добавляют 2 мл сегнетовой соли ( $C_4H_4O_6KNa \cdot 4H_2O$ ) и перемешивают. Затем добавляют 2 мл реактива Несслера. Оставляют на 10 мин до установления цвета.

Наблюдая за цветом пробы с верхнего торца измерительной склянки, находят цветной стандартный образец такого же оттенка.

**№ 210. Определение марганца** (от 0,05 до 2 мг/л). Устанавливают рН анализируемой пробы близким к нейтральному. Удаляют все лишние окислители (озон, диоксид хлора, хлор и т. д.). Ополаскивают две измерительные склянки этой водой. Одну из них заполняют до отметки А и ставят в компаратор со стороны, противоположной отметке «реактивы». Вторую склянку также заполняют до отметки А и добавляют два или три кристалла периодата натрия и перемешивают до растворения.

Добавляют 1,5 мл уксусной кислоты, 3 мл тетраметилдиаминодифенилметанового (ТДД) индикатора; перемешивают и оставляют склянку в компаратор.

Сразу же оценивают концентрацию по стандартному образцу, имеющему окраску, соответствующую полученному цвету, наблюдая за цветом пробы с верхнего торца измерительной склянки.

**№ 211. Определение шестивалентного хрома** (от 0,03 до 1 мг/л). Одну из измерительных склянок заполняют до отметки А; добавляют 0,5 мл серной кислоты и порцию\* дифенилкарбазона. Перемешивают и переливают в другую склянку, поместив последнюю в компаратор со стороны отметки «реактивы». Ополаскивают пустую склянку, заполняют ее водой до отметки А, ставят в компаратор и выдерживают 10 мин. Наблюдая за цветом пробы сверху, находят стандартный образец такого же цвета, что и наблюдаемый.

**№ 212. Определение цианидов** (от 0 до 0,5 мг/л). Заполняют измерительную склянку анализируемой пробой; добавляют четыре капли буферного раствора и 0,5 мл хлорамина Т; перемешивают и ждут 1 мин. Добавляют порцию\* барбитуровой кислоты и перемешивают. Спустя 2 мин добавляют 1 мл пиридина. Перемешивают, переливая из одной склянки в другую, и затем ставят склянку в компаратор со стороны отметки «реактивы».

Пустую измерительную склянку ополаскивают, заполняют ее анализируемой водой и ставят в компаратор. Спустя 30 мин находят стандартный образец такого же цвета, как наблюдаемый.

**№ 213 А. Определение гидразина** (от 0 до 1 мг/л). Одну из измерительных склянок заполняют до отметки А пробой анализируемой воды и, вливая индикатор парадиметиламинобензальдегид (ДАВ), доводят содержимое склянки до отметки В. Перемешивают, переливая из одной склянки в другую, и ставят в компаратор со стороны отметки «реактивы».

Пустую склянку ополаскивают, заполняют ее до отметки В пробой анализируемой воды, ставят в компаратор и находят цветной стандартный образец такого же цвета, что и полученный.

**№ 214 В. Определение озона** (от 0,5 до 3 мг/л). В градуированную мерную склянку вливают 10 капель йодида калия, заполняют ее озонированной водой до отметки 50, добавляют порцию<sup>1</sup> интекс (индикатор, используемый в йодометрии) и хорошо встряхивают. Затем заполняют измерительную склянку до отметки А и находят цветной стандартный образец соответствующего цвета.

**№ 220. Определение цветности воды.** Измерительную склянку заполняют бесцветной водой (например, из минерального источ-

<sup>1</sup> Небольшое количество отмеренного реактива, входящее в аналитический комплект.

\* См. список на с. 938.

<sup>1</sup> См. список на с. 938.

ника) до отметки *C* и затем ставят ее в соответствующее гнездо компаратора. Заполняют вторую измерительную склянку анализируемой водой и, наблюдая сверху, подбирают стандартный образец соответствующего цвета.

### 27.3.2. ОБЪЕМНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ВОДЫ

Аналитический комплект Hydrosigie содержит специальные градуированные бюретки с ценой деления 1/2 мл. Бюретки имеют дополнительную отметку 1/2 мл выше нуля, которая используется только для измерения градусов жесткости с мыльным раствором. Во всех других случаях бюретка должна заполняться до нулевой отметки.

При анализе 100 мл пробы воды получаемые результаты выражаются непосредственно во французских градусах при использовании 0,04 н. растворов. Для перевода результата в миллиграмм-эквиваленты полученное значение необходимо разделить на 5. При использовании вместо специальной бюретки обыкновенной, калиброванной в миллилитрах, для перевода во французские градусы результатов, полученных в мл, их необходимо умножить на 2.

Обычную бюретку, калиброванную в миллилитрах и десятых долях миллилитра, также используют при некоторых методиках титрования, например для определения перманганатной окисляемости, когда результаты необходимо получить в миллиграммах на литр.

**№ 301. Измерение свободного  $CO_2$ .** В 100 мл мерную колбу Эрленмейера вводят 5 мл 0,04 н. щелочного раствора и добавляют четыре капли фенолфталеина. Содержимое колбы осторожно доводят до 100 мл анализируемой водой, не перемешивая и не разбрызгивая (воду приливают по стенке колбы). Легонько пе-

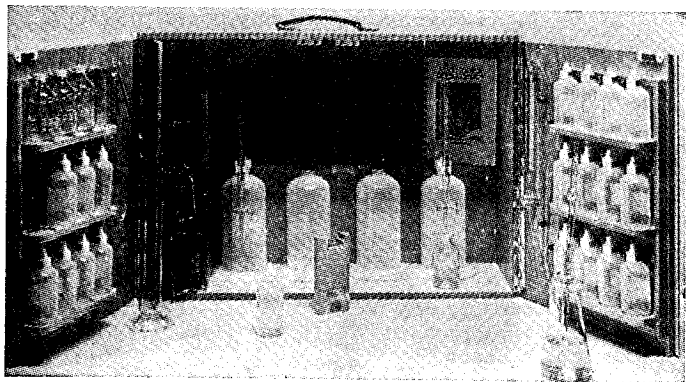


Рис. 27.4. Лабораторный аналитический набор с автоматическими бюретками

ремешивают и выдерживают 5 мин. после чего раствор должен стать розовым. Если не появилась розовая окраска, опыт следует повторить с объемом щелочного раствора равным 10 мл.

Титруют 0,04 н. кислотой до исчезновения окраски (пусть *A* — количество градусов, полученных по бюретке). Проводят анализ холостой пробы с тем же объемом раствора щелочи (пусть *B* — число градусов, установленных по бюретке). Тогда концентрация  $CO_2$ , выраженная в мг/л, равна:

$$CO_2 = \frac{B-a}{100-V} 880.$$

К результату прибавляют 1 мг/л на каждые 10,9 французских градусов жесткости.

**№ 302. Определение общей жесткости  $J_{общ}$ .**

**Мыльный метод № 302 А.** Для анализа берут 100 мл воды, в которой содержание свободного  $CO_2$  уже было определено. Специальную бюретку заполняют мыльным раствором до дополнительной отметки над нулевым делением. Каплю за каплей вливают мыльный раствор, резко встряхивая после добавления каждой порции.

Реакцию можно считать завершенной, когда образуется стабильная пена, которая стоит по меньшей мере 5 мин и разрушается после встряхивания.

Показания, полученные по делениям бюретки, соответствуют французским градусам жесткости. Если результат превышает 20° (французских), для анализа берут только 50 или даже 25 мл воды, разведенной до 100 мл дистиллированной водой, и результат, полученный по бюретке, умножают соответственно на 2 или 4.

**Комплексометрический метод 302 В.** К 100 мл анализируемой воды добавляют 2 мл буферного раствора с pH 10, а затем 10 капель индикатора эриохром черный Т и гидроксиламинхлоргидратный (нагревают до 45°C для ускорения реакции).

С помощью специальной бюретки титруют раствором комплексона ЕДТА до перехода от ярко-красного цвета к чисто синему (если есть возможность, проводят контрольный опыт с тем же объемом дистиллированной воды). Результаты во французских градусах жесткости получают непосредственно по делениям бюретки. Если он превышает 30° (французских), повторяют опыт на 50 (или 25) мл анализируемой воды, разведенной дистиллированной водой до 100 мл. Результат повторного опыта умножают соответственно на 2 (или 4).

**№ 303. Определение кальциевой жесткости.** К 100 мл пробы воды прибавляют 2 мл буферного раствора и около 0,2 г индикатора MRX (нагревают до 45°C для ускорения реакции). С помощью специальной бюретки приливают раствор комплексона до перехода окраски анализируемой пробы от розовой к розо-

вато-лиловой (если есть возможность, проводят контрольный опыт с тем же объемом дистиллированной воды).

Результат анализа кальциевой жесткости считается непосредственно по делениям бюретки. Если он превышает 30° (французских), опыт повторяют на 50 (или 25) мл пробы воды, разведенной дистиллированной водой до 100 мл. Результат умножают соответственно на 2 или 4.

Индикатор MRX можно заменить кальцином без изменения методики. Появление при этом зеленой флуоресценции свидетельствует об окончании титрования.

№ 304. *Определение магниевой жесткости.* Магниевую жесткость определяют как разность между общей жесткостью и кальциевой.

№ 305. *Определение гидратной щелочности  $Щ_{\text{ф}}$ .* Специальную бюретку заполняют до нулевой отметки. Добавляют несколько капель фенолфталеина в 100 мл анализируемой воды и бюреткой добавляют по капле 0,04 н. раствора кислоты до исчезновения розовой окраски. Значение  $Щ_{\text{ф}}$  определяют непосредственно по калибровке бюретки.

Если жидкость остается бесцветной после введения нескольких капель фенолфталеина, значение  $Щ_{\text{ф}}$  равно нулю. Такой случай возможен при анализе природных вод с  $\text{pH} < 8,3$ .

№ 306. *Определение общей щелочности (ОЩ).* Специальную бюретку заполняют до нулевой отметки. Добавляют несколько капель метилового оранжевого в 100 мл анализируемой пробы и затем из бюретки вливают по каплям 0,04 н. раствор кислоты до появления оранжевой окраски. Общую щелочность определяют по калибровке бюретки. Если полученное значение превышает 30° (французских), используют только 50 (или 25) мл воды и умножают полученный результат соответственно на 2 или 4. Если анализируемая вода имеет гидратную щелочность, определяют сначала  $Щ_{\text{ф}}$ , а потом продолжают титрование из той же бюретки без повторного ее заполнения раствором кислоты и определяют ОЩ.

№ 307. *Определение агрессивности воды.* Колбу заполняют 125 мл анализируемой воды и добавляют в нее 1—2 г мелко раздробленного мрамора, предварительно промытого несколько раз дистиллированной, а потом анализируемой водой.

Колбу заполняют доверху так, чтобы не образовывались воздушные пузырьки. Затем ее ставят на встряхиватель, спустя 24 ч определяют  $\text{pH}$  и ОЩ пробы.

Сравнивая  $\text{pH}$  и ОЩ анализируемой воды до и после контакта с мрамором, оценивают агрессивность анализируемой воды.

№ 308. *Определение содержания свободного едкого натра в питательной воде паровых котлов.* Определение содержания едкого натра по данным  $Щ_{\text{ф}}$  и ОЩ, как видно из табл. 27.2, будет неточным, если  $Щ_{\text{ф}}$  намного превосходит ОЩ/2. Поэтому лучше

определение проводить следующим образом. К 100 мл анализируемой воды добавляют 5 мл 20%-ного раствора хлорида стронция и далее определяют  $Щ_{\text{ф}}$ , т. е. щелочность по NaOH. Если полученное значение  $Щ_{\text{ф}}$  больше 25° (французских), то анализируют разведенную воду и умножают результат на коэффициент разведения. Концентрация NaOH в мг/л равна  $8 Щ_{\text{ф}}$ .

ОЩ — общая щелочность анализируемой воды, которая является в данном случае концентрацией  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в мг/л =  $10,6 (\text{ОЩ} - Щ_{\text{ф}}, (\text{NaOH}))$ .

№ 309. *Определение содержания свободных сильных кислот (СК).* При  $\text{pH}$  4,5 в воде нет свободных сильных кислот. К 100 мл анализируемой воды добавляют две капли метилового оранжевого, что вызывает появление розовой окраски (если окрашивания не появилось, СК = 0).

Специальной бюреткой добавляют 0,04 н. раствор гидроксида натрия до перехода цвета к желтому и непосредственно по калибровке бюретки определяют значение СК.

№ 312. *Определение перманганатной окисляемости.* Применяют бюретку, калиброванную в десятых долях миллилитра, и 0,0125 н. раствор перманганата калия.

№ 312 В. *Определение в щелочной среде.* К 100 мл анализируемой воды приливают 1 мл насыщенного раствора бикарбоната натрия и далее доводят пробу до кипения. Добавляют 10 мл 0,125 н. раствора перманганата калия и кипятят точно 10 мин. Быстро охлаждают и добавляют 2,5 мл 50%-ной серной кислоты и 10 мл раствора соли Мора (с концентрацией 5 г/л), подкисленного серной кислотой.

Бюреткой по капле приливают раствор перманганата калия до появления бледно-розовой окраски. Обозначим через  $A$  количество израсходованного на титрование раствора перманганата калия. Проводят холостой опыт: к 100 мл дистиллированной воды приливают 2,5 мл 50%-ной серной кислоты и 10 мл раствора соли Мора (5 г/л). Из бюретки приливают раствор перманганата калия до получения бледно-розовой окраски. Если  $B$  — количество миллилитров добавленного раствора перманганата калия, то количество вещества в воде, способного окисляться перманганатом калия, выраженное в миллиграммах кислорода на литр, равно  $A - B$ .

№ 312 Г. *Определение в кислой среде.* К 100 мл анализируемой воды приливают 2,5 мл 50%-ной серной кислоты и доводят до точки кипения. Добавляют 10 мл раствора перманганата калия и кипятят строго в течение 10 мин. Затем быстро охлаждают, добавляют 10 мл раствора соли Мора (с концентрацией 5 г/л, подкисленного серной кислотой). Бюреткой вливают по капле раствор перманганата до появления слабо-бордового оттенка (пусть  $A$  — количество введенного перманганата в мл). Как и в предыдущей методике, проводят холостой опыт (пусть  $B$  — количество израсходованного при этом перманганата в мл). Ко-



личество вещества в воде, способного окисляться перманганатом калия, выраженное в миллиграммах кислорода на литр, равно  $A-B$ .

Примечания. 1. Для получения результатов с большей точностью нужно проводить анализ с 200 мл пробы воды при удвоенном количестве реактивов; полученный при этом результат следует разделить на 2.

2. Если перманганатная окисляемость анализируемой воды превышает 2 мг/л, пробу следует разбавить дистиллированной водой (не содержащей органических веществ). Количество стандартного раствора перманганата калия, израсходованного при титровании, должно составлять не более 20% количества, введенного в начале опыта.

3. Окисляемость любой воды в щелочной среде обычно меньше, чем в кислой.

№ 313. *Определение растворенного кислорода.* См. метод № 403, с. 956.

№ 314 *Г. Определение содержания хлоридов.* Специальную бюретку заполняют 0,04 н. раствором нитрата серебра. К 100 мл анализируемой воды добавляют одну каплю фенолфталеина; если вода становится красной, приливают 10%-ную азотную кислоту. Добавляют 3 или 4 капли 10%-ного хромата калия, далее из бюретки приливают по каплям раствор нитрата серебра и встряхивают до появления кирпично-красного цвета.

Тот же анализ проводят на дистиллированной воде, и полученное значение вычитают из результата опыта на анализируемой воде. Один французский градус соответствует 7,1 мг/л  $Cl^-$ .

№ 315 *Г. Определение солей сильных кислот (общая концентрация солей сильных кислот).* В трубку диаметром 2—3 см, перегороденную стеклянной фильтрующей пластинкой, помещают 100 мл сильнокислотной катионообменной смолы. Нижний конец трубки должен переходить в более узкую стеклянную трубку, касающуюся основания, на котором помещена смола, так что это основание всегда находится в погруженном состоянии.

Смолу регенерируют, пропуская через нее 100 мл раствора соляной кислоты (15 мл  $HCl$  плотностью 1,18 в 100 мл воды).

Затем ее прополаскивают, пропуская сначала 500 мл дистиллированной воды и потом 200 мл анализируемой воды.

Пропускают 100 мл анализируемой воды через колонку со скоростью 1,5 л/ч. Собирают фильтрат и определяют содержание в нем сильных кислот (СК).

Полученное значение является мерой содержания в анализируемой воде солей сильных кислот (ССК).

Немецкий метод определения содержания свободных сильных кислот состоит в определении количества 0,1 н. едкого натра, которое следует ввести в 100 мл воды, отфильтрованной, как описано выше, через сильнокислотную катионообменную смолу до изменения цвета метилового оранжевого. Полученный в мл результат обозначим  $+m$  или  $-m$ .

№ 322. *Определение содержания шестивалентного хрома.* Заполняют бюретку, калиброванную в мл, 1/17,33 н. (0,057 н) раствором соли Мора. К 100 мл анализируемой воды добавляют: 10 мл 6 н. серной кислоты, 5 мл концентрированной фосфорной кислоты, 6—8 капель индикатора (0,5-ный раствор дифениламинсульфоната бария в дистиллированной воде). Титруют солью Мора до исчезновения фиолетового цвета, появившегося при введении индикатора.

1 мл пошедшего на титрование раствора соли Мора соответствует 6 мг шестивалентного хрома.

№ 324. *Определение гидразина.* Бюретку заполняют до нулевой отметки специальным раствором бромата калия. В 100 мл анализируемой пробы вводят 3—4 капли метилового оранжевого, а затем соляную кислоту до появления розового цвета. Добавляют еще 10 мл соляной кислоты и по каплям раствор бромата калия до изменения окраски. В конце титрования энергично перемешивают раствор, так как исчезновение цвета происходит мгновенно и необратимо.

Если на титрование пошло  $n$  мл бромата калия, содержание гидразина в г/л составляет:  $(n \cdot 8) : 100$ .

## 27.4. ФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

$pH$   
редокс-потенциал  
электрическая проводимость } см. гл. 19, с. от 577 до 580.

№ 316. *Определение мутности по рассеянию света.* Калибровка по формазану. В этом методе интенсивность пучка света, рассеянного на  $90^\circ$  пробой анализируемой воды, сравнивается с результатом, полученным на стандартном растворе формазана.

Интенсивность рассеянного света измеряют фотометром; фирмы, производящие фотометры, могут снабжать их стандартными образцами с рассеянием по формазану.

Контрольную суспензию готовят следующим образом. Раствор А. Отвешивают 1 г серноокислого гидразина и растворяют его в небольшом количестве дистиллированной воды, а затем этой же водой доводят до 100 мл.

Раствор В. Отвешивают 1 г. гексаметилентетрамина и растворяют при нагревании в небольшом количестве дистиллированной воды; затем охлаждают и доводят дистиллированной водой до 100 мл.

Вливают 5 мл раствора А и 5 мл раствора В в мерную колбу объемом 100 мл. Хорошо перемешивают и оставляют на 48 ч при температуре  $20^\circ C$ . Жидкость становится опаловой. Доливают до отметки 100 мл дистиллированной водой; полученная контрольная суспензия имеет мутность, соответствующую 400 единицам по Джексону.

**Измерение мутности.** Несколько точек калибровочного графика получают разведением контрольной суспензии абсолютно чистой водой.

По стандартам ASTM могут использоваться следующие три эквивалентные единицы измерения мутности:

JTU . . . . .	единица мутности по Джексону
FTU . . . . .	единица по формазану
NTU . . . . .	нефелометрическая единица мутности

Приборы этого типа могут быть откалиброваны также и по другим суспензиям. Часто используют диатомит (специально обработанный для нефелометрии), при этом результаты выражают в мг/л по кремнезему.

**№ 316 А. Измерение индекса рассеяния (AFNOR NF T90 033)\*.** Этот метод основан на измерении интенсивности рассеяния света взвешенными частицами. Измерение рассеянного света производят под углом 90° к оси падающего луча (эту величину сравнивают с интенсивностью падающего света) при длине волны 546,1 нм (зеленая полоса спектра ртути).

Прибор должен быть откалиброван с использованием химически чистых жидкостей, индекс рассеяния которых точно известен (например,  $n = 1,63$  для бензола).

Калибровочные растворы или анализируемую пробу следует заливать в абсолютно чистую измерительную кювету без царапин, запотевания стекол и др. Перед измерением пробу перемешивают и обеспечивают условия, необходимые для ликвидации пузырьков воздуха.

**№ 317. Измерение прозрачности с использованием платиновой проволоки (сырая или осветленная природная вода, сточная вода).** Анализируемую воду наливают в стеклянную трубку диаметром 3 см и длиной около 60 см, закрытую с одной стороны черной заглушкой, на которой укреплено кольцо из блестящей платиновой проволоки. Измеряют высоту столба анализируемой воды, выше которой платиновое кольцо перестает быть видимым.

**№ 317 А. Определение прозрачности с использованием диска Секи (сырая или осветленная природная вода, сточная вода).** Белый диск диаметром 20 см, укрепленный на конце шеста, постепенно погружают в воду и измеряют расстояние, на котором диск перестает быть видимым.

**№ 318. Проверка мутности фильтрованной воды (метод Динерта и Гиллерда).** Приготавливают 1%-ный спиртовой раствор растительной смолы. От специальной лампы направляют два световых луча через две кюветы, в одну из которых налита про-

ба анализируемой воды, а во вторую — абсолютно чистая вода. В последнюю по каплям добавляют раствор растительной смолы до тех пор, пока появившийся опаловый оттенок чистой воды станет сравнимым с окраской анализируемой воды. По числу использованных капель растительной смолы определяется мутность пробы.

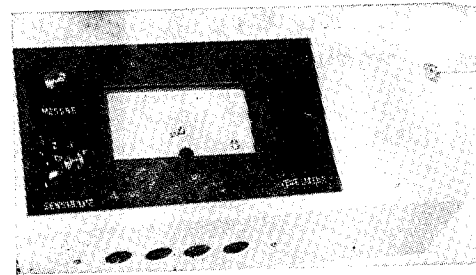


Рис. 27.5. Турбидиметр «Hydrocure» с фотоэлектрической ячейкой

**№ 320. Проверка цветности по платино-кобальтовой шкале.** Анализируемую воду сравнивают с платино-кобальтовыми растворами различной концентрации. Цветность растворов выражается по концентрации платины в мг/л. Единица цветности соответствует цветности раствора, содержащего 1 мг платины в 1 л.

Для этих измерений используют трубки Несслера или для определения очень незначительной цветности — трубки объемом 40 см<sup>3</sup>.

Если в воде содержатся взвешенные вещества, их удаляют центрифугированием. Если цветность превышает 70, оценку повторяют после соответствующего разведения пробы воды.

При измерении используют сравнительные растворы со следующими значениями цветности: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50, 70. Их готовят из 10%-ного раствора соляной кислоты, содержащего 1,25 г/л хлороплатината калия и 1 г/л  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Цветность такого раствора равна 500 единицам.

**№ 321. Определение взвешенных веществ (стандарт AFNOR NF T.90.105)\*.** Метод фильтрования через стекловолоконный фильтр. Фильтр промывают дистиллированной водой, высушивают при 105°C, охлаждают в эксикаторе и взвешивают с точностью до 0,1 мг (масса  $M_1$ ).

Фильтр помещают в корпус и присоединяют фильтрующую ячейку к вакуум-наосу.

Фильтруют объем пробы  $V$ , причем масса оставшегося на фильтре вещества должна быть не менее 1 мг/см<sup>2</sup>,  $V$  должен быть не менее 100 мл.

Колбу, в которой была анализируемая проба, ополаскивают дистиллированной водой (10 мл), эту воду также пропускают через фильтр.

\* См. сноску на с. 936.

† См. сноску на с. 936.

Фильтр обезвоживают и сушат при температуре 105°C, охлаждают в эксикаторе и взвешивают (масса  $M_2$ ). Содержащие взвешенных веществ (в мг/л) равно:

$$\frac{(M_2 - M_1) 1000}{V}$$

## 27.5. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗОВ

### 27.5.1. ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗОВ

Соль является соединением катиона (металлический радикал) и аниона (кислотный радикал). Химический анализ позволяет обнаружить различные анионы и катионы и не дает возможности выяснить характер и количество растворенных солей, поскольку каждый катион может соединиться с любым анионом, и наоборот. В большинстве случаев невозможно установить, какие соли образуются при соединении анионов с катионами, и можно только предполагать характер этих соединений. Получаемые результаты могут быть весьма далеки от реальных.

Такие предположения дают всегда ошибочную картину, поскольку растворы электролитов в большей или меньшей степени диссоциированы, в действительности вода содержит только ионы.

Более того, совсем неважно точно знать характер растворенных солей. Достаточно знать относительные соотношения между различными анионами и катионами. Поэтому выражение концентрации анионов и катионов в эквивалентах или градусах дает представление о возможности различных соединений между ними и позволяет сделать проверку точности анализа, поскольку сумма катионов должна быть равна сумме анионов (исключая случаи наличия избыточной кислоты или основания).

Перманганатную окисляемость, содержание железа, марганца, свободного  $\text{CO}_2$ , растворенного кислорода, кремнезема, общего азота и азота аммонийного, нитратного и нитритного выражают в мг/л. Катионы и анионы, которые соединяются с образованием различных растворенных в воде солей, группируют в две таблицы, концентрацию их выражают или в мг/л и мг-экв/л, или в град. Общая соленость воды определяется общим содержанием катионов и анионов в мг/л. Общее содержание катионов, выраженное в мг-экв/л (или в град), должно быть таким же, как и общее содержание анионов, выраженное в мг-экв/л (или в град).

### 27.5.2. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Любая оценка полученных результатов полностью зависит от того, для какой цели используется вода. В этом отношении нет никаких конкретных правил, но есть некоторые общие особенности, которые делают возможным обсуждение результатов анализов.

*Цветность (методы № 220 и 320).* Истинная цветность определяется присутствием растворенных и коллоидных органических веществ. Между цветностью и содержанием органических веществ, которые могут быть окрашенными и бесцветными, никакой взаимосвязи не существует.

Окрашенную воду неприятно использовать для домашних нужд и особенно для питья, поскольку сразу же появляются сомнения относительно ее пригодности для питья.

В некоторых видах производства требуется абсолютно бесцветная вода, поскольку наличие в воде компонентов, определяющих цветность, ухудшает качество выпускаемой продукции; примером могут служить бумажная, вязкозная, целлюлозная промышленность, а также производство крахмала и красителей.

*Запах и привкус.* Эти показатели, как правило, определяются наличием в воде загрязнений или продуктов метаболизма и разложения организмов, например, водорослей или грибов.

Определенные химические вещества, иногда в незначительных количествах, также приводят к появлению неприятных запахов. Это относится к фенолам, которые в соединении с хлором образуют сильно дурнопахнущие вещества. Неприятные привкусы не считаются важными с гигиенической точки зрения, но они чрезвычайно существенны для характеристики питьевой воды.

Однако любая вода имеет свои собственные привкусы, связанные с наличием в воде растворенных солей и газов.

*Мутность (методы № 316, 317, 318).* Этот показатель совместно с содержанием взвешенных веществ определяет наличие в воде коллоидов органического и неорганического происхождения. В некоторых видах промышленности (таких, как бумажная) требуется вода с очень высокой степенью очистки от коллоидных веществ, в то время как в других допускается значительная мутность воды (охлаждающие системы).

Наличие в водах взвешенных веществ, способных осаждаться, приводит к такому осложнению, как образование осадков в трубопроводах и реакторах.

Мутность воды связана с ее прозрачностью, и значение мутности необходимо знать при водоподготовке.

*Удельное сопротивление* зависит от концентрации растворенных солей. Измерение этого параметра, являющееся достаточно простой процедурой, дает некоторую представление о концентрации солей в воде. Знание его чрезвычайно полезно для периоди-

ческой проверки качества воды, поскольку таким образом можно установить резкие изменения состава воды.

Необходимо точно указывать температуру, при которой было измерено значение удельного сопротивления.

*pH (метод № 201).* Значение pH указывает на кислую или щелочную реакцию воды. Его важно знать не для оценки санитарного состояния воды, а для определения ее агрессивности. Регулярное измерение pH является важным фактором при водоподготовке. Особенно большое влияние он оказывает на эффективность процесса коагуляции.

Необходимо фиксировать температуру, при которой было измерено значение pH.

*Определение жесткости (метод № 302).* Общая жесткость является выражением суммарной концентрации растворенных солей кальция и магния.

Эти соли образуют нерастворимые соединения с мылами, которые теряют часть своей мылкости, что приводит к значительному ухудшению пенообразования. Более того, наличие солей кальция и магния в воде приводит к ухудшению разваривания овощей при их приготовлении.

В случаях когда вода характеризуется высоким значением  $J_{\text{общ}}$ , говорят, что вода «жесткая», а в противном случае ее называют «мягкой».

Под влиянием нагрева бикарбонат кальция образует нерастворимый карбонат, осаждающийся в виде накипи на стенках труб и оборудования.

Для бытовых нужд может быть использована вода с общей жесткостью до 10 мг-экв/л, но наилучшие вкусовые качества имеет вода, жесткость которой составляет от 1,6 до 3 мг-экв/л.

Для систем городского водоснабжения наличие в воде определенной карбонатной жесткости полезно с точки зрения защиты трубопроводов от коррозии, так как образуется пленка на внутренней поверхности труб.

При умягчении воды необходимо учитывать также магниевую жесткость.

*Определение щелочности ( $Щ_{\text{ф}}$  и  $ОЩ$ ) (методы № 305 и 306).* Значение этих двух определений рассмотрено на с. 928. Эти два параметра необходимо учитывать при анализе конкретной воды и особенно ее агрессивности (действие растворителя на мрамор) или, наоборот, тенденции к образованию накипи, поскольку оба эти явления зависят от равновесия между свободной  $\text{CO}_2$  и бикарбонатами.

При исследовании и выборе способов умягчения воды с использованием химического осаждения основные данные получают на основе определения щелочности воды.

Высокая щелочность питательной воды котлов может причинять неприятности в связи с развитием обрастаний и щелочным коррозионным воздействием.

С точки зрения санитарных норм значение  $ОЩ$  не ограничивается.

*Определение солей сильных кислот (ССК) (метод № 315).* Природные воды не содержат свободных сильных кислот, а только их соли, особенно сульфаты и хлориды кальция, магния и натрия. Этот показатель необходимо знать при разработке систем деминерализации воды, потому что при прохождении воды через сильнокислотный катионообменник происходит деионизация солей с образованием соответствующих сильных кислот.

*Определение свободных сильных кислот (СК) (метод № 309)* позволяет установить общее содержание свободных сильных кислот. В природных водах этих кислот нет, но они могут присутствовать в воде, прошедшей H-катионирование, и в некоторых промышленных сточных водах. Значение величины СК воды, прошедшей через сильнокислотный катионообменник, важно для управления системой водоподготовки.

*Железо (метод № 203).* Присутствие его в воде часто приводит к осложнениям. Даже при малых концентрациях железо при контакте с воздухом образует красные хлопья, создающие мутность и оставляющие пятна на тканях. Определенные виды бактерий используют железо и, развиваясь на стенках труб, приводят к коррозии последних с образованием объемных и жестких отложений.

*Свободная углекислота (метод № 301).* Содержание свободной углекислоты важно знать при исследовании стабильности воды и ее способности вызывать коррозию или накипеобразование в трубопроводах. Присутствие  $\text{CO}_2$  заметно улучшает вкус питьевой воды, которая в отсутствие  $\text{CO}_2$  становится безвкусной.

*Органические вещества (метод № 312).* Под этим термином понимаются все вещества, способные при кипении окисляться под действием перманганата калия. Результаты выражаются или в мг/л  $\text{O}_2$  или в мг/л  $\text{KMnO}_4$ ; в качестве справки следует отметить, что 1 мг/л  $\text{O}_2$  соответствует 3,95 мг/л  $\text{KMnO}_4$ .

С точки зрения санитарных норм нет четких представлений о значимости этого параметра, и для здоровья не всегда опасно пить воду с большим содержанием органических веществ (перманганатная окисляемость 1 л чая составляет 2000 мг  $\text{O}_2$ ).

Некоторые виды органических веществ повышают цветность и ухудшают вкус воды, поскольку они способствуют развитию на стенках трубопроводов таких организмов, как водоросли, грибы и бактерии, выделяющих метаболиты с неприятным запахом. Они могут также образовывать дурнопахнущие соединения с хлором, используемым в целях дезинфекции.

Вода, богатая органическими веществами, всегда считается загрязненной с точки зрения бактериологической или химической (восстановители).

**Азот.** Присутствие в воде большого количества аммонийного азота обычно свидетельствует о недавнем загрязнении разлагающимися органическими веществами. В этом случае необходимо провести специальный анализ на проверку бактериальной загрязненности.

При проникании воды через почву под действием определенных бактерий аммонийный азот превращается в нитриты и далее в нитраты.

Вода с малым содержанием аммиака и большой концентрацией нитратов свидетельствует об эффективной почвенной фильтрации и очистке. В то же время в некоторых подземных водах аммиак может присутствовать, но не обязательно по причине их загрязненности.

Аммиак способствует развитию некоторых видов бактерий, которые ухудшают вкус воды.

Содержание в питьевой воде нитратов должно быть лимитировано из-за опасности развития метгемоглобинемии у детей.

**Агрессивность (метод № 307). Образование накипи** (см. с. 33). Равновесное содержание в воде карбоната кальция характеризуется тем, что известняк не растворяется в воде (если ликвидированы пузырьки воздуха) и не наблюдается осаждения карбоната кальция. Если при анализе происходит увеличение рН и ОЩ, значит вода агрессивна. Если, наоборот, ОЩ падает, вода является стабильной. В общем целесообразнее, чтобы на металлических поверхностях вода образовывала защитные пленки, предохраняющие их от коррозии.

**Подведение ионного баланса.** Ориентировочно ионный баланс подводят путем расчета содержания некоторых элементов, концентрации которых не поддаются прямому определению. Например:

содержание магния устанавливают по разнице значений  $J_{\text{общ}} - J_{\text{Ca}}$ ;

содержание бикарбонатов, карбонатов и ионов  $\text{OH}^-$  определяют по значениям  $\text{Щ}_f$  и ОЩ (см. с. 942);

содержание сульфатов вычисляют как разность ССК (хлориды + нитраты);

щелочные катионы ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{NH}_4$ ) являются разностью (сумма анионов) —  $(J_{\text{общ}} + \text{Fe})$ .

**Натрий.** Некоторые воды содержат большие концентрации натрия (соленые воды) и по этой причине имеют неприятный вкус. Привкус хлорида натрия становится весьма ощутимым при его концентрации более 500 мг/л.

**Бактериологические испытания.** Чтобы принять решение о пригодности воды для питья, недостаточно провести лишь химический анализ. Информация о содержании органических веществ, азота и т. д. может свидетельствовать лишь о возможном загрязнении, но о пригодности воды для питья можно судить только на основании результатов дополнительного бакте-

риологического анализа. Бактериологический анализ является глубоко лабораторным методом, который проводится специалистами, и в эту книгу не предполагалось включать такие методы (см. некоторые замечания на с. 1011).

Бактериологические исследования воды в основном состоят в обнаружении колибактерий и особенно *Escherichia coli* и некоторых других спорообразующихся бактерий, которые сами по себе не опасны, но свидетельствуют о наличии фекальных загрязнений. Вода, содержащая эти бактерии, может стать опасной в случае эпидемии.

### 27.5.3. НЕЖЕЛАТЕЛЬНЫЕ И ТОКСИЧНЫЕ РАСТВОРЕННЫЕ В ВОДЕ ВЕЩЕСТВА

Трудно установить средний и максимальный уровни таких веществ, встречающихся в воде, как кальций, магний, железо, хлориды, сульфаты и т. д. В очень жарких и сухих странах, в которых ежедневное потребление воды человеком велико (до 15 л), минерализация воды может стать очень важным показателем. Сульфаты магния могут провоцировать заболевания кишечника тракта, которые проходят после адаптации организма к этой соли.

Максимально допустимые уровни некоторых веществ могут быть утверждены на основе их токсичности. В санитарных правилах приводятся предельно допустимые концентрации большинства нежелательных и токсичных веществ (влияющие на органолептические или физико-химические воды) и бактериологические показатели.

### 27.5.4. ХИМИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА, ПОПАДАЮЩИЕ В ВОДУ ПРИ ЕЕ ОБРАБОТКЕ

В ряде случаев может оказаться необходимой оценка токсичности или полезности некоторых веществ, попадающих в воду при ее обработке.

Глинозем, хлорид железа, активная кремниевая кислота и в основном все неорганические реагенты, используемые при осветлении воды, не приводят к неприятностям, тем не менее остаточные их концентрации в воде регламентируются правилами.

При водоподготовке применяют некоторые органические реагенты, способствующие флокуляции, и некоторые полифосфиты; для их использования требуется санкция компетентных органов.

Высказываются сомнения, насколько безобиден хлор при использовании его для дезинфекции, в связи с этим проводят исследования одновременно по хлорированию и озонированию воды с целью установить ограничения в их использовании.

## 27.6. АНАЛИЗ СТОЧНЫХ ВОД. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ

Рассмотрим основные методы анализа, используемые для характеристики сточных вод до и после их очистки. С этой целью необходимо определить значения рН; БПК<sub>5</sub> в мг/л O<sub>2</sub>, растворенного в воде; ХПК в мг/л O<sub>2</sub> с использованием бихромата калия; возможно, перманганатную окисляемость, провести тест с метиленовой синей; определить количество взвешенных веществ; содержание аммонийного азота; общего азота по Кьельдалю (органический азот + аммонийный азот); азота нитратов; азота нитритов; токсичность вод, сбрасываемых в природные водоемы, а также определить другие показатели.

№ 401. Колориметрическое определение рН (см. гл. 2, с. 936).

№ 402. Определение БПК<sub>5</sub> (биохимическая потребность в кислороде).

№ 402 А. Метод разбавления. При проведении этого анализа исследуемую воду разбавляют чистой инокулированной водой (см. метод 402 С) и периодически определяют потребление кислорода. Введение культур микроорганизмов при анализе бытовых сточных вод необязательно. Наилучшие результаты получают при таком разбавлении, когда потребление кислорода за время инкубации составляет от 35 до 60% его первоначального содержания. Степень разбавления зависит от степени загрязненности. Необходимая степень разбавления может быть оценена по результату определения ХПК исходя из того, что БПК<sub>5</sub>, как правило, меньше ХПК, и соотношения между ХПК и БПК<sub>5</sub> наиболее часто лежат в диапазоне от 1,5 до 3. Полагая, что вода перед инкубацией при 20 °С содержит около 8 мг/л кислорода, можно записать:

$$\text{степень разбавления} = \frac{\text{предполагаемая БПК}_5}{4}$$

Для определения предполагаемого значения БПК<sub>5</sub> следует приготовить, по меньшей мере, три различных разбавления.

Разбавленные пробы инкубируют в темноте в течение 5 сут при 20 °С. Вода, используемая для разбавления, должна сохраняться при этой температуре и быть в равновесном состоянии с атмосферой; это легко выполнимо при хранении резерва чистой воды, предназначенной для анализа, в сушильном шкафу с регулируемой температурой или в термостатированной ванне, в которой инкубируют разведенные пробы.

*Ход определения.* Приготавливают 500 мл разбавленной пробы (используют калиброванную склянку с притертой пробкой, в которой под закрытую пробку помещается 500 мл). После полного перемешивания пробу разделяют на две равные части: одну из них инкубируют, а вторую используют для измерения начальной концентрации растворенного кислорода. Приготавливают

контрольную пробу разбавляющей воды, которая может содержать или не содержать дополнительно введенные культуры микроорганизмов. Через 5 сут измеряют остаточную концентрацию растворенного кислорода. Разница между двумя результатами для каждого разбавления, уменьшенная на величину потребления в контрольной пробе, и с учетом степени разбавления представляет то количество кислорода в литре, которое необходимо для биологической очистки сточной воды. Полученный результат составляет пятисуточную биохимическую потребность в кислороде или БПК<sub>5</sub>. Это условный показатель, поскольку полную потребность в кислороде определяют после более длительного периода инкубаций.

Примечания. 1. После разбавления рН пробы должен быть между 7 и 8. Если значение рН иное, анализируемая вода должна быть прежде всего нейтрализована.

2. Разбавляющая вода может быть приготовлена из питьевой воды или воды из очень чистого источника; она может быть приготовлена также из дистиллированной или обессоленной воды эквивалентной степени чистоты и обогащенной минеральными солями добавлением 1 мл/л каждого из следующих растворов:

раствора фосфатов: 8,5 г однозамещенного фосфата калия (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), 8 г двузамещенного фосфата калия (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) и 44,6 г двузамещенного фосфата натрия (Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O), растворенных в 1 л воды;  
раствора сульфата магния, содержащего 20 г/л MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O;  
раствора хлорида кальция, содержащего 25 г/л CaCl<sub>2</sub>;  
раствора хлорида железа, содержащего 1,5 г/л FeCl<sub>3</sub>;  
раствора хлорида аммония, содержащего 2 г/л NH<sub>4</sub>Cl.

*Особые случаи.* Когда анализируется вода, прошедшая полную очистку с интенсивным процессом нитрификации, нитрифицирующие бактерии продолжают метаболизировать во время инкубации пробы. При этом потребляется дополнительное количество кислорода и значение БПК очищенной воды получается завышенным. В этом случае ход определения следует модифицировать следующим образом: пробу подкисляют до получения рН от 2 до 3 и выдерживают ее в течение 15 мин. Затем нейтрализуют до установления рН от 7 до 7,4. Для заражения разбавляющей воды в нее добавляют 5 мл/л свежееотстоенной инкубационной воды. Полученное таким образом значение БПК<sub>5</sub> должно быть откорректировано с учетом небольшого количества органических веществ, внесенных при инокуляции.

№ 402 В. Использование респирометров. Пробу воды, предназначенную для инкубации, помещают в герметичный сосуд и стряхивают в присутствии воздуха. Газообмен контролируют, измеряя выделяющийся СО<sub>2</sub> (абсорбцией щелочью) и измеряя потребление кислорода. При этом может регистрироваться либо снижение давления (респирометром Варбурга и аналогичными респирометрами), либо количество кислорода, подававшегося в респираторную колбу для поддержания постоянного давления (респирометром SIERP и другими аналогичными конструк-



циями). При этом получают запись кривой потребления кислорода во времени. Полученные данные не отражают процессов, происходящих в реке, если анализируемая вода не разбавлена в той же пропорции, в какой происходит разбавление сбрасываемой в реку очищенной воды.

№ 402 С. *Определение БПК<sub>5</sub> очищенных производственных сточных вод, не содержащих микрофлоры.* Поскольку определение БПК<sub>5</sub> является биологическим методом, вода должна содержать микроорганизмы, способные разлагать загрязнения. Необходимая затравка микроорганизмами может быть получена при фильтровании анализируемой воды через слой почвы или прибрежных отложений ила, взятого в месте, расположенном ниже по течению реки относительно места сброса очищенной воды.

№ 403. *Определение растворенного кислорода № 403 А. Химические методы.*

1. *В воде.* Если содержание кислорода измеряют при определении БПК<sub>5</sub>, анализ следует проводить непосредственно в 125 мл склянке, в которой проба инкубировалась в течение 5 сут. В остальных случаях также используют склянки вместимостью 125 мл, которые заполняют анализируемой водой, принимая меры предосторожности, чтобы пузырьки воздуха не попадали в склянку. Быстро вводят 1 мл сульфата марганца и 1 мл азотированного йодида калия. При этом пользуются пипетками на 2 мл, опуская их на дно склянки; пипетки, заполненные до отметки 2 мл, опорожняют до отметки 1 мл. Снова закрывают склянку пробкой, стараясь не допустить попадания в нее пузырьков воздуха, и тщательно перемешивают содержимое склянки.

Через 10 мин открывают склянку и вводят 0,5 мл концентрированной или 1 мл 50%-ной серной кислоты. Перемешивают и когда весь образовавшийся раньше осадок растворится, отбирают 100 мл раствора и титруют раствором 0,0125 н. тиосульфата натрия в присутствии крахмала или, предпочтительнее, витекса. Количество миллилитров тиосульфата натрия, пошедшее на титрование, соответствует содержанию в пробе растворенного кислорода в мг/л.

Используемые реактивы:

раствор сульфата марганца (400 г/л  $MnSO_4$  в дистиллированной воде);

йодид калия (растворяют 700 г едкого кали, 150 г йодида калия и 10 г нитрида натрия в 1 л дистиллированной воды); тиосульфат натрия (0,0125 н. раствор);

йод (0,0125 н. раствор);

крахмал (4 г/л + 1,25 г/л салициловой кислоты или, предпочтительнее, порошкообразного витекса).

2. *В активном иле.* Активность ила должна быть прекращена сразу же после отбора пробы на анализ. Для этого вливают

10 мл ингибирующего раствора в склянку вместимостью 500 мл и затем сифоном вводят 700 мл иловой смеси, стараясь заполнить склянку без попадания в иловую смесь пузырьков воздуха. Заполненную доверху склянку закрывают пробкой, перемешивают содержимое и дают илу осесть.

Раствор над осадком сифонируют в склянку вместимостью 125 мл. Далее продолжают определение так же, как описано в предыдущем пункте.

Ингибирующий раствор сульфата меди: растворяют 32 г сульфаминовой кислоты в 475 мл холодной воды и растворяют 50 г сульфата меди ( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ) в 500 мл воды. Смешивают два раствора и добавляют 25 мл уксусной кислоты.

№ 403 В. *Электрохимические методы.* Существует несколько типов приборов с погружным датчиком (полярографическим или амперометрическим), который может быть использован для прямого определения содержания кислорода или процента насыщения, определяемого при сравнении анализируемой пробы с водой с известным содержанием кислорода.

№ 404. *Перманганатная окисляемость.*

1. *Определение на холоду (в кислой среде)* позволяет составить представление о содержании органических веществ в очищенной воде. Сущность метода состоит в том, что определенный объем анализируемой воды выдерживают в контакте с перманганатом калия в течение 4 ч, а затем определяют количество непрореагировавшего перманганата калия.

● Используемые реактивы:

0,125 н. раствор перманганата калия, 1 мл которого соответствует 0,1 мг кислорода;

раствор соли Мора (концентрация 5 г/л);

раствор серной кислоты, 50% по объему.

● Ход определения.

В колбу с длинным горлом вводят 50 мл анализируемой воды и добавляют 5 мл 50%-ной серной кислоты, а затем 50 мл перманганата. После этого колбу оставляют при комнатной температуре на 4 ч. Затем пробу обесцвечивают добавлением 10 мл раствора соли Мора. Избыток определяют обратным титрованием 0,0125 н. раствором перманганата калия до получения розового цвета. Поскольку известны количество и концентрация использованных реагентов — растворов соли Мора и перманганата калия, а также известен объем взятой пробы воды, легко вычислить количество кислорода, необходимое для окисления органических веществ, содержащихся в 1 л очищенной воды.

Важно, чтобы избытка перманганата хватило на четырехчасовой период окисления. Следует также обращать внимание на то, чтобы в анализируемой воде не содержалось большого количества нитритов.

2. *Определение при кипячении (в кислой среде).* Приливают 10 мл 50%-ной серной кислоты к 100 мл анализируемой воды и

доводят до кипения. Приливают 20 мл 0,0125 н. перманганата калия и продолжают кипятить пробу в течение 10 мин. Быстро охлаждают и вводят 20 мл раствора соли Мора с концентрацией 5 г/л. Титруют 0,0125 н. раствором перманганата, и из полученного значения вычитают результат титрования холостой пробы с дистиллированной водой.

Полагая, что количество израсходованного перманганата с учетом корреляции по холостой пробе равно  $V$ , окисляемость воды, выраженная в мг кислорода на 1 л, равна также  $V$ . Если окисляемость больше 3,5 мг/л, опыт следует повторить с разведенной пробой.

№ 404 В. *Химическая потребность в кислороде (ХПК)*. Этот метод заменяет в настоящее время устаревший метод оценки «содержания в воде органических веществ» по перманганатной окисляемости. Окисляющая способность бихромата калия выше, чем у перманганата, однако некоторые алифатические соединения с прямой цепью являются трудноокисляемыми, то же самое относится к некоторым циклическим соединениям.

● **Используемые реактивы:**

дистиллированная вода или вода эквивалентной чистоты;  
кристаллы сульфата ртути;

серная кислота с растворенным сульфатом серебра. Кристаллы сульфата серебра растворяют в серной кислоте (плотность 1,84 при 20 °С) в количестве 6,6 г/л.

0,25 н. раствор двойной соли сернокислого аммония и сернокислого железа (II) (соль Мора) получают растворением 98 г  $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в воде, добавляют 20 мл  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и доводят до 1 л. Точную концентрацию раствора соли Мора определяют таким способом. Точно отмеренные 25 мл раствора бихромата калия разводят до 250 мл (используя дистиллированную воду). Приливают 75 мл серной кислоты (плотность 1,84 г/мл), дают смеси остыть до комнатной температуры и титруют солью Мора в присутствии индикатора (несколько капель раствора ферроина). Пусть  $V_t$  — количество израсходованного при этом раствора соли Мора;

0,25 н. раствор бихромата калия: 12,2588 г, предварительно высушенного в течение 2 ч при температуре 110°  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , растворяют в воде в мерной колбе и затем доводят содержимое колбы до 1 л;

раствор ферроина: растворяют 1,485 г 10% фенантролина и 0,695 г сульфата железа ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) в воде. Доводят до 100 мл.

● **Ход определения.** Может быть использована плоскодонная колба с боковой воронкой и тefлоновым краном. В эту колбу (рис. 27.6) вложена пластинка магнита, а над колбой установлен обратный холодильник. Шлиф следует предварительно протереть серной кислотой. Важно помнить, что ни при каких обстоятельствах нельзя пользоваться смазкой.

Колбу устанавливают на магнитную мешалку, которая может быть совмещена с нагревательным устройством, либо выполнена в отдельном корпусе. Через боковую воронку вливают 50 мл анализируемой сточной воды или кратное этому объему количество воды, доведенное до 50 мл дистиллированной водой. Включают мешалку. Вводят 1 г сульфата ртути, затем 5 мл серной кислоты (содержащей сульфат серебра) и продолжают перемешивать до их растворения. Следует удостовериться в том, что в колбе нет осадка хлорида серебра, в противном случае немного нагревают содержимое колбы до полного растворения осадка. Прибавляют 25 мл (точно отмеренных) раствора бихромата, а затем 70 мл серной кислоты (содержащей 6,6 г/л сульфата серебра).

Закрывают кран воронки и кипятят в течение 2 ч. Магнитная пластинка, движущаяся или находящаяся в покое, способствует стабильному кипению.

● **Измерение.**

После того как содержимое колбы остынет, доводят его до 400 мл дистиллированной водой; вводят несколько капель раствора ферроина (см. выше) и титруют непрореагировавший в ходе анализа бихромат раствором соли Мора. Цвет изменяется от зеленого до пурпурно-красного: пусть количество израсходованной при этом соли Мора составляет  $V_1$ . Параллельно проводят холостой опыт с 50 мл дистиллированной водой, использованной для разбавления; пусть  $V_0$  — количество израсходованной при этом соли Мора.

ХПК, выраженное в мг/л  $\text{O}_2$ , может быть вычислено по формуле

$$\frac{8000 (V_0 - V_1) t}{V}$$

где  $t$  — концентрация раствора соли Мора;  $V$  — объем анализируемой пробы сточной воды, мл;  $V_0$ ,  $V_1$  — объемы соли Мора, израсходованные на титрование холостой и анализируемой проб соответственно.

Эта формула может быть приведена к виду

$$\frac{1000 (V_0 - V_1)}{V_t} \frac{50}{V}$$

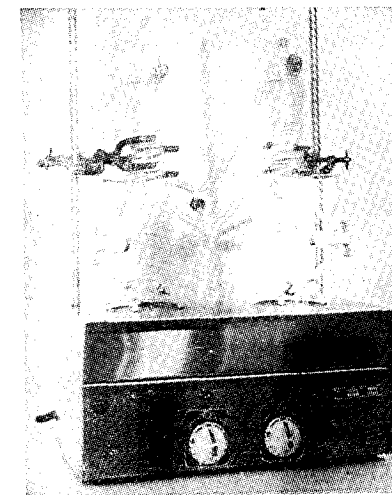


Рис. 27.6. ХПК-метр «Hydrocure»

где  $V_1$  — объем соли Мора, пошедший на титрование точно отмеренных 25 мл 0,25 н. раствора бихромата калия.

Примечание. Этот метод анализа взят из французского стандарта AFNOR NFT 90-101, сентябрь: 1971 г.\*

№ 405. Тест с метиленовой синей. Интерпретация результатов этого теста на загнивание часто вызывает дискуссии. Тест следует проводить весьма тщательно, так как могут быть получены ложные результаты, особенно при анализе производственных сточных вод, содержащих восстановители, и при анализе очищенных сточных вод (БПК менее 15 мг/л) с большим количеством окисленных солей, способных восстанавливаться в анаэробных условиях.

Анализ проводят в 100-мл колбе с притертой пробкой. В колбу вводят 1 мл 0,05%-ный метиленовой синей и заполняют анализируемой водой. Осторожно, так, чтобы пузырьки воздуха не попали при этом в колбу, закрывают ее и раствор нагревают до 30°C. За колбой наблюдают в течение 5 сут и отмечают момент исчезновения окраски (если это произойдет) и характер запаха, исходящего из колбы. Принято считать результаты тестирования позитивными, если окраска исчезает до истечения 5 сут и из колбы исходит гнилостный запах.

№ 406. Определение содержания взвешенных веществ. Взвешенные вещества, содержащиеся в сточной воде, могут быть определены несколькими способами: центрифугированием, фильтрованием, денсиметрическим методом.

Центрифугирование. Берут 100 мл сточной воды, хорошо перемешивают, наливают в несколько пробирок и центрифугируют в течение 10—15 мин при частоте вращения 3000 об/мин (обычная скорость лабораторных центрифуг). При центрифугировании взвешенные вещества уплотняют на дне пробирок; прозрачную жидкость над ними, используемую в дальнейшем для определения растворенных веществ, осторожно сливают. Осадок затем взмучивают, приливая дистиллированную воду, снова центрифугируют и надосадочную жидкость сливают. Последнюю процедуру повторяют еще 2 раза, осадок смывают струей воды из промывалки в кварцевую или платиновую выпарительную чашку.

Для определения общего содержания взвешенных веществ выпаривают воду и сушат осадок на водяной бане, высушивают при 105°C до постоянной массы (24 ч — вполне достаточное время) и взвешивают. Затем при температуре 600°C прокаливают и определяют летучую фракцию (потери при прокаливании иногда используют для оценки содержания органических веществ), равную разности между общим содержанием взвешенных веществ и прокаленным остатком.

\* См. сноску на с. 936.

При анализе речной воды или очищенных сточных вод требуется обрабатывать существенно большие объемы воды и нужна центрифуга с большими пробирками или вертикальная суперцентрифуга с высокой частотой вращения. Взамен центрифугирования может быть использовано фильтрование или 24-ч отстаивание; однако при использовании последних методов результаты получаются несколько менее точные.

Фильтрование. Определенное количество анализируемой воды фильтруют через беззольные бумажные фильтры, предварительно высушенные при температуре 105°C и взвешенные. Сушка длится около 2 ч до получения неизменной массы. Затем определяют потери при прокаливании при 600°C.

Вместо беззольных фильтров могут быть использованы фильтры из стекловолокна (Millipore AP 20, Durieux Д 28, Sartorius FN 501 и т. д.). Их используют только для определения общего содержания взвешенных веществ.

Денсиметрический метод (для активного ила).

Использование «Ponsarimeter». Ускоренный метод определения содержания взвешенных веществ, позволяющий получить ориентировочные сведения, пригодные для каждодневного управления работой сооружений биологической очистки сточных вод, состоит в следующем. Заданный объем иловой смеси помещают в очень легкий пластмассовый баллон, который, в свою очередь, погружают в надосадочную воду, полученную после отстаивания активного ила. Ареометр показывает массу взвешенных веществ  $p$  в анализируемой пробе активного ила в сантиграммах. Параллельно со взвешиванием ила определяют объем  $V$  осевшего ила после 30 мин его отстаивания в мерном цилиндре объемом 2,5 дм<sup>3</sup>; при этом получают два параметра, необходимых для расчета искомого качественного показателя, в мг/л:

$$I_p = \frac{V}{p}.$$

Полученный показатель есть мера седиментационных свойств ила аналогично индексам Мольмана или Дональдсона (гл. 3, с. 75). Ponsarimeter включает систему взвешивания ила и мерный цилиндр большого объема.

№ 407 А1. Определение аммонийного азота (по французскому стандарту NF T 90 015)<sup>1</sup> — ацидиметрия.

Этот метод (ацидиметрия после дистилляции) применим для анализа вод, содержащих более 4 мг/л  $\text{NH}_4^+$ . Для определения берут 50 мл воды. Амины и гидролизуемые аммиаком вещества мешают определению.

Реактивы: карбонат натрия, раствор 100 г/л; борная кислота, раствор 10 г/л; серная кислота, 0,1 н. или 0,02 н. титрован-

<sup>1</sup> См. сноску на с. 936.

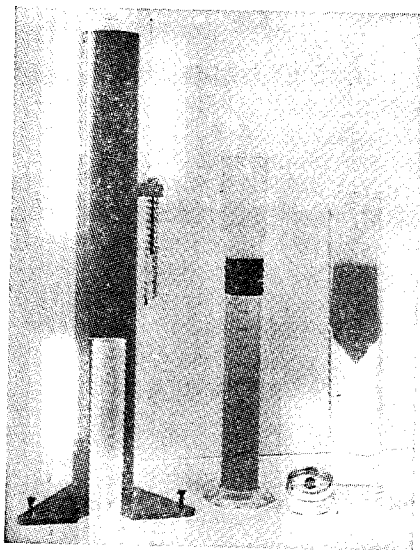


Рис. 27.7. Ponsarimeter

ные растворы; индикатор Тиншо (метиловый красный и метиленовая синяя).

Ход определения. Для анализа берут объем пробы, содержащий от 0,2 до 20 мг аммонийного азота по  $\text{NH}_4^+$ .

В перегонную колбу аппарата для перегона с водяным паром вводят анализируемую пробу. Прибавляют 20 мл раствора карбоната натрия и, если это необходимо, пеногасящий реагент. Отгонку ведут в течение 20 мин; собирают дистиллят в колбу с 5 мл раствора борной кислоты, в которой добавлено несколько капель индикатора и количество воды, достаточное для барботирования.

Проверяют, не осталось ли аммиака в конечных продуктах перегонки.

Титруют серной кислотой, используя 0,1 н. титрованный раствор серной кислоты, если проба содержит от 2 до 20 мг аммонийного азота по  $\text{NH}_4^+$ , и 0,02 н. титрованный раствор серной кислоты, если проба содержит от 0,2 до 2 мг аммонийного азота по  $\text{NH}_4^+$ .

Холостой опыт проводят при тех же условиях, что и основное определение.

Вычисление результатов.

Обозначим:

$V_1$  — объем раствора серной кислоты, пошедшего на определение, мл;  $V_0$  — объем раствора серной кислоты, пошедшего на титрование в холостом опыте, мл;  $T$  — нормальность использованного титрованного раствора серной кислоты (0,1 н. или 0,02 н.);  $V_2$  — объем пробы, мл.

Содержание аммонийного азота в 1 л определяют по следующим выражениям:  
в мг/л  $\text{NH}_4^+$

$$\frac{(V_1 - V_0) T \cdot 1000 \cdot 18}{V_2}$$

в мг/л N

$$\frac{(V_1 - V_0) T \cdot 1000 \cdot 14}{V_2}$$

№ 407 А2. Определение аммонийного азота. Колориметрия в соответствии с французским стандартом NFT 90 015)\*.

При определении содержания аммонийного азота в сточных водах следует исключить влияние взвешенных веществ и щелочных щелочных металлов (способных осаждаться в щелочной среде) на результат определения.

Это достигается осветлением с использованием сульфата цинка; ионы щелочноземельных металлов связывают введением ДТА или сегнетовой соли (тарtrat натрия и калия). Ионы  $\text{NH}_4^+$  определяют колориметрически с использованием реактива Несслера; этот метод пригоден в диапазоне концентраций от 0,1 до 6 мг/л.

Реактивы.

Безаммиачная дистиллированная вода;	100
Раствор сульфата цинка ( $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), г/л	250
Раствор едкого натра (NaOH), г/л	
Раствор тарtrата калия и натрия:	392
количество тарtrата калия и натрия, г	748
количество воды, мл	5,5
поташный щелок с плотностью 1,33, мл	4,5
содовый щелок с плотностью 1,33, мл	
Реактив Несслера (приготавливают в колбе на 1 л):	45,5
йодид ртути, г	35
йодид калия, г	15
вода, мл	
Отдельно смешивают следующие реактивы:	333
поташный щелок с плотностью 1,33, мл	500
воду, мл	

и прибавляют к раствору йодида ртути и разбавляют водой до 1 л. Стандартный раствор  $\text{NH}_4^+$  содержит 133 мг/л  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (2,5 мг-экв/л).

Ход определения. Для осветления вводят 1 мл раствора сульфата цинка в 100 мл анализируемой пробы. Перемешивают и затем прибавляют 0,5 мл раствора соды (значение pH должно быть близким к 10,5). Центрифугируют или фильтруют через бумагу.

Для калибровки в несколько мерных склянок вместимостью 10 мл вводят:

стандартный раствор $\text{NH}_4^+$	1	2	3	4	5	6
(мл)						
мг-экв/л $\text{NH}_4^+$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3
мг/л $\text{NH}_4^+$	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4
мг/л N	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2

Прибавляют 2 мл раствора тарtrата калия и натрия, перемешивают и прибавляют 2 мл реактива Несслера; снова перемешивают и ставят на 10 мин. Измеряют интенсивность окраски при длине волны 420 нм. Строят градуировочную кривую.

\* См. споску на с. 936.

К 50 мл анализируемой пробы, содержащей менее 0,3 мг NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, прибавляют раствор тартрата и реактив Несслера и продолжают определение так же, как и при калибровке. Интенсивность окраски определяют фотометром при длине волны 420 нм и концентрацию — по градуировочной кривой.

№ 408. *Определение общего содержания азота (органический + аммонийный)*. По методу Кьельдаля азот органических соединений превращается в NH<sub>3</sub> под действием серной кислоты и сульфата калия в присутствии сульфата ртути. Температура должна оставаться ниже 380 °С. После разведения пробу помещают в щелачивают каустической содой и отгоняют аммиак, поглощая его раствором борной кислоты. При определении содержания азота бората аммония используют титрованный раствор серной кислоты. Мешающее влияние органических веществ устраняют обработкой раствором серной кислоты, сульфата ртути и сульфата калия (50 мг/г взвешенных веществ).

Реактивы:

раствор серной кислоты + сульфат ртути + сульфат калия. Растворяют 267 г K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в 1,3 л воды; прибавляют 400 мл концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и затем 4 г HgSO<sub>4</sub> и разводят до 2 л;

раствор тиосульфата: 25 г Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 500 г NaOH растворяют в 1 л воды;

индикатор — фенолфталеин 0,5%;

смешанный индикатор: 2 объема раствора 0,2%-ного метилового красного в спирте смешивают с 1 объемом 0,2%-ной метиленовой синей в спирте;

борная кислота (20 г/л). Прибавляют 10 мл смешанного индикатора на литр;

0,02 н. раствор серной кислоты, 1 мл соответствует 0,28 мг азота N;

концентрированная серная кислота.

Ход определения. Объем отбираемой пробы устанавливают в зависимости от общего содержания N.

Общее содержание N, мг/л	Объем пробы V <sub>пр</sub> , мл
От 0 до 10	250
» 10 » 20	100
» 20 » 50	50
» 50 » 100	25

Определение. Вводят пробу в колбу объемом 800 мл. Прибавляют 50 мл раствора сульфатов ртути и калия, а затем добавляют по 50 мл этого же раствора на каждый грамм взвешенных веществ, присутствующих в пробе. Кипятят до осветления смеси, охлаждают и прибавляют 300 мл воды, не содержащей NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Подщелачивают раствором тиосульфата со щелочью в присутствии фенолфталеина до pH 9,5. Перегоняют в 50 мл борной кислоты до тех пор, пока не будет собрано 200 мл дистиллята (температура нижнего холодильника 29 °С). Титру-

ют индикатором 0,02 н. раствором серной кислоты до появления бледно-лилового цвета (расход H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> V<sub>1</sub>). Проводят контрольный опыт с реактивами (расход H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> V<sub>2</sub>).

Общее содержание азота N (мг/л) определяют по формуле

$$N = \frac{(V_1 - V_2) 280}{V_{пр}}$$

№ 409. *Определение нитратного азота в соответствии с французским стандартом NF T 90 012\**. Нитраты реагируют с сульфацилловой кислотой, образуя окрашенное соединение. Их определяют спектрофотометрическим методом при длине волны 410 нм. Метод используют при содержании NO<sub>3</sub><sup>-</sup> — более 0,05 мг/л.

Реактивы:

основной раствор, содержащий 100 мг/л NO<sub>3</sub><sup>-</sup>;

дистиллированная вода или вода эквивалентной чистоты;

серная кислота с плотностью 1,84;

ледяная уксусная кислота;

раствор аммиака с плотностью 0,9;

свежеприготовленный раствор салицилата натрия 10 г/л;

раствор азидата натрия 5 г/л;

сульфат серебра, промытый в воде для устранения нитратов;

стандартный раствор, содержащий 5 мг/л NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Ход определения.

Объем отобранной пробы должен составлять:

25 мл, если концентрация NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в воде меньше 1 мг/л;

от 5 до 25 мл, если эта концентрация составляет от 1 до 5 мг/л. Анализируемая проба должна содержать меньше 25 мкг NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Калибровка. В несколько чашек из боросиликатного стекла наливают 0, 1, 2, 3, 4 и 5 мл стандартного раствора с концентрацией 5 мг/л NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, что соответствует содержанию NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в каждой чашке 0, 5, 10, 15, 20 и 25 мкг.

В каждую чашку прибавляют 0,2 мл уксусной кислоты. Через 5 мин помещают на кипящую водяную баню и выпаривают досуха. Затем прибавляют 1 мл раствора салицилата натрия, концентрируют и выпаривают досуха. Ставят в эксикатор для хранения. Прибавляют 1 мл серной кислоты и ожидают в течение 10 мин. Прибавляют 10 мл воды и 10 мл раствора аммиака. Переносят содержимое каждой чашки в мерную колбу на 25 мл. Доводят содержимое каждой колбы до 25 мл водой, которой ополаскивают соответствующую чашку. Проводят колориметрические измерения при абсорбционном максимуме около 410 нм с учетом оптической плотности чистой воды.

Определение. Проверка содержания хлоридов. При содержании хлоридов менее 100 мг/л проводят прямое колориметрирование анализируемой пробы. При содержании хлоридов более 100 мг/л проводят предварительное удаление хлоридов.

\* См. список на с. 936.

ридов более 100 мг/л в пробу прибавляют уксусную кислоту для получения рН = 6. Прибавляют сульфат серебра в количестве достаточном для осаждения хлоридов (4,4 мг  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  и 1 мг  $\text{Cl}^-$ ). Нагревают до 40°C, оставляют на 15 мин и фильтруют через мембранный фильтр с порами 0,45 мкм. После этого готовят пробу для колориметрирования.

**Получение окрашенного раствора и спектрофотометрический анализ.** Проверяют рН; при значении рН > 8 пробу нейтрализуют уксусной кислотой. Наливают анализируемую пробу в чашку из боросиликатного стекла. Прибавляют 0,5 мл раствора азидо натрия и 0,2 мл уксусной кислоты. Через 5 мин ставят на кипящую водяную баню и выпаривают досуха. Прибавляют 1 мл раствора салицилата натрия, гомогенизируют и выпаривают досуха. Помещают в эксикатор для остывания. Последовательность определения далее такая же, как и при построении градуировочной кривой.

**Компенсационный тест.** Для выявления возможного влияния органических веществ на результат определения проводят компенсационный тест на свежей пробе по вышеприведенной методике без добавления салицилата натрия.

**Представление результатов.** Результаты, полученные по градуировочной кривой и выраженные в мг/л  $\text{NO}_2^-$ , могут быть переведены в мг/л N.  $\text{N} = \text{NO}_2^- \cdot 0,226$ .

**№ 410. Определение азота нитритов (в соответствии с французским стандартом NF T 90 013)\*.** Метод основан на измерении интенсивности окраски диазосоединения (на 537 нм), образующегося при реакции нитритов с аминобензолсульфамидом.

**Реактивы:**

стандартный раствор нитритов, содержащий 1 мг  $\text{NO}_2^-$  /л, готовится непосредственно перед использованием из раствора, содержащего  $150 \pm 0,1$  мг/л  $\text{NaNO}_2$ ;

диазотируемый реактив: вводят 100 мл концентрированной ортофосфорной кислоты и затем 40 г аминобензолсульфамида в 800 мл воды; растворяют, а затем прибавляют 2 г N — (1-нафтил) этилендиаминдихлорида, перемешивают до полного растворения и доводят до литра, хранят в бутылках из темного стекла в холодильнике.

**Ход определения. Калибровка.** В несколько мерных колб объемом 50 мл вводят по 0, 1, 5, 10, 20, 30, 40 и 50 мл стандартного раствора с концентрацией 5 мг  $\text{NO}_2^-$  /л, что соответствует содержанию в этих колбах 0; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 3; 4 и 5 мкг  $\text{NO}_2^-$  /л. Доводят до 50 мл и гомогенизируют. Прибавляют в каждую склянку по 1 мл диазотируемого реактива и перемешивают. Ожидают в течение 10 мин и проводят фотометрическое измерение при абсорбционном пике (около 537 нм) с уче-

\* См. сноску на с. 936.

оптической плотности разбавляющей воды. Строят градуировочную кривую.

**Определение.** Прибавляют 1 мл диазотируемого реактива к 50 мл анализируемой пробе (содержащей менее 1 мг  $\text{NO}_2^-$  /л), и дальнейшее определение кривой определяют содержание нитритов в пробе, выраженное в мг  $\text{NO}_2^-$  /л. Для представления содержания азота нитритов в мг N/л предыдущий результат умножают на 0,304.

**№ 411 С. Определение фосфатов.** Восстановление фосфомолибдата аммония при реакции с двуххлористым оловом происходит с образованием соединения, интенсивность синей окраски которого пропорциональна содержанию фосфатов.

**Реактивы:**

дистиллированная вода;  
концентрированная серная кислота, не содержащая фос-

фитов;  
раствор молибдата аммония (растворяют 50 г молибдата аммония в 750 мл 5 н. серной кислоты и доводят до 1 л этой же кислотой);

раствор двуххлористого олова: растворяют 5 г двуххлористого олова в 750 мл 10% (по объему) соляной кислоты и доводят до этой же кислотой; хранят в бутылках из темного стекла в отсутствие оловянной стружки (1 г/100 мл). В среднем раствор сохраняется в течение 5—8 сут;

индикатор — фенолфталеин;

0,1 н. раствор поташа;

раствор сульфаминовой кислоты 100 г/л;

стандартный раствор ортофосфатов 100 мг/л.

**Ход определения. Калибровка.** В ряд мерных колб объемом 250 мл помещают 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ..., 18, 19 и 20 мл стандартного раствора с концентрацией 0,1 г/л, что соответствует точкам с содержанием 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, ..., 20 мг/л  $\text{PO}_4^{3-}$  на градуировочной кривой. Прибавляют 5 мл серной кислоты, доводят до 250 мл и гомогенизируют. Вносят 25 мл этого раствора в мерную колбу на 100 мл. Прибавляют 1 мл раствора сульфаминовой кислоты, 1 мл раствора молибдата аммония и 1 мл раствора двуххлористого олова. Доводят до 100 мл и гомогенизируют. Через 10 мин проводят фотометрическое определение при 670 нм с учетом оптической плотности чистой воды. строят калибровочную кривую.

**Определение.** Вводят точно отмеренные 100 мл пробы (если необходимо после фильтрования) в мерную колбу объемом 250 мл. Добавляют несколько капель фенолфталеина и нейтрализуют так, чтобы осталась бледно-розовая окраска. Далее определяют в той же последовательности, как и при калибровке, обращаясь к калибровочной кривой для перевода полученного результата в мг/л  $\text{PO}_4^{3-}$ .



Представление результатов. Содержание фосфатов может быть выражено в мг/л  $\text{PO}_4^{3-}$ , P или  $\text{P}_2\text{O}_5$ . 1 мг/л  $\text{PO}_4^{3-} = 0,326$  мг/л P = 0,747 мг/л  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

№ 412 G. *Определение полифосфатов.* Полифосфаты гидролизуются в кислой среде, и общее содержание фосфатов определяют колориметрическим способом. Разность между общим содержанием фосфатов — фосфатов, определенных без гидролиза в присутствии кислоты, — соответствует содержанию полифосфатов. Вводят пробу воды (200 мл) в колбу для определения ХПК. Прибавляют 2,5 мл азотной кислоты (плотность 1,3). Кипятят в течение 2 ч, затем охлаждают. Вводят точно измеренные 100 мл пробы в колбу на 250 мл. Нейтрализуют и изменения цвета раствора с фенолфталеиновым индикатором. Далее определяют фосфаты аналогично вышеприведенной методике.

№ 413. *Определение фенольного индекса (в соответствии с французским стандартом NF T 90 109)\*.*

Сущность метода. Фенолы, выделенные перегонкой, реагируют в присутствии гексацианоферрата (III) калия и 4-аминоантипирином, образуя окрашенное соединение.

Реактивы:

- хлорид натрия;
- фосфорная кислота, 85%-ный раствор;
- сульфат меди, раствор 100 г/л;
- буферный раствор:

- |                                  |       |         |
|----------------------------------|-------|---------|
| хлорид аммония                   | 34 г  | } в 1 л |
| тартрат калия и натрия           | 200 г |         |
| раствор аммиака (плотность 0,92) | 15 мл |         |

гексацианоферрат (III) калия, 2%-ный раствор;

4-аминоантипирин, 2%-ный раствор (в бутылки из темного стекла);

стандартный раствор фенола 1 г/л.

Отбор пробы. При отборе в пробу (500 мл) прибавляют 5 мл раствора сульфата меди и подкисляют ее до pH = 4 фосфорной кислотой.

Ход определения. Перегонка. Вносят 200 мл пробы в стакан объемом 500 мл и подкисляют  $\text{H}_3\text{PO}_4$  до pH = 1,5. Если в пробе содержатся сульфиты, ее продувают азотом в течение 15 мин. Прибавляют 50 г хлорида натрия и перегоняют, поддерживая уровень воды примерно постоянным (добавляют дистиллированную воду через боковую воронку).

Определение. Прибавляют 5 мл буферного раствора, затем 1 мл раствора 4-аминоантипирина и 2 мл раствора гексацианоферрата (III) калия в анализируемую пробу, содержащую менее 0,5 мг-экв фенола. Через 5 мин проводят фотометрическое

определение при 510 нм и устанавливают искомую концентрацию калибровочной кривой, построенной для стандартных растворов фенола.

№ 414 A. *Определение общего содержания углеводов (в соответствии с французским стандартом NF T 90 203)\*.*

Сущность метода:

экстракция углеводов четыреххлористым углеродом; хроматографическое отделение углеводов от других органических соединений на колонке, заполненной адсорбентом; спектрофотометрическое определение при длине волны, соответствующей абсорбционному максимуму (около 3420 нм).

Реактивы:

адсорбент: синтетический адсорбент — кремнезем + магнетит;

четырёххлористый углерод, спектрофотометрически качественный;

безводный сульфат натрия;

1 н. раствор соляной кислоты;

хлорид натрия.

Калибровка. Искусственную проверку проводят так. Приготавливают раствор 100 мг/л следующих веществ в  $\text{CCl}_4$ :

- |                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| 37,5% изооктана   | } объёмные проценты. |
| 37,5% гексадекана |                      |
| 25% бензола       |                      |

Стандартный раствор. При возможности стандартный раствор следует готовить из остатка, полученного после обработки нефтепродуктов в сепараторе и высушенного с использованием безводного сульфата натрия.

Ход определения.

В стеклянную бутылку объемом 1 л, содержащую анализируемую сточную воду в количестве  $m$  (кг), прибавляют 1 н. соляную кислоту до установления pH = 5, а затем 5 г хлорида натрия (для мягких вод) и 50 мл четыреххлористого углерода (для жестких вод) и 50 мл четыреххлористого углерода перемешивают 15 мин (на высокоскоростной магнитной мешалке). Отстаивают в течение 10 мин. Отливают 20 мл слоя  $\text{CCl}_4$  и фильтруют через безводный сульфат натрия. Затем пропускают через колонку, содержащую 5 г адсорбента. Определяют степень абсорбции соединений, присутствующих в абсорбционном максимуме (около 3420 нм), по отношению к чистому четыреххлористому углероду. Обращаются к калибровочной кривой; пусть концентрация углеводов в пробе. Общее содержание углеводов в анализируемой воде, выраженное в мг/кг, составляет:

$$T = C \frac{V}{m},$$

где  $V$  — объем  $\text{CCl}_4$  (обычно 50 мл), введенного в бутылку.

\* См. сноску на с. 936.

\* См. сноску на с. 936.

№ 414 В. Определение в воде суспендированных органических веществ, экстрагируемых гексаном в соответствии с французским стандартом NF T 90 202).

Сущность метода:

абсорбция и флокуляция гидроксидом алюминия суспендированных в воде органических веществ, включая углеводороды; экстракция гексаном флокулированных веществ; гравиметрическое определение после выпаривания гексана.

Реактивы:

гидроксид алюминия, раствор 20 г/л;  
соляная кислота, 1 н. раствор;  
безводный сульфат натрия;  
гексан.

Ход определения

Флокуляция органических веществ. В стеклянную пробоотборную бутылку, содержащую известное количество воды (около 900 г), прибавляют 10 мл раствора гидроксида алюминия, перемешивают в течение 10 мин и устанавливают рН от 6 до 7 введением раствора соляной кислоты. Оставляют на 2 ч. Фильтруют.

Экстракция углеводов из флокулированных веществ. Разворачивают фильтр на две чашки кристаллизатора и прибавляют 30 мл гексана. Ополаскивают бутылку 10 мл гексана и переносят ее содержимое в чашку кристаллизатора. Оставляют на 1 ч. Затем фильтруют через другой фильтр, содержащий несколько сантиграмм безводного сульфата натрия. Собирают в предварительно взвешенной чашке с несмачиваемой поверхностью. Ополаскивают 10-мл гексана чашку кристаллизатора и первый фильтр и переносят раствор во взвешенную чашку. Доводят гексаном до 50 мл. Помещают 50 мл чистого гексана в другую чашку.

Следует помнить, что чашки должны быть предварительно взвешены (их масса составляет соответственно  $M_1$  и  $M_2$ ).

Выпаривание. Обе чашки помещают в печь под вакуум (6,7 кПа) при температуре 30°С на 5 ч. Затем переносят в эксикатор и через 2 ч взвешивают (масса  $M'_1$  и  $M'_2$ ). Содержимое экстрагированных органических веществ (мг/кг) равно:

$$\frac{(M'_1 - M_1) - (M'_2 - M_2)}{\text{масса пробы}} \cdot 1000.$$

№ 415. Определение «свободных» цианидов (в соответствии с французским стандартом NF T 90 108)\*.

Реактивы:

едкий натр, 1 н. раствор;  
едкий натр, 0,2 н. раствор;

фосфатный буферный раствор (рН = 7,1):

112 г  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  }  
425 г  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  } в 1 л;

цианид калия, раствор 1 г/л; 2,5 г KCN в 1 л 0,2 н. раствора NaOH;

цианид калия, раствор 4 мг/л\*;  
0,02 н. уксусная кислота;  
ацетатный буферный раствор (рН = 6);  
хлорамин Т, раствор 10 г/л\*;  
реактив пиридин-пиразолон:

4 г 1-фенил—3-метил—5-пиразолон + }  
+ 0,08 г бис-пиразолон } в 100 мл пиридина.

Микродиффузия. Вводят 2 мл 1 н. раствора каустической соды в центральную ячейку микродиффузора. Вливают 2 мл фосфатного буферного раствора и 5 мл анализируемой пробы (содержащей менее 20 мкг  $\text{CN}^-$ ) во внешнюю ячейку. Закрывают микродиффузор и оставляют в темноте на 24 ч.

Калибровочная кривая. Вводят 0; 0,5; 1; 2; 3; 4 и 5 мл раствора, содержащего 4 мг/л  $\text{CN}^-$  в несколько химических стаканов. Доводят объем до 5 мл раствором 0,2 н. NaOH, затем добавляют 20 мл дистиллированной воды и 5 мл ацетатного буферного раствора. Устанавливают рН = 6,5 и переносят в колбу на 50 мл. Прибавляют 0,5 мл хлорамина Т, перемешивают и выдерживают 2 мин. Затем добавляют 1 мл реактива пиридин-пиразолон, доводят до 50 мл, перемешивают и оставляют в темноте на 25 мин. Измерение производят фотометром при длине волн 620 нм.

Определение. После 24 ч микродиффузии из центральной ячейки отбирают 1 мл раствора и помещают его в химический стакан объемом 50 мл. Прибавляют 25 мл дистиллированной воды, а затем 5 мл ацетатного буферного раствора. Устанавливают рН = 6,5 и продолжают определение по вышеописанной методике.

№ 416. Токсичность сточных вод, сбрасываемых в природные водоемы. Этот метод описан в экспериментальном французском стандарте (NF T 90 301), обращение к которому может оказаться полезным<sup>1</sup>. Определяемый этим методом параметр характеризуется кратковременным ингибированием сточной водой подвижности *Daphnia magna* Straus (Crustacea, Cladocera), обычно называемых дафниями. Результаты выра-

\* Должен быть приготовлен непосредственно перед употреблением.

<sup>1</sup> См. сноску на с. 936.

\* См. сноску на с. 936.

жаются в единицах равной токсичности (эквитокс). Сточная вода может быть охарактеризована значением 1 эквитокс/м<sup>3</sup>, следовательно, в условиях теста 50% популяции дафний лишаются подвижности на 24 ч.

Для теста выбирают дафний определенного размера (от 200 до 800 мкм). На пробе, содержащей группу таких дафний, проводят предварительный тест с использованием бихромата калия в качестве стандарта токсичности (50% дафний, находясь в воде, содержащей  $C_0 = 1,2$  мг/л  $K_2Cr_2O_7$ , лишаются подвижности на 24 ч, экспериментальное значение составляет от 0,5 до 1,5 мг/л).

Затем готовят серию разведений анализируемой сточной воды и устанавливают концентрацию  $C_1$ , при которой 50% дафний становятся неподвижными. Сначала проводят предварительный тест для ориентировочного определения концентрации  $C_1$ , а затем — окончательный тест, на основании которого определяют действительный результат. Количество эквитокс/м<sup>3</sup> сточной воды эквивалентно концентрации  $C_1$ , откорректированной в соответствии со значением  $C_0$ .

## 27.7. АНАЛИЗ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ И ПОРОШКОВ

При анализе фильтрующих материалов с высокой плотностью (например, песка) требуется большее количество материала, чем при испытании материалов с низкой плотностью (например, антрацита, гранулированного активного угля и т. д.).

**№ 501. Гранулометрический состав фильтрующего материала.** После высушивания в течение 4 ч при температуре 120°C отвешивают 100 г материала (в случае анализа гранулированного активного угля — 50 г). Для отсева навески материала используют набор стандартных сит (AFNOR NX 11-501)\* и взвешивают часть материала, которая остается в каждом сите. По результатам вычисляют массу материала, просеянного через каждое сито (общее количество материала, оставшегося или просеянного через все сита меньшего калибра, чем рассматриваемое), и выражают эту величину в процентном отношении к массе проанализированного материала.

Строят график зависимости этих процентных значений от размеров отверстий (калибра) каждого сита. Предпочтительнее использовать полулогарифмическую бумагу.

Эффективный размер соответствует на графике значению калибра сита, через которое просеяно 10% материала.

Коэффициент неоднородности. По графику определяют размер, соответствующий значению калибра сита, через

которое просеяно 60% материала. Коэффициент неоднородности равен отношению

$$C. И. = \frac{d_{60\%}}{d_{10\%}}$$

где  $d_{60\%}$  и  $d_{10\%}$  — диаметры зерен, соответствующие калибрам сит, через которые просеивается 60 и 10% нераспушенной загрузки.

Этот коэффициент должен быть меньше 1,6, но вплоть до 1,8 является приемлемым. Данные по всем стандартизованным металлическим сеткам и порфирированным тарелкам совместно с их эквивалентами измерительных сит, используемых в британских, американских и других стандартах, представлены в табл. 27.4.

**№ 502. Механическая прочность** материала определяется его количеством, которое может быть использовано после дробления, т. е. сохраняет аналогичный эффективный размер, что и исходный материал.

Ход определения. Тест на механическую прочность проводят на 35 мл точно отмеренного материала, который помещают в металлический цилиндр с внутренним диаметром 10 мм и рабочей высотой 100 мм. Цилиндр закрепляют по радиусу колеса диаметром 34 см, которое вращают относительно центрального вала с частотой 25 об/мин. В цилиндр помещают 18 стальных шаров диаметром 12 мм.

Для оценки значения механической прочности необходимо дважды произвести гранулометрический анализ: первый раз — через 15 мин после начала вращения (750 тактов, или 375 оборотов), а второй — через 30 мин (1500 тактов, или 750 оборотов). После каждого эксперимента строят кривые распределения частиц материала по размерным группам.

Расчет механической прочности. Пусть после дробления количество материала размером меньше начального эффективного составляет  $X$  процентов, а фракция с размером больше эффективного составляет  $(100 - X)$  % и включает 90% материала, пригодного к использованию после дробления. Следовательно, фракция, включающая  $\frac{100}{90} (100 - X)$ , может быть ис-

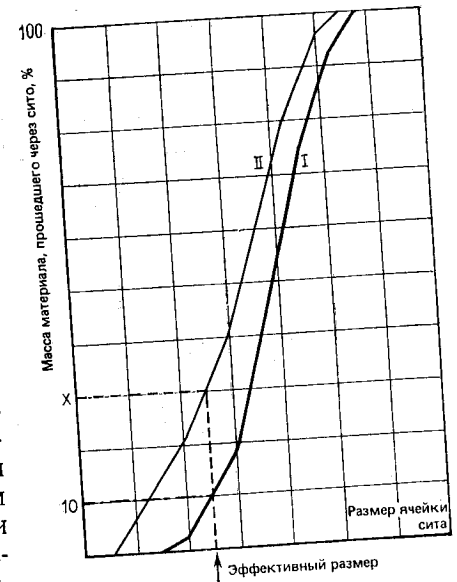


Рис. 27.8. Изучение механической прочности фильтрующего материала I — до дробления; II — после дробления; механическая прочность = (потери, % по массе) · 10/9 · (X-10)

\* См. сноску на с. 936.

ТАБЛИЦА 27.4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИТА

Проволочные сетки				Перфорированные тарелки			
номинальный размер отверстия, мм		номинальный размер отверстия, мкм		номинальный размер квадратного отверстия, мм		номинальный размер круглого отверстия, мкм	
основной	дополнительный	основной	дополнительный	основной	дополнительный	основной	дополнительный
125			900	125		125	
	112	800			112		
100			710	100			
	90	630			90		
80			560	80		80	
	71	500			71		
63			450	63		63	
	56	400			56		
50			355	50		50	
	45	315			45		
40			280	40		40	
	35,5	250			53,5		35,5
31,5			224	31,5		31,5	
	28	200			28		
25			180	25		25	
	22,4	160			22,4		22,4
20			140	20		20	
	18	125			18		
16			112	16		16	
	14	100			14		
12,5			90	12,5		12,5	
	11,2	80			11,2		11,2
10			71	10		10	
	9	63			9		
8			56	8		8	
	7,10	50			7,10		7,10
6,3			45	6,3		6,3	
	5,6	40			5,6		5,6
5			36*	5		5	
	4,5	32*			5		4,5
4			28	4		4	
	3,55	25			4,5		3,55
3,15			22*		4		3,15
	2,8	20			4		2,5
2,5							2,8
	2,24						2
2							2,24
	1,8						1,8
1,6							1,6

Продолжение табл. 27.4

Проволочные сетки				Перфорированные тарелки			
номинальный размер отверстия, мм		номинальный размер отверстия, мкм		номинальный размер квадратного отверстия, мм		номинальный размер круглого отверстия, мкм	
основной	дополнительный	основной	дополнительный	основной	дополнительный	основной	дополнительный
	1,4						1,4
	1,12					1	1,12

Приведенные цифры приводятся в данных ISO рекомендациях R 565. Три цифры получены округлением стандартных величин 35,5; 3,1 и 22,4, поскольку эти значения не имеют реального физического смысла.

ТАБЛИЦА 27.5. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИТА  
ТАБЛИЦА ЭКВИВАЛЕНТОВ ПРОВОЛОЧНЫХ СЕТОК  
ДЕЙСТВУЮЩИЕ СТАНДАРТЫ

ISO	Франция		США и Канада		США			Великобритания				
	NFX 11-501 (1970 г.) DIN 4188 (1969 г.)		ASTM E 11-70 (1970 г.)		TYLER			BS 410 (1969 г.)				
	Номинальный размер отверстия, мм		Номинальный размер отверстия, мм		Соответствующий показатель		Номинальный размер отверстия, дюймы		Номинальный размер отверстия, мм			
	дополнительный	основной	дополнительный	Номинальный размер отверстия, мм	дюймы	№	основной	дополнительный	Характеристика сита, меш	Соответствующее отверстие, мм	основной	дополнительный
125		125	112	125	5	4,24						
100	80	100	90	100	4	3 1/2						
			71	75	3							
63		63	56	63	2 1/2	2,12						
		50	45	50	2	1 3/4						
40	40	40	35,5	37,5	1 1/2							

Продолжение табл. 27.5

ISO		Франция		США и Канада			США				Великобритания	
ISO/R 565 (1967 г.)		NFX 11-501 (1970 г.) DIN 4188 (1969 г.)		ASTM E 11-70 (1970 г.)			TYLER				BS 410 (1969 г.)	
Номинальный размер отверстия, мм		Номинальный размер отверстия, мм		Номинальный размер отверстия, мм	Соответствующий показатель		Номинальный размер отверстия, дюймы		Соответствующее отверстие, мм	Номинальный размер отверстия, мм		
основной	дополнительный	основной	дополнительный		дюймы	№	основной	дополнительный		основной	дополнительный	
31,5		31,5	28	31,5	$\frac{1}{4}$		1,050	1,050	26,5			
22,4	25	25	22,4	25,0	$\frac{1}{7,8}$			0,883	22,4			
16	20	20	18	19,0	$\frac{3}{4}$		0,742	0,742	19	16		
				16,0	$\frac{5}{8}$			0,624	16			
			14	13,2	0,530		0,525	0,525	13,2		13,2	
11,2	12,5	12,5	11,2	12,5	$\frac{1}{2}$							
				11,2	$\frac{7}{16}$		0,441		11,2	11,2		
8		8	9	9,5	$\frac{3}{8}$		0,371	0,371	9,5		9,50	
				8,0	$\frac{5}{16}$			0,312	$2\frac{1}{2}$	8	8	
	6,30	6,3	7,10	6,7	0,265		0,263	0,263	3	6,7	6,70	
5,6		5	5,6	5,6	$\frac{3}{4}$		0,221	0,221	$3\frac{1}{2}$	5,6	5,60	
				4,75			0,185	0,185	$\frac{3}{4}$	4,75	4,75	
4		4	4,5	4,00		5		0,156	5	4	4	
			3,55									
		3,15		3,35		6	0,131	0,131	6	3,35	3,35	
2,8		2,5	2,8	2,80		7		0,110	7	2,80	2,80	
2		2	2,24	2,36		8	0,093	0,093	8	2,36	2,36	
				2,00		10		0,078	9	2	2	
		1,6	1,8	1,70		12	0,065	0,065	10	1,70	1,70	
1,4		1,25	1,4	1,40		14		0,055	12	1,40	1,40	
1		1	1,12	1,18		16	0,046	0,046	14	1,18	1,18	
				1,00		18		0,039	16	1	1	

ТАБЛИЦА 27.6  
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИТА  
ТАБЛИЦА ЭКВИВАЛЕНТОВ ПРОВОЛОЧНЫХ СЕТОК  
ДЕЙСТВУЮЩИЕ СТАНДАРТЫ

ISO	Франция		США и Канада		США				Великобритания							
	NF X 11-501 (1970 г.) 4188 (1969 г.)		ASTM E 11-70 (1970 г.)		TYLER				BS 410 (1969 г.)							
	Номинальный размер отверстия, мкм		Номинальный размер отверстия, мкм	Соответствующий показатель	Номинальный размер отверстия, дюйм		Характеристика сита, меш.	Соответствующее отверстие, мкм	Номинальный размер отверстия, мкм							
основной	дополнительный	основной			дополнительный	основной			дополнительный							
		900	850	20	328	328	20	850		850						
710	800	710	710	25		276	24	710	710							
											630	600	30	232	232	28
500	500	560	450	500	425	35	40	164	195	164	32	35	500	425	500	425
355	400	355	355	45		138	42	355	355							
250	250	280	224	250	60		97	60	250	250						
180	200	180	180	80	70	82	82	65	212	180	180					212
125	125	140	112	125	120		49	115	125	125						
90	100	90	106	90	140	41	41	150	106	90	90					106

Продолжение табл. 27.6

ISO	Франция		США и Канада		США				Великобритания		
	ISO/R 565 (1967 г.)		NFx 11-501 (1970 г.) DIN 4188 (1969 г.)		ASTME 11-70 (1970 г.)		TYLER				BS 410 (1969 г.)
Номинальный размер отверстия, мкм	Номинальный размер отверстия, мкм		Номинальный размер отверстия, мкм	Соответствующий показатель	Номинальный размер отверстия, дюйм 10-4		Характеристика сита, меш.	Соответствующее отверстие, мкм	Номинальный размер отверстия, мкм		
	основной	дополнительный			основной	дополнительный			основной	дополнительный	
63	63	71 56	63	230		24	250	63	63		
45	50 40	45	53 45	270 325	21	21 17	270 325	53 45	45	53	
	32	36 28	38	400	15	15	400	38		38	
	25 20	22									

пользована. Потери составляют  $100 - \frac{100}{90} (100 - X) = \frac{100}{90} \times (90 - 100 + X)$ .

Таким образом, потери материала в процентах составят  $\frac{10}{9} (X - 10)$ . Эти потери являются мерой механической прочности материала (табл. 27.7).

Шкала качественной оценки базируется на результатах анализа большинства постоянно используемых фильтрующих материалов.

ТАБЛИЦА 27.7

Оценка прочности		Пределы механической прочности, %	
		через 15 мин (750 тактов)	через 30 мин (1500 тактов)
Очень хорошая	Нормальный диапазон использования	От 6 до 10	От 15 до 20
Высокая		От 10 до 15	От 20 до 25
Низкая		От 15 до 20	От 25 до 35
Непригодная		Свыше 20	Свыше 35

№ 503. Определение химической стойкости. Ее оценивают по потере массы материала после 24-ч контакта с раствором 20%-ной соляной кислоты. Потеря массы должны составлять менее 2%.

№ 504 А. Определение плотности на воздухе. Отвешивают 100 г материала и помещают его в мерный цилиндр. Пусть объемом, занимаемый материалом, составляет V. Тогда плотность неуплотненного материала будет, г/мл:

$$\rho_a = \frac{100}{V}$$

Плотность можно также определить после уплотнения материала в цилиндре.

№ 504 В. Плотность после промывания и сцеживания промывной воды. Берут около 100 г материала и помещают его в химический стакан. Полностью увлажняют дистиллированной водой и удаляют весь воздух, занимавший поры между зернами загрузки, кипячением и перемешиванием в течение 5 мин. Охлаждают и сцеживают оставшуюся воду. Отвешивают 100 г сырого материала и помещают его в мерный цилиндр. Пусть V' — объем, занимаемый материалом в цилиндре. Плотность сырого материала (г/мл) составляет:

$$\rho'_a = \frac{100}{V'}$$

Полезно откорректировать величину объема V' взвешиванием такого же объема воды, отмеренного использованным цилиндром.

№ 504 С. Истинная плотность материала. Непористый материал. Отвешивают 50 г непористого материала и помещают его в мерный цилиндр на 250 мл, в который предварительно наливают 100 мл воды. Пусть занятый при этом объем составляет V. Истинная плотность (г/мл) равна:

$$\rho = \frac{50}{V - 100}$$

Объем, измеренный цилиндром, может быть откорректирован путем взвешивания такого же объема воды.

Пористый материал. Отвешивают 50 г пористого материала и помещают его в химический стакан. Полностью увлажняют дистиллированной водой и удаляют весь воздух, занимающий поры между зернами загрузки, кипячением и перемешиванием в течение 5 мин.

После охлаждения сцеживают оставшуюся воду. Взвешивают сырой материал (масса P) и помещают его в мерный цилиндр на 250 мл, в который предварительно наливают 100 мл воды.

Если объем, занимаемый в цилиндре водой и анализируемым материалом, равен  $V$ , истинная плотность составляет:

$$\rho = \frac{50}{V - P - 50}$$

Объемы, измеренные цилиндром, могут быть откорректированы взвешиванием таких же объемов воды.

№ 505. *Влажность*. Этот показатель применяют для характеристики гранулированных материалов и порошков (например, порошкообразного активного угля).

Берут точную навеску (50 г) фильтрующего материала или 5 г порошкообразного (пусть  $P_1$  — измеренная масса). В сушильный шкаф помещают пробу на 4 ч при 120 °С. После охлаждения в эксикаторе снова взвешивают (пусть  $P_2$  — масса, измеренная после высушивания пробы). Влажность материала  $H$  вычисляют в процентах от его массы по формуле

$$H = \frac{P_1 - P_2}{P_1} 100.$$

№ 506. *Размер зерен порошкообразного активного угля*. Уголь высушивают в течение 4 ч при температуре 120 °С. Берут точную навеску (~10 г) угля и помещают его в сито (0,149 мм). После увлажнения оставшийся в сите уголь промывают водой под давлением. При этом с помощью белого эмалированного валика проверяют, не осталось ли в сите угля, который мог пройти через него. Для высушивания сито помещают в сушильный шкаф на 4 ч при температуре 120 °С. Уголь, оставшийся в сите, взвешивают. Вычитая полученное значение из массы угля, взятого на анализ, определяют массу угля, прошедшего через сито. Полученный результат выражают в относительных единицах (процентах).

Повторяют опыт с ситами меньшего калибра (0,074, 0,053 и 0,044 мм).

№ 507. *Адсорбционная способность активного угля может быть представлена изотермой адсорбции, построенной для определенного типа угля и конкретного вещества*. Эта изотерма устанавливает взаимосвязь между значением равновесной концентрации вещества (фенол, детергент, йод и т. д.) в воде после контакта с определенным количеством угля, с одной стороны, и массой загрязнителя, адсорбированного углем, с другой стороны. Такую зависимость определяют в лабораторных условиях и строят в виде графика, а затем используют для оценки эффективности устранения загрязнений в статических условиях. На базе таких изотерм может быть получен ряд «индексов», позволяющих оценивать эффективность изъятия отдельных веществ (йод, бензол, метиленовая синяя, детергенты, фенолы и т. д.) в конкретных технологических условиях.

Ход определения.

берут шесть однолитровых колб из цветного стекла; вливают 750 мл воды, содержащей вещество, степень адсорбции которого нужно оценить;

если анализируют загрязненную воду, бутылки заполняют этой водой осторожно, чтобы исключить какие бы то ни было изменения свойств этой воды в момент отбора пробы;

если анализируют искусственно приготовленную воду, бутылки заполняют водой, содержащей существенно большее количество загрязнителя, чем концентрация, которую намечено исследовать. Например, если следует изучить процесс устранения детергентов из воды, содержащей 10 мг/л детергента, бутылки заполняют водой, содержащей 14 мг/л детергента. Концентрации загрязнителей во всех бутылках должны быть абсолютно одинаковыми;

измельчают анализируемый уголь в ступке и в сухом виде рассеивают через сито с калибром 0,4 мм для определений. Берут уголь, просеянный через сито;

уголь сушат при температуре 120 °С в течение 4 ч в выпарной чашке.

Во все шесть бутылей вводят следующие дозы угля:

№ бутылки	1	2	3	4	5	6
Доза, мг/л	0	10	20	30	40	50

После перемешивания в течение 1 ч содержимое каждой бутылки фильтруют через ацетатно-целлюлозный мембранный фильтр (с размерами пор 0,45 мкм), предварительно взвешенный. Отливают первые 100 мл фильтрата и определяют содержание загрязнителя в оставшемся фильтрате. Таким образом, для каждой порции угля, оставшейся на фильтре и точно взвешенной, определяют равновесное значение концентрации загрязнителя в воде после контакта с углем.

Полученную зависимость строят на логарифмической бумаге. По оси  $X$  откладывают значение установившейся концентрации в мг/л, а по оси  $Y$  — массу загрязнителя, адсорбированного соответствующей порцией угля (в мг/л).

№ 508. *Дехлорирующая способность угля* выражается как высота слоя угля, необходимая для устранения половины содержащегося в воде хлора. Весь воздух, находящийся в порах загрузки, из угля удаляют кипячением в дистиллированной воде. Для этого увлажненный уголь помещают в герметичную просмоленную трубку в виде колонки высотой 10 см.

Из раствора гипохлорита натрия готовят раствор хлорной воды, содержащий 10 мг/л активного хлора при  $pH=7,5$ , и пропускают его через уголь со скоростью 20 л/ч. Через 30 мин оттитровывают пробы раствора хлорной воды, взятые в верхней точке колонки (пусть результат составляет  $a$  мг/л) и в нижней точке колонки (пусть результат составляет  $b$  мг/л).



Если  $h$  — высота слоя сорбента (в см), то значение высоты слоя  $G$ , необходимой для изъятия половины дозы хлора, составит

$$G = \frac{0,301h}{\lg \frac{a}{b}}$$

№ 509. *Зольность угля.* Для анализа берут примерно 1 г сухого угля, точно его взвешивают и помещают в тигель (пусть масса порции угля составляет  $P_1$ ). Пробу угля сжигают при температуре  $625^\circ\text{C}$  ( $\pm 25^\circ$ ). Проверяют полноту сгорания. После охлаждения измеряют массу золы  $P_2$ .

Зольность  $C$  (в %) вычисляют по формуле

$$C = \frac{P_2}{P_1} 100.$$

## 27.8. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПРИ ВОДОПОДГОТОВКЕ

Химический анализ воды позволяет установить ее характеристики, но не дает возможности определить ряд параметров, оказывающих существенное влияние на процессы водоподготовки.

Для определения этих параметров необходимо провести соответствующие анализы, причем значимость получаемых результатов снижается очень сильно, если анализ проводится не сразу после отбора пробы.

Методики № 701 — № 712 предназначены для технологического анализа воды в процессе водоподготовки и очистки некоторых производственных сточных вод.

№ 701. *Изучение естественного оседания.* Пользуются лабораторным флокулятором так же точно, как и при изучении процесса флокуляции-коагуляции, но без применения каких бы то ни было реактивов (см. № 704).

№ 702. *Объем осадка при простом осветлении.* Наливают воду в 1 л измерительный цилиндр или, еще лучше, в коническую колбу Имхоффа. Через 30, 60 и 120 мин и т. д. отстаивания отмечают процент осевшего осадка.

№ 703. *Изучение процесса коагуляции и флокуляции воды.* Цель исследования состоит в установлении типа реагентов и их доз, необходимых для наилучшей очистки конкретной воды. При осветлении воды в качестве реагента наиболее часто используют сульфат алюминия, хлорид железа (III), сульфат железа (II) или железа (III), а для установления требуемого рН или уменьшения жесткости — известь, едкий натр или карбонат натрия; остальные реагенты, такие, как активная кремниевая

кислота, альгинаты и полиэлектролиты, применяют для интенсификации флокуляции и осаждения взвешенных веществ.

Часто рекомендуется вводить окислители (хлор и диоксид хлора) или адсорбенты (например, активный уголь, бентонит и т. д.). Прежде всего анализ воды должен включать определение ее температуры, мутности, цветности, рН, щелочности и содержания органических веществ.

При проведении электрофореза или флокуляционного анализа устанавливают количество необходимого электролита.

*Электрофорез.* При этом методе анализа наблюдают перемещение коллоидов в электрическом поле. Измерение производят или при наблюдении под микроскопом (дзетаметр), или с использованием фотоэлектрического детектора (коагулометр).

а) *Дзета-потенциал.* Прибор, используемый для проведения этого анализа, включает блок управления, электрофоретическую ячейку, источник света и бинокулярный микроскоп для наблюдения за частицами размером порядка 1 мкм. Скорость движения определяют с помощью микрометрического окуляра и карманного секундомера. За движением частиц, ставших видимыми в соответствии с эффектом Тиндаля, наблюдают через присоединенную к ячейке трубку.

Сначала для анализа используют сырую воду, а затем воды с увеличивающимися дозами электролита; в каждом случае измеряют скорость движения коллоидных частиц.

Изменение дзета-потенциала коллоидных частиц в зависимости от их скорости и температуры воды выражают графически. Проведенные измерения могут быть использованы для построения графика изменения этого потенциала (мВ) в зависимости от количества электролита. Перенос анализируемой воды от места отбора пробы в лабораторию не оказывает влияния на результат электрофоретического анализа.

б) *Коагулометр* (по патенту Degremont) состоит из регулируемого генератора постоянного тока, прямоугонного оптического блока с двумя электродами, источника пучка параллельных лучей света, фотоэлектрической ячейки и электронного усилителя.

Метод основан на измерении оптической плотности в непосредственной близости от электрода в течение первых нескольких секунд после установления электрофоретического тока. Коллоидные частицы размещаются таким образом, что вблизи электрода того же знака, что и заряд частиц, образуются зоны меньшей плотности коллоидов и соответственно меньшей оптической плотности.

При этом выясняют, какое требуется воздействие на коллоиды (коагулянт и его доза); в процессе нейтрализации заряда коллоидной системы коллоиды перестают перемещаться при включении электрофоретического тока, и оптическая плотность среды остается неизменной (см. рис. 19.6).

Флокуляционные тесты следует проводить при той же температуре, что и температура воды в процессе ее промышленной очистки. Начинают исследования с различных доз одного реагента. Если при этом получают неудовлетворительные результаты, проводят новый эксперимент. Повторяют опыт с дозой реагента, давший наилучший результат, и параллельно проводят опыт с другим реагентом.

Для проведения флокуляционного теста важно использовать установку, которая обеспечивает перемешивание реагента с водой одновременно в нескольких химических стаканах с установленной скоростью (см. рис. 27.9).

Для получения сравнимых результатов частота вращения мешалок во всех стаканах должна быть абсолютно одинаковой; оптимальная частота равна 40 об/мин при использовании лопаток мешалки размером 1×5 см и однолитрового химического стакана. Опыт продолжается 20 мин. При этом фиксируют:

количество реагентов;

появление хлопка, отмечая: 0 — нет хлопка; 2 — хлопок едва видимый, мелкие пятна; 4 — небольшой хлопок; 6 — хлопок среднего размера; 8 — хороший хлопок; 10 — очень вспухший хлопок.

pH после флокуляции: для уточнения результатов нужно дополнительно получить следующие данные: объем ила (в %), осевшего за 30 мин отстаивания (см. метод 702); скорость оседания флокулированной взвеси (см. метод 704); коэффициент когезии осадка (см. метод 705) или скорость зонного осаждения (см. метод 706); перманганатную окисляемость; цветность и мутность отфильтрованной воды; дополнительные анализы для особых методов очистки.

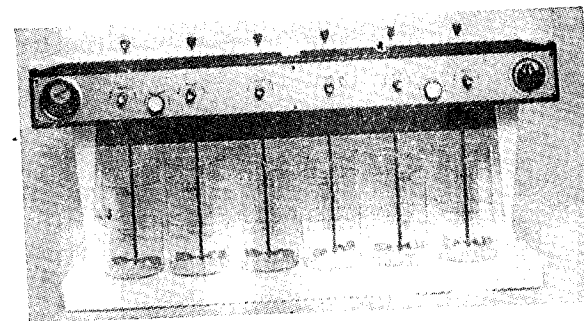
**Анализ процесса седиментации.** Электрофорез и флокуляционные тесты не позволяют получить результаты, выводы по которым можно было бы распространить на оценку работы промышленного очистного сооружения; между тем в конечном счете требуется решить вопрос управления осветлителем, поэтому необходим анализ процесса седиментации.

При исследовании седиментационного процесса возможны следующие два крайних случая:

1) при проведении лабораторных анализов может оказаться, что флокуляция частиц незначительна и что каждая отдельная частица при отстаивании оседает со свойственной ей скоростью и независимо от всех остальных частиц. При этом жидкость постепенно осветляется и на дне стакана образуется осадок. Такое осаждение можно назвать диффузным;

2) флокулированная жидкость выглядит очень мутной, а все флокулированные частицы оседают одновременно с образованием осветленной зоны в верхней части стакана над слоем осадка. Такое осаждение называют зонным. На практике второй тип оседания взвешенных веществ происходит только при очистке

Рис. 27.9. Электрифицированный флокулятор «Нудгосиге» с регулятором скорости и реле времени



воды с большим содержанием веществ, способных флокулировать.

Методы анализа, используемые в этих двух случаях, имеют некоторые различия (см. соответственно методы № 704 или 706).  
**№ 704. Определение скорости оседания флокулированной взвеси.** Цель анализа состоит в определении качества осветленной воды. При этом предполагается, что флокулированная вода поступает непосредственно в осветлитель с заданной скоростью восходящего потока.

Коэффициент осветления может быть представлен в виде:

$$\frac{\text{мутность осветленной воды}}{\text{мутность сырой воды}} = \frac{\text{глубина слоя сырой воды } a}{\text{глубина слоя осветленной воды } b}$$

а коэффициент осаждения — в виде:

$$\frac{\text{мутность осветленной воды}}{\text{мутность флокулированной воды}} = \frac{\text{глубина слоя флокулированной воды } c}{\text{глубина слоя осветленной воды } b}$$

**№ 705. Исследование когезионных свойств осадка.** Если эксперимент по методике № 704 проводить с добавлением осадка, полученного при проведении предыдущего флокуляционного теста, скорость оседания увеличится, что соответствует определенному уменьшению коэффициента осветления. Это происходит до тех пор, пока в жидкости не образуется такое количество ила, при котором начинается зонное осаждение. Это явление было учтено при разработке известных конструкций контактных осветлителей со взвешенным слоем.

Поскольку прямое определение количества добавляемого осадка, необходимого для достижения наибольшей скорости оседания взвеси при осветлении воды, чрезвычайно трудоемко, применяют метод определения толщины слоя взвешенного осадка при известной скорости восходящего потока воды.

Установлено, что слой осадка, находящийся в восходящем потоке воды, расширяется и занимает объем, практически пропорциональный скорости движения воды с учетом когезии осадка.

**Определение коэффициента когезии осадка.** В измерительный цилиндр на 250 мл вливают осадок, собранный по заверше-

нии флокуляционного теста из разных химических стаканов, в каждый из которых были введены одинаковые дозы реагентов. Спустя 10 мин сифоном отбирают часть осадка и оставляют в цилиндре только 50 мл.

Затем в измерительный цилиндр вставляют небольшую воронку, конец трубки которой должен быть опущен примерно на 10 мм от дна цилиндра, чтобы в него не попали пузырьки воздуха. Через воронку вливают воду (целесообразно использовать воду, уже осветленную во время флокуляционного теста, чтобы не изменялись ни рН, ни температура). Воду следует вводить постепенно, небольшими порциями; избыточное количество ее будет при этом переливаться по достижении верха цилиндра.

Прибавление воды вызывает расширение осадка, и, таким образом, можно определить скорости восходящего потока воды, соответствующие различным высотам взвешенного слоя осадка.

Для различных объемов  $V$ , занимаемых осадком (100, 125, 150, 175 и 200 мл), определяют время, за которое через цилиндр проходит 100 мл воды. Скорость  $v$ , выраженная в м/ч, равна:

$$\frac{3,6A}{T},$$

где  $A$  — расстояние в мм, отсчитываемое по калибровке цилиндра (между метками 100 и 200 мл у мерного цилиндра объемом 250 мл).

Полученные результаты представляют на графике, откладывая по ординате значения  $v$ , а по абсциссе значения  $V$ .

Установлено, что функциональная зависимость скорости от высоты слоя осадка представляется прямой линией

$$v = K \left( \frac{V}{V_0} - 1 \right),$$

где  $V$  — видимый объем расширенного осадка;  $v$  — восходящая скорость воды в измерительном цилиндре, потребовавшаяся для получения объема  $V$ ;  $V_0$  — объем уплотненного осадка, соответствующий нулевой скорости и измеренный после внесения осадка в мерный цилиндр;  $K$  — показатель когезии осадка, известный как коэффициент когезии осадка, зависящий от температуры, которую по этой причине следует тщательно измерять.

При анализе быстро осветляемого осадка хорошего состава значение  $K$  может быть от 0,8 до 1,2. Для легкого осадка, включающего много воды и образующего при флокуляции непрочные хлопья, значение коэффициента  $K$  может снижаться до 0,3. Поэтому определение этого коэффициента имеет большое значение для представления процесса, происходящего при контактном осветлении, и определения влияния флокуляции на процесс осветления.

**М 706. Определение скорости зонного осаждения.** Если результаты флокуляционного теста свидетельствуют о том, что область зонного осаждения увеличивается, бесполезно и даже

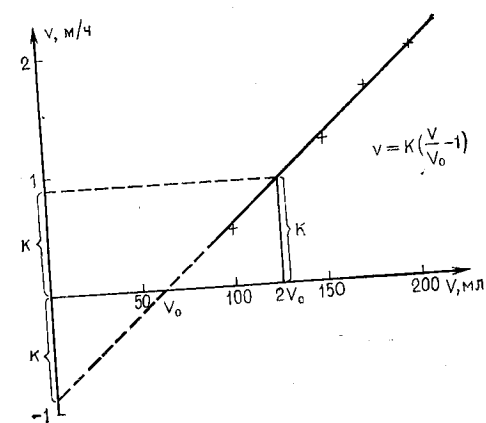


Рис. 27.10. Определение коэффициента когезии осадка

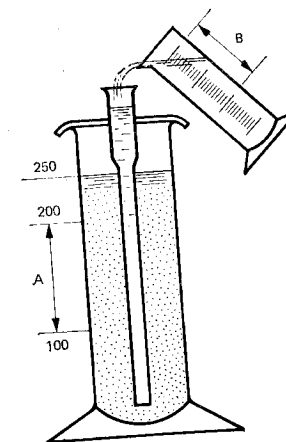


Рис. 27.11. Скорость  $V_s$ , м/ч, равна  $0,6 AV/1000$

вредно вводить дополнительные взвешенные вещества. В этом случае не может быть и речи об использовании контактного осветлителя — необходимо прямым измерением определить объем уплотненной массы осадка, полученного после флокуляционного теста. Это измерение дает результаты, соответствующие тем, которые получают в отстойнике в производственных условиях.

Последовательность определения такая же, как и при определении коэффициента  $K$  (однако концентрация осадка равна той, которая была получена при флокуляции 1 л анализируемой воды).

Измерительный цилиндр вместимостью 250 мл заполняют флокулированной жидкостью, дают осадку осесть в течение 5—10 мин до преобразования хлопья.

Через воронку постепенно добавляют воду до тех пор, пока расширяющийся осадок не займет своего первоначального видимого объема 250 мл. Измеренная таким образом скорость соответствует скорости восходящего движения воды, которая теоретически возможна в промышленном осветлителе.

В конце анализа желательно дать илу спонтанно осесть в измерительном цилиндре и отметить видимые объемы ила относительно начального объема в заданном отрезке времени (от 0 до 2 ч). Полученный при этом результат является мерой количества осадка, который должен быть извлечен при отстаивании, и таким образом позволяет произвести расчет и разработать определенные узлы отстойника, такие, как размеры осадочной части, конструкция скребкового механизма и т. д.

Таким образом, следует определить: высоту, на которую поднимаются в измерительном цилиндре 100 мл жидкости  $A$ , мм;

объем воды, добавленной в течение 1 мин для расширения области, занимаемой осадком, до уровня воды, в 250 мл-мерном цилиндре,  $V$ , мл;

теоретическую скорость оседания  $V_s$ , м/ч.

707. Тест на умягчение воды известью. В принципе в качестве коагулянта используют хлорид железа (III), но можно проводить эксперименты с сульфатом алюминия, используя активную кремниевую кислоту или без нее. В последнем случае содержание сульфата алюминия и кремниевой кислоты (соответственно) определяют после фильтрования через бумажный фильтр (алюминий легко растворяется в щелочной среде).

Первый тест следует проводить без коагулянта для определения количества извести. При этом добавляют 1 г/л порошкообразного  $\text{CaCO}_3$  (50 мкм), перемешивают в течение 5 мин, сцеживают и фильтруют.

Дозы извести	100	125	150	175	200	225
	250	275	300	325	350	375

В фильтрованной воде определяют  $Ш_{\text{ф}}$ ,  $ОЩ$ ,  $Ж_{\text{общ}}$ .

Необходимо использовать такое количество извести, которое позволяет либо достичь значения  $Ш_{\text{ф}}$ , превышающего на 0,24 мг-экв/л половинное значение  $ОЩ$ , либо минимального значения  $Ш_{\text{общ}}$ , и повторяют флокуляционный тест с увеличенным количеством флокулянта.

№ 708А. Определение хлоропоглощаемости, т. е. точки перелома (обычный метод). Используют набор бутылей одинаковой вместимости и изготовленных из одного и того же стекла. В каждую бутылку вводят одинаковые объемы пробы воды. Дозы хлора увеличивают в каждой последующей бутылке.

Спустя промежуток времени, обычно эквивалентный времени контакта воды с хлором в производственных условиях, определяют содержание хлора в каждой бутылке (иногда стоит проводить этот анализ при различном времени контактирования: 1, 2, 5, ..., 24 ч). Установлено, что в большинстве случаев вместо увеличения остаточного содержания хлора в бутылках соответственно первоначально введенной дозе его концентрация сначала увеличивается до максимума  $M$ , затем падает до минимума  $m$ , а затем снова равномерно возрастает. Этот минимум соответствует начальной дозе хлора, определяющей «точку перелома».

Кривая изменения остаточной концентрации хлора относительно введенной дозы хлора линейна после точки перелома. Если масштабы по горизонтальной и вертикальной осям одинаковы, ее наклон равен  $45^\circ$  (рис. 13.17). Как видно из рис. 13.17, в области  $OP$  весь хлор, введенный в воду, потребляется содержащимися в ней веществами, способными окисляться (металлы, восстановители и т. д.). Считается, что при этом хлор не оказывает никакого бактерицидного воздействия.

В области  $PM$  введенный в воду хлор соединяется с аммиаком и определенными органическими веществами (содержащими и не содержащими азот), присутствующими в воде. Установлено, что в этой зоне большая часть остаточного хлора связана в хлорамины. В зависимости от pH и соотношения  $\text{Cl}:\text{NH}_4$  изменяется соотношение концентраций монохлораминов и ди-хлораминов.

В области  $Mm$  дальнейшее добавление хлора приводит к окислению соединений хлора (в основном хлораминов). При этом наблюдается увеличение доли свободного хлора в общем содержании остаточного хлора с уменьшением концентрации хлораминов.

В области, в которой дозы введенного хлора превышают значение, соответствующее точке  $m$ , почти весь остаточный хлор является свободным. Можно считать, что вода обладает определенным запасом бактерицидности.

№ 708В. Ускоренный метод определения точки перелома. В этом случае производят единственное измерение: в сырую воду вводят хлор в значительном избытке  $A$  (см. рис. 13.17). После контакта точка перелома ( $Om=OA-Aa$ ) может быть ориентировочно определена по содержанию остаточного хлора  $Aa$ .

№ 710. Тест на обезжелезивание воды. Этот тест следует проводить у источника водоснабжения немедленно после отбора пробы. Устранить железо окислением воздуха не всегда можно, особенно в тех случаях, когда вода содержит большие количества органических веществ. Исходя из этого, поступают следующим образом:

быстро аэрируют воду, переливая ее из одного химического стакана в другой 20 раз;

фильтруют через бумажный фильтр Dureux (синяя лента); измеряют количество остаточного железа, значение pH, концентрации растворенного кислорода и диоксида углерода.

Если содержание остаточного железа не меньше 0,1 мг/л, следует провести более полные анализы, желательны на опытной установке, используя другие окислители и (или) различные коагулянты и флокулянты (например альгинаты).

№ 711. Тест на дегазацию. Иногда полезно устранить свободную  $\text{CO}_2$ , разбрызгивая воду на воздухе. Для эффективного проведения этой процедуры поступают следующим образом:

берут два однолитровых химических стакана и переливают воду из одного стакана в другой, давая возможность струе воды падать с высоты 20 см со скоростью примерно 1 л в 10 с;

определяют содержание свободной уголекислоты и отмечают значение pH, соответствующее количеству переливаний, до тех пор, пока pH перестанет заметно изменяться.

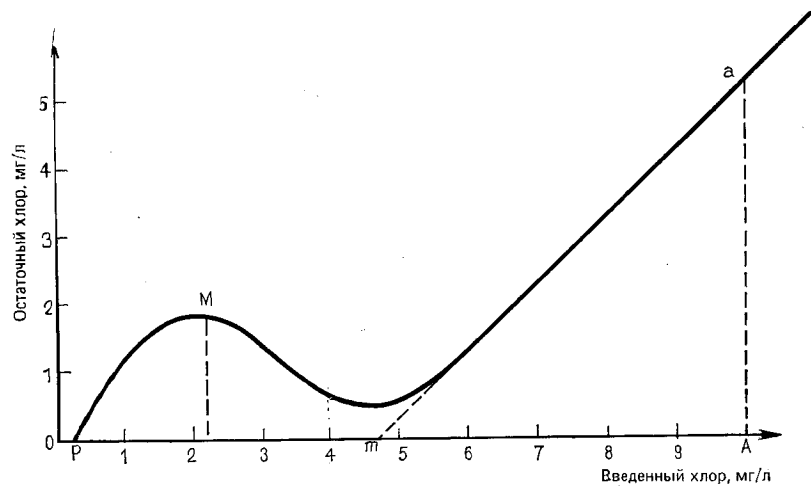


Рис. 27.12

**№ 712-Е. Индекс забивания фильтра.**

Сущность метода. После фильтрования анализируемой пробы, которое длится 15 мин, определяют степень забивания ацетатно-целлюлозного мембранного фильтра с порами размером 0,45 мкм.

Оборудование:

- напорный фильтр с внутренним диаметром корпуса 47 мм;
- ацетатно-целлюлозный фильтр диаметром 47 мм с размером пор 0,45 мкм;
- манометр со шкалой 50 кПа;
- игельчатый вентиль для регулирования давления.

Ход определения. Мембрану помещают в корпус напорного фильтра, смачивают ее и зажимают оправкой. Выпускают воздух и устанавливают корпус напорного фильтра таким образом, чтобы мембрана была ориентирована вертикально. Устанавливают давление, равным 0,21 МПа, и, используя хронометр, измеряют время  $t_0$ , необходимое для фильтрования 500 мл воды (это время должно составлять больше 10 с). Повторяют анализ, если во время измерения давление изменяется на  $\pm 5\%$ .

Продолжают фильтрование с тем же фильтром, корректируя, если это необходимо, давление.

Через 10 мин измеряют хронометром время  $t$ , необходимое для фильтрования 500 мл воды, следя за тем, чтобы давление оставалось постоянным, равным 0,21 МПа.

Разбирают корпус напорного фильтра, вынимают фильтрующую мембрану и проводят с ней запланированные анализы.

Расчет. Интенсивность засорения  $P$  (%) определяют по соотношению

$$P = 100 \left( 1 - \frac{t_0}{t} \right).$$

Если полученное значение превышает 80% за 15 мин, анализ следует повторить с уменьшением времени фильтрования до 10; 5 или даже 3 мин.

Индекс засорения  $I_c$  вычисляют, исходя из значения  $P$  % и времени  $T$  между измерениями:

$$I_c = \frac{P}{T}.$$

Пример. При 0,21 МПа  $\left\{ \begin{array}{l} t_0 = 28 \text{ с} \\ t = 44 \text{ с} \end{array} \right.$  (через 15 мин, т. е.  $T = 15$ );

$$P = 100 \left( 1 - \frac{28}{44} \right) = 36,4;$$

$$I_{c15} = \frac{36,4}{15} = 2,4.$$

## 27.9. АНАЛИЗ ИЛА И ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД

**№ 801. Сухой остаток, или сухое вещество осадка при температуре 105°C.** Сухим остатком называется сухой «экстракт», или сухое вещество осадка. Его измеряют, помещая пробу ила или осадка (от 25 до 100 мл в зависимости от концентрации ила или осадка) в сушильный шкаф при 105°C до получения постоянной массы.

Если  $M_1$  — масса сырого ила или осадка, а  $M_2$  — масса, полученная после сушки, то

$$\text{сухой остаток} = \frac{M_2 \cdot 100}{M_1}.$$

**№ 802. Сухой остаток при температуре 175—185°C.** Воду, в которой содержатся кристаллизующиеся соли и летучие вещества, наравне с другими соединениями анализируют для определения сухого остатка при 175—185°C и при 105°C и сравнивают оба результата.

**№ 803. Взвешенные вещества в иловой смеси** определяют или методом 803 (а) или методом 803 (б) независимо от влажности рассматриваемого ила или осадка. Полученное значение отличается от сухого остатка, поскольку оно не включает содержащихся в илах или осадках растворенных веществ. Эти методы отличаются от метода 406 (см. с. 960), поскольку концентрация взвешенных веществ в иле или осадках больше, чем в сточной воде.

№ 803 (а). *Метод центрифугирования.* Используют лабораторную центрифугу с калиброванными центрифужными пробирками объемом 100 мл. В каждую пробирку наливают 80 мл иловой смеси и центрифугируют при частоте вращения 4000—5000 об/мин в течение 10 мин. После этого надосадочную жидкость сливают и осадок осторожно извлекают из каждой пробирки; осадок высушивают в сушильном шкафу при 105 °С до тех пор, пока масса его не будет оставаться постоянной (в основном, по меньшей мере, в течение 12 ч).

Примечания. 1. Если ил или осадок первоначально флокулировали несколькими мг/л полиэлектролита (флокуляция непосредственно в пробирке), может быть получен гомогенный осадок, который легко и без потерь переносят в сушильный шкаф.

2.  $M$  (г) — масса полученного сухого остатка;  $V$  (мл) — объем пробы ила или осадка, взятого для центрифугирования ( $V=160$  или  $320$  мл).

Концентрация взвешенных веществ равна, г/л:

$$\frac{M \cdot 1000}{V}$$

№ 803 (б). *Метод фильтрования* применим при анализе концентрированных илов и осадков (например, с концентрацией от 5 до 30 г/л).

Точно взвешивают бумажный фильтр (сверхскорые беззольные фильтры диаметром 150 мм, например типа «Dugieux») и фильтруют ил или осадок (от 25 до 100 мл в зависимости от концентрации) с использованием стеклянной воронки. В некоторых случаях для этого требуется много времени, если ил или осадок плохо фильтруется. Затем фильтр помещают в сушильный шкаф и выдерживают при 105 °С до тех пор, пока масса его не станет постоянной.

Концентрация взвешенных веществ (г/л) равна:

$$\frac{M - F}{V} \cdot 1000,$$

где  $M$  — сухая масса фильтра с кэком;  $F$  — масса только фильтра;  $V$  — объем ила или осадка, взятого для фильтрования.

№ 804. *Прокаленный остаток (при температуре 550 °С) и летучие вещества.* Сухой остаток, полученный при 105 °С, ставят в предварительно нагретую до 550 °С муфельную печь с регулированием температуры и выдерживают 2 ч. Обычно используют кварцевые чашки, в которых остается от 10 до 20 г прокаленного остатка.

Содержание летучих веществ, образующихся при 550 °С, не следует путать с содержанием органических веществ. Это объясняется несколькими причинами:

в диапазоне температур от 105 до 550 °С могут разрушаться некоторые неорганические вещества и соли;

часть органических веществ (особенно некоторые органические кальциевые или металлоорганические комплексы) преобразует-

ся в летучие соединения не при 550 °С, а только при температуре 650—700 °С.

Тем не менее для большинства разновидностей ила или осадков определение летучих веществ является грубой оценкой содержания органических веществ. Содержание летучих веществ обычно выражается в процентном отношении к содержанию взвешенных веществ по сухому остатку.

№ 805. *Ускоренный метод определения ОЩ и содержания летучих кислот в иловой смеси* применяют, например, для контроля процесса анаэробного сбраживания.

Отмеряют 25 мл иловой смеси с наибольшей возможной точностью. Вначале центрифугируют иловую смесь при частоте вращения 5000 об/мин в течение 10 мин. Надосадочную жидкость собирают в химический стакан вместимостью 400 мл. В осадок вносят 50 мл дистиллированной воды, стараясь выполнить эту операцию без потерь осадка.

Затем снова центрифугируют при частоте вращения 5000 об/мин в течение 10 мин и отливают надосадочную жидкость в химический стакан. Процедуру промывания осадка повторяют еще раз.

Собранная жидкость содержит в основном бикарбонаты и растворенные летучие кислоты.

Определение ОЩ. Жидкость, собранную в химическом стакане, перемешивают на магнитной мешалке. При этом в жидкость погружают электроды рН-метра и измеряют начальное значение рН.

Используя бюретку, калиброванную через 0,1 мл, прибавляют 0,1 н. серной кислоты до рН=4, израсходовав при этом  $V$  (мл):

$$\text{ОЩ} = \frac{V \cdot 0,1 \cdot 1000}{25} = V \cdot 4 \text{ [мг-экв/л]}$$

или

$$\text{ОЩ} = V \cdot 4 \cdot 0,05 \text{ [г/л CaCO}_3\text{]}.$$

Определение содержания летучих кислот. Снова добавляют 0,1 н. серной кислоты до установления рН=3,5. Жидкость кипятят при рН=3,5 ровно 3 мин. Дают жидкости остыть. Затем в нее погружают электроды рН-метра; используя бюретку с калибровкой через 0,1 мл, вводят раствор 0,1 н. каустической соды, непрерывно перемешивая, до установления рН=4 (объем израсходованной соды  $V_2$ ). Прибавляют NaOH до установления рН=7 (объем NaOH= $V_3$ ).

Содержание летучих кислот  $\frac{(V_3 - V_2) \cdot 0,1 \cdot 1000}{25} = (V_3 - V_2) \cdot 4 \text{ [мг-экв/л]}$ ,

или содержание летучих кислот  $(V_3 - V_2) \cdot 4 \cdot 0,06 \text{ [г/л CH}_3\text{COOH]}$ .

№ 806. *Определение фильтруемости осадка на воронке Бюхнера — измерение удельного сопротивления фильтрованию под вакуумом в 0,05 МПа* (см. рис. 27.13).

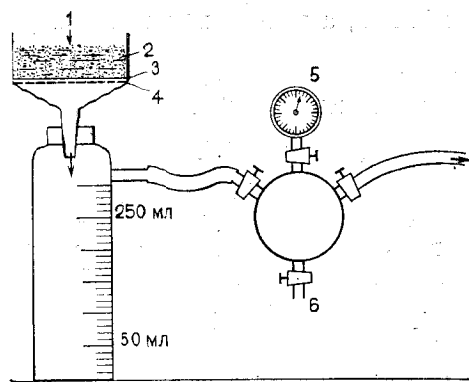


Рис. 27.13. Определение фильтруемости при вакууме 50 кПа

1 — кондиционированный ил (осадок); 2 — разъемная воронка Бюхнера; 3 — фильтрующая бумага; 4 — перфорированная пластинка; 5 — вакуумметр; 6 — водоструйный насос

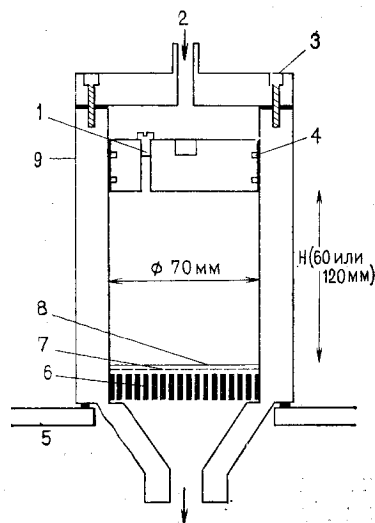


Рис. 27.14. Определение фильтруемости под давлением от 50 до 150 кПа с использованием напорной ячейки Понт-а-Муссона

1 — винт выпуска воздуха; 2 — сжатый воздух; 3 — винт, обеспечивающий герметичность крепления крышки; 4 — уплотнительное кольцо; 5 — основание; 6 — перфорированное основание; 7 — металлическая сетка; 8 — бумажный фильтр; 9 — ячейка из нержавеющей стали

Это определение проводят, чтобы получить ориентировочную оценку производительности промышленного вакуум-фильтра, а также чтобы определить оптимальные дозы реагентов.

Оборудование состоит из хронометра, вакуум-насоса, манометра, фильтрующей установки, включающей воронку Бюхнера объемом 200—300 мл, соединенную с цилиндром на 250 мл. Воронка Бюхнера (сделанная из фарфора или пластмассы) состоит из двух съемных частей, между которыми находятся основание фильтра (перфорированная пластинка), фильтрующая сетка (или бумажный фильтр), резиновая прокладка.

Ход определения. Воронку Бюхнера заполняют илом, предназначенным для фильтрования (предварительно кондиционированным); 150 мл иловой смеси обычно достаточно для получения на фильтре кэка толщиной 8—10 мм.

Цилиндр присоединяют к вакуум-насосу и быстро создают вакуум 0,05 МПа, который следует поддерживать постоянным в течение всего опыта.

Как только устанавливается требуемое значение вакуума, включают хронометр и отмечают объем уже собранного фильт-

рата (этот объем, равный  $V_0$ , в момент времени  $t=0$  в дальнейшем нужно будет вычесть из конечного объема). Отмечают объемы фильтрата, собранные через различные промежутки времени в ходе фильтрования, через каждые 10, 15, 20, 30 или 60 с в зависимости от скорости течения фильтрата.

Опыт продолжается до высыхания кэка (начало потери вакуума из-за растрескивания кэка).

Расчет удельного сопротивления фильтрования. Во время опыта были зафиксированы объемы  $V_0, V_1, V_2, V_3$  и т. д., соответствующие моментам времени  $T_0, T_1, T_2, T_3$  и т. д.

Строят график зависимости  $V_x$  от

$$\frac{T_x}{V_x - V_0}$$

В основном эти точки располагаются линейно (за исключением точек, соответствующих началу фильтрования и периоду высушивания). Наклон линейного участка полученной зависимости равен коэффициенту  $a$  (см. гл. 17, с. 483). Остальные параметры, необходимые для определения удельного сопротивления, известны (см. гл. 17, с. 484).

$$r_{0,5} = \frac{2aPS^2}{\eta C},$$

где  $a$  выражается в  $\text{с/м}^6$ ;  $P$  — в Па ( $49 \cdot 10^3$  Па);  $S$  — в  $\text{м}^2$ ;  $\eta$  в Па·с (при  $20^\circ\text{C}$   $\eta$  ориентировочно составляет  $1,1 \cdot 10^3$  Па·с);  $C$  — в  $\text{кг/м}^3$ ;  $r$  — в  $\text{м/кг}$ .

Примечание.  $C$  — концентрация взвешенных веществ приблизительно оценивается по  $W$  (массе взвешенных веществ в единице объема отфильтрованной пробы, определенной измерением массы кэка после его высушивания при  $105^\circ\text{C}$  и делением полученного значения на объем отфильтрованной пробы).

№ 807. Определение фильтруемости под давлением с использованием напорной ячейки Понт-а-Муссона (см. рис. 27.14). Это устройство используют для определения не только удельного сопротивления, но также и для установления значения коэффициента сжимаемости кэка и его минимальной влажности. Анализ проводится так же, как и по методике № 806.

Ход определения:

берут пробу (от 100 до 150 мл) кондиционированного ила (или осадка);

устанавливают измерительную ячейку, размещая на перфорированном основании сначала диск фильтрующей сетки, а затем бумажный фильтр;

увлажняют бумажный фильтр и устанавливают небольшое избыточное давление для придания герметичности донной зоне ячейки и устранения из фильтра лишней воды;

размещают трубку для сбора фильтрата ниже воронки ячейки;

вливают пробу иловой смеси в ячейку;



## 28. БИОЛОГИЯ

### 28.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

оставляют на 15 с до того момента, как установится давление с целью образования фильтрующего слоя. Постепенно увеличивают давление (от 50 до 150 кПа); не рекомендуется использовать поршень при давлении ниже 0,2 МПа;

сливают предварительный фильтрат и измеряют его объем (10—20% объема иловой смеси, взятой на анализ);

включают хронометр и определяют изменения объема фильтрата с течением времени. Строят зависимость

$$\frac{T_x}{V_x - V_0} = f(V_x).$$

Частота отсчетов зависит от скорости течения фильтрата; расчет удельного сопротивления см. в методике № 806.

№ 808. *Определение коэффициента сжимаемости.* Определяют удельное сопротивление фильтрованию и строят график  $\lg r = f(\lg P)$ . Убеждаясь в том, что зависимость линейная, определяют наклон прямой, равный коэффициенту сжимаемости. Анализ проводят, используя устройство, описанное в методике № 807. Для получения наибольшей точности предпочтительнее использовать определенные интервалы давления. Рекомендуются следующие значения:  $P = 49, 147, 441$  и  $1323$  кПа (или максимальное давление, которое позволяет обеспечить лабораторное оборудование). Коэффициент сжимаемости выражают в безразмерных единицах.

№ 809. *Определение предельного содержания сухого вещества.* Используют устройство, применяемое для проведения анализа № 808 и 809, но в данном случае поршень передает все поданное в ячейку давление непосредственно на фильтруемый осадок во избежание растрескивания кэка на фильтре. Ход определения аналогичен описанному в методике 807, однако следует после введения пробы иловой смеси в ячейку произвести следующие операции:

опустить поршень до соприкосновения с осадком, сняв для этого винт выпуска воздуха;

возвратить этот винт на место и вернуть его в поршень;

далее анализ продолжают так же, как и по методу 807, и измеряют удельное сопротивление до получения асимптотической ветви кривой  $\frac{t}{V} = f(V)$ . Практически фильтрование следует

прекратить, когда наклон касательной к указанной кривой станет в 5 раз больше наклона начального линейного участка. Определяют сухое вещество кэка при выбранном давлении. Если  $H$  — влажность полученного осадка, %, определенная в конце измерения удельного сопротивления при давлении  $P$  и высушивания его в сушильном шкафу при  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  до постоянной массы, предельное содержание сухого вещества, выраженное в процентах, составит

$$S_{L(P)} = 100 - H.$$

Жизнь зародилась в воде; многие жизненные явления по-прежнему протекают в изначальной морской среде, а также в озерах, реках, прудах, водохранилищах и т. д.

В некотором отношении эти явления играют положительную роль в жизни человека — лучшим примером служит самоочищение рек ниже выпуска сточных вод. Разнообразные организмы способны также размножаться в благоприятных условиях, искусственно созданных для них человеком. Те же полезные явления лежат в основе биологических методов обработки.

Однако многие формы водной жизни нежелательны для человека, особенно в случае обработки воды для питьевых целей, и именно этот аспект будет рассмотрен в данной главе. Как животные, так и растительные формы планктона забивают фильтрующую среду (песок, смолы), нарушают работу осветлителей и вызывают вынос осадка. При недостаточной обработке воды планктон может вызвать образование колоний в трубах и резервуарах, а также служить переносчиком патогенных микроорганизмов; железо- и серобактерии принимают участие в коррозионных процессах. Многие болезни, вызываемые бактериями, простейшими (такими, как амёбы) или червями (бильхарция, трематода и т. д.), передаются через воду. Все эти виды, для которых вода служит либо местом обитания, либо средством распространения, должны быть удалены из воды при обработке.

Технологические процессы обработки воды обсуждаются в других главах книги, в этой же главе будут рассмотрены основные типы организмов, обнаруживаемых в воде, с тем, чтобы в случае необходимости их можно было точно классифицировать и определить. Прежде всего, будут определены основные термины, используемые для описания жизни водных организмов и их взаимосвязи с окружающей средой. Далее приведены некоторые понятия бактериологии, а в конце главы описаны организмы активного ила.

### 28.2. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

#### 28.2.1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В науке о законах жизни, или бионии, можно выделить две области: **этологию**, рассматривающую вопросы, связанные с привычками и поведением животных, и **экологию** — науку о взаимоотношении организмов с окружающей средой.

Один из многих разделов этой новой науки, возникшей менее 50 лет назад, — **биоценология** — рассматривает более де-

тально внутри- и межвидовые взаимоотношения организмов во взаимосвязи со средой обитания.

Каждой среде обитания соответствует свой **биоценоз**, представляющий собой сообщество живых организмов, состав и характер которого определяются свойствами окружающей среды и взаимоотношениями, существующими между организмами; количество живой материи, отнесенное к единице площади или объема, называется **биомассой**. Для данной среды обитания биомасса может быть определена как в пространстве, так и во времени.

Организмы, образующие биомассу, в совокупности со средой обитания составляют **биотоп**.

Биоценоз и биотоп — два неразрывно связанных элемента, воздействующих друг на друга и образующих более или менее устойчивую систему, называемую **экосистемой**.

Большинство природных экосистем образовались в ходе длительной эволюции в результате длительного процесса адаптации видов к среде обитания. В результате саморегуляции экосистема способна в определенных пределах противостоять изменяющимся условиям жизни или внезапному изменению плотности популяции.

Биологические системы являются открытыми системами с постоянным обменом веществ и энергией с окружающей средой. Эти открытые системы стремятся к устойчивому состоянию, проходя через серию последовательно сменяющихся биоценозов, пока не возникнет стабильный биоценоз, находящийся в равновесии с окружающей средой; он называется **климаксом**.

Экосистема непременно состоит из нескольких **трофических** уровней, следующих один за другим и образующих **пищевые цепи**.

Типичная пищевая цепь включает прежде всего организмы, называемые первичными **продуцентами** (например, фитопланктон). Они способны синтезировать из неорганических веществ органические, в химических связях которых аккумулируется потенциальная энергия. Это **автотрофы**.

За ними следуют **гетеротрофные** организмы, подразделяемые на **консументы первого порядка**, которые поедают автотрофных продуцентов (например, зоопланктон), и **консументы второго порядка** — плотоядные животные организмы, питающиеся травоядными организмами. В зависимости от обстоятельств можно идентифицировать третий и более высокий порядок консументов, к которым относятся хищники, паразиты или организмы, питающиеся отмершими обитателями биотопа.

Организмы, осуществляющие **разложение**, или биодegradацию, образуют конечное звено в пищевой цепи. Это в основном **сапрофитные** микроорганизмы (гетеротрофные бактерии, дрожжи или грибы).

Экосистемы могут существенно отличаться своими размерами от макросистем, таких, как море, пустыня, лиственный лес, до микросистем, таких как пеня, нижняя сторона камня.

В водной среде, которая нас интересует, каждое озеро, каждая река или участок реки, образующие определенный биотоп, могут рассматриваться как отдельные экосистемы и изучаться как таковые.

При обработке воды создаются искусственные экосистемы, такие, как азротенк, метантенк, биопленка в медленных фильтрах и т. д.

## 28.2.2. ЭКОЛОГИЯ ОЗЕР: ЭВТРОФИКАЦИЯ

Термин **эвтрофикация**, в принципе применяемый исключительно в связи с озерами, первоначально был использован для описания природных явлений эволюции озера, которые можно свести к следующим:

молодое глубокое озеро является **олиготрофным**: вода в нем голубая и прозрачная; растворенный кислород присутствует по всей глубине до самого дна; биомасса незначительна;

в процессе старения озеро обогащается органическими веществами вследствие первичной продукции их фотосинтетиками (водорослями) и, возможно, благодаря поступлению извне; озеро последовательно превращается сначала в **мезотрофный**, затем в **эвтрофный** водоем. Это сопровождается такими явлениями, как уменьшение глубины в результате постепенно накопления отложений; изменение цвета воды до зеленого или коричневого; снижение прозрачности; истощение запаса кислорода в глубинных слоях воды; увеличение биомассы с появлением видов, свидетельствующих об эвтрофикации (главным образом Суапорфусеае, или сине-зеленых водорослей, из которых наиболее известна *Oscillatoria rubescens*);

конечной стадией является превращение озера в пруд, болото и т. д.

Переход от одного типа к следующему — процесс очень длительный, измеряемый тысячелетиями. Но в некоторых случаях этот природный процесс ускоряется настолько, что его можно проследить на протяжении жизни одного поколения. Такая ситуация возникает в результате деятельности человека: развитие сельского хозяйства, сброс в озера бытовых и производственных сточных вод, загрязненных органическими веществами или биогенными элементами (азот и в особенности фосфор).

Последствия такой антропогенной эвтрофикации могут исключить возможность использования озера в целях туризма и рыболовства; более того, стоимость обработки воды значительно возрастает вследствие необходимости дополнительного оборудования и реагентов для удаления из нее как самих организмов, так и их метаболитов (см. п. 24.4).

### 28.2.3. ЭКОЛОГИЯ РЕКИ: БИОТИЧЕСКИЕ ИНДЕКСЫ

Подобные проблемы не возникают для водоемов с проточной водой, для которых неприменимо в полной мере понятие эвтрофикации. Для характеристики загрязненности реки давно используется понятие **сапробности**, связанное с химическими свойствами воды и биологическими зонами, которые определяются присутствием представителей различных семейств животных и растительных организмов (система Кольквица и Марсона, 1909 г.).

Система сапробности в настоящее время подвергается сомнению. Во Франции ей предпочитают метод **биотических индексов**, предложенный Верно и Туффери на основе метода, разработанного в Великобритании органами водной инспекции. Суть метода — анализ бентического макронаселения, а именно беспозвоночных животных (моллюски, ракообразные, черви, личинки насекомых), на основании которого можно установить индекс качества воды по шкале, возрастающей от нуля до десяти.

Изменения в биоценозах особенно отчетливо проявляются ниже выпуска загрязнений (изменение типа доминантной зоологической группы, уменьшение числа видов, увеличение числа особей каждого вида). Согласно методу, приведенному выше, максимум загрязнения органическими веществами приведет к серьезному уменьшению биотического индекса в реке ниже выпуска загрязненного стока. Еще ниже по течению реки индекс снова возрастает в результате процессов самоочищения. Такой метод дает ценные сведения о влиянии загрязнений, позволяет определить, достаточно ли очищены сбрасываемые сточные воды и т. д.

### 28.2.4. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕСТЫ НА ЗАГРЯЗНЕННОСТЬ

Токсичные вещества, выбрасываемые в среду обитания, создают угрозу живым организмам. Для оценки токсичности сбрасываемых сточных вод разработаны определенные тесты. В качестве тест-объектов выбирается один организм из следующих четырех категорий:

бактерии: (*Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Escherichia coli* и т. д.);

водоросли (*Chlamydomonas*, *Dunaliella*, *Selenastrum*, ...);

беспозвоночные (чаще всего ракообразные, но также черви, простейшие и т. д.);

рыбы (форель, гольян, гуппии, карп, *Brachydanio*).

Эти тесты могут быть либо статическими, либо динамическими. Во Франции Кабридан и Лундаль разработали статический тест на одном из обычных ракообразных — дафнии (*Daphnia magna*); определялась концентрация ингибитора, при

которой 50% использованных в опыте дафний через 24 ч контакта переставали двигаться. Результаты могут быть выражены в **эквитоксах** (см. п. 27.6, № 416). Исследуются и другие методы.

Биологические тесты можно также использовать и для определения случайного загрязнения реки выше по течению от водопроводной станции или рыбоводного хозяйства. Обычно используются рыбы (чаще всего форель или карп). Для обеспечения непрерывного автоматического контроля предложена различная аппаратура. Во Франции применяется система, разработанная Лейно, Барбье и др.; ее принцип положен в основу Дегремон-ихтиотеста, описанного выше (см. п. 19.1.3.4). На более сложных постах предупреждения, где одновременно автоматически замеряются различные физико-химические параметры контролируемой воды, могут проводиться и динамические тесты.

## 28.3. ПРИНЦИПЫ КЛАССИФИКАЦИИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Прежде чем рассматривать основные организмы, обитающие в воде и способные мешать процессу ее обработки, полезно напомнить основы классификации живых организмов, чтобы иметь возможность без особого труда правильно определять их принадлежность к той или иной систематической группе.

Существуют три царства: царство бактерий, царство животных, царство растений; место первого из них — самая нижняя граница двух других. Вирусы — большие молекулы нуклеиновой кислоты в комбинации с белком — стоят на грани между живой и неживой природой. Они образуют свой собственный мир, совершенно отличный от «клеточной» жизни, представленной тремя уже упомянутыми царствами.

В приведенных ниже для каждого царства упрощенных таблицах (табл. 28.1—28.4) упомянуты только некоторые подразделения (раздел, класс, порядок, семейство и род) и рассмотрены исключительно те группы организмов, которые обитают в водной среде. С целью иллюстрации для каждого порядка, семейства и рода приведено лишь несколько отдельных примеров. Более детальные сведения можно найти в подразделах по бактериологии и изучению планктона.

### 28.3.1. ЦАРСТВО БАКТЕРИЙ

К царству бактерий принадлежат одноклеточные микроскопические организмы, одиночные или колонизальные. Многие характерные признаки отличают их от организмов двух других царств, в частности бактерии являются прокариотами (не имеют ядерной оболочки); по этому признаку они сходны с *Sua-porotheae* (см. далее «прокариотические протисты»).

ТАБЛИЦА 28.1 ЦАРСТВО БАКТЕРИИ

Раздел	Класс	Порядок	Семейство	Род (примеры) <sup>1</sup>
Eubacteria	Asporulales	Micrococcales	{ Neisseriaceae Micrococcaceae Pseudomonadaceae Enterobacteriaceae	Neisseria Streptococcus, Staphylococcus Pseudomonas, Serratia Escherichia, Salmonella, Shigella
		Bacteriales	{ Parvobacteriaceae Ristellaceae Protobacteriaceae	Pasteurella, Brucella Nitrobacter, Nitromonas Thiobacillus
		Spirillales	{ Bacteriaceae Vibrionaceae Spirillaceae	Bacterium, Lactobacillus Vibrio, Cellvibrio Spirillum
Mycobacteria	Actinomycetales	Bacillales	{ Bacillaceae Innominatae	Bacillus (B. subtilis) Innominatus
		Clostridiales	{ Endosporaceae Clostridiaceae	Endosporus Clostridium (Cl. perfringens)
		Plectridiales	{ Terminosporaceae Plectridiaceae	Terminosporus Plectridium
		Sporovibrionales	{ Sporovibrionaceae	Sporovibrio (или Desulfovibrio)
Mycobacteria	Mycobacteriales	Actinobacteriales	{ Sphaerophoraceae Actinomycetaceae Streptomycetaceae	Sphaerophorus Actinomyces, Nocardia Streptomycetes, Micromonospora
		Мycobacteriales	{ Мycobacteriaceae	Мycobacterium
		Мухососцатые	{ Мухососцасеae Archangiaceae	Мухососкус Archangium
		Angiobacteriales	{ Sorangiaceae Polyangiaceae	Sorangium, Chondromyces
		Asporangiales	{ Cytophagaceae	Cytophaga, Flexibacter
Algoobacteria	Azotobacteriales	Azotobacteriales	Azotobacteriaceae	Azotobacter
		Chlamydoobacteriales	{ Chlamydoobacteriaceae Crenothricaceae Siderocapsaceae Caulobacteriaceae Gallionellaceae	Sphaerotilus, Leptothrix Crenothrix, Clonothrix Siderocapsa, Sideromonas, Ferrobacillus Caulobacter Gallionella
		Caulobacteriales	{ Thiroidiaceae Thiobacteriaceae Athyridaceae Chlorobacteriaceae Chlorochromatiaceae Beggiatoaceae Achromatiaceae	Thiocystis, Chromatium Thiobacterium, Thiospira Rhodopseudomonas Chlorobium, Pelodyction Chlorochromatium Beggiatoa, Thiothrix Achromatium
Protozoobacteria	Spirochaetales	Spirochaetales	{ Spirochaetaceae Treponemaceae	Spirochaeta Treponema, Leptospira

Продолжение табл. 28.1

<sup>1</sup> Роды, наиболее часто встречающиеся в литературе по обработке воды.

ТАБЛИЦА 28.2. ЦАРСТВО РАСТЕНИЙ

Раздел или подраздел	Класс (примеры)	Порядок (примеры)	Семейство (примеры)	Род (примеры)
<i>Thallophyta</i> (клеточное споровое растение): Мухомусеетae	Мухогастромусеетae { Phycomycetae Zygomycetae Ascomycetae Basidiomycetae Chlorophyceae Euglenophyceae { Bacillariophyceae или Diatoms Chrysophyceae Xanthophyceae или Heterokontes	Physarales Leptomitales Mucorales Aspergillales Agaricales Volvocales Chlorococcales Ulothrichales Chaetophorales Coelogales Euglenales Centrales Pennales Ochromonadales Heterotrichales Heterosiphonales	Didymiaceae Leptomitaceae Mucoraceae Aspergillaceae Amanitaceae Chlamydomonadaceae Pediastrum (рис. 28.10) Hormidium (рис. 28.14) Draparnaldia (рис. 28.15) Spirogyra (рис. 28.18) Euglena (рис. 28.23) Cystotella (рис. 28.25) Synedra (рис. 28.28) Rhoicosphenia (рис. 28.32) Navicula (рис. 28.31) Synura (рис. 28.35) Tribonema Vaucheria (рис. 28.37)	Dydimium Leptomitius Mucor Aspergillus Amanita Chlamydomonas (рис. 28.6) Pediastrum (рис. 28.10) Hormidium (рис. 28.14) Draparnaldia (рис. 28.15) Spirogyra (рис. 28.18) Euglena (рис. 28.23) Cystotella (рис. 28.25) Synedra (рис. 28.28) Rhoicosphenia (рис. 28.32) Navicula (рис. 28.31) Synura (рис. 28.35) Tribonema Vaucheria (рис. 28.37)
Суанорфита (сине-зеленые водоросли) Rhodорфита (красные водоросли)	Мухорфусеетae Rhodорфусеетae	{ Chroococcales Hormogonales Bangiales Florideae	Chroococaceae Oscillatoriaceae	Microcystis (рис. 28.39) Oscillatoria (рис. 28.40) Bangia Batrachospermum

Продолжение табл. 28.2

Раздел или подраздел	Класс (примеры)	Порядок (примеры)	Семейство (примеры)	Род (примеры)
Ругорфита Phaeорфита (коричневые) Bryорфита Pterидорфита (васкулярные споровые растения) Spermatophyta или Phanerogams: Gymnosperms	{ Cryptophyceae Dinophyceae (или Peridinians) Phaeophyceae { Hepatiticae Mosses Filicinae Coniferales Monocotyledons Dicotyledons	Cryptomonadales { Peridiniiales Dinocaspales Fucales Jungermanniales Sphagnales Abietales Fluviales Glumiflores Cyperales Spermatiflores Pandanales Ranales Leguminosae Fagales	Pinaceae Potamogetonaceae Gramineae Juncaceae Cyperaceae Lepidaceae Typhaceae Ceratophyllaceae Nymphaeaceae Papilionaceae Fagaceae	Scyrtomonas Peridinium (рис. 28.42) Gleodinium Fucus Riccia Sphagnum Ferns Ель Рдест Хлебные злаки Ситник Осока Ряска Кошачий хвост Ceratophyllum Желтая или белая водяная лилия Горех, бобы Дуб, бук
Angiosperms				

ТАБЛИЦА 28.3. ЦАРСТВО ЖИВОТНЫХ. ПОДЦАРСТВО I: Protozoa

Раздел	Класс (примеры)	Порядок (примеры)	Род (примеры)
Rhizopoda	Amoebians Foraminifera Radiolaria Heliozoa		Амoeba (рис. 28.45) Polystomella Actinophrys (рис. 28.47) Trypanosome Trichomonas Lambliа
Flagellata	Zooflagellata	Herpetomonadinae Polymastiginae Diplomonadinae Hypermastiginae Gregarinae Coccidae Hemosporidae	Plasmodium
Sporozoa	Telesporidiae Cnidosporidae		
Protociliata		Opalinae	Paramecium, coleps (рис. 28.43) Stentor
Infusoria	Ciliata	Holotrichiae	Vorticella (рис. 28.44)
		Heterotrichiae	Euplores, Aspidisca (рис. 28.60)
		Peritrichiae Hypotrichiae	Podophrya Acineta

ТАБЛИЦА 28.4. ЦАРСТВО ЖИВОТНЫХ. ПОДЦАРСТВО II: Metazoa

Раздел	Класс (примеры)	Подкласс (примеры)	Порядок (примеры)	Род (примеры)
Sponges	Chalky sponges Siliceous sponges Hydrozoa Scyphozoa Anthozoa	Demospongiae Hexacorallariae	Tetraxonidae Hydrariae Medusae Madreporariae	Spongilla Hydra Craspedacusta Corals Sea-urchins
Coelenterata	Ecnionidae Turbellariae Trematodae Cestodae Nemertae Gasterotrichae	Neophores Eucestodae Armatae	Triclaeae Digeniae Cyclophylidiidae Hoploneuridae	Planaria Fluke-worm, bilharzia Tapeworm Prostoma
Nematyhelminthae (круглые черви)	Nematoda	Aphasmidariae Phasmidariae	Chetonoidae Trichinoidae Tylenchoidae Ascaridoideae	Chaetonoctus Thread-worm Anguillula (рис. 28.55) Ascaris Pomphorhynchus
Rotifera	Acanthocephala Gordiaceae Bdelloidae Monogononta		Gordioidae Bdelloidae Ploimidae Flosculariaceae	Gordionus Philodina (рис. 28.51) Keratella (рис. 28.48) Hexarthra
Echiuria Annelida	Gephyriinae Polychetae Clitellatae		Echiurinae Errantae Oligochetae Hirudinidae Phylactolemae	Bonellia Nereis Tubifex, nais Leech Cristatella
Lophophoria	Bryozoa Brachiopoda	Ectoprocta Testicardinae		

Группы	Класс (примеры)	Подкласс (примеры)	Порядок (примеры)	Род (примеры)
Molluscs	Amphineura Scaphropoda Gastropoda Lamellibranchia	Euthyneura	Pulmonae Eulamellibranchia	Chiton Planorba Dreissena (моллюск) (рис. 28.56) Octopus Cuttle-fish Cypris (рис. 28.54) Cyclops (рис. 28.53) Daphnia, Bosmina (рис. 28.52)
	Cephalopoda	Dibranchiata	Octopodia Decapodia Ostracoda Copepoda Cladoceriae	Asellus, водяная вошь Gammarus Astacus (речной рак) Macrobiotus Galley-worm Hydrachna Chironoma
Arthropods	Crustaceae	Entomostraceae	Isopoda Amphipoda Decapoda	
	Tardigradae Myriapoda Arachnidae Insects	Diplopoda Pterygota	Eutardigradae Chilognathae Acariae Diptera	
Stomochordata Tunicata Acraniae Vertebrata	Enteropneustae Ascidians	Elasmobranchia Neopterygii	Selachii Teleostei Urodelae Anoura Chelonidae Anatidae Primates	Amphioxus Минора Акула Форель Proteus Лягушка Черепаха Утка Человек
	Cyclostomata Chondrichthyaе Osteichthyaе Batrachiaе Reptiles Birds Mammals	Placentalia		

Однако бактерии в некоторых отношениях сходны с представителями других царств. В приведенной здесь классификации бактерий (Прево, 1961 г.) выделены четыре раздела: рядом с истинными бактериями (Eubacteria) показаны три других раздела: бактерии, имеющие сходство с грибами (Mycobacteria), водорослями (Algoobacteria) или одноклеточными животными (Protozoobacteria).

### 28.3.2. ЦАРСТВО РАСТЕНИЙ

Принятая на сегодня классификация начинается с Мухомуцетасе (низшие грибы) и Еумуцетасе (высшие грибы). Затем следуют многочисленные разделы водорослей, за ними Bryophyta (мхи) и Pteridophyta (васкулярные споровые растения) и, наконец, высшие растения.

### 28.3.3. ЦАРСТВО ЖИВОТНЫХ

Это царство начинается с одноклеточных животных (Protozoa), среди которых множество паразитических форм (среди флагеллят только порядка Polymastiginae и Diplomonadinae включают свободно живущие формы, Sporozoa — все паразиты).

Много простейших находится в планктоне и фауне активного ила. Значение и роль, которую они играют в этих сообществах, чрезвычайно велики.

Раздел Spongiae (губки) является переходным от Protozoa к Metazoa. Прimitивные губки имеют вид колонии дифференцированных простейших. Затем, по мере приближения к высшим животным, располагаются важные разделы, связанные с планктоном, особенно среди Vermidae (Rotifera) и Arthropodas (ракообразные и личинки насекомых).

В действительности предложенная здесь система классификации не может рассматриваться как универсальная, поскольку существуют и другие классификации.

Например, Геккель предложил объединить все наиболее примитивные организмы в отдельное царство — царство протистов, подразделяемое на прокариотов (бактерии и сине-зеленые водоросли) и эукариотов (водоросли, грибы, лишайники и простейшие). Эта система еще иногда используется некоторыми авторами. В царстве растений многочисленные группы водорослей можно рассматривать либо как разделы, либо как подразделы. В царстве животных Rotifera может образовать отдельный раздел или входить как класс в раздел круглых червей (в некоторых странах называемых Aschelminthes). Tardigrada может являться классом разделов Annelida или Arthropoda и т. д.



## 28.4. БАКТЕРИОЛОГИЯ

Учение о бактериях чрезвычайно сложно. На эту тему написано много прекрасных работ (см. список литературы).

### 28.4.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БАКТЕРИИ

Бактерии обычно идентифицируют после культивации на специальных средах, наблюдая за специфическими культуральными свойствами, которые каждый вид проявляет при росте на соответствующей среде. Это дает возможность изолировать и классифицировать бактерии.

В благоприятных условиях бактерии размножаются путем деления клетки (включая деление ядерного вещества). В неблагоприятных условиях возможно образование спор, которые затем снова могут развиваться в клетку.

Некоторые бактерии способны размножаться в организме животных, вызывая в связи с этим болезни различной тяжести.

Их вирулентность изменяется в зависимости от условий обитания и может быть понижена искусственно (приготовление вакцин).

Иммунитет, возникающий после введения вакцины или естественного заражения микроорганизмами с пониженной вирулентностью, объясняется образованием антител, появляющихся в ответ на антиген вторгшегося патогенного микроба.

Инъекция сыворотки крови животного, перенесшего болезнь в легкой форме, также является средством предотвращения или лечения заболевания. Сущность этого метода состоит в действии антител сыворотки, которые разрушают или иммобилизуют соответствующие патогенные микроорганизмы. Специфическая агглютинация культур патогенных бактерий соответствующими антителами является способом идентификации патогенных микробов.

Некоторые обычно непатогенные бактерии в исключительных обстоятельствах могут стать таковыми при соответствующих условиях или в тех случаях, когда они случайно оказываются в кровеносной системе (например, *Bacillus coli*).

Патогенные микроорганизмы могут обитать в теле человека, не принося ему вреда, если человек обладает врожденным иммунитетом или если вирулентность микробного вида временно снижена, а также в тех случаях, когда специфический бактериальный штамм опасен только для какого-нибудь другого хозяина.

Такой аутоиммунизированный, по-видимому, неинфицированный человек, называемый носителем, может передавать возбудителей болезни другим людям, не болея при этом сам.

Некоторые вирусы (бактериофаги) обладают способностью поражать бактерии и вызывают исчезновение бактериальных колоний (явление, названное бактериолизисом). Специфичность их действия различна: определенный фаг может поражать один штамм,

один вид или даже несколько бактериальных видов (обычно одной и той же группы). Определение бактериофагов может быть полезно при бактериологическом анализе питьевой воды, так как с их помощью можно обнаружить загрязнение воды, происшедшее ранее, когда сам микробный фактор уже исчез.

### 28.4.2. ПАТОГЕННЫЕ БАКТЕРИИ, ОБНАРУЖИВАЕМЫЕ В ВОДЕ

Через воду могут передаваться многие болезни бактериального происхождения. Эти болезни вызывают следующие микробы:

**бациллы тифозной лихорадки:** *Bacillus typhi* или бациллы Эберта — *Salmonella typhosa*; паратифозные бациллы А и В — соответственно *Salmonella paratyphi* и *S. schottmülleri*;

**дизентерийные бациллы:** *Shigella dysenteriae* и *Sh. parady-senteriae*; *Shigella flexneri*, или бацилла Флекснера (псевдодизентерийная). Гастроинтестинальные инфекции, которые включают сальмонеллезы и шигеллезы, не все хорошо распознаются: встречается много случаев болезни в легкой форме;

**холерный вибрион** (*Vibrio cholerae*, или *V. comma*), открытый Кохом, представляет собой маленькую изогнутую палочку, имеющую жгутик и способную передвигаться. *V. proteus* (детская холера и домашняя холера) аналогичен холерному вибриону;

**бацилла Коха** (*Mycobacterium tuberculosis*) вызывает туберкулез во всех его формах. Она обнаруживается в сточных водах санитариев. Для ее деструкции необходимо поддерживать дозу остаточного хлора более 1 мг/л в течение 1 ч;

***Proteus morganii***, с которым связана летняя диарея, особенно у детей;

***Leptospira* (или *Spirochaeta*), *icterohaemorrhagiae***, вызывающая геморрагическую желтуху, — заболевание, широко распространенное во всем мире;

***Escherichia Coli*** — вызывает колибациллез;

***Proteus vulgaris*** — вызывает диарею, катар кишечника (более сходный с тифозной лихорадкой) и множество других болезней;

***Bacillus pyocyaneus* (*Pseudomonas aeruginosa*)** — часто находят в сточной воде;

***Pasteurella*** вызывает геморрагическую септицимию у лошадей, свиней, овец, крупного рогатого скота, кроликов, кошек, собак и т. д.;

***Pasteurella tularensis* (*Francisella tularensis*)** вызывает туляремию — болезнь, которая обычно передается от человека к человеку через укусы кровососущих насекомых, но может также распространяться через воду.

Болезни, вызываемые вирусами, рассмотрены отдельно в одном из последующих разделов.

#### 28.4.3. БАКТЕРИОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДЫ

Мы не будем вдаваться в подробности бактериологического анализа воды. Работы, детально раскрывающие эту тему, можно найти в списке литературы.

Методы бактериологического анализа обычно устанавливаются инструкциями, имеющими силу в каждой стране. Во Франции методы анализа питьевой воды утверждены Высшим советом общественной гигиены и детально изложены в постановлении Министерства от 25 января 1960 г. Узаконенные требования, касающиеся методов отбора проб, анализов, которые должны быть проведены, и их интерпретации определены инструкцией Министерства от 15 марта 1962 г.

#### 28.4.4. ФЕРМЕНТЫ

Биокатализаторы клетки, или ферменты, участвуют в превращении только определенных веществ и катализируют только определенные реакции. Они специфичны. Ферменты обычно состоят из простетической группы, или кофермента, и специфического белка — апофермента. В зависимости от типа сочетаний ферменты могут быть индуктивными или конструктивными. Они подразделяются следующим образом:

оксидоредуктазы — переносчики водорода или электрона (цитохромы, флавины и т. д.);

трансферазы, осуществляющие перенос химических групп;

гидролазы, которые катализируют гидролитическое расщепление определенных связей в присутствии воды (мальтаза, амилаза и т. д.);

лиазы, катализирующие отщепление атомных групп;

изомеразы, осуществляющие изменения во внутренней структуре;

лигазы, которые, не нуждаясь в воде, образуют новые связи.

Оксидоредуктазы чрезвычайно важны для клетки, так как с их помощью осуществляются определенные экзотермические реакции, в результате которых бактерии получают энергию, необходимую для их жизнедеятельности. Это окисление иона аммония или нитрита (нитрификация), окисление сульфидов или серы, железа и марганца (обезжелезивание воды, удаление марганца, коррозия).

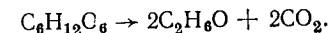
Посредничество ферментов, таким образом, имеет существенное значение не только для управления всеми ферментативными процессами в строгом смысле, где действуют главным образом гидролазы и лиазы, но также для круговорота азота, серы и процессов бактериальной коррозии.

#### 28.4.5. ФЕРМЕНТАТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Ферментативные процессы являются химическими реакциями, осуществляемыми в природе определенными микроорганизмами. Эти микроорганизмы действуют, секретировав специфические фермен-

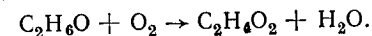
ты (см. выше). Рассмотрение их ограничено основными типами ферментативных превращений.

**Спиртовое брожение** заключается в аэробном превращении сахара в спирт и диоксид углерода. Осуществляют этот процесс грибы: дрожжи (*Saccharomyces*) и плесени (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*):

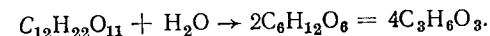


В качестве побочных продуктов всегда образуется небольшое количество глицерина и янтарной кислоты.

**Уксуснокислая ферментация** — превращение спирта в уксусную кислоту под действием *Mycoderma aceti* (*Acetobacter aceti*) в аэрируемой среде:

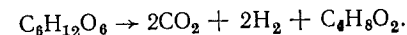


**Молочнокислая ферментация** — превращение некоторых сахаров (например, лактозы) в молочную кислоту под действием бактерий (*Bacillus lacticus*) в аэробной среде:

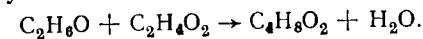


Избыточная кислотность (1% молочной кислоты) тормозит процесс.

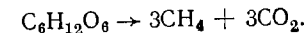
**Маслянокислое брожение**: некоторые виды бактерий, такие, как *Clostridium pasteurianum*, разлагают три вида органических соединений: целлюлозу, сахара и крахмалистые вещества с образованием масляной кислоты  $C_4H_8O_2$ . Это анаэробный процесс, сопровождающийся одновременным выделением водорода и диоксида углерода:



Спирт также окисляется до масляной кислоты под действием *Terminosporium kluuyveri*:



**Метановое брожение** — анаэробный процесс, сопутствующий маслянокислому брожению. Осуществляется некоторыми видами клостридий и приводит к образованию метана — одного из компонентов болотного газа:



**Разложение целлюлозы** — процесс очень медленный, но чрезвычайно важный для природы, так как он приводит к образованию гумуса в навозе и почве. Он осуществляется аэробными (*Cellvibrio*, *Cytophaga*, *Cellfalcicula cellulomanos*) или анаэробными (например, *Clostridium cellulosolvans*) микроорганизмами.

Первые более активны. Они способны разлагать большинство сахаров. Анаэробный процесс протекает в основном при высокой температуре (65° С).

Данные бактерии могут быть причиной нарушений в процессе производства бумаги, вызывая деградацию древесной массы вследствие локального лизиса волокон. Это хорошо известное явление «ос-

лизения» вызывается не только бактериями, упомянутыми выше, но также микроорганизмами, обитающими в воде, а именно *Aerobacter*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Escherichia coli*, *Sphaerotilus*, *Desulfovibrio*, и некоторыми сине-зелеными водорослями.

**Гнилостная ферментация** включает в себя ряд ферментативных процессов, каждый из которых приводит к превращению азотсодержащих органических веществ в более простые соединения. Эти процессы протекают в анаэробных условиях и сопровождаются ферментативную аммонификацию. Продуктами гнилостных процессов являются:

летучие кислоты ряда  $C_nH_{2n}O_2$  (муравьиная, уксусная, масляная и т. д.);

аммонийные соединения;

газы  $CH_4$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $N_2$ ;

птомаины, органическая основа которых чрезвычайно токсична, но разрушается при нагревании.

К этой же категории процессов можно отнести ферментативные процессы превращения серосодержащих веществ с образованием  $H_2S$ .

Аммонийные соединения и сероводород подвергаются дальнейшей биохимической трансформации до тех пор, пока снова усваиваются живые организмы. Таким образом осуществляется круговорот азота и серы.

#### 28.4.6. КРУГОВОРОТ АЗОТА

За исключением предприятий по производству удобрений стоки от населенных пунктов и промышленных комплексов содержат восстановленный азот в форме органических и аммонийных соединений. Бактериальная аммонификация в водных протоках протекает очень быстро, и уровень аммонийного азота хорошо коррелирует с органическими загрязнениями от сброса сточной воды.

Существует опасность нарушения состояния равновесия за счет азота, который таким образом вводится в природный круговорот. Цикл превращений азота в виде диаграммы показан на рис. 28.1.

В аэробных условиях, например в речной воде, содержащей растворенный кислород, органические соединения и аммонийные соли превращаются в нитриты, а затем в нитраты. На это расходуется растворенный кислород. Такой процесс называется нитрификацией и протекает как две последовательные реакции.

Первая стадия нитрификации — образование нитритов бактериями *Nitrosomonas*, *Nitrosocystis*, *Nitrosospira*, *Nitrosoglea* и др. Вторую стадию — образование нитратов — осуществляют бактерии родов *Nitrobacter*, *Nitrocystis*, *Vactoderma*, *Microderma* и др.

Все эти бактерии — автотрофы (см. п. 1.3.1) и строгие аэробы. Они используют энергию окисления аммонийного азота и нитритов для восстановления неорганического углерода, источником которого являются диоксид углерода и карбонаты.

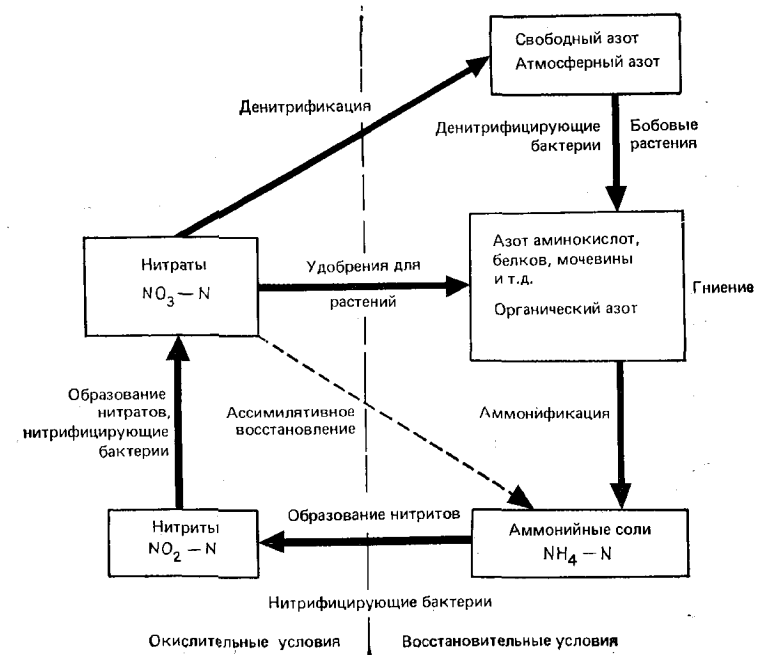
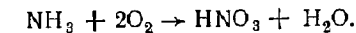


Рис. 28.1. Круговорот азота

В поверхностных водоемах часто создаются благоприятные условия: высокий уровень концентрации растворенного кислорода, небольшая концентрация органических веществ за счет разбавления, что устраняет опасность ингибирования жизнедеятельности автотрофных микроорганизмов. Азотсодержащие вещества сточных вод быстро превращаются в нитраты. Для полного окисления 1 мг азота необходимо 4,57 мг кислорода. В упрощенном виде реакция имеет вид



Таким образом, процесс нитрификации, так же как ассимиляция органических загрязнений, ведет к снижению растворенного кислорода в водосточнике.

Правда, нитраты в состоянии обеспечить запас связанного кислорода, который может быть использован в процессе денитрификации, если условия становятся анаэробными и восстановительными, однако в реке такие условия возникают редко. Процесс денитрификации может протекать двояко:

диссимилятивное восстановление нитратов или восстановление их в процессе дыхания; это процесс, в результате которого гетеротрофные бактерии восстанавливают нитраты и нитриты до газообразного азота; для бактериального синтеза при этом необходи-

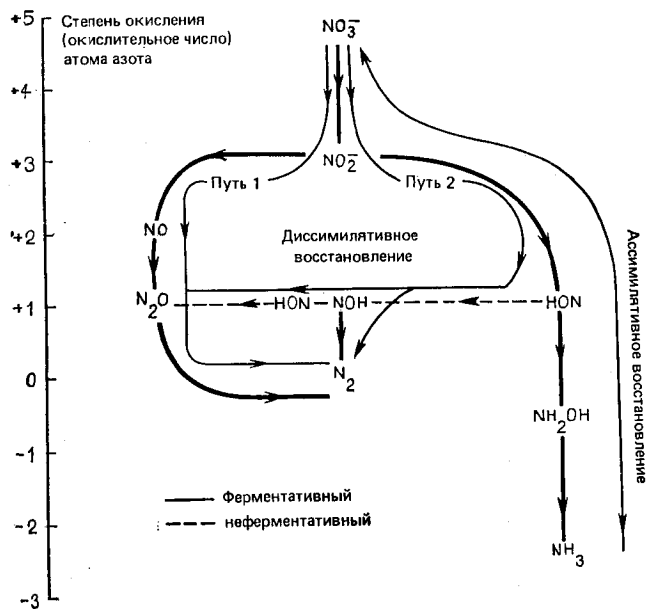


Рис. 28.2. Пути восстановления нитратов

мы углеродсодержащие органические вещества и следы аммонийного азота.

ассимилятивное восстановление, которое, напротив, происходит при условии полного отсутствия аммонийного азота ( $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ); нитраты и нитриты восстанавливаются при этом до аммиака, который используется в процессе синтеза новых клеток.

Диссимилятивное восстановление — реакция более распространенная. Именно этот процесс имеется в виду, когда говорят о денитрификации без каких-либо оговорок. Он особенно важен в обработке сточных вод (см. п. 3.2.5).

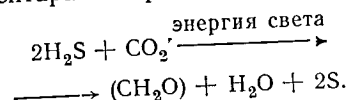
#### 28.4.7. КРУГОВОРОТ СЕРЫ

Ранее было показано (гнилостная ферментация), что анаэробная ферментация серы приводит к превращению серосодержащих органических соединений в сероводород.

Другие (аэробные) бактерии могут окислять сероводород до серы (которую они иногда способны накапливать в виде рассеянных в их цитоплазме гранул, преломляющих свет) и в конечном итоге до серной кислоты.

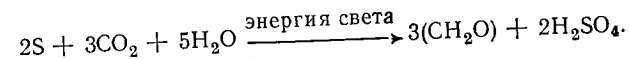
**Фотосинтетические реакции** в клетках *Rhodothiorbacteriales* (или пурпурных серобактерий), таких как *Chromatium*, *Thiospirillum* или *Thiopredia*, протекают так же, как в клетках *Chlorothiorbacteriales* (или зеленых серобактерий), таких как *Chlorobium* или

*Chlorobacterium*; сначала образуется элементарная сера:

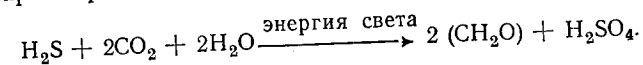


В этих реакциях  $(\text{CH}_2\text{O})$  означает синтезированное органическое вещество.

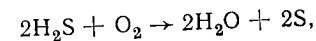
Образовавшаяся сера в зависимости от вида микроорганизмов либо накапливается в бактериальной клетке, либо выводится наружу. Возможно дальнейшее ее превращение в серную кислоту:



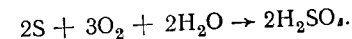
Суммарная реакция может быть записана следующим образом:



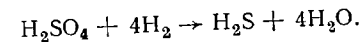
**Простые окислительно-восстановительные реакции** протекают в клетках *Leucothiorbacteriales* (или бесцветных серобактерий), таких как *Beggiatoa* или *Thiothrix*:



а также некоторых *Protobacteriaceae*, таких, как *Thiobacillus thiooxidans*, которые окисляют серу до серной кислоты:



В конце концов в аэробных условиях могут таким образом появиться сульфаты. С другой стороны, в анаэробных условиях они могут восстанавливаться другими бактериями (*Desulfovibrio* или *Sporovibrio desulfuricans*, некоторыми *Clostridium* и т.д.), которые секретируют сульфатредуктазы, способные катализировать реакцию



Существуют также сульфит-восстанавливающие бактерии (некоторые виды *Clostridium* и *Welchia*). Некоторые из этих бактерий принимают участие в процессе коррозии чугунных, стальных или железобетонных трубопроводов.

#### 28.4.8. БАКТЕРИАЛЬНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА

Экзотермическое окисление железа, осуществляемое некоторыми бактериями, катализируется окислительно-восстановительными ферментами (флавинами, см. п. 28.4.4); трехвалентное железо переводится в нерастворимую форму гидроксида и накапливается в слизеобразных выделениях (чехлы, ножки, капсулы) этих бактерий.



Рис. 28.3. *Thiospirillum* — ×1000

Организмы, осуществляющие эти явления, в основном относятся к Siderobacteriales, в частности:

Chlamydoxiales: *Leptothrix* (*L. ochracea*, *L. crassa*, *L. discophora*);

Crenothricaceae: *Crenothrix* (*Cr. polyspora*), *Clonothrix* (*Cl. ferruginea*, *Cl. fusca*);

Siderocapsaceae: *Siderocapsa*, *Ferrobacillus*, *Sideromonas*;

Gallionellaceae: *Gallionella* (*G. ferruginea*, *G. major*).

Аналогичные свойства обнаруживаются также у Protobacteriaceae (*Thiobacillus ferrooxidans*).

Все эти организмы могут также окислять марганец, если его концентрация заметно превышает концентрацию железа; наряду с ними проявляют специфическую активность и другие бактерии, например истинные бактерии:

*Pseudomonas* (*Ps. manganoxidans*), *Metallogenium* (*M. personatum*, *M. symbioticum*);

Siderobacteriales: *Leptothrix* (*L. echinata*, *L. lopholes*);

Hypermicrobiales: *Hypermicrobium* (*H. vulgare*).

Деятельность всех перечисленных организмов может быть очень важной для процесса удаления железа и марганца. Их развитию, по-видимому, способствует симультанная нитрификация. Некоторые из них в большом количестве развиваются в кислых шахтных водах.

#### 28.4.9. БАКТЕРИИ, ВЫЗЫВАЮЩИЕ ЗАКУПОРКУ И КОРРОЗИЮ ТРУБОПРОВОДОВ

**А. Металлические трубы.** Хотя процессы, описанные в п. 28.4.8, полезны в случае обработки глубинных вод, они, напротив, могут оказать пагубное влияние на внутреннюю поверхность чугунных или стальных трубопроводов.

Следов железа в воде достаточно, чтобы вызвать развитие железобактерий, описанных выше. При микроскопировании легко распознаются три основных рода бактерий:

*Leptothrix*: нить (или трихом), состоящая из единственного ряда палочковидных клеток, окруженных чехлом. Чехол, сначала тонкий и бесцветный, утолщается и приобретает коричневую окраску, которая становится все более и более темной, так как чехол пропитывается оксидом железа (рис. 28.4);

*Crenothrix*: трихом открыт с одного конца, через который клетки выходят, чтобы образовать новые трихомы. Развитие чехла происходит подобно *Leptothrix*;

*Gallionella*: отдельные клетки растут на спиральных ножках (разветвленных или не разветвленных), которые они сами секретируют. На самом деле связь между клеткой и ножкой слабая, и часто обнаруживают только ножку (рис. 28.5).

Деятельность этих бактерий приводит к образованию клубеньков, которые могут закупорить трубу (происхождение клубеньков

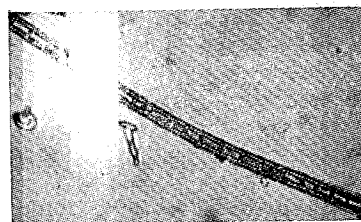


Рис. 28.4. *Leptothrix ochracea* —  
×625



Рис. 28.5. *Gallionella ferruginea* —  
×625

можно определить после частичного растворения их в концентрированной кислоте и микроскопирования остатка; под микроскопом обнаруживаются нити бактерий с чехлом, содержащим оксиды железа). Участок, покрытый этими клубеньками, становится анаэробным, в нем создаются условия для развития сульфатредуцирующих бактерий (типичный представитель *Desulfovibrio desulfuricans*). Быстрое размножение бактерий активизирует коррозию; механизм этого процесса описан в гл. 2.

**Б. Железобетонные трубы.** Основными организмами, вызывающими коррозию, в анаэробных зонах являются *Desulfovibrio* (= *Sporovibrio*), *Spirillum*, *Clostridium* (образование сероводорода), а в аэробных зонах — *Thiobacillus thiooxidans* (образование  $H_2SO_4$ ).

Химические реакции, проводимые этими организмами, описаны выше (п. 28.4.7).

#### 28.5. ВИРУСОЛОГИЯ

● **Основные положения.** Вирусы — мельчайшие патогенные агенты, видимые только под электронным микроскопом и способные размножаться только внутри живых клеток. Вирусы состоят из нуклеиновой кислоты и белка — компонентов, которые можно разделить химическим путем и даже кристаллизовать. Воссоединение этих двух компонентов возрождает вирус со всеми его биологическими свойствами. Когда вирус поражает живую клетку, ее цитоплазма быстро трансформируется в частицы размножающегося вируса, способного поражать другие клетки. Вирусы вызывают катар верхних дыхательных путей, грипп, корь, скарлатину, ветрянку, опухоль, полиомиелит, бешенство и некоторые виды рака.

● **Вирусные заболевания, передающиеся через воду:**

а) энтеровирусы:

■ вирус полиомиелита, поражающий нервные центры;

■ ЕСНО-вирус (Enteric Cytopathogenic Human Orphan virus), который вызывает обычно нетяжелые кишечные заболевания (детская диарея); некоторые серологические типы могут вызывать лимфоцитарный менингит (серозный);

вирусы Коксаки А и В, могут вызывать лимфоцитарный менингит, миалгию и миокардит;

б) вирус инфекционного гепатита: через воду передается только тип А (тип В попадает в организм при переливании крови). Болезнь эндемична в некоторых жарких районах;

в) аденовирусы, поражающие верхние дыхательные пути и глаза, но присутствующие и в кишечнике;

г) вирус гриппа, распространению которого случайно могут способствовать плавательные бассейны, так как этот вирус, редко обнаруживаемый в кишечнике, чрезвычайно обильно развивается в носовой слизи;

д) реовирусы, до сих пор не полностью изученные;

е) вирусы Papilloma, вызывающие появление бородавок; их распространению способствуют плавательные бассейны.

В действительности роль, которую играет вода в распространении некоторых вирусных заболеваний, очень спорна. Более того, если мы обратимся к сообщениям о тех редких случаях, когда в возникновении вирусных эпидемий можно обвинить воду, то увидим, что использованная вода всегда была серьезно загрязнена сточной водой. По-видимому, опасность эпидемии возникает только в экстремальных условиях, но наши знания о минимальных опасных дозах вирусов все еще недостаточны.

• *Защита от вирусов.* Возможное присутствие вирусов в воде должно быть принято во внимание при определении места забора воды для потребления, которое следует выбирать таким образом, чтобы избежать присутствия сточных вод, очищенных или неочищенных, количество которых значительно. Эффективными методами, позволяющими удалить 95—99% вирусов, являются флокуляция и отстаивание (особенно во взвешенном слое осадка). Правильно проведенное предварительное хлорирование может улучшить эти результаты. Фильтрация имеет успех только в комбинации с предварительной флокуляцией. Само по себе фильтрация, даже через очень мелкозернистые среды (диатомовая земля, фарфор), неэффективно.

Эффективность дезинфекции хлором или озоном различна, так как не все вирусы обладают одинаковой резистентностью (понятие о времени контакта и остаточной концентрации окислителя см. в п. 15.1.2.2).

На хорошо спроектированной и правильно эксплуатируемой очистной станции можно добиться полного удаления всех вирусов, комбинируя различные процессы обработки.

• *Вирусологический анализ воды.* Прежде всего вирусы должны быть сконцентрированы; материал газ, применявшийся длительное время, сейчас не используется. Процедура концентрирования вирусов состоит в следующем: фильтрация через мембраны (растворимые и нерастворимые) или применение патронов, электрофорез или электроосмос, коагуляция — флокуляция, центрифугирование (в присутствии адсорбента, не смешивающегося с водой, или без не-

го), процеживание через колонку из микрошариков или ожигенный слой (извлечение из адсорбента при измерении рН); за этим процедурами следует инокуляция культуры клеток (наиболее подходящими являются почечные клетки обезьяны) или животных (молодых мышей).

## 28.6. НЕБАКТЕРИАЛЬНЫЕ ПАТОГЕННЫЕ ОРГАНИЗМЫ

### 28.6.1. ГРИБЫ

Микроскопический гриб *Histoplasma capsulatum*, вызывающий гистоплазмоз, наводняет иногда канализационные трубы. Споры этого гриба устойчивы к действию хлора, но легко удаляются из воды в результате процессов флокуляции и фильтрации.

Другой микроскопический гриб развивается иногда на влажной древесине и может поражать кожу купальщиков в плавательных бассейнах.

### 28.6.2. АМЕБЫ

Это одноклеточные животные со средним размером 50 мкм. В виде цист они сохраняют жизнеспособность в воде более месяца и особенно устойчивы к действию антисептиков.

Виды *Entamoeba histolytica* и *E. tetragena* являются возбудителями амебной дизентерии. Они могут вызывать абсцесс печени и кишечные геморрагии.

Более того, вид *Naegleria gruberi* может быть причиной энцефаломенингита, связанного с недостаточным хлорированием воды в плавательных бассейнах.

### 28.6.3. ЧЕРВИ

Вода может быть фактором передачи многих червей, паразитирующих в теле человека и животных. Дезинфекция принятыми на практике дозами окислителей не вызывает гибели этих червей или их яиц. Однако они имеют достаточный размер и полностью изымаются из воды в результате правильно проведенного процесса фильтрации, что практически пресекает опасность заражения. Развитие этих червей обычно происходит последовательно в теле нескольких различных хозяев.

*Tenia solium* (ленточный червь): сферическое яйцо размером 35 мкм образует цисту в теле свиней;

*Tenia saginata* (ленточный червь): овальное яйцо размером 25 × 35 мкм; хозяином, в теле которого образуют цисты, является крупный рогатый скот;

*Tenia echinococcus*: взрослые особи обитают в организме собак, образуют эхинококковые цисты в теле овец; яйца 25 × 35 мкм;

**Bothriocephalus latus** — взрослые особи обитают в теле человека. Овальное яйцо  $45 \times 60$  мкм развивается в воде, и образующийся зародыш поражает копеподу. Когда последняя проглатывается рыбой, зародыш превращается в личинку длиной от 8 до 30 мм и поселяется в мышцах рыбы;

**Distoma hepatica** — плоский червь, во взрослом состоянии обитающий в организме человека и овец. Яйцо овоидной формы имеет размер от 70 до 130 мкм. Развивается в воде, превращаясь в реснитчатый эмбрион, заражающий водную улитку, внутри которой происходит трансформация эмбриона в хвостатую личинку — церкарию. Церкария уплывает и прикрепляется к подводным растениям, после чего снова заражает овцу. Взрослые особи обитают в печени;

**Distoma lanceolata** — подобен предыдущему организму, промежуточным хозяином является улитка;

**Bilharzia:** червь — трематода с родовым названием *Schistosoma*. Вызывает очень тяжелое заболевание бильхарциоз, или шистоматоз, широко распространенное в жарких районах земного шара. Существуют две формы болезни и три вида паразитных червей, вызывающих эту болезнь:

везикальный бильхарциоз, вызываемый *S. haematobium* (Египет, тропическая Африка, Мадагаскар);

кишечный бильхарциоз, вызываемый *S. mansoni* (Египет, тропическая Африка, Мадагаскар, Южная Америка) и *S. japonicum* (Дальний Восток).

Взрослые особи обитают в кровеносной системе человека. Яйцо имеет овоидную форму ( $50 \times 150$  мкм) с боковым шипом 25 мкм, выделяется с мочой. Развивается в воде в реснитчатый эмбрион (мирацидий), который поражает улитку, живущую в стоячей воде. В улитке мирацидий превращается в церкарию (личинку с разветвленным хвостом) и снова возвращается в воду, откуда может попасть в организм другого человека — хозяина — через кожу или с выпитой водой через слизистую оболочку рта. Продолжительность жизни церкарии — два дня. С этой эпидемией борются, уничтожая моллюсков — промежуточных хозяев — химическими или биологическими методами, изменяя естественную среду обитания моллюсков.

Церкарии можно удалить из питьевой воды фильтрованием ее через мелкий песок (максимум 0,35 мм), но, сверх того, гарантированное уничтожение церкарий обеспечивается предварительным хлорированием и окончательной дезинфекцией (хлором или озоном) при соответствующих дозе и времени контакта.

**Ascaris lumbricoides** часто обитает в тонких кишках человека и свиней. Овоидное яйцо размером  $50 \times 75$  мкм развивается в воде или влажной почве в эмбрион длиной 0,3 мм и передается непосредственно человеку.

**Ocyrus vermicularis** часто встречается у детей. Овальное яйцо  $20 \times 50$  мкм, с одной стороны немного сплющенное, не способное долго выжить в воде.

**Eustrongylus gigas** поражает мочевые пути. Яйцо в форме эллипса  $40 \times 60$  мкм, более светлое на концах, выводится из организма с мочой. Эмбрион длиной 0,25 мм заражает рыбу — промежуточного хозяина.

**Ankylostoma duodenale** (стронгилида): маленький червь, длиной от 6 до 20 мм, обитает в кишечнике, погрузившись в слизь. Вызывает очень упорные геморрагии и диарею (анкилостомиаз или анемию горняков). Яйцо  $30 \times 60$  мкм развивается в воде и нуждается в температуре не менее  $22^\circ$  С. Из эмбриона длиной 0,2 мм образуется личинка, способная проникать через кожу и поражать новую жертву.

**Filaria medinensis** (гвинейский червь, мединская филярия) — живородящий червь. Эмбрион имеет длину от 0,5 до 1 мм и заражает копепод, внутри которых образует личинку. Копеподы, проглоченные с водой, обеспечивают развитие личинки в организме человека. Червь продирявляет стенку кишечника и образует подкожные язвы (дракункуля). Взрослый червь толщиной 1 мм имеет длину от 0,5 до 0,8 м.

Заражение возможно также непосредственным внедрением личинки под кожу.

**Filaria sanguinis hominis:** этот червь живет в сосудах нижней части тела, особенно в мочевом пузыре, вызывая гематурию. Промежуточным хозяином, с помощью которого происходит заражение, являются москиты.

**Anguillula intestinalis:** червь длиной 2—3 мм обитает в двенадцатиперстной кишке. Яйцо развивается в воде, превращаясь в червя (*Anguillula stercoralis*), который откладывает яйца в воду. Заражение человека происходит в результате попадания в организм личинки, проникающей через кожу или с выпитой водой.

#### 28.6.4. НАСЕКОМЫЕ

К основным водным насекомым, опасным для здоровья человека, относятся комары, личинки которых могут жить только в воде. Комары являются переносчиками некоторых болезней.

Малярия, или болотная лихорадка, передается комарами анофилес (*A. maculipennis*, *funestus*, *gambiae*). Возбудителем болезни является гемопаразит Лаверана. Желтая лихорадка переносится *Aedes aegypti*. Род *Culex* может быть переносчиком некоторых болезней (вирусный энцефалит, филариидоз).

#### 28.7. ИЗУЧЕНИЕ ПЛАНКТОНА

*Общие положения.* Кроме рассмотренных выше организмов следует остановиться на тех микроскопических непатогенных растениях и животных, для которых вода является естественной средой обитания и чье присутствие в воде может оказаться либо неумест-



ным из-за неудовлетворительных органолептических свойств воды или по эстетическим соображениям, либо полезным (они участвуют в самоочищении природных водоемов, в биологических процессах, протекающих на медленных фильтрах, в селективном развитии определенных видов животных в активном иле и т. д.).

Планктон состоит из массы микроскопических организмов, живущих в воде во взвешенном состоянии. Планктон можно подразделить на зоопланктон (животный планктон) и фитопланктон (растительный планктон). Размер особей большинства планктонических видов колеблется от нескольких миллиметров до 20 мкм (микропланктон). Виды, имеющие размер особей менее 20 мкм, составляют нанопланктон. Его можно отделить центрифугированием.

Простой анализ планктона позволяет установить некоторые химические или физико-химические свойства необработанной воды. Определенные виды организмов обнаруживаются только в воде, содержащей много растворенных органических веществ, другие характеризуют кислотность воды.

#### 28.7.1. ПРОБЛЕМЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В СВЯЗИ С РАЗВИТИЕМ ПЛАНКТОНА

**Водоросли (фитопланктон).** В странах с умеренным климатом зимой водоросли в поверхностных водоемах практически отсутствуют, но в теплый период года иногда развиваются очень бурно. Первыми весной обычно развиваются диатомовые водоросли, в летний период на смену им появляются зеленые, а осенью — сине-зеленые водоросли.

В водоемах способны обитать многие виды водорослей. Они не представляют обычно интереса с санитарной точки зрения, но могут вызывать осложнения в работе водопроводных станций. Если на станции не предусмотрены флокуляция и отстаивание речной воды, фильтры очень быстро забиваются.

Микропроцеживанием можно снизить количество организмов в воде на 50—90% в зависимости от вида.

Чтобы достичь максимального удаления микроскопических водорослей в процессе флокуляции и отстаивания, часто оказывается необходимым одновременно проводить предварительную обработку воды хлором, диоксидом хлора или озоном.

Среди водорослей, наиболее часто приводящих к засорению фильтров, необходимо упомянуть следующие: *Melosira*, *Asterionella*, *Fragilaria* (диатомей), *Pediastrum* (зеленая водоросль). Все вместе эти водоросли образуют очень плотный ковер на поверхности фильтра (особенно медленного фильтра), препятствующий прохождению воды.

Фильтры также могут кольматироваться газами, выделяемыми фитопланктоном, в частности кислородом, появляющимся в результате фотосинтетических реакций; эти явления могут осложнять и процесс отстаивания.

Некоторые водоросли вызывают появление неприятных привкусов и запахов воды (землистого, плесневелого, затхлого, рыбного, травянистого, ароматического). Их появление может быть также вызвано фенольными соединениями, которые, реагируя с хлором, образуют хлорфенолы, и метаболитами, подобными тем, которые секретируют актиномицеты, особенно геосмин. Это явление в основном связано с водорослями *Cyanophyceae* (*Anabaena*, *Oscillatoria*, *Aphanizomenon*, *Cylindrocapsa*, *Rivularia*), но *Diatomeae* (такие как *Asterionella*), *Chlorophyceae* (такие, как *Cladophora*), *Chrysophyceae* (например, *Synura*) и т. д. также могут быть причиной.

Наконец, многие водоросли могут синтезировать токсичные метаболиты. К числу таких организмов, в основном, относятся некоторые *Cyanophyceae*: *Microcystis*, *Anabaena*, *Lyngbya*, *Aphanizomenon*, *Nodularia*, *Nostos*, *Gloeotrichia* и т. д. (следует также упомянуть *Prumnidium parvum*, относящуюся к *Chrysophyceae* и обитающую в солоноватых водах, и перидиниевые водоросли, с которыми связывают «красные приливы» в море). Токсичные метаболиты в пресной воде не представляют опасности для потребителя обработанной воды, так как они не экскретируются клеткой и, следовательно, удаляются из воды вместе с водорослями в процессе обработки (тем не менее им приписывают некоторые случаи гастроэнтеритов). Однако они могут быть причиной смерти животных, льющих необработанную воду, и вызывать дерматиты и конъюнктивиты у купальщиков.

Напротив, некоторые сине-зеленые водоросли выделяют вещества, имеющие терапевтическое значение для обработки различных типов ран, язв и т. д. Эти организмы можно культивировать в лаборатории и использовать в медицине.

**Зоопланктон.** Животный планктон может быть причиной возникновения ряда неприятных явлений:

с позиций санитарных — в результате прямого действия патогенных организмов, таких, как амебы, черви и т. д., описанных выше, и непрямого действия некоторых низших ракообразных, личинок насекомых или круглых червей, в пищеварительных органах которых могут оказаться бактерии или вирусы, вследствие чего сами организмы становятся переносчиками болезней;

с позиций эстетических — из-за присутствия организмов, способных развиваться в трубах. В этом случае в водопроводной воде, подаваемой потребителю, могут оказаться либо сами животные организмы, либо продукты их метаболизма, что может сказаться на окраске воды или сообщить ей неприятный привкус, т. е. ухудшить органолептические свойства воды;

с позиций технологических — пресноводный моллюск (*Dreissena polymorpha*), личинка которого обитает в планктоне, развиваясь в каналах и трубах, может полностью блокировать их. Меры борьбы: механическое соскабливание взрослых особей и хлорирование большими дозами хлора для предотвращения дальнейшего развития личинок.

По этим причинам планктонические организмы в их репродуктивной форме должны быть полностью удалены из питьевой воды (см. п. 20.3.2.7, Б).

### 28.7.2. КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПЛАНКТОНА

Для оценки количества планктона в определенной пробе воды можно воспользоваться следующими рекомендациями.

К пробе, анализ которой невозможно выполнить через несколько часов, следует добавить 3—5 мл 40% раствора формальдегида на каждые 100 мл воды, чтобы предотвратить размножение живых организмов (если должен выполняться качественный анализ зоопланктона, убивать организмы нежелательно).

Сгустив планктон подходящим методом до состояния суспензии, проводят микроскопирование либо 1 мл пробы, если имеется счетная камера, либо капли, помещенной между предметным и покровным стеклами.

Если содержание планктона в воде невелико, пробу можно сконцентрировать. Это достигается фильтрацией ее через очень мелкий песок, но наиболее приемлемым методом является центрифугирование при частоте вращения 5000 мин<sup>-1</sup>.

*Выражение результатов:* подсчитывают число особей каждого вида и относят его к 1 мл воды, оценивая, если необходимо, средний объем каждого, чтобы подсчитать общую биомассу.

В некоторых странах применяют стандартный планиметр, равный 400 мкм<sup>2</sup>. Может быть использован микрометр Уиппла. Помещенный в окуляр, он ограничивает площадь 1 мм<sup>2</sup>, разделенную на квадраты со стороной 20 мкм (с объективом 16 мм и окуляром 10×).

*Определение хлорофилла:* для количественной оценки фитопланктона его необходимо сконцентрировать центрифугированием или фильтрованием через бумажный фильтр и экстрагировать хлорофиллрастворителем (метанолом или ацетоном) на холоду или при точке кипения. Концентрацию хлорофилла в полученном растворе определяют спектрофотометрически. В Стандартных методах (14-е изд., 1976) можно найти метод расчета содержания хлорофилла *a*, *b* и *c* по оптической плотности соответствующей 663, 645 и 630 нм. Можно также провести анализ путем сравнения со стандартными растворами хлорофилла или искусственно приготовленными растворами. Но эти определения не могут исключить микроскопирования пробы, так как качественный анализ должен выполняться обязательно.

### 28.7.3. ОПИСАНИЕ ПЛАНКТОНА

**28.7.3.1. Фитопланктон.** Он состоит в основном из водорослей — автотрофных организмов, содержащих хлорофилл, благодаря которому водоросли способны к воспроизведению, используя CO<sub>2</sub>, воду и различные минеральные соли в совокупности с солнечным светом.

Если одновременно оказываются оптимальными и температурные условия, и освещенность, и химический состав воды, размножение фитопланктона может происходить настолько быстро, что вода приобретает интенсивную окраску, зеленую, сине-зеленую или коричневую в зависимости от доминантных видов. В такой воде можно обнаружить несколько тысяч клеток в 1 мл. При определенных условиях планктонические водоросли (например, сине-зеленые) всплывают на поверхность, образуя сплошной слой. Это явление называется цветением воды. Вода внизу часто лишена кислорода.

Фитопланктон включает одноклеточные и колониальные водоросли, подвижные и снабженные жгутиками. Большинство планктонических видов, однако, неподвижны. Их плотность очень близка к плотности воды, и они морфологически приспособлены к жизни во взвешенном состоянии; эти приспособления принимают форму шипов, тонких нитей (*Micractinium*, рис. 28.11), зубцов (*Pediastrum*, рис. 28.10), лопастей, искривлений и т. д. Выделение растительной слизи, наличие гранул жиров в клетке и газовые вакуоли у некоторых сине-зеленых водорослей (см. п. 28.7.3.1, Г) — также способы приспособления к планктоническому образу жизни.

Некоторые виды являются чисто планктоническими (*Asterionella*, *Pediastrum clathratum*, *Dinobryon*) и никогда не растут в фильтрах, осветлителях или резервуарах. Другие относятся к факультативно-планктоническим организмам (например, нитчатая диатомея *Melosira*, рис. 28.24, *Fragilaria*, рис. 28.26, *Diatoma vulgare*, рис. 28.30), способным прикрепляться, выделяя небольшое количество слизи, и переходя, таким образом, в категорию, называемую перифитоном. Другие виды ведут прикрепленный образ жизни на первой стадии своего развития, затем освобождаются и в виде кустиков всплывают почти к поверхности [(нитчатые зеленые водоросли: *Ulothrix*, *Spirogyra* (рис. 28.18), *Cladophora* (рис. 28.17), *Draparnaldia* (рис. 28.15).] Наконец, в определенных обстоятельствах некоторые виды бентических организмов (т. е. обитающих в прикрепленном состоянии в прибрежной полосе или на дне) выносятся течением и обнаруживаются в планктоне.<sup>1</sup>

Классификация водорослей основана, прежде всего, на различии в составе пигментов (основные типы) и затем — на морфологических особенностях, характере запасных веществ, структуре органов движения. Пигменты сосредоточены в пластидах (исключение составляет сине-зеленые водоросли), в которых осуществляется процесс фотосинтеза. Зеленый цвет хлорофилла, всегда присутствующего в клетках водорослей, может маскироваться другими пигментами (каротинами, фикобилинами).

В настоящем разделе в каждом типе рассматриваются только наиболее обычные порядки, охарактеризованные одним или двумя наиболее часто встречающимися видами.<sup>2</sup>

**А. Chlorophyta.** Этот важный тип включает все зеленые водоросли, за исключением эвгленовых (*Euglenophyta*). Пластиды чисто зеленого цвета имеют разнообразную форму. Крахмал откладыва-

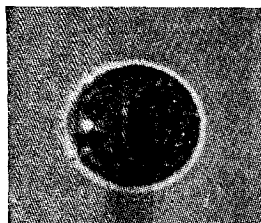


Рис. 28.6. *Chlamydomonas* —  $\times 750$ . Многочисленные, очень распространенные виды, чашеобразный хлоропласт, два жгутика, одна стигма. Для размножения особенно благоприятна вода, богатая растворенными органическими веществами

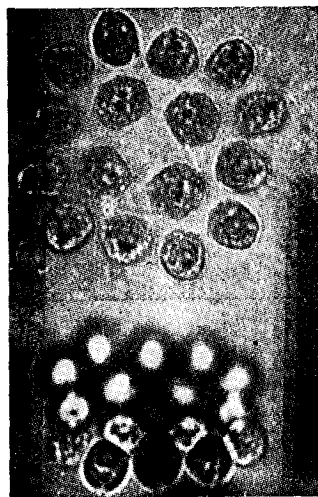


Рис. 28.7. *Gonium pectogale* —  $\times 700$ . Плоская колония, образованная из 16 клеток (вид сверху и сбоку). Продвигается вперед с помощью фронтально расположенного жгутика

ется как запасное вещество. Подвижные стадии чаще всего имеют два одинаковых жгутика.

**Volvocales.** Планктические водоросли, состоящие из мелких подвижных клеток с двумя или иногда четырьмя жгутиками и одним красным глазным пятном — стигмой. Они могут быть одиночными, например, род *Chlamydomonas* (рис. 28.6), или колониальными. В последнем случае подвижные клетки типа хламидомонад объединяются более или менее плотной слизью, образуя ценобий, т. е. колонию, в которой отдельные клетки не имеют общей физиологической связи.

Каждому виду свойственны характерная для него форма колонии и число клеток, составляющих ее.

*Плоские колонии:*

*Gonium sociale* (4 клетки);

*Gonium pectogale* (16 клеток) (рис. 28.7).

*Сферические колонии:*

*Pandorina* (рис. 28.8);

*Eudorina* (рис. 28.9).

Каждая клетка дает начало другой колонии из 8, 16 или 32 клеток. Размножение происходит очень быстро.

**Tetrasporales.** Они образуют зеленый студенистый неправильной формы таллом, состоящий из неподвижных клеток, рассеянных в слизи (пальмеллоидная стадия).

**Chlorococcales.** Очень многочисленные роды и виды планктических водорослей. В вегетативной стадии неподвижны, не имеют ни

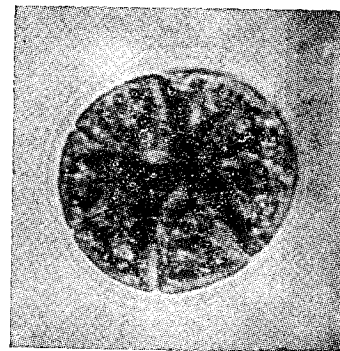


Рис. 28.8. *Pandorina morum* —  $\times 750$ . Сферическая колония из 16 клеток, расположенных рядом; два свободно двигающихся жгутика у каждой клетки пронизывают толстый студенистый слой

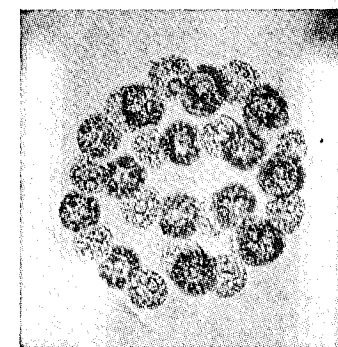


Рис. 28.9. *Eudorina elegans* —  $\times 280$ ; 32 клетки расположены по краю сферической колонии в виде двух параллельных окружностей достаточно правильной формы

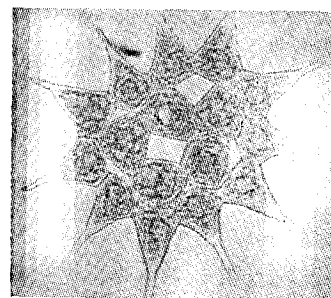


Рис. 28.10. *Pediastrum clathratum* —  $\times 200$ . Чисто планктические виды. Размножаются летом. Засоряют фильтры. Препятствуют хорошему освещению. Очень характерны для р. Сены

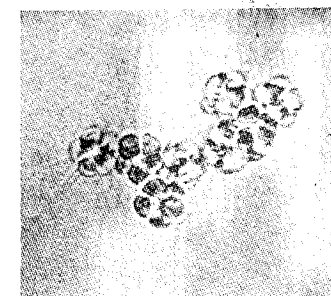


Рис. 28.11. *Microactinium* —  $\times 600$ . Сферические клетки, сгруппированные по четыре в кустик в виде тетраэдра. Каждая клетка имеет несколько очень длинных тонких нитей

жутиков, ни стигмы. Могут быть одноклеточными или колониальными и никогда не бывают нитчатыми.

*Pediastrum* выглядит как маленький зеленый диск, плоский ценобий с различным числом клеток; клетки либо вплотную примыкают друг к другу, либо располагаются на расстоянии. Периферические клетки вытануты. Хорошо развиваются летом (рис. 28.10 и 28.13). *Scenedesmus* — маленький ценобий из двух, четырех или восьми клеток. Много планктических видов (рис. 28.12).

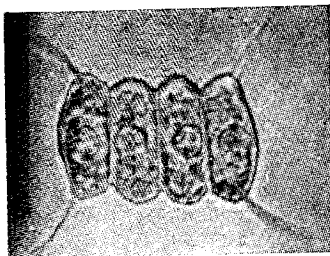


Рис. 28.12. *Scenedesmus*— $\times 900$ . Очень распространенные многочисленные планктические виды. Четыре клетки связаны бок о бок в одной плоскости; две концевых часто имеют шипы

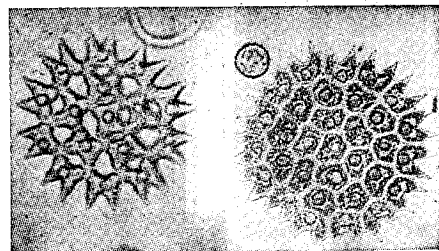


Рис. 28.13. Справа: *Pediatrum duplex*— $\times 350$ . Периферические клетки с двумя роговидными образованиями. Клетки в ценобии не прилегают друг к другу. Слева: *Pediatrum bogyanum*— $\times 250$ . Периферические клетки с двумя роговидными образованиями, но клетки в ценобии прилегают друг к другу

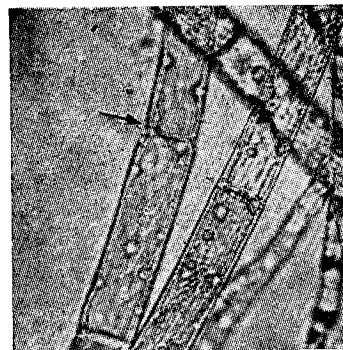


Рис. 28.16. *Oedogonium*— $\times 300$ . Неветвящиеся нити. Каждая клетка имеет сетчатую пластиду (ростовое кольцо видно в верхней части клетки, слева)



Рис. 28.17. *Cladophora*— $\times 60$ . Ветвящиеся нити; боковые части выглядят как почки, состоящие из больших паноцитов. Нити неровные, жесткие, так как поверхностная оболочка состоит из хитиноподобных веществ

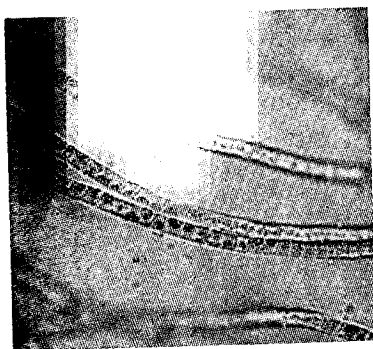


Рис. 28.14. *Hormidium*— $\times 300$ . Узкие нити (6 мкм). Каждая клетка имеет пластиду в форме полукруга



Рис. 28.15. *Draparnaldia*— $\times 150$ . Нитчатая ветвящаяся водоросль с главным стволом из больших клеток и ответвлениями с волосками, образующими подобие мутовок

*Coelastrum* — пустотелая сферическая колония. Клетки связаны за счет растяжения. Часто встречаются в щелочной среде.

*Micractinium* (рис. 28.11).

**Ulothricales.** Нитчатые, неветвящиеся водоросли, характеризуются интеркалярным ростом, образуют однорядную цепочку клеток. Клетки имеют парietальный хлоропласт.

*Ulothrix* — нить фиксирована на первой стадии развития, потом свободна.

*Hormidium* — нить часто разделяется на короткие элементы (рис. 28.14).

**Chaetophorales.** Нитчатая ветвящаяся водоросль с главным стебельком и ответвлениями. Концевые клетки вытянуты и имеют бесцветный кончик (волосок).

*Draparnaldia* обнаруживается в достаточно чистой воде, стоячей или медленно текущей (рис. 28.15).

**Oedogoniales.** Водоросли, обычные для спокойной воды, представляют собой одиночные или ветвящиеся нити, прикрепленные в начале своего развития, а потом свободно плавающие. В верхней части клетки часто обнаруживается вставленное кольцо, остающееся от мембраны материнской клетки после каждого деления.

*Oedogonium* (рис. 28.16).

**Cladophorales, или Siphonocladales.** Простые или ветвящиеся нитчатые водоросли, образованные из многоядерных сочленений с парietальной пластидой в сети. Рост нити в основном терминальный. Нити часто покрыты эпифитными диатомеями.

*Cladophora* (рис. 12.17).

**Conjugales.** Водоросли этого порядка характеризуются их собственным способом репродукции — конъюгацией. Никогда не имеют подвижных спор. Подразделяются на два класса.

*Zygnemataceae* — неветвистая нитчатая водоросль. Много видов.

*Zygnema*.

*Mougeotia*.

*Spirogyra* (рис. 28.18 и 28.19).

*Desmidiaceae* — одноклеточные или колониальные. Многие виды существуют в кислых водах.

*Cosmarium* — очень распространены в пресной воде (рис. 28.20 и 28.21).

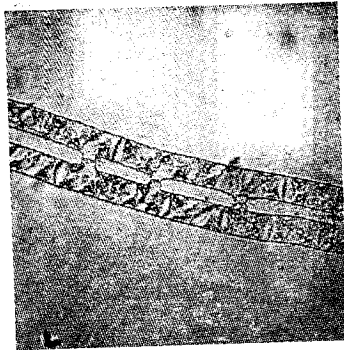


Рис. 28.18. Spirogyra —  $\times 150$ . Конъюгация. Пример ступенчатой конъюгации. Клетки, образуя две параллельных нити, соединяются копулятивными трубками

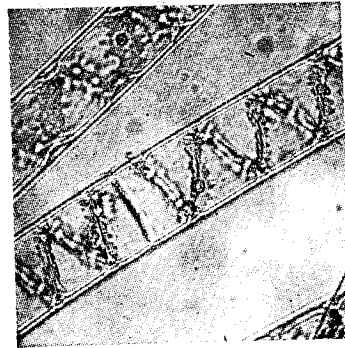


Рис. 28.19. Spirogyra —  $\times 300$ . Очень распространенная водоросль. Характерные хлоропласты в виде лент, спирально проходящих по всей длине нити, расположены в пристенном слое протоплазмы. Обнаруживаются главным образом весной

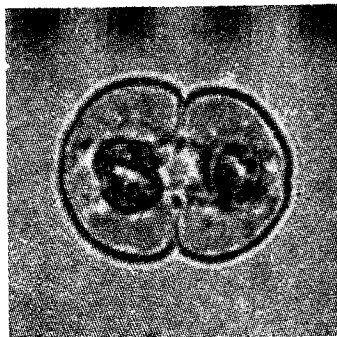


Рис. 28.20. Cosmarium laeve —  $\times 975$

*Closterium* — серповидная клетка со специальными вакуолями на каждом конце. В этих вакуолях вырастают кристаллы сульфата кальция (рис. 28.22).

**Б. Euglenophyta.** К этому типу относятся одноклеточные жгутиковые организмы, имеющие пластиды чисто зеленого цвета, но не содержащие крахмала. Продукт ассимиляции — парамилон — часто откладывается в виде палочек.

Различные роды эвгленовых распространены главным образом в застойных водах, богатых органическими веществами.

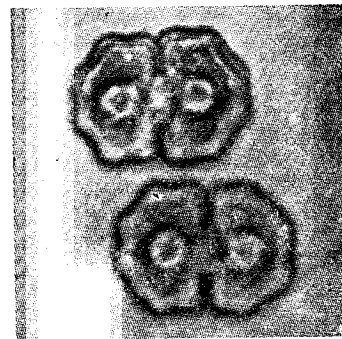


Рис. 28.21. Cosmarium impressulum. —  $\times 975$ . Клетки делятся на две перегажкой по середине клетки

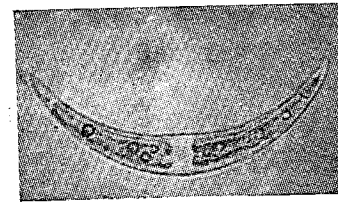


Рис. 28.22. Closterium —  $\times 250$ . Серповидная клетка с двумя симметричными хлоропластами, центральная часть занята ядром

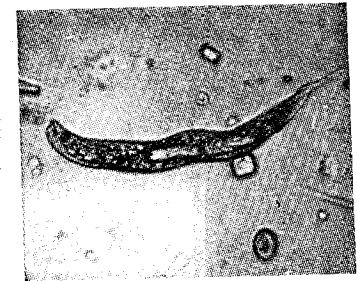


Рис. 28.23. Euglena —  $\times 250$ . На этой фотографии жгутик не виден, хотя можно ясно видеть (справа) место его прикрепления и главное пятно. Внутри клетки (слева) видны две гранулы парамилона

*Euglena* — клетка веретенообразной формы с одним жгутиком, способна легко деформироваться (метаболия). Виды многочисленны (рис. 28.23).

*Phacus* — плоский организм с одним жгутиком и ригидной оболочкой, неспособный к метаболии.

**В. Chrysophyta.** Этот тип включает три больших группы водорослей, никогда не образующих крахмал. Пластиды желто-зеленого, желтого или коричневого цвета; запасным продуктом являются лейкозин или жир и масла. Эти водоросли образуют либо кремнистый скелет (диатомеи), либо оболочку, иногда покрытую кремнистыми чешуйками (*Chrysophyceae*), или образуют кремнистые цисты (форма защиты) (*Chrysophyceae* и *Xanthophyceae*).

**Bacillariophyceae** или **Diatoms.** Одноклеточные организмы, иногда сгруппированные в колонии, с пластидами коричневого цвета и характерным для них кремнистым панцирем, называемым фрустулой, или текой. Тека состоит из двух створок, вдвинутых одна в другую. Классификация основана на форме фрустулы, их виде со стороны створки и со стороны кольца и способе соединения, а также на характере тончайшего орнамента на створках.

Диатомеи играют важную роль в жизни планктона. Интенсивное размножение их обычно происходит весной или осенью.

**Порядок Centrales.** Планктические диатомеи, клетки с осевой симметрией, круглыми створками и многочисленными пластидами.

*Melosira* — клетки связаны между собой (сторонами створок) подушечками слизи и образуют длинные цилиндрические нити. Многочисленные виды, некоторые из них планктические и вызывают зарастание трубопроводов (рис. 28.24).

*Cyclotella* — мелкие одиночные клетки, иногда сгруппированные в короткие нити, легко распадающиеся. Они размножаются главным образом весной и, проникая в песок, могут засорять фильтры на значительную глубину (рис. 28.25).

*Stephanodiscus* отличается от *Cyclotella* наличием маргинальных шипов, видимых со стороны кольца.



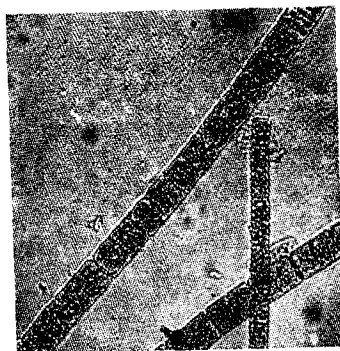


Рис. 28.24. *Melosira varians* —  $\times 150$ . Нити, состоящие из больших клеток (вид со стороны кольца), с многочисленными коричневыми пластидами. Дают значительный рост на песке медленных фильтров (биологическая пленка) с весны до конца осени

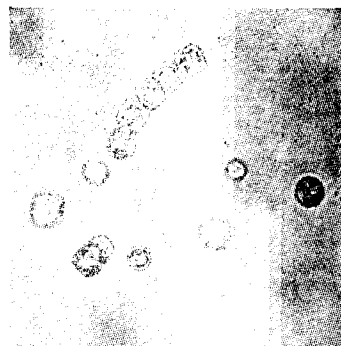


Рис. 28.25. *Cyclotella chaetoceras* —  $\times 300$ . Клетки часто соединены в короткие нити (вид со стороны кольца), имеющие длинные тонкие волоски. Со стороны створки выглядят круглыми

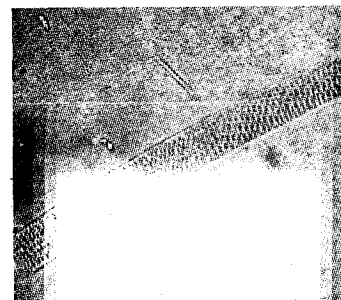


Рис. 28.26. *Fragilaria* —  $\times 150$ . Соединенные прямоугольные клетки, образующие длинные ленты

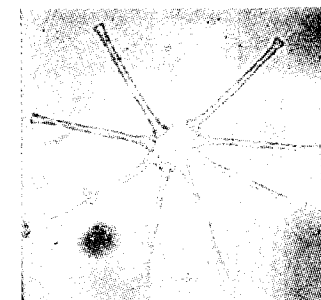


Рис. 28.27. *Asterionella formosa* —  $\times 300$ . Колонии из восьми клеток, имеющих вид большой берцовой кости. Быстро размножаются весной. Вызывают закупорку трубопроводов и ухудшают процесс осветления

**Порядок Pennales.** Эти диатомеи имеют удлиненные створки различной формы, симметричные в одной плоскости. Данный порядок включает виды, передвигающиеся скольжением, среди них много бентических, прикрепленных и эпифитных форм. В основу классификации положено наличие или отсутствие у клетки шва. Шов представляет собой прорезь, проходящую по длине створки и связывающую протоплазму клетки с окружающей средой.

*Araphideae* — не имеет шва.

*Asterionella* — чисто планктическая диатомея; клетки сгруппированы в виде звезды и удерживаются слизью, выделяемой на одной конце каждой клетки (рис. 28.27).

*Fragilaria* (рис. 28.26).

*Synedra* — длинные, узкие клетки, часто одиночные, различного размера. Размножаются весной и осенью. Некоторые виды вызывают серьезную закупорку медленных фильтров. Очень тонкие и мелкие клетки некоторых видов могут не задерживаться в осветителях и проходить через первичные фильтры (рис. 28.28 и 28.29).

*Diatoma* — виды, обитающие в проточной воде (рис. 28.30).

*Monoraphideae* — один шов на одной из створок.

*Rhoicosphenia curvata* — колониальный вид. Гетерополярная клетка прикрепляется с помощью стебелька из секретируемой клеткой слизи (рис. 28.32).

*Viraphideae* — один шов на одной из створок.

*Navicula* — клетка веретенообразной формы с осевым швом.

Многочисленные планктические виды, клетки изолированные, подвижные (рис. 28.31).

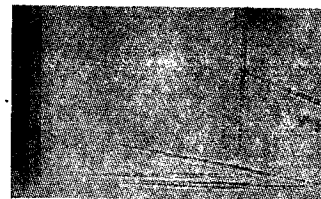


Рис. 28.28. *Synedra acus* —  $\times 250$

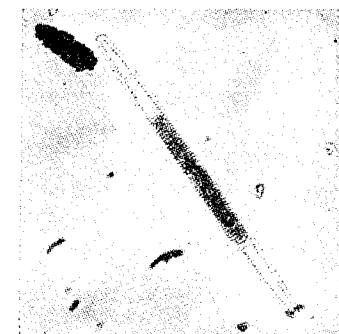


Рис. 28.29. *Synedra ulna* —  $\times 350$

*Nitzschia* — шов находится на выпяченном киле; многочисленные планктические виды (рис. 28.33).

**Chrysophyceae.** Группа водорослей, в основном планктических, обитающих главным образом в холодных водах.

Клетки имеют одну или две пластиды золотистого или желто-коричневого цвета, один или два жгутика и иногда одну стигму. Способ защиты от неблагоприятных условий — образование окремелых цист.

Одиночная клетка:

*Mallomonas* — оболочка состоит из кремнистых чешуек, перекрывающих друг друга. Каждая чешуйка несет длинный тонкий кремнистый шип; клетка имеет один жгутик (рис. 28.34).

Колониальные формы:

*Synura* — сферическая колония, планктическая, размножается весной (рис. 28.35).

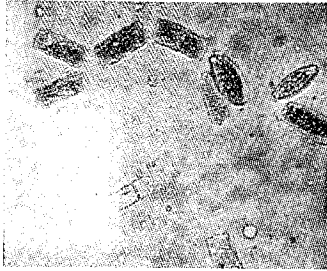


Рис. 28.30. *Diatoma vulgare* —  $\times 200$ . Зигзагообразная колония, состоящая из четырех клеток (вид со стороны кольца); если смотреть на клетку сбоку, можно видеть две створки; клетка показана со стороны створки

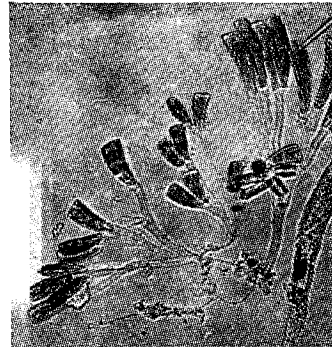


Рис. 28.32. *Rhoicosphenia curvata* —  $\times 200$

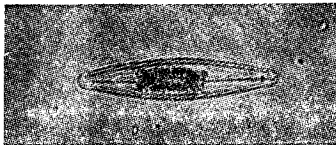


Рис. 28.31. *Navicula* —  $\times 450$ . Вид со стороны створки

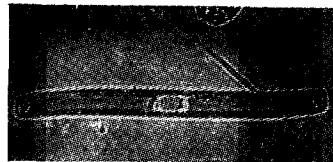


Рис. 28.33. *Nitzschia sigmaidea* —  $\times 200$ . Вид со стороны кольца

*Dinobryon* — планктическая колония (рис. 28.36) древовидной формы.

**Xanthophyceae.** Этот тип включает желто-зеленые водоросли, сходные по строению с зелеными водорослями, но не содержащие крахмала.

Среди Heterotrichales, нитчатых неветвящихся, род *Tribonema* часто обнаруживается в пресных водах.

Heterosiphonales включает нитчатые, ветвящиеся и несептированные формы. Наиболее распространенной является *Vaucheria*, обладающая множеством мелких пластид (рис. 28.37).

**G. Cyanophyta.** Данный тип объединяет очень специфические организмы. Клетка не имеет обособленного ядра и пластид, пигменты в диффузном состоянии распределены в протоплазме.

Обычный цвет клеток сине-зеленый, но иногда они могут быть желтоватыми или красноватыми. Наличие псевдовакуолей, содержащих газы, придает некоторым видам облик черноватых гранул. Запасной продукт — гликоген. Подвижные стадии отсутствуют.

**Порядок Chroococcales** включает одноклеточные организмы, изолированные или колониальные.

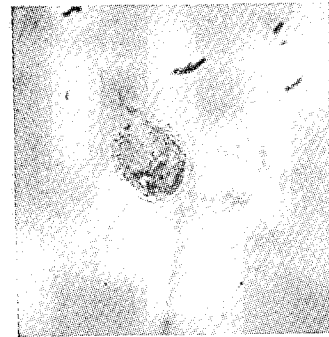


Рис. 28.34. *Mallomonas* —  $\times 450$ . Одноклеточная водоросль, очень подвижная; ясно виден кремнистый чехол

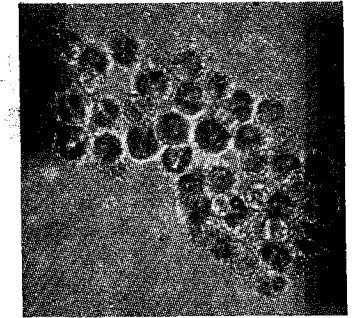


Рис. 28.35. *Synura* —  $\times 300$ . Клетки имеют два жгутика, покрыты чехлом из кремнистых чешуек (виден на фотографии). Эти виды придают воде неприятный привкус

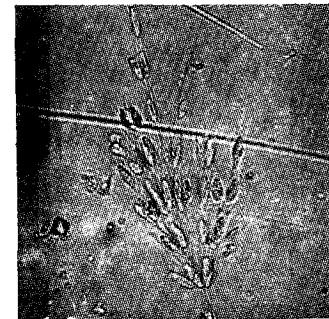


Рис. 28.36. *Dinobryon* —  $\times 200$ . Каждая клетка находится в маленьком футляре, который она сама секретирует. Вследствие недолговечности этих видов часто обнаруживаются пустые скелеты

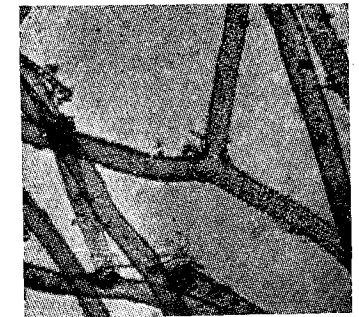


Рис. 28.37. *Vaucheria* —  $\times 50$ . Нитчатая ветвящаяся водоросль (без перегородок)

*Chroococcus* — глобулярные клетки окружены тонким бесцветным студнеобразным слоем (рис. 28.38).

*Microcystis* — сплошная колония, содержащая множество клеток, густо расположенных в студенистом веществе (рис. 28.39).

*Coelosphaerium* — клетки образуют сферические пустотелые колонии.

**Порядок Hormogonales** включает нитчатые сине-зеленые водоросли с интеркалярным ростом, часто окруженные слизистым чехлом. Клетки, соединенные внутри чехла, составляют трихом. Нить



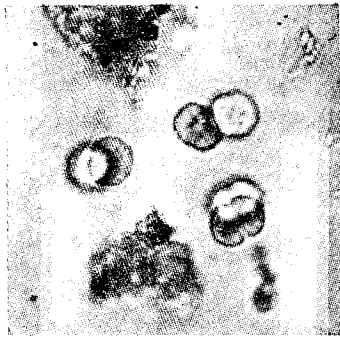


Рис. 28.38. *Chroococcus* —  $\times 650$ . Сферические клетки сине-зеленого цвета; деление клетки надвое — метод воспроизведения, часто приводящий к образованию ассоциаций из двух или четырех клеток

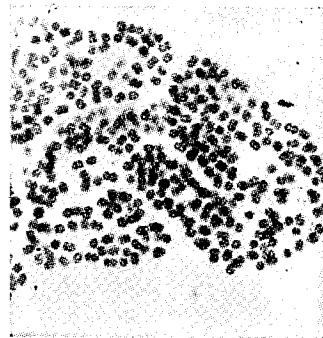


Рис. 28.39. *Microcystis* —  $\times 100$ . Колонии неопределенной формы из мелких сферических клеток, густо расположенных в студенистом веществе. Черноватый цвет колоний объясняется наличием псевдогазовых вакуолей в каждой клетке

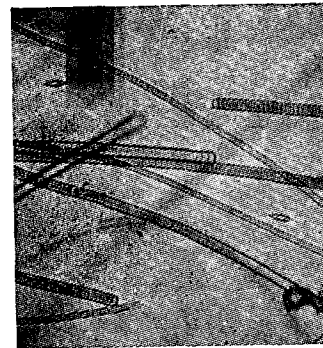


Рис. 28.40. *Oscillatoria*, *Lyngbia* —  $\times 100$ . *Oscillatoria* — маленькие нити, которые кажутся изогнутыми, часто с нерезкими очертаниями *Lyngbia* — нити большого диаметра с чехлом

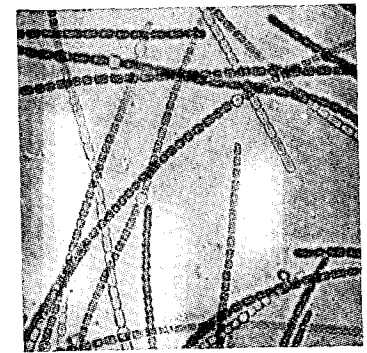


Рис. 28.41. *Anabaena* —  $\times 300$ . Нити, состоящие из строго разграниченных клеток, с круглыми, более светлыми клетками — гетероцистами, расположенными через определенные интервалы между ними

образована из чехла и трихома. Этот порядок включает множество семейств. Многие виды приспособлены к жизни в горячих термальных источниках.

**Семейство Oscillatoriaceae.** Клетки, полностью идентичные, образуют цилиндрические нити без разветвлений, иногда с чехлом. Спор не образуют.

*Oscillatoria* — многочисленные виды, без наружного чехла. Обычно изолированные нити подвержены колебаниям, вследствие чего они искривляются (рис. 28.40).

*Phormidium* — множество видов, один студнеобразный чехол для каждого трихома, часто едва различимый. Нити могут сгруппировываться и прикрепляться в форме таллома.

*Lyngbia* — множество видов. Изолированные нити с одним трихомом в каждом чехле. Чехол твердый, часто желтого или коричневого цвета (рис. 28.40).

**Семейство Nostocaceae.** Нитчатые неветвящиеся водоросли, часто окруженные чехлом, клетки не все идентичны. Там и тут можно видеть пустые клетки с утолщенной стенкой — гетероцисты. Могут обнаруживаться также более крупные пигментированные клетки — споры.

*Arhanizomenon* — трихомы часто группируются в пучки. Обитатели планктона. Часто вызывают цветение воды.

*Anabaena* — включает множество видов, некоторые из них также вызывают цветение воды (рис. 28.41).

**Д. Peridians или Dinophyceae.** Одноклеточные планктические водоросли с многочисленными коричневыми пластидами; тело их часто покрыто оболочкой, состоящей из целлюлозных пластинок.

*Peridinium* обычно подвижны. Две борозды пересекают тело: одна — поперечная, имеет жгутик, охватывающий все тело, и другая — продольная, несущая другой толстый жгутик, прикрепленный в той же точке, что и первый.

Наиболее важными являются роды *Ceratium* и *Peridinium* (рис. 28.42).

**28.7.3.2. Зоопланктон.** Пресноводный зоопланктон очень ограничен по числу видов и родов. В противоположность озерам и прудам численность организмов речного зоопланктона редко бывает высокой. Они в основном состоят из низших ракообразных, ротифер, простейших.

Планктические животные прозрачны. Они плавают достаточно активно и обладают придатками, позволяющими им поддерживать себя в воде. Суточная вертикальная миграция происходит под влиянием фототропизма. Размер планктических животных различен. Некоторые типы включают только микроскопические особи (простейшие, ротиферы), тогда как другие представлены организмами, измеряемыми несколькими миллиметрами (низшие ракообразные). Они питаются водорослями, бактериями, органическим детритом и даже друг другом. Их размножение подвержено сезонным изменениям и связано с пролиферацией фитопланктона.

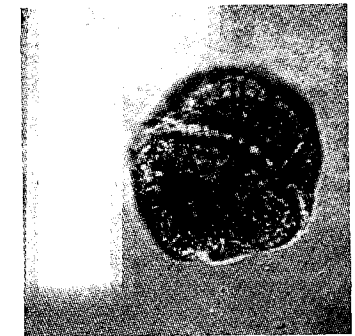


Рис. 28.42. *Peridinium* —  $\times 600$ . На этой фотографии видна только поперечная борозда, пересекающая тело

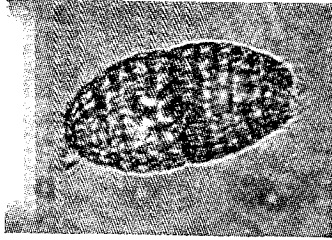


Рис. 28.43. Coleps— $\times 600$ . Оболочка, состоящая из бляшек полупрозрачного органического вещества, образует характерный пестрый узор

Помимо трех уже указанных основных групп есть другие группы животных, личинки которых обитают в планктоне, а взрослые особи живут, прикрепившись к какой-либо опоре. Некоторые виды могут сами образовывать группы особей, достаточно большие, чтобы закупоривать трубы, транспортирующие неочищенную воду, или препятствовать фильтрации (моллюски, губки, мшанки). Яйца, цисты или личинки могут проходить через фильтры и развиваться на последующих стадиях очистки (нематоды).

**A. Protozoa.** Микроскопические одноклеточные гетеротрофные организмы. Клетка имеет сложную организацию. Мы рассмотрим только две основные группы.

**Ciliata** (прежнее название Infusoria). Этот класс включает большое число видов, весьма различных по форме и подвижности. Тело их целиком или частично покрыто равномерно расположенными ресничками. Классификация основана на строении ресничного аппарата.

**Равноресничные цилиаты** — тело цилиаты равномерно покрыто ресничками. Примеры: Paramecium—Lionotus—Coleps (рис. 28.43). Эти три рода изобилуют почти круглый год и предпочитают жить среди водорослей.

**Разноресничные цилиаты** — характеризуются поясом ресничек, расположенным по краю перистомы — впадины, на дне которой находится ротовое отверстие. Пример: Stentor — очень большой организм, тело его похоже на трубу, сильно расширяющуюся по направлению к перистому.

**Брюхоресничные цилиаты** — уплощенные, с одной брюшной стороны имеют циррии, состоящие из многочисленных склеенных ресничек. Согласованные движения циррий позволяют этим животным передвигаться по поверхности водоросли.

**Кругоресничные цилиаты** — типичный представитель Vorticella (рис. 28.44). Тело в виде колокольчика и не имеет ресничек. Спиральный венчик ресниц только вокруг перистомы. Они часто фиксированы с помощью стебелька, иногда способного сокращаться и быстро скручиваться в спираль.

**Ациеты, или тентакулиферы** — организмы, не имеющие ресничек, но обладающие полыми сократительными щупальцами. Они питаются цилиатами, захватывая их и высасывая с помощью этих щупалец.

**Rhizopods.** Они представляют собой клетку, изменяющую свою форму в результате вытягивания ложноножек (псевдоподий).

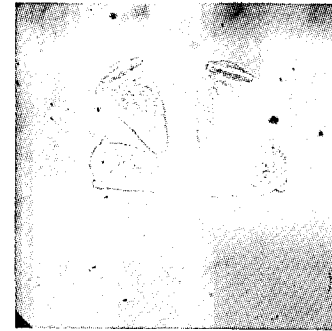


Рис. 28.44. Vorticella —  $\times 250$ . Клетка прикрепляется к основе с помощью способного сокращаться стебелька, который секретируется самой клеткой

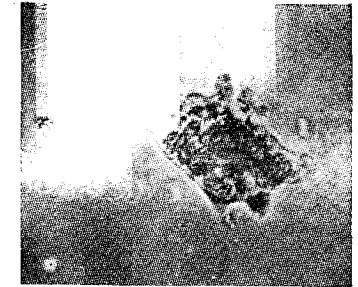


Рис. 28.45. Амеба —  $\times 300$ . Псевдоподии состоят из прозрачной протоплазмы. В теле амебы заключены растительные частички в процессе переваривания

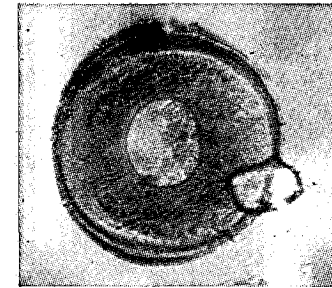


Рис. 28.46. Arcella —  $\times 300$ . Тело видна сверху. Центральное устье выглядит прозрачным

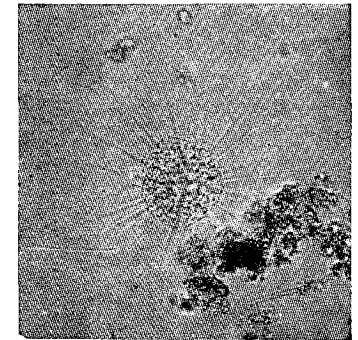


Рис. 28.47. Actinophrys —  $\times 250$ . Тонкие радиальные псевдоподии

**Амебы** — их форма постоянно изменяется при вытягивании и сокращении псевдоподий, благодаря которым амебы способны двигаться вперед и захватывать пищу — водоросли или разлагающиеся растительные частички (рис. 28.45).

**Раковинные амебы** — амебы, которые из хитиноподобных веществ, секретиремых клеткой, строят раковину или теку с единственным устьем для псевдоподий. Пример: Arcella (рис. 28.46).

**Солнечники** — клетка сферической формы с тонкими радиальными протоплазматическими ложноножками.

Пример: Actinophrys (рис. 28.47).

**B. Rotifers** (коловратки). Это микроскопические животные, весьма распространенные среди пресноводного планктона. В апикальной

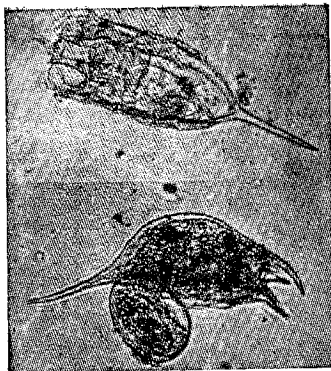


Рис. 28.48. *Keratella cochlearis* —  $\times 200$ . На верхней фотографии показан вид ротиферы сверху. Внизу — вид сбоку *Keratella* с яйцом

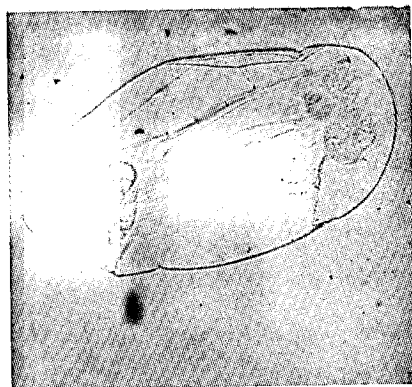


Рис. 28.49. *Asplanchna* —  $\times 80$ . Чрезвычайно хищная коловратка. Очень прозрачные органы

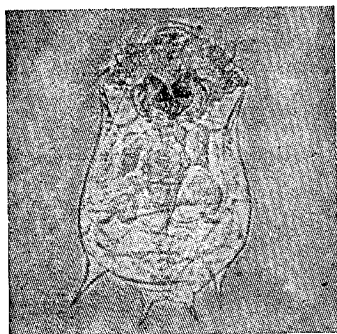


Рис. 28.50. *Brachionus* —  $\times 130$ . Втянутая нога не видна

области их тело имеет вращательный аппарат, состоящий из венчика ресниц. Во время удара ресничек действие его подобно вращению колеса. Тело коловраток делится на три отдела: головку, увенчанную вращательным аппаратом; туловище, часто покрытое достаточно толстой, но прозрачной кожей и панцирем с шипами или без них; ногу, достаточно хорошо развитую, способную сокращаться и оканчивающуюся либо двумя пальцами, либо подобием присоски. Они служат органами временного закрепления. Венчик ресничек служит для плавания и подгоняет

пищу к ротовому отверстию. Большинство видов Rotifers принадлежит к порядку Plouma.

*Keratella cochlearis* (рис. 28.48) — панцирь с шипами, ноги нет. Вид, весьма обычный для планктона и изобилующий в нем.

*Asplanchna* (рис. 28.49) — имеет вид большого прозрачного мешка без панциря и без ноги.

*Brachionus* (рис. 28.50) — тело сплющено, панцирь с шипами, длинная, легко сокращающаяся нога, оканчивается двумя маленькими пальцами. Это большой род с множеством видов.

Вытянутые коловратки с кольчатой кутикулой относятся к порядку *Bdelloidea*. Они ползают на своих опорах подобно пиявкам и способны в течение короткого времени свободно плавать.

*Philodina* — тело раздуто наподобие веретена, кольца меньшего диаметра могут вдвигаться в средние кольца (рис. 28.51).

**B. Crustaceans.** Ракообразные — водные членистоногие, тело которых делится на три отдела: голову, грудь и abdomen. Первые две пары конечностей, расположенные на голове, — это антеннулы и антенны.

Пресноводный планктон включает три порядка низших ракообразных (*Entomostraca*). Размер их невелик (0,1—3,5 мм).

**Cladocera** — разделение тела на сегменты неотчетливо: тело, за исключением головы, покрыто прозрачным двустворчатым панцирем. Отчетливо можно видеть биение сердца, жабер, движение кишечника и пяти или шести пар грудных ног. Их глаза объединены в один большой темный неровный глаз. Антеннулы очень маленькие. Антенны длинные, двухветвистые и служат для плавания.

*Cladocera* размножается очень быстро и служит кормом для рыб. Существует большое число видов.

*Daphina*, или водяная блоха, очень широко распространена.

*Bosmina* (рис. 28.52) обычна для планктона. Очень большие антеннулы трансформированы в образования, имеющие вид хоботков.

**Copepoda** — имеют вытянутое тело, отчетливо разделенное на сегменты. Антеннулы длинные, изогнутые и служат органами плавания. Антенны намного короче. У самок яйцевод секретировывает вещество, которое склеивает яйца в две яйцевидные грудки (яйцевые мешки). Последние остаются прикрепленными к первому сегменту abdomen до момента вылупления. Из яиц вылупляются личинки, известные под названием «науплиус». В ночное время *Copepoda* предпочитают оставаться около поверхности, днем они погружаются в воду на достаточную глубину.

*Cyclops* — головогрудный отдел более широкий, чем abdomen, последний заканчивается двумя отростками, снабженными тонкими щетинками (рис. 28.53).

**Ostracoda** — тело состоит из неотчетливых сегментов и полностью покрыто двустворчатой раковиной. Две створки снабжены аддуктором, позволяющим животному открывать и закрывать створки.



Рис. 28.51. *Philodina* —  $\times 150$ . Животное вытянулось от точки его прикрепления, развернув два своих вращающихся аппарата

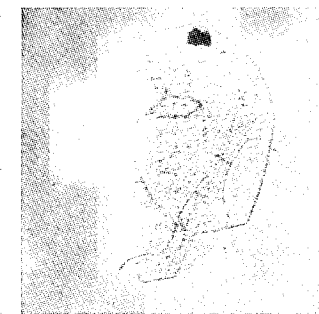


Рис. 28.52. *Bosmina* —  $\times 120$ . Хорошо видны большой глаз и антеннулы, трансформированные в хоботки

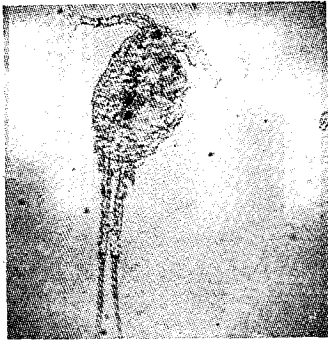


Рис. 28.53. Cyclops — ×60. Можно видеть единственный глаз посередине и хорошо развитые антеннулы

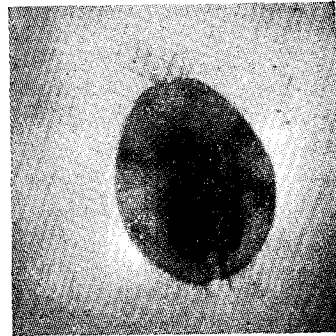


Рис. 28.54. Cypris — ×50. Вид сбоку; можно различить двустворчатую раковину. Сверху видны концы головных отростков



Рис. 28.55. Nematode — ×50

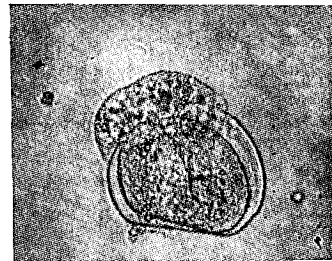


Рис. 28.56. Личинка Dreissena polymorpha — ×200. Ясно видны две створки раковины личинки

*Cypris* (рис. 28.54) — очень быстрые пловцы.

**Г. Моллюски (Molluscs).** Остановимся только на одном двустворчатом моллюске — пресноводном моллюске *Dreissena polymorpha*. Вид, очень распространенный в проточных водоемах, каналах, реках, портовых бассейнах и трубопроводах, транспортирующих необработанную воду. Личинки обитают в планктоне (рис. 28.56). Их следует удалять из воды прежде, чем они успеют прикрепиться и превратиться во взрослую особь, что в темноте происходит очень быстро. Диаметр магистральных водоводов может значительно сократиться из-за скопления особей, растущих друг на друге.

**Д. Губки (Sponges).** Губки образуют колонии, часто бесформенные, темно-желтого или зеленоватого цвета. Эта неровная масса

пронизана порами, через которые вода проникает внутрь, где обитают живые клетки — хоаноциты. Скелет покрыт маленькими спикулами. Наиболее обычным является род *Spongilla*.

**Е. Круглые черви (Nematoda).** Это несегментированные нитевидные черви, покрытые прозрачной оболочкой из хитиноподобных веществ (рис. 28.55). *Anguillulae* принадлежит к этой группе.

Их полное удаление из воды необходимо, иначе можно обнаружить личинки, развивающиеся в трубопроводах фильтрованной воды.

## 28.8. МИКРОФЛОРА И МИКРОФАУНА АКТИВНОГО ИЛА

### 28.8.1. БАКТЕРИИ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИЕ ПРОЦЕСС ОЧИСТКИ

В состав активного ила входят главным образом бактерии и простейшие, время от времени появляются грибы, коловратки или черви.

Бактерии составляют самую большую из перечисленных выше групп организмов и являются главными агентами, с одной стороны, осуществляющими процесс очистки, а с другой — формирующими хлопок ила.

В образовании активного ила может участвовать очень большое число бактериальных видов. Характер доминантного рода определяется природой органических соединений, входящих в состав сточной воды, и условиями окружающей среды: рН, температура, растворенный кислород и т. д.

Так, сточные воды, богатые белками, стимулируют развитие родов: *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Flavobacterium*; для стоков, богатых углеводами или углеводородами, преобладающим родом окажется *Pseudomonas*. Присутствие серосодержащих восстановителей приводит к развитию родов *Thiothrix*, *Microthrix* и т. д.

Долгое время думали, что хлопок активного ила состоит из колоний особых бактерий, которым было дано название *Zoogloea ramigera*. Позднее было показано, что в хлопке активного ила может присутствовать много видов бактерий и что хотя *Zoogloea ramigera* играет определенную роль, роль эта ограничена.

### 28.8.2. ВСПУХАНИЕ АКТИВНОГО ИЛА

При определенных условиях, например, при большом содержании углеводов в сточной воде, низком значении рН и дефиците азота и фосфора в образовании хлопка ила могут принимать участие некоторые виды грибов. Присутствие этих грибов в иле нежелательно, потому что они вызывают образование очень волокнистого, неоседающего хлопка и являются одной из причин широко распространенной «болезни» активного ила, известной как вспухание.

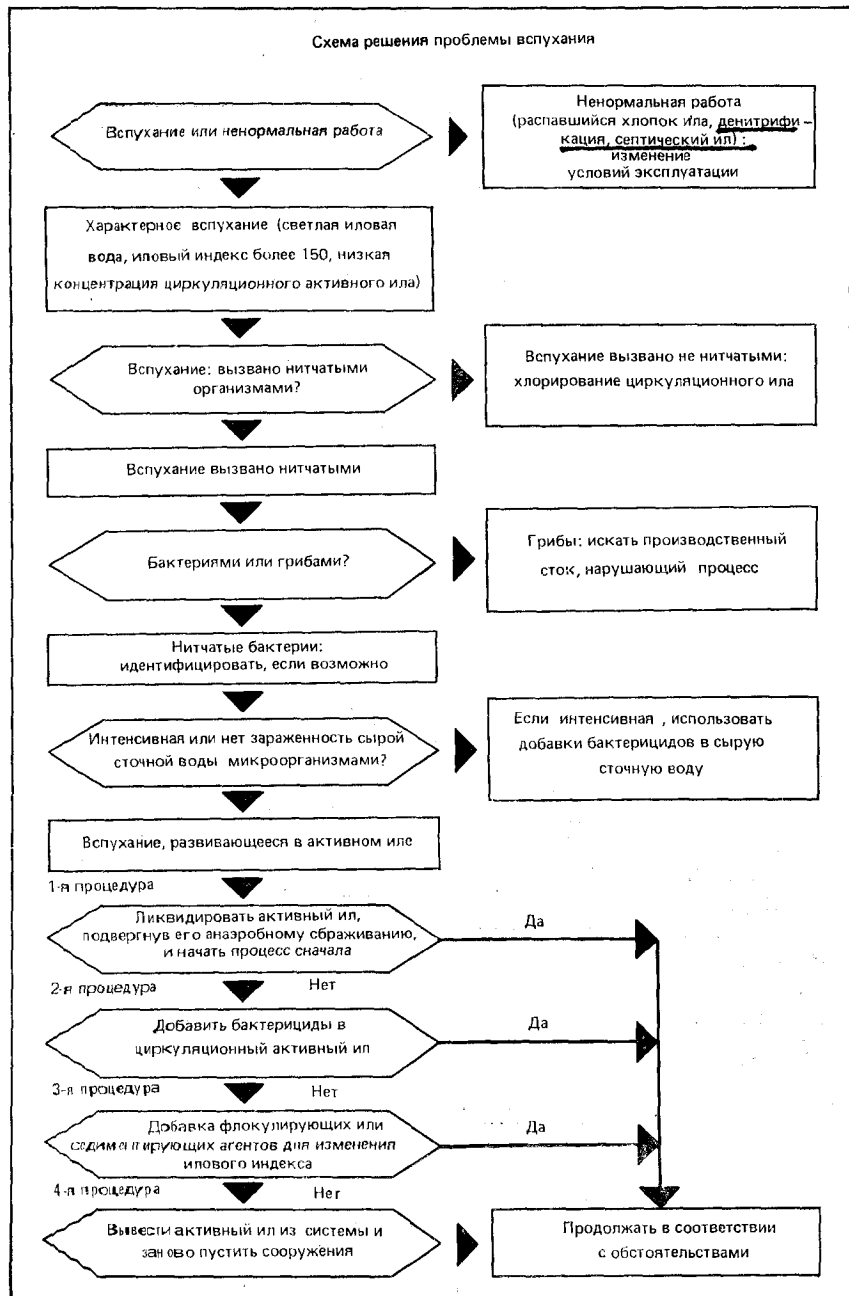


Рис. 28.57

Вспухание отражается на качестве активного ила, особенно на его седиментационных свойствах. Такой ил имеет высокий иловый индекс, или индекс Мольмана (см. п. 3.1.1.3, В). Он может быть больше 150 см<sup>3</sup>/г, достигать 500 см<sup>3</sup>/г и быть еще больше. Такой ил может накапливаться в осветлителях, приводя к необходимости снижения нагрузки на них.

Вспухание — сложный процесс, связанный с присутствием в иле нитчатых организмов: бактерий, таких как *Thiothrix* sp., *Lactobacillus* sp., *Pelomonas*, *Peloploca* sp., грибов, таких как *Leptomitius* sp., *Geotrichum candidum* и т. д.

Нитчатые бактерии — микроорганизмы, которые развиваются в ответ на необычные условия окружающей среды: температуру, соленость, низкий уровень растворенного кислорода, необычный состав субстрата (избыток углеводов, недостаток биогенных элементов) или внезапное изменение условий эксплуатации сооружений: резкое повышение нагрузки по загрязнению, неожиданная потеря ила, значительные колебания скорости рециркуляции ила и т. д. Еще одной причиной могут быть штаммы бактерий или грибов, поступающих извне от водостоков или канализации.

Борьба с вспуханием чрезвычайно трудна и продолжительна, и универсального рецепта, годного на все случаи, не существует. Можно воспользоваться схемой, представленной на рис. 28.57. Если вспухание продолжается, следует подумать об изменениях в процессе обработки.

### 28.8.3. ХИЩНИКИ

Наряду с бактериями наиболее важной группой являются простейшие, которые не воздействуют на органические примеси воды непосредственно, а играют роль хищников по отношению к бактериальной флоре.

Вследствие особой чувствительности к изменениям, происходящим в окружающей среде, простейшие являются ценными индикаторами для оператора станции, так как преобладание того или другого вида может дать информацию о степени адаптации активного ила к субстрату, эффективности окисления, присутствии токсичных веществ и т. д. Присутствие коловраток является показателем устойчивой биологической системы.

В качестве примеров ниже приведены основные хищники активного ила.

**Корненожки или амобы (Rhizopods или Amoeba)** (рис. 28.58). Прозрачная масса протоплазмы, незащищенная или окруженная раковиной — текой, передвигается с помощью псевдоподий, которые являются выростами протоплазмы. Они очень устойчивы к анаэробнобиозу.

Эти формы появляются на короткое время пуска станции очистки. В процессе нормальной эксплуатации их появление может указывать на ухудшение активного ила. Их также находят в сточных во-



дах от некоторых ферментативных процессов, если они подвергались анаэробнозю.

**Zooflagellata** (рис. 28.59). Очень подвижные организмы, передвигающиеся с помощью одного или более тонких и очень длинных жгутиков (1). Могут продолжать существовать в среде с недостатком кислорода. Они редко встречаются в бытовых сточных водах, за исключением стоков, богатых белками и жирами (от столовых и кухонь). Иногда являются единственными организмами, развивающимися в активном иле, адаптированном к определенным производственным стокам, содержащим фенолы или продукты органического синтеза. Они являются первыми развитыми видами, появляющимися в свежем осадке.

**Aspidisca** (рис. 28.60). Эуцилиата порядка Spirotrichida семейства Aspidiscidae.

Маленькая цилиата, которая похожа на ракообразное и очень быстро передвигается по поверхности хлопка с помощью фронтальных и анальных циррий. Они «пасутся» на плотных хлопках. Она очень широко распространена в старых активных илах, очищающих сточные воды различного происхождения.

**Epistylis** (рис. 28.61). Эуцилиата порядка Peritrichida и семейства Epistylidae.

Прикрепленная цилиата, образующая плотные кусты, характерна для стареющего, но хорошо аэрированного активного ила. Часто вытесняет вортицелл, если сточная вода содержит значительную часть различных производственных стоков (фенолов и т. д.).

**Opercularia** (рис. 28.62). Эуцилиата порядка Peritrichida семейства Epistylidae.

Прикрепленная цилиата в виде неплотных кустов. Для некоторых производственных сточных вод характеризует активный ил, достигший фазы замедленного роста.

**Vorticella** (рис. 28.63). Эуцилиата порядка Peritrichida семейства Vorticellidae.

Прикрепленная цилиата на неразветвленном стебельке. Два вида встречаются наиболее часто: *V. microstoma* (маленькое ротовое отверстие) и *V. macrostoma* (большое ротовое отверстие). Это весьма обычный хищник, характеризующий полностью развитый, хорошо аэрированный активный ил, обитающий в оптимальных условиях, в сооружениях, работающих на средних или больших нагрузках.

**Didinium** (рис. 28.64). Эуцилиата порядка Holotrichida семейства Didiniidae.

Свободно плавающая цилиата, не очень распространенная в сточной воде. Наиболее часто ее обнаруживают в активных илах, обрабатывающих бытовые сточные воды, содержащие много жиров и белков (от кухонь, столовых и т. д.). Она присутствует как переходная форма вместе с *Coleps*, *Stentor* и другими и прикрепленными цилиатами в условиях частых и значительных вариаций нагрузки на биоокислитель.



Рис. 28.58. Amoeba — ×400



Рис. 28.59. Zooflagellata — ×1000



Рис. 28.60. Aspidisca — ×300

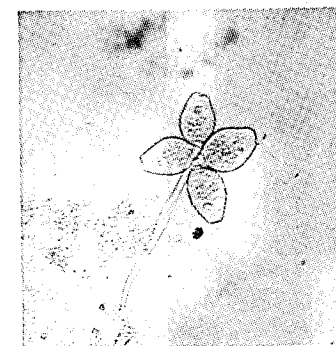


Рис. 28.61. Epistylis — ×150

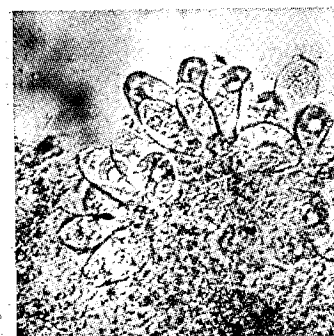


Рис. 28.62. Opercularia — ×150

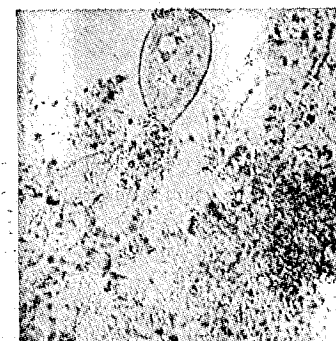


Рис. 28.63. Vorticella — ×150

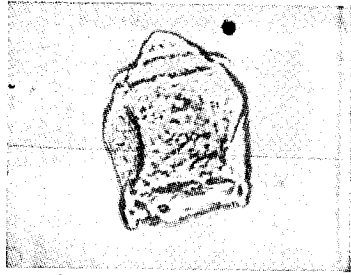


Рис. 28.64. *Didinium* —  $\times 300$



Рис. 28.66. *Paramecium* —  $\times 250$

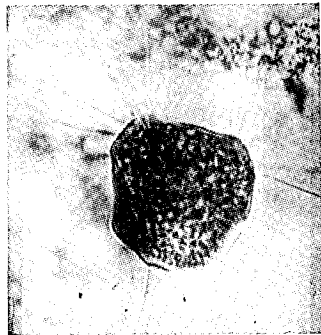


Рис. 28.65. *Acineta* —  $\times 500$

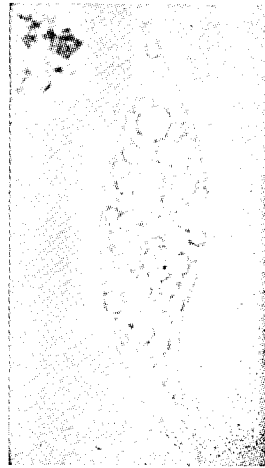


Рис. 28.67. *Lionotus* —  $\times 1000$



Рис. 28.68. *Rotifer* —  $\times 200$

**Acineta** (рис. 28.65). Цилиата порядка *Tentaculifera* семейства *Acinetidae*.

Устойчивая, форма, которая очень часто обнаруживается в активных илах, использованных для обработки производственных сточных вод, при условии высоких нагрузок. Другой род, относящийся к той же самой группе — *Podophrya*.

**Lionotus** (рис. 28.67). Эуцилиата порядка *Holotrichida* семейства *Amphileptidae*.

Цилиата, которая плавает и ползает по поверхности хлопка.

Данный род очень распространен в хорошо развитых активных илах, предшествует появлению прикрепленных цилиат, развивается в сооружениях, работающих в условиях нормальных нагрузок.

Эти цилиаты нуждаются в хорошей аэрации, обеспечивающей содержание растворенного кислорода более 1 мг/л.

Связанный с ними род *Acineta* также иногда обнаруживается в активных илах.

**Paramecium** (рис. 28.66). Эуцилиата порядка *Holotrichida* семейства *Paramecidae*.

Типичная цилиата с хорошо выраженной полостью рта, окруженной перистомом с характерным поясом ресничек. Она имеет два или более обособленных ядра и две фиксированные сократительные вакуоли.

Это свободно плавающий организм, чрезвычайно устойчивый, преобладающий в илах с недостаточной концентрацией растворенного кислорода или в активном иле, применяемом для обработки стоков пищевой промышленности.

Другие, менее обычные виды, такие как *Colpidium*, *Frontonia* и т. д., имеют подобные экологические характеристики.

**Rotifers** (рис. 28.68). Многоклеточные животные, имеющие прозрачную голову с венчиком ресничек и несколькими органами, такими, как церебральный узел и жевательный аппарат, или мастакс. В туловище, или абдомене, заключены большой желудок, соединенный с пищеводом, и половые органы. Абдомен заканчивается в хвосте анальным отверстием. Типичной особенностью ротифер является сегментированная нога, заканчивающаяся «пальцами» и служащая животному для прикрепления и передвижения. Обычно видны спинная и боковая антенны.

Эти организмы «пасутся» на поверхности хлопка. Они очень чувствительны к токсичным веществам и изменениям нагрузки, но развиваются в стареющих, хорошо флокулированных и хорошо аэрированных активных илах. Характерны для активных илов, работающих в условиях продленной аэрации.

**Nematoda** (рис. 28.55). Многоклеточные черви (червеобразные), покрытые оболочкой и обладающие хорошо дифференцированной пищеварительной системой и половыми органами. Ротовая полость нераздельна с растяжимым щупом, который служит для захвата подходящей добычи.

Эти организмы характерны для старых активных илов или илов на стадии минерализации. Их часто обнаруживают в активных илах, подвергаемых аэробной стабилизации, а также в толстой пленке биологических фильтров. Будучи более устойчивыми, чем коловратки, они часто характеризуют предельные условия для аэробной жизни.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ

- Précis d'hydrologie, A. MORETTE (Masson, 1964).  
Précis d'écologie, R. DAJOZ (Dunod, 1975).  
Précis général des nuisances (6 volumes), J. A. TERNISIEN (G. Le Prat, 1971-72-73-74).  
Livre de l'eau (5 volumes) (Centre Belge d'Étude et de Documentation des Eaux, Liège, 1964-65-66).  
Guide de l'eau, R. COLAS (Pierre Johannot, 1977).  
Water & Water Pollution Handbook, Vol. 1 Environmental systems (Leonardo L. Ciaccio, Marcel Dekker, N. Y., 1971-72-73).  
Water Supply and Sewerage, E. W. STEEL (McGraw Hill, 1953, 3rd ed.).  
Water Supply and Waste Water Disposal, G. M. FAIR, J. C. GEYER, J. C. MORRIS (John Wiley, Chapman & Hall, 1954).  
Water: Examination, assessment, conditioning, chemistry, bacteriology, biology, K. HÖLL (W. de Gruyter, 1972).  
Wasser. Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung von Wasser, K. HÖLL (W. de Gruyter & Co., Berlin, 1960).  
Techniques et contrôle du traitement des eaux, Ch. R. COX (W. H. O., Geneva, 1967).  
Théorie des eaux naturelles, L. LEGRAND and POIRIER (Eyrolles, Paris, 1972).  
Chimie des eaux naturelles: agressivité, corrosivité, traitements, applications numériques, L. LEGRAND and POIRIER (Eyrolles, Paris, 1976).  
Dureté de l'eau (2 volumes), E. LECLERC (Cebedoc, 1959).  
Vol. I: Unités; méthodes de mesure.  
Vol. II: Effets; dureté des eaux dans le monde; traitements d'adoucissement.  
La corrosion des conduites d'eau et de gaz. Causes et remèdes, M. NEVEUX (Eyrolles, 1968).  
Métal et eau, le bréviaire de la corrosion, H. E. HÖMIG (translated from the German; published by Dia-Prosim — Vulkan Verlag, Essen, 1966).  
Active carbon manufacture, properties and applications, M. SMISEK, S. CERNY (Elsevier Publishing Co., 1970).

### ПИТЬЕВАЯ ВОДА

- L'alimentation en eau des agglomérations, P. KOCH (Dunod, 2nd ed., 1969).  
Le traitement des eaux de distribution, C. GOMELLA and H. GUERREF (Eyrolles, 1973).  
Les paramètres de la qualité des eaux, S. P. E. P. E. (La Documentation française, 1973).  
Water quality and treatment; a Handbook of Public Water Supplies A. W. W. A. (McGraw Hill, 3rd ed. 1971).

### ВОДА ПЛАВАТЕЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

- Le Moniteur des T. P. et du Bâtiment, numéro spécial hors série «Équipements sportifs et sociaux éducatifs» (Janury, 1977).

### ОЗОН, ХЛОП, ДЕЗИНФЕКЦИЯ

- Handbook of chlorination, G. C. WHITE (Van Nostrand Reinhold Co, 1972).  
Ozone in water and waste water treatment, F. L. EVANS (Ann Arbor Science, 1972).  
Disinfection water and waste water, J. D. JOHNSON (Ann Arbor Science, 1975).

- Ozone chemistry and technology, a review of the literature, J. S. MURPHY, J. R. ORR (The Franklin Institute Press, 1975).

### ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ И ВОДА ДЛЯ КОТЛЮБ

- Water treatment for industrial and other uses, NORDELL (Reinhold N. Y., 2nd ed., 1961).  
Industrial water purification, L. F. MARTIN (Noyes Data Corp., 1974).  
The chemical treatment of cooling water, I. McCOY (Chemical Publishing Co., 1974).  
Richtlinien für die Aufbereitung von Kesselspeisewasser und Kühlwasser. Vereinigung der Grosskesselbesitzer (Vulkan Verlag, Essen, 1958).  
Handbuch Wasser, VKW (Vulkan Verlag, Essen, 1974).

### ИОННЫЙ ОБМЕН

- Les séparations par les résines échangeuses d'ions, TRÉMILLON (Gauthier-Villars, 1965).  
L'échange d'ions et les échangeurs, G. V. AUSTERWEIL (Gauthier-Villars, 1955).  
Deminceralization by ion exchange, APPLEBAUM (Academic Press, New York, 1968).  
Ion exchange separation in analytical chemistry, O. SAMUELSON (J. Wiley & Sons, N. Y., 1952).  
Ion exchangers, F. HELFERICH (McGraw Hill, New York, 1959).  
Ion exchange resins, R. KUNIN and R. J. MYERS (J. Wiley & Sons, N. Y., 2nd ed., 1958).  
Ion exchange technology, F. C. NACHOD, J. SCHUBERT (Acad. Press Inc., 1956).  
Ion exchangers. Properties and applications, K. DORFNER (Ann Arbor Science, 1972).  
Ion exchange resins, C. PLACEK (Noyes Data Corp., 1970).

### ОБЕССОЛИВАНИЕ

- La production d'eau potable par dessalement, A. CLERFAYT (Cebedoc, SPRL, 1967).  
Les problèmes du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, J. R. VAILLANT (Eyrolles, 1970).  
Desalination and its role in water supply (United Kingdom Atomic Energy Authority, 1970).  
Reverse osmosis, S. SOURIRAJAN (Logos Press Ltd., 1971).  
Fundamentals of water desalination, E. D. HOWE (M. Decker, 1974).  
Industrial processing with membranes, R. E. LACEY and S. LOEB (Wiley Interscience, 1972).  
Membrane technology and industrial separation techniques, P. R. KELLER (Noyes Data Corp., 1976).

### БЫТОВЫЕ СТОЧНЫЕ ВОДЫ

- Manuel de l'assainissement urbain, IMHOFF, trad. Koch (Dunod, 1970).  
Pratique de l'assainissement des agglomérations urbaines et rurales, H. GUERRÉE (Eyrolles, 1970).  
Mémento d'assainissement. Mise en service, entretien et exploitation des ouvrages d'assainissement, H. MONCHY (Eyrolles, 1975).  
Ouvrages d'assainissement. Calcul et exécution, A. VALENTIN (Eyrolles, 1976).  
L'analyse écologique des boues activées, B. VEDRY, (Segetec, 1975).  
Précis d'épuration biologique par boues activées, P. BROUZES (Technique et Documentation, 1973).  
Biological treatment of sewage and industrial wastes, McCABE, ECKENFELDER (Reinhold).

- I: Aerobic oxydation (1956).  
 II: Anaerobic digestion and solid-liquid separation (1958).  
 Sewerage and sewage treatment, H. E. BABBITT (J. Wiley, New York, Chapman & Hall, London, 7th ed., 1953).  
 Biological treatment of sewage, ECKENFELDER (Pergamon Press, 1961).  
 Aeration in waste water treatment plants, W. P. C. F. Manual of practice no. 5 (1971).  
 Operation of waste water treatment plants, W. P. C. F. Manual of practice no. 11 (1970).  
 Aeration of activated sludge in sewage treatment, D. L. GIBSON (Pergamon Press, 1974).  
 Sewage treatment, R. L. BOLTON and L. KLEIN (Butterworths Scientific Publications, 1971).  
 Community waste water collection and disposal, D. A. OKUN and G. PONGHIS (W. H. O., 1975).  
 Sewage treatment in hot climates, D. MARA (John Wiley and Sons, 1976).  
 Wastewater engineering METCALF & EDDY INC. (McGraw Hill, 1972).  
 Lehr- und Handbuch der Abwassertechnik, O. PALLASCH, W. TRIEBEL (Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, Munich, 1967—1969).  
 I: Grundlagen der Abwassertechnik.  
 II: Abwasserbehandlung.  
 III: Schlammbehandlung.  
 Die Abwassertechnik, K. R. DIETRICH (Dr. A. Hüttig Verlag, 1973).  
 Leitfaden für den Betrieb von Kläranlagen, W. TRIEBEL (Abwassertechnische Vereinigung, 1971).

#### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

- Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines, A. F. E. E. (1975).  
 Les charbons actifs et les eaux usées, AGENCE SEINE NORMANDIE and A. F. E. E. (1973).  
 Purification with activated carbon, J. W. HASSLER (Chemical Publishing, 1974).  
 Advanced waste treatment, R. L. CULP, G. C. CULP (Van Nostrand Reinhold, 1971).

#### ОБРАБОТКА ОСАДКА

- Stabilisation non biologique des boues fraîches d'origine urbaine, AGENCE SEINE NORMANDIE and A. F. E. E. (1976).  
 La filtration industrielle des liquides (4 volumes) SOCIÉTÉ BELGE DE FILTRATION (Derouaux, 1975).  
 Le séchage et ses applications industrielles, A. DASCALESCU (Dunod, 1969).  
 Thermique appliquée aux fours industriels (volumes I and II), W. HEILIGENSTAEDT (Dunod, 1971).  
 Treatment and disposal of waste water sludge, A. VESILIND (Ann Arbor Science, 1974).  
 Sewage sludge treatment disposal, R. W. JAMES (Noyes Data Corp., 1976).  
 Anaerobic sludge digestion, W. P. C. F. Manual of practice no. 16 (1968).  
 Sludge dewatering, W. P. C. F. Manual of practice no. 20 (1969).  
 Utilization of municipal waste water sludge, W. P. C. F. Manual of practice no. 2 (1971).  
 Fluidization engineering, D. KUNII, O. LEVENSPIEL (J. Wiley & Sons, 1969).

#### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СТОКИ

- L'eau dans l'industrie. Pollution, traitement, recherche de la qualité, W. W. ECKENFELDER (Entreprise Moderne d'Édition, 1972).

- Analyse des eaux résiduaires industrielles, J. BORMANS (Eyrolles-Cebedoc, 1974).  
 Industrial water pollution control, W. W. ECKENFELDER (McGraw Hill, 1966).  
 Industrial wastes, their disposal and treatment, W. RUDOLFS (Reinhold N. Y., 1953).  
 Industrial waste treatment, E. B. BESSELEVRE (McGraw Hill N. Y., 1969).  
 Industrial wastes and salvage (2 volumes), Ch. H. LIPSETT (Atlas Publishing Company, 1971).  
 Liquid waste of industry: Theories, practices and treatment, N. L. NEMEROW (Addison Wesley Publishing Company, 1971).  
 Process design techniques for industrial waste treatment, C. E. ADAMS, W. W. ECKENFELDER (Enviropress, 1974).  
 Industrial waste water management handbook, H. S. AZAD (McGraw Hill, 1976).  
 Industrie Abwässer, F. MEINCK, H. STOFF, H. KOHLSCHÜTTER (Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1960). French translation: Les eaux résiduaires industrielles, 4th ed., André Gasser (Masson et C<sup>ie</sup>, 1970).  
 Die gewerblichen und industriellen Abwässer, SIERP (Springer Verlag, 1967).  
 Die Abwässer in der Metallindustrie (Metallverarbeitende und Galvanotechnische Betriebe), R. WEINER (Eugen G. Lenze Verlag, 1965).  
 Technik der industriellen Abwasserbehandlung, F. RUB (Krausskopf Verlag GmbH Mainz, 1974).

#### ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

- Handbook of pulp and paper technology, K. W. BRITT (Van Nostrand Reinhold, 1970).

#### ПРОМЫШЛЕННОСТЬ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

- Pollution control in meat, poultry and sea food processing, H. R. JONES (Noyes Data Corporation, 1974).  
 Pollution control in the dairy industry, H. R. JONES (Noyes Data Corporation, 1974).  
 Waste disposal control in the fruit and vegetable industry, H. R. JONES (Noyes Data Corporation, 1973).

#### ТЕКСТИЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

- Pollution control in the textile industry, H. R. JONES (Noyes Data Corporation, 1971).

#### МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

- Épuration des eaux résiduaires dans la transformation et la galvanisation des métaux, R. WEINER (Eyrolles, 1975).  
 Pollution control in metal finishing, H. R. JONES (Noyes Data Corporation, 1973).

#### НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩАЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

- Manual on disposal of refinery wastes. Volume on liquid wastes. American Petroleum Institute (A. P. I., 1969, 1st ed.).  
 Aqueous wastes from petroleum and petrochemical plants, BEYCHOCK (Wiley, London, 1967).  
 Environmental control in the organic and petrochemical industries, H. R. JONES (Noyes Data Corporation, 1971).  
 Pollution control in the organic chemical industry, M. SITTING (Noyes Data Corporation, 1974).

## ЛИТЕРАТУРА ПО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВУ

- Législation des nuisances. Aide-mémoire, P. GOUSSET (Dunod, 1973).  
Tous les problèmes juridiques des pollutions et nuisances industrielles, A. GRANIER, SARGOS (J. Delmas, 1973).  
Les résidus industriels (volumes I and II), M. MAES (Technique et Documentation, 1975-77).

## МЕТОДЫ АНАЛИЗА

- L'analyse de l'eau: Eaux naturelles. Eaux résiduaires. Eaux de mer (2 volumes), J. RODIER (Dunod, 5th ed., 1975).  
Les mesures physico-chimiques dans l'industrie: pH, potentiel d'oxydo-réduction, conductivité, ions spécifiques, P. BENOIT, E. DERANSART (Technique et Documentation, 1976).  
Guide de l'aide biologiste, G. SIRJEAN.  
Vol. I: Analyse physico-chimique des eaux de consommation (1951).  
Vol. II: Analyse bactériologique des eaux de consommation (1952).  
L'analyse bactériologique des eaux de consommation, R. BUTTIAUX (Flammarion, 1951).  
Standard methods for the examination of water and waste water, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA, AWWA, WPCF, N. Y., 14th ed., 1975).  
Chemical analysis of industrial water, James W. McCOY (Chemical Publishing Co., N. Y., 1969).  
The analysis of organic pollutants in water and waste water, W. LEITHE (Ann Arbor Science Pub., 1973).  
The chemical analysis of water, A. L. WILSON (Society for Analytical Chemistry, 1974).  
Methods of seawater analysis, K. GRASSHOFF (Verlag Chemie, 1976).

## БИОЛОГИЯ

- Les algues d'eau douce, BOURELLY (Boubée), 3 vol.  
Vol. I: Les algues vertes (1966).  
Vol. II: Les algues jaunes et brunes (1968).  
Vol. III: Les algues bleues et rouges (1970).  
Limnologie. L'étude des eaux continentales, DUSSART (Gauthier-Villars, 1966).  
La pollution des eaux continentales: incidences sur les biocénoses aquatiques, P. PESSON et al. (Gauthier-Villars, 1976).  
Bioénergétique, A. L. LEHNINGER (Ediscience, 1969).  
Fresh-water biology, WARD and WHIPPLE (John Wiley Science & Sons, N. Y., 2nd ed., 1959).  
Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie, H. LIEBMANN (R. Oldenbourg, Munich).  
Vol. I: 1951.  
Vol. II: 1960.  
Das Phytoplankton des Süßwassers, G. HUBER-PESTALOZZI (Schweizerbart, Stuttgart, 6 volumes, 1972).

## БАКТЕРИОЛОГИЯ

- Traité de systématique bactérienne (2 volumes), A. R. PRÉVOT (Dunod, 1961).  
Corrosion bactérienne, J. CHANTEREAU (Technique et Documentation, 1977).  
Clé d'identification des bactéries hétérotrophes, N. GONTCHAROFF (Dunod, 1971).  
Techniques d'enzymologie bactérienne, J. BRISON (Masson, 1971).  
Mémento technique de microbiologie, J. P. and M. LARPENT (Technique et Documentation, 1975).  
An introduction to the microbiology of water and sewage for engineering

students, P. L. GAINEY and T. H. LORD (Burgess Publishing Co., 2nd ed., 1950).

Methods in aquatic microbiology, A. C. RODINA, R. F. COLWELL and M. S. ZAMBRUSKI, University Park Press, Baltimore (Butterworth, London, 1972).

Microbiology, DAVIS, DULBECCO, EISEN, GINSBERG, WOOD (Harper & Row, 1973).

BERGEY'S manual of determinative bacteriology, BERGEY, BREED, MURRAY and SMITH (Williams & Wilkins Company, Baltimore, 1974).

Microbiologie générale, H. LECLERC (Doin, Paris, 1975).

Microbiologie appliquée, H. LECLERC, R. BUTTIAUX, J. GUILLAUME and P. WATTRE (Doin, Paris, 1977).

## ГИДРАВЛИКА, ВОДОЗАБОР И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДЫ

- Hydraulique générale, L. ESCANDE (E. Privat, 1948, 3 vol.).  
Manuel d'hydraulique générale, A. LENCASTRE. Translated from the Portuguese by the author and J. VALEMBOIS (Eyrolles, 1966).  
Mémento d'hydraulique pratique, J. VALEMBOIS (Eyrolles, 1958).  
Hydraulique urbaine, A. DUPONT (Eyrolles, 1969).  
Mémento des pertes de charge, I. E. IDEL'CIK. Translated from the Russian by Mme Meury (Eyrolles, 1969).  
Distribution d'eau dans les agglomérations, A. CAUVIN, G. DIDIER (Eyrolles, 1960).  
Les réseaux d'égout, données d'établissement et de calcul, P. KOCH (Dunod, 1954).  
Les stations de pompage d'eau, A. G. T. M. (Collection I. P. E. — Industrie, Protection, Environnement, 1977).  
Water supply engineering, H. E. BABBITT, J. J. DOLAND (McGraw Hill, 1955, 5th ed.).  
Wasserversorgung, C. DAHLAUS and H. DAMRATH (B. G. Teubner, 1974).

## ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ИЗДАНИЯ ЖУРНАЛЫ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

- Water Research.  
Pergamon Press, Headington Hill Hall, Oxford OX3 0BW, England.  
Progress in Water Technology.  
Pergamon Press, Headington Hill Hall, Oxford OX3 0BW, England.  
Water Pollution Control.  
Ledson House, 53, London Road, Maidstone, Kent, England.  
Effluent & Water Treatment Journal.  
Thunberbird Enterprises Ltd., 102 College Road, Harrow, Middlesex, HA1 1BQ, England.  
Water & Waste Treatment.  
Dale Reynolds, Craven House, 121 Kingsway, London WC2, England.  
Journal of the Institution of Water Engineers and Scientists.  
(Formerly Proceedings of the Society of Water Treatment and Examination), 6-8 Sackville Street, London W1X 1DD, England.  
Water Services.  
(Formerly Water & Water Engineering).  
Fuel and Metallurgical Journals Ltd., Queensway House, 2 Queensway, Redhill, Surrey, RH4 1QS, England.  
Environmental Pollution Management.  
Polcon Publishing Ltd., 268 High Street, Uxbridge, Middlesex, UB8 1VA, England.  
Journal of American Water Works Association.  
J. A. W. W. A., 2, Park Avenue, New York, N. Y. 10016, U. S. A.

- Water and Sewage Works (Formerly Industrial Water & Wastes).  
4345 Wabash, Chicago III 60605, U. S. A.  
Environmental Science & Technology.  
American Chemical Society, 1115, 16th Street N. W., Washington, D. C.  
20036, U. S. A.  
Journal of Water Pollution Control Federation.  
J. W. P. C. F., R. Canham, 3900 Wisconsin Av., Washington, D. C. 20016,  
U. S. A.  
Journal of Water Pollution Control Federation.  
J. W. P. C. F., R. Canham, 3900 Wisconsin Av., Washington, D. C. 20016,  
U. S. A.  
Analytical Chemistry.  
Am. Chem. Society, 1155 16th Street, N. W., Washington, D. C. 20036,  
U. S. A.  
Water & Wastes Engineering.  
The Reuben H. Donnelly Corp., 466 Lexington Av., New York, 20017,  
U. S. A.  
Industrial Water Engineering.  
Wakeman-Walworth Inc., Box 1144 Darien, Connecticut 06820, U. S. A.  
Water S. A.  
P. O. Box 824, Pretoria 0001, South African Republic.

#### ЖУРНАЛЫ НА ФРАНЦУЗСКОМ ЯЗЫКЕ

- Techniques et Sciences Municipales, l'Eau.  
A. G. H. T. M., 9, rue de Phalsbourg, 75017 Paris.  
Nuisances et Environnement.  
Compagnie Française d'Éditions, 40, rue du Colisée, 75008 Paris.  
Information Eaux.  
A. F. E. E., 23, rue de Madrid, 75008 Paris.  
L'Fau Pure.  
A. N. P. E., 195, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.  
La Houille Blanche.  
5, rue des Marronniers, 38008 Grenoble.  
Revue Générale de Thermique.  
2, rue des Tanneries, 75013 Paris.  
L' Eau et l'Industrie.  
P. Johannet et Fils, 7, avenue F.-D. Roosevelt, 75008 Paris.  
Filtration et Techniques Séparatives.  
C. F. E., 40, rue du Colisée, 75008 Paris.  
Revue Technique Internationale de l'Eau.  
Ed. Géographiques Professionnelles, 9, rue Coetlogon, 75006 Paris.  
Informations — Chimie.  
5, rue Jules-Lefevre, 75009 Paris.  
Journal Français d'Hydrologie.  
A. P. F. H., 4, avenue de l'Observatoire, 75006 Paris.  
L'Actualité Chimique.  
Société Chimique de France, 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.  
Analisis.  
Masson, 120, boulevard Saint-Germain, 75280 Paris Cedex 06.  
La Technique de l'Eau et de l'Assainissement.  
9, rue du Monastère, Bruxelles, Belgium.  
La Tribune du Cebedeau.  
CEBEDOC, 3, boulevard Frère-Orban, 4000 Liège, Belgium.

#### ЖУРНАЛЫ НА НЕМЕЦКОМ ЯЗЫКЕ

- Korrespondenz Abwasser.  
Markt A, 5205 Sankt-Augustin 1, Federal Republic of Germany.

- GWF, Wasser, Abwasser. Formerly Gas und Wasserfach (Section Wasser).  
R. Oldenbourg Verlag, 8 München, Rosenheimer Strasse 145, (F. R. G.)  
Wasser, Luft und Betrieb.  
65, Mainz, Lessingstrasse 12-14, Federal Republic of Germany.  
Kommunalwirtschaft.  
Deutscher Kommunal Verlag GmbH, Düsseldorf, Federal Republic of  
Germany.  
Zeitschrift für Wasser- und Abwasser Forschung.  
Verlagsgesellschaft GmbH & Co., 8000 München 40, Federal Republic of  
Germany.  
Forum Städte Hygiene.  
2106 Bendestorf, Freudenthalweg 430, Federal Republic of Germany.  
Vom Wasser.  
Verlag Chemie GmbH, Diesbach, 694 Weinheim, Bergstrasse, (F. R. G.).  
Wasserwirtschaft Wassertechnik.  
VEB Verlag, 108 Berlin, Französischestrasse 13/14, German Democratic  
Republic.  
Gaz, Eau, Eau usée.  
Soc. suisse Ind. Gaz et Eaux, Zürich, Switzerland (German, French).

#### ЖУРНАЛЫ НА ИТАЛЬЯНСКОМ ЯЗЫКЕ

- Inquinamento Acqua, Aria, Suolo.  
Etas Dompas, Via Mantegna 6, 20154 Milan, Italy.

#### ОГЛАВЛЕНИЕ

#### ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ. МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЕЕ СОСТАВА И ВИДА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Глава 20. Очистка воды, используемой для питьевых целей	617
20.1. Выбор источника водоснабжения	617
20.1.1. Качество исходной воды	617
20.1.2. Количество исходной воды и постоянство расхода	622
20.1.3. Стоимость изыскания, транспортировки, обработки и распределения воды	622
20.2. Загрязнения природной воды, используемой для водоснабжения	623
20.2.1. Минеральные загрязнения и микрозагрязнения	623
20.2.2. Органические загрязнения и микрозагрязнения	628
20.2.3. Биологические загрязнения и микрозагрязнения	628
20.2.3.1. Микроорганизмы и вирусы	628
20.2.3.2. Вещества, выделяемые в окружающую среду микрофауной и микрофлорой	629
20.2.4. Загрязнения от реагентов, используемых при очистке воды	629
20.3. Принципы очистки воды, применяемой для питьевых целей	629
20.3.1. Основные процессы	629
20.3.1.1. Очистка на водозаборах и насосных станциях	642
20.3.2. Особые виды очистки природной воды	671
20.4. Очистные сооружения	671
20.4.1. Комбинированные установки и типовая очистная станция	675
20.4.2. Большие и средние очистные станции	

Глава 21. Очистка воды плавательных бассейнов	687
21.1. Основные положения	687
21.2. Французские нормы	688

21.2.1. Скорость рециркуляции и пополнение запасов воды	688
21.2.2. Циркуляция воды	690
21.2.3. Качество воды в бассейнах	690
21.3. Процессы очистки при использовании замкнутого оборота воды плавательного бассейна	691
21.3.1. Предварительное фильтрование. Перекачивание воды	692
21.3.2. Фильтрование	692
21.3.3. Дезинфекция	694
21.3.4. Особые случаи	698
21.3.5. Чистка бассейна	698

*Глава 22. Очистка воды для котлов и систем охлаждения* 700

22.1. Вода для котлов	700
22.1.1. Качество воды, необходимое для водяных котлов	700
22.1.2. Очистка и кондиционирование	704
22.2. Охлаждающие системы	713
22.2.1. Типы охлаждающих систем	713
22.2.2. Полуоткрытая схема	714
22.2.3. Накипь и коррозия	716
22.2.4. Обрастание	719
22.2.5. Проектирование охлаждающих систем	721

*Глава 23. Подготовка воды для промышленного применения* 722

23.1. Общие проблемы	722
23.1.1. Основные функции воды в промышленности	723
23.1.2. Типичные нормы потребления воды в промышленности	724
23.1.3. Ухудшение качества воды, используемой в промышленности	724
23.1.4. Подпиточная вода	724
23.1.5. Процессы кондиционирования воды	726
23.1.6. Повторное использование и циркуляция	726
23.1.7. Организация систем	729
23.2. Металлургическая промышленность	730
23.2.1. Очистка газов	730
23.2.2. Гидрометаллургия	731
23.2.3. Чугун и сталь	734
23.2.4. Производство меди	737
23.2.5. Производство никеля	739
23.2.6. Производство цинка	739
23.2.7. Производство алюминия	740
23.2.8. Производство урана	740
23.3. Целлюлозно-бумажная промышленность	741
23.4. Пищевая промышленность и переработка продуктов сельскохозяйственного производства	742
23.4.1. Сахарные и рафинадные заводы	742
23.4.2. Молочная промышленность	744
23.4.3. Пивоваренные, винокуренные заводы и производство газированных напитков	744
23.4.4. Консервирование овощей	745
23.5. Другие отрасли промышленности	745
23.5.1. Текстильная промышленность	745
23.5.2. Химическая и фармацевтическая промышленность	746
23.5.3. Электроника	746
23.5.4. Обработка металлов	746
23.5.5. Экстрагирование сырой нефти, очистка нефти и нефтепродуктов	747
23.5.6. Различные отрасли промышленности, использующие обессоленную воду	748
23.6. Очистка рассолов	748

*Глава 24. Очистка бытовых сточных вод* 750

24.1. Характеристика бытовых сточных вод	750
24.1.1. Состав	750
24.1.2. Оценка бытовых сточных вод	750
24.1.3. Цель очистки	754
24.1.4. Основные процессы очистки и их эффективность	755
24.2. Биологическая очистка	760
24.2.1. Общие положения	760
24.2.2. Очистные установки продленной аэрации	760
24.2.3. Очистные установки средней производительности с последующей аэробной стабилизацией	767
24.2.4. Станции средней и большой производительности с анаэробным сбраживанием или механической обработкой осадка	770
24.2.5. Другие системы биологической очистки	806
24.2.6. Очистные сооружения для населенных пунктов с постоянно меняющимся числом жителей	814
24.3. Физико-химическая очистка	816
24.3.1. Общие положения	816
24.3.2. Флокуляция и физическое разделение	818
24.3.3. Сочетание физико-химического и биологического процессов	819
24.3.4. Физико-химическая обработка осадка	823
24.4. Третичная очистка	824
24.4.1. Общие положения	824
24.4.2. Доочистка	825
24.4.3. Удаление фосфатов	827
24.4.4. Удаление азота	829
24.4.5. Удаление биохимически неразлагаемых загрязнений	833
24.4.6. Обеззараживание	833

*Глава 25. Обработка производственных сточных вод* 834

25.1. Общие положения	834
25.1.1. Специфические загрязнения	835
25.1.2. Характеристика сточных вод	836
25.1.3. Раздельная обработка	837
25.1.4. Предварительная обработка	837
25.1.5. Физико-химическая обработка	838
25.1.6. Биологическая очистка	839
25.1.7. Удаление биологически неразлагаемых веществ	840
25.1.8. Осадки производственных сточных вод	840
25.2. Промышленность по переработке продуктов сельского хозяйства и пищевая промышленность	842
25.2.1. Производство молочных продуктов	842
25.2.2. Фабрики консервирования овощей и фруктов	844
25.2.3. Скотобойни и мясокостобойни	845
25.2.4. Пивоваренные заводы и ферментативные производства	847
25.2.5. Сахарные и винокуренные заводы	849
25.2.6. Крахмальные фабрики и переработка картофеля	850
25.2.7. Маслобойные заводы и фабрики по производству мыла	852
25.2.8. Кожевенные заводы и производство изделий из кожи	853
25.2.9. Свинофермы и стойловое разведение скота	853
25.3. Целлюлозно-бумажная промышленность	854
25.3.1. Производство бумаги и картона	854
25.3.2. Целлюлозные заводы	856
25.4. Текстильная промышленность	859
25.4.1. Характер отходов	859
25.4.2. Характеристика стоков	860
25.4.3. Методы очистки	860
25.5. Нефтяная промышленность	862

25.5.1. Основные источники загрязнений	862
25.5.2. Методы обработки сточных вод	864
25.5.3. Удаление нефти из пластовой воды, выделяющейся в процессе добычи нефти	867
25.6. Промышленность химического синтеза	868
25.6.1. Системы полной обработки	869
25.6.2. Производство полимеров и волокон	872
25.7. Металлургическая промышленность и связанные с ней производства	873
25.7.1. Чугуно- и сталелитейные предприятия	873
25.7.2. Металлургия алюминия	875
25.7.3. Металлообрабатывающая промышленность	876
25.7.4. Очистка отработанных растворимых масел	891
25.8. Другие отрасли промышленности	893
25.8.1. Силловые станции на ископаемом топливе	893
25.8.2. Ядерная промышленность	894
25.8.3. Производство удобрений и фосфорной кислоты	895
25.8.4. Сточные воды других производств	897
<b>ЧАСТЬ ЧЕТВЕРТАЯ. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ВОДЕ</b>	<b>901</b>
<i>Глава 26. Химия воды и реагентов</i>	<b>901</b>
26.1. Основные химические понятия	901
26.2. Характерные константы растворов	914
26.3. Основные константы газов	920
<i>Глава 27. Методы анализа</i>	<b>925</b>
27.1. Общие положения	925
27.1.1. Использование миллиграмм-эквивалента и градуса жесткости в химии воды	925
27.1.2. Определение жесткости и щелочности воды	928
27.1.3. Перечень французских стандартных методов анализа воды «AFNOR»	930
27.2. Отбор проб для анализа	933
27.2.1. Питьевая вода	933
27.2.2. Сточные воды	933
27.2.3. Консервация проб для анализа	935
27.3. Экспресс-анализ в полевых условиях	935
27.3.1. Методы колориметрического анализа воды (с использованием компаратора Нудгосиге)	936
27.3.2. Объемные методы анализа воды	940
27.4. Физические измерения	945
27.5. Представление и интерпретация результатов анализов	948
27.5.1. Представление результатов анализов	948
27.5.2. Интерпретация результатов анализа	949
27.5.3. Нежелательные и токсичные растворенные в воде вещества	953
27.5.4. Химические вещества, попадающие в воду при ее обработке	953
27.6. Анализ сточных вод. Оценка загрязненности	954
27.7. Анализ фильтрующих материалов и порошков	972
27.8. Физико-химические методы анализа при водоподготовке	982
27.9. Анализ ила и осадков сточных вод	991
<i>Глава 28. Биология</i>	<b>997</b>
28.1. Основные положения	997
28.2. Общие представления об экологии	997
28.2.1. Определения	997
28.2.2. Экология озер: эвтрофикация	999
28.2.3. Экология реки: биотические индексы	1000

28.2.4. Биологические тесты на загрязненность	1000
28.3. Принципы классификации живых организмов	1001
28.3.1. Царство бактерий	1001
28.3.2. Царство растений	1009
28.3.3. Царство животных	1009
28.4. Бактериология	1010
28.4.1. Основные характеристики бактерий	1010
28.4.2. Патогенные бактерии, обнаруживаемые в воде	1011
28.4.3. Бактериологический анализ воды	1012
28.4.4. Ферменты	1012
28.4.5. Ферментативные процессы	1012
28.4.6. Круговорот азота	1014
28.4.7. Круговорот серы	1016
28.4.8. Бактериальное окисление железа и марганца	1017
28.4.9. Бактерии, вызывающие закупорку и коррозию трубопроводов	1018
28.5. Вирусология	1019
28.6. Небактериальные патогенные организмы	1021
28.6.1. Грибы	1021
28.6.2. Амебы	1021
28.6.3. Черви	1021
28.6.4. Насекомые	1023
28.7. Изучение планктона	1023
28.7.1. Проблемы, возникающие в связи с развитием планктона	1024
28.7.2. Количественная оценка планктона	1026
28.7.3. Описание планктона	1026
28.8. Микрофлора и микрофауна активного ила	1045
28.8.1. Бактерии, осуществляющие процесс очистки	1045
28.8.2. Вспухание активного ила	1045
28.8.3. Хищники	1047
<b>Список литературы</b>	<b>1052</b>

**«ДЕГРЕМОН»**

*Кристиан Баракэ (Christian Barraquès), Жан Бебен (Jean Bébin) Жак Бернар (Jacques Bernard), Франсуа Берне (François Berné), Жан Бушар (Jean Bouchard), Даниель Бургиня (Daniel Bourguignat), Жан Дюро (Jean Durot), Рене Фламион (Renée Flamiou), Ги Фромон (Guy Fromont), Андре Обри (André Aubry), Радю Олька (Radu Olca), Жак Лемер (Jacques Lemaire), Робер Любутэн (Robert Louboutin), Жан Мармане (Jean Martagne), Жан Миньо (Jean Mignot), Пьер Муше (Pierre Mouchet), Морис Паре (Maurice Paire), Бернар Рольт (Bernard Rault), Ив Ришар (Ives Richard), Жан-Мари Ровель (Jean-Marie Rovet), Винсент Саваль (Vincent Savall), Жак Тардивель (Jacques Tardivel), Андре Тикшиш (André Tchitchi), Пьер Трей (Pierre Treille), Жак Бешо (Jacques Béchaux)*

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ЗАПИСКИ  
ПО ПРОБЛЕМАМ ВОДЫ**

Т о м 2

Редакция переводных изданий  
Зав. редакцией М. В. Перевалюк  
Редакторы Т. В. Рютина, М. Н. Кузнецова  
Младший редактор Л. Г. Беглецова  
Технический редактор В. Д. Павлова  
Корректоры Л. П. Бирюкова, Г. А. Кравченко

**ИБ № 2650**

---

Сдано в набор 25.09.82. Подписано в печать 30.12.82.  
Формат 60×90<sup>1/16</sup>. Бумага типографская № 1. Гарнитура «Литературная»  
Печать высокая. Печ. л. 28,5. Усл. печ. 28,5. Усл. кр.-отг. 28,5. Уч.-изд. л. 29,36  
Тираж 6500 экз. Изд. № АХ-9257. Заказ 1238. Цена 2 р. 40 к.

---

Стройиздат  
101442, Москва, Каляевская, 23а  
Московская типография № 4 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли  
129041, Москва, Б. Переяславская ул., д. 46.