СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Л.С. АЛЕКСЕЕВ

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ

УЧЕБНИК

3-е издание,
переработанное и дополненное

Допущено Государственным комитетом Российской Федерации
по строительству и жилищно-коммунальному комплексу в качестве учебника
для студентов средних специальных учебных заведений,
обучающихся по специальности 2912 Водоснабжение и водоотведение

Москва
ИНФРА-М
2004

УДК 628(07)
ББК 38.761.1я723
К 33

Рецензенты: *д-р хим. наук, проф., зав. кафедрой Московского государственного строительного университета Б.Н. ФРОГ;*
канд. техн. наук, зав. кафедрой Московского института коммунального хозяйства и строительства И.И. ПАВЛИНОВА

Алексеев Л.С.

К 27 Контроль качества воды: Учебник. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: ИНФРА-М, 2004. — 154 с. — (Среднее профессиональное образование).

ISBN 5-16-001970-7

В учебнике освещены способы определения эффективности работы водоочистных и водоподготовительных сооружений, а также установок по обработке осадка. Рассмотрены методы и технологии лабораторно-производственного контроля за качеством природных, водопроводных и сточных вод. Второе издание учебника под одноименным названием вышло в 1986 г.

Для студентов строительных техникумов, обучающихся по специальности 2912 «Водоснабжение и водоотведение».

УДК 628(07)
ББК 38.761.1я723

ISBN 5-16-001970-7

© ИНФРА-М, 2004
© Алексеев Л.С., 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 5

Раздел 1. Технологический контроль процессов обработки природных, питьевых и технических вод 7

1.1. Оценка качества природных и технических вод 7
1.2. Лабораторно-производственный контроль качества воды в системах хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения 13
1.3. Контроль предварительной обработки воды, процессов коагулирования, отстаивания, фильтрования 18
1.4. Контроль процессов обеззараживания воды 25
1.5. Контроль процессов фторирования, обесфторивания, обезжелезивания воды, удаления марганца 29
1.6. Контроль процессов стабилизационной обработки воды. Удаление газов: кислорода, сероводорода 31
1.7. Контроль процессов умягчения, опреснения и обессоливания воды 36
1.8. Контроль гидрохимического режима работы оборотных систем охлаждающего водоснабжения 41
1.9. Контроль процесса охлаждения воды 46
1.10. Упражнения и задачи 49

Раздел 2. Технологический контроль процессов очистки сточных вод 70

2.1. Общие положения 70
2.2. Классификация сточных вод. Виды загрязнений и методы их удаления 75
2.3. Контроль процессов механической очистки сточных вод 83

2.4. Контроль работы сооружений аэробной биологической очистки сточных вод 89
2.5. Контроль процессов доочистки и обеззараживания сточных вод 101
2.6. Контроль процессов обработки осадков. Процессы метанового брожения и контроль работы метантенков 108
2.7. Контроль работы сооружений обезвоживания и сушки осадка 122
2.8. Контроль процессов обработки промышленных стоков и методов извлечения из них вредных веществ 126
2.9. Контроль деструктивных методов очистки промышленных сточных вод 132
2.10. Упражнения и задачи 135

Заключение 150
Литература 151
Основная 151
Дополнительная 152

ВВЕДЕНИЕ

Основные принципы государственной политики в области контроля качества воды в нашей стране закреплены соответствующими статьями Водного кодекса Российской Федерации [1] и Федерального закона Российской Федерации от 10.01.02 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды». Большое значение при контроле качества продукции имеет также Закон №184-ФЗ от 27.12.02 «О техническом регулировании».

В условиях все расширяющегося внедрения в водное хозяйство прогрессивных технических решений в области водоподготовки и очистки сточных вод научно обоснованный контроль качества воды является одним из важнейших факторов санитарно-эпидемиологического благополучия населенных пунктов, а также предотвращения техногенных и экологических катастроф. Зачастую состав воды определяет набор водообрабатывающих сооружений и величину удельного расхода воды для различных абонентов водопровода и систем водоотведения.

Корректное осуществление такого контроля зависит от наличия в стране подготовленных специалистов-технологов высшей и средней квалификации. Курс «Контроль качества воды» изучается после того, как студенты уже ознакомились с большей частью общеобразовательных и специальных дисциплин, и может, таким образом, рассматриваться как завершающий этап обучения по вопросам технологии обработки воды. Поэтому автор исходил из того, что общие вопросы очистки природных и сточных вод учащимся уже известны, и изложил часть материалов в учебнике без подробного рассмотрения основ технологических процессов водообработки.

Предыдущее одноименное второе издание этого курса, подготовленное к печати Карюхиной Т.А. и Чурбановой И.Н., было выпущено Стройиздатом в 1986 г.

С тех пор в нашей стране произошли серьезные изменения: распад союзного государства, продолжительный спад экономики,

переход на рыночные отношения и изменение форм собственности, снижение на отдельных этапах перестройки роли и функций государственных организаций, контролирующих развитие водного хозяйства, и др.

В материалах данной редакции учебника предпринята попытка учесть эти изменения. При этом, так же как и ранее, понятие «контроль качества воды» здесь трактуется расширительно и под ним понимается не столько аналитическое открытие важнейших ингредиентов состава воды, сколько комплекс технологических мероприятий по целенаправленному управлению составом воды с целью придания ей потребительских свойств.

Кроме того, значительно увеличен раздел промышленного водоиспользования, объемы забираемой воды для которого в конце XX века вышли на первое место в отечественном водохозяйственном балансе.

Учебник написан в полном соответствии с программой дисциплины «Контроль качества воды» для специальности 2912 «Водоснабжение и водоотведение». Поэтому в нем некоторые вопросы, не предусмотренные программой данного учебного курса, но имеющие отношение к рассматриваемой проблеме, изложены фрагментарно. К ним относятся, в частности, инструментальный контроль качества воды, вопросы оценки надежности технических устройств водного хозяйства, методики аналитических определений содержания в воде макро- и микрокомпонентов, организация ведомственного контроля качества воды санэпидемнадзором, инспекцией рыбнадзора, органами охраны и использования водных ресурсов.

Современное терминологическое оформление учебного материала обеспечено в соответствии с рекомендациями [2].

Автор выражает признательность рецензентам: заведующему кафедрой «Охраны водных ресурсов» Московского Государственного строительного университета, проф., д-ру хим. наук Б.Н. Фрогу и заведующей кафедрой «Коммунального и промышленного водопользования» Московского института коммунального хозяйства и строительства, канд. техн. наук И.И. Павлиновой за ряд ценных замечаний. Автор также благодарен проф., канд. техн. наук И.Н.Чурбановой и доценту, канд. техн. наук В.К. Писаренко за полезные советы, данные при подготовке рукописи к печати.

Раздел 1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ВОД

1.1. Оценка качества природных, питьевых и технических вод

Источниками водоснабжения в большинстве регионов РФ являются поверхностные воды рек (водохранилищ) и озер, на долю которых приходится 65–68% от общего объема водозабора. Ниже приводится оценка качества воды в них в зависимости от некоторых характерных показателей состава: pH, минерализованности (солесодержания), жесткости, содержания взвешенных и органических веществ, а также фазово-дисперсного состояния.

Сравнивая оценочные и фактические показатели состава воды в источниках Российской Федерации, можно отметить преобладание мягких и очень мягких, а также мало- и среднеминерализованных вод в азиатской ее части и северных районах, т.е. на большей части территории страны. Повсеместное загрязнение водных объектов примесями антропогенного и техногенного происхождения, наблюдаемое в последние годы, обусловлено поступлением в них неочищенных и недостаточно очищенных сточных вод, хозяйственно-бытовых и промышленных, талых и ливневых вод с водосборов.

Под качеством природной воды понимают совокупность ее свойств, обусловленных характером и концентрацией содержащихся в воде примесей. Ниже дана классификация вод по различным признакам: величине pH, минерализованности, жесткости, прозрачности, цветности и размеру содержащихся в воде частиц (Журба М.Г.).

Среда	pH	Минерализоаанность (солесодержание)	Сухой остаток, мг/дм³
Сильнокислая	< 4,5	Малая	< 200
Слабокислая	4,5–6,5	Средняя	200–500
Нейтральная	6,5–8	Повышенная	500–1000
Слабощелочная	8,0–9	Высокая	1000–2000
Сильнощелочная	> 9	Очень высокая	2000–8000

Характеристика воды	Жесткость, мг-экв/дм³	Прозрачность	По шрифту Снеллена	Содержание взвеси, мг/дм³
Очень мягкая	≤ 1,5	Прозрачная	> 30	<5
Мягкая	1,5–3	Слабомутная	25–30	5–20
Средняя	3–6	Среднемутная	20–25	20–50
Жесткая	8–10	Мутная	10–20	50–300
Очень жесткая	> 10	Очень мутная	< 10	> 300

Характеристика окисляемости (цветности)	Перманганатная окисляемость, мг/дм³ O_2	Цветность, град. Pt-Co шкалы
Очень малая	≤ 2,5	≤ 25
Малая	2,5–6	25–50
Средняя	6–12	50–80
Высокая	12–20	80–120
Очень высокая	> 20	> 120

Фазово-дисперсная группа	Характер примесей	Размер частиц, см	Структурные системы
I Взвеси	Суспензии, эмульсии, микроорганизмы	10^{-2}–10^{-5}	Гетерогенные
II Коллоидные растворы	Коллоиды, высокомолекулярные соединения, вирусы	10^{-5}–10^{-6}	Гетерогенные
III Молекулярные соединения	Газы, растворимые в воде; органические вещества, придающие запах и привкус	10^{-6}–10^{-7}	Гомогенные
IV Ионные растворы	Соли, кислоты, основания	10^{-7}–10^{-8}	Гомогенные

По специфике требований к качеству очищенной воды различают воду, используемую для хозяйственно-питьевых целей, нужд пищевой промышленности, сельского хозяйства и промышленности.

Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения и правила контроля качества воды, производимой и подаваемой системами питьевого водоснабжения населенных мест в РФ, устанавливаются по [3].

Ее безопасность в эпидемиологическом отношении определяется нормативами, представленными в табл. 1.1.

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативам по обобщенным показателям и содержанию вредных и химических веществ (табл. 1.2).

Таблица 1.1

Нормативы по микробиологическим и паразитологическим показателям

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 $см^3$	Отсутствие
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 $см^3$	Отсутствие
Общее микробное число	Число образующихся колоний бактерий в 1 $см^3$	Не более 50
Колифаги	Число бляшкообразущих единиц в 100 $см^3$	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих Клостридий	Число спор в 20 $см^3$	Отсутствие
Цисты лямблий	Число цист в 50 $см^3$	Отсутствие

Таблица 1.2

Нормативы по обобщающим показателям и вредным химическим веществам, мг/$дм^3$

Показатель	Нормативы (ПДК), не более	Показатель	Нормативы (ПДК), не более
1	2	1	2
Обобщенные показатели		Мышьяк (As, суммарно)	0,05
Реакция среды	6–9 ед. pH	Никель (Ni, суммарно)	0,1
Общая минерализация (сухой остаток)	1000	Нитраты (по NO_3^-)	45
Жесткость общая	7 мг-экв/$дм^3$	Ртуть (Hg, суммарно)	0,0005
Окисляемость перманганатная	5 мг O_2/$дм^3$	Свинец (Pb, суммарно)	0,03
Нефтепродукты (суммарно)	1	Селен (Se, суммарно)	0,01
Поверхностно-активные вещества (ПАВ)	0,5	Стронций (Sr^{2+})	7
Фенольный индекс	0,25	Сульфаты (SO_4^{2-})	500

Окончание табл. 1.2

Показатель	Нормативы (ПДК), не более	Показатель	Нормативы (ПДК), не более
1	2	1	2
Неорганические вещества		Фториды (F^-) для климатических районов: I и II III	 1,5 1,2
Алюминий (Al^{3+})	0,5	Хлориды (Cl^-)	350
Барий (Ba^{2+})	0,1	Хром (Cr^{6+})	0,05
Бериллий (Be^{2+})	0,0002	Цианиды (CN^-)	0,035
Бор (B, суммарно)	0,5	Цинк (Zn^{2+})	5
Железо (Fe, суммарно)	0,3	Органические вещества	
Кадмий (Cd, суммарно)	0,001	γ-ГХЦГ (линдан)	
Марганец (Mn, суммарно)	0,1	ДДТ (сумма изомеров)	0,002
Медь (Cu, суммарно)	1,0	2,4-Д	0,03
Молибден (Mo, суммарно)	0,25		

Кроме того, действуют нормативы по вредным химическим веществам, поступающим и образующимся в процессе обработки воды: хлору, хлороформу, озону, формальдегиду, полиакриламиду, активированной кремнекислоте и полифосфатам.

Благоприятные основные органолептические свойства воды определяются нормативами, приведенными в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Нормативы по органолептическим показателям

Показатель	Единицы измерения	Нормативы, не более
Запах	Баллы	2
Привкус	Баллы	2
Цветность	Градусы Pt-Co шкалы	20
Мутность	мг/дм³ (по каолину)	1,5

Радиационная безопасность питьевой воды определяется ее соответствием нормативам по показателям общей α- и β-активности.

При использовании воды для технических нужд различных видов промышленности различают воду, входящую в состав продукта, используемую в гидротранспорте, для мытья и охлаждения сырья и готовой продукции. Ее качество регламентируется отраслевыми нормативными документами.

Качество воды в значительной мере зависит от ее ионного состава. Для подавляющего большинства природных вод общее солесодержание достаточно точно определяется катионами Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} и анионами HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^- (макрокомпоненты). Остальные ионы обычно присутствуют в очень незначительных количествах, но могут существенно влиять на свойства и качество воды.

Данные анализов ионного состава воды удобно изображать графически. Для этого в определенном масштабе на двух параллельных соприкасающихся полосах в порядке, указанном на рис. 1.1, откладывают концентрации катионов и анионов (1 см длины соответствует 1 мг-экв/дм^3). Графическое изображение результатов анализа позволяет представить гипотетический состав солей в воде. Например, в воде, по результатам анализа которой составлена диаграмма, приведенная на рис. 1.1, *в*, гипотетически присутствуют $Ca(HCO_3)_2$, $Mg(HCO_3)_2$, $NaHCO_3$, Na_2SO_4, NaCl и KCl. При известных концентрациях катионов и анионов можно вычислить и концентрации этих солей.

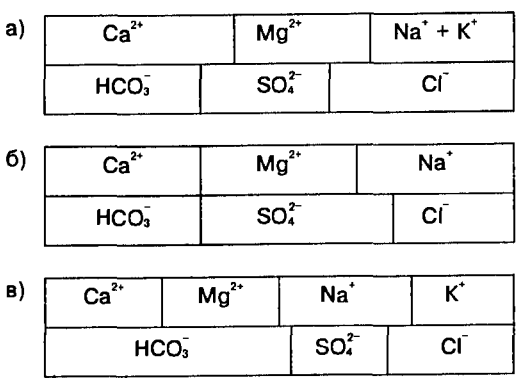


Рис. 1.1. Диаграмма гипотетического состава солей в воде

Анионы на диаграмме располагаются в порядке увеличения их кислотных свойств. Расположение катионов обусловлено тем порядком, в котором они будут образовывать малорастворимые соединения при постепенном увеличении значения pH.

Огромное влияние на качество и свойства воды оказывают соединения угольной кислоты. Вместе с ионами кальция они образуют карбонатно-кальциевую систему равновесий, самую сложную в природных водах. В последние годы все чаще при оценке стабильности воды учитывают ионные пары, находящиеся в воде в молекулярной форме (рис. 1.2).

Из рис. 1.2 видно, что с карбонатно-кальциевой системой непосредственно связаны ионы водорода, и, таким образом, количественные соотношения между отдельными компонентами системы зависят от величины pH.

В условиях равновесия определенной концентрации бикарбонатов соответствует определенное количество свободной углекислоты, называемой равновесной. Вода при этом стабильна, так как не происходит ни выпадения карбонатов, ни их дополнительного растворения.

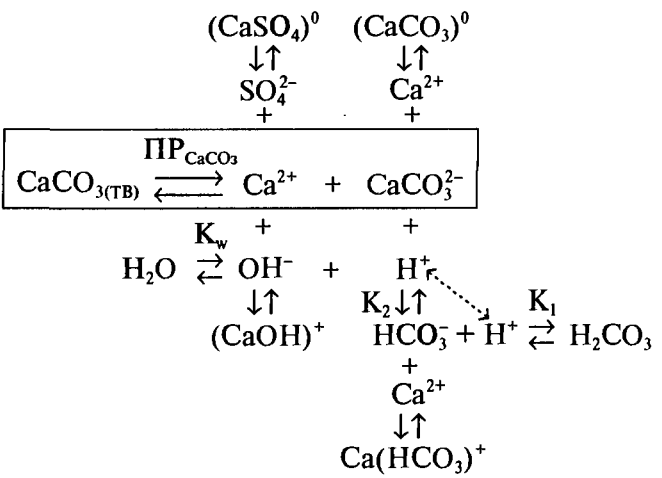


Рис. 1.2. Модель основных химических равновесий компонентов воды и состояния насыщения ее карбонатом кальция: $ПР_{CaCO_3}$ — произведение растворимости карбоната кальция; $CaCO_{3(ТВ)}$ — твердая фаза карбоната кальция; K_1, K_2 — константы соответственно первой и второй ступени диссоциации угольной кислоты; K_w — ионное произведение воды; $(CaSO_4)^0$, $(CaHCO_3)^+$, $(CaOH)^+$ и $(CaCO_3)^0$ — недиссоциированные комплексы соответствующих ионов (ионные пары)

Если количество растворенной углекислоты больше ее равновесной концентрации, то равновесие реакций (см. рис. 1.2) сдвинется вправо, что приведет к растворению $CaCO_3$. Избыток H_2CO_3 сверх

равновесной концентрации называется агрессивной углекислотой. Контакт агрессивной углекислоты с бетонными сооружениями приводит к вымыванию из них карбоната кальция. При недостатке H_2CO_3 по сравнению с равновесной концентрацией реакция протекает справа налево, что приводит к дополнительному образованию и выпадению в осадок малорастворимого карбоната кальция.

Стабильность воды может быть оценена экспериментально или путем вычисления индексов стабильности воды [4] по результатам определения в воде температуры, общего солесодержания, концентрации ионов кальция и общей щелочности и некоторых других ее компонентов. Основным и более точным методом является экспериментальный. Суть его состоит в определении общей щелочности или величины pH в исходной пробе и после встряхивания ее с карбонатом кальция в течение 1–2 ч.

1.2. Лабораторно-производственный контроль качества воды в системах хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения

Качество питьевой воды оценивается комплексом различных показателей, определяемых санитарно-химическим и гидробиологическим анализом.

Полный санитарно-химический анализ воды включает несколько десятков определений: температуры, запаха, цветности, мутности, взвешенных веществ и их зольности (для исходной воды); жесткости общей, карбонатной и некарбонатной; щелочности; содержания сульфатов, хлоридов, нитритов, нитратов, фосфатов, силикатов, аммиака солевого и альбуминоидного; ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+} (остаточный), Cu^{2+}, Zn^{2+}, F^-; плотного остатка; углекислоты свободной и связанной; растворенного кислорода; окисляемости, $БПК_5$ (для исходной воды), pH, общего числа бактерий; числа бактерий группы кишечной палочки. Кроме перечисленных определений исходная вода не реже 1 раза в год анализируется на содержание радиоактивных веществ, соединений селена, стронция, ионов Mo^{2+}, Be^{2+}, Pb^{2+}, As^{3+}, As^{5+}, и в случае их постоянного обнаружения эти определения включаются в полный анализ.

Повседневный контроль качества воды обеспечивается значительно меньшим числом анализов. Характер и число показателей, по которым осуществляется повседневный контроль, могут значи-

тельно изменяться в зависимости от вида водоисточника, методов обработки воды и требований, предъявляемых к воде потребителем.

Требования к качеству воды, используемой для нужд промышленных и сельскохозяйственных предприятий или другими потребителями, в каждом конкретном случае обосновываются специалистами, отвечающими за качество производимой продукции или оказываемых услуг.

Для каждой централизованной системы питьевого водоснабжения эксплуатационной организацией разрабатывается специальная программа, в которой обосновывается перечень контролируемых показателей и регламент проведения контроля. Программа согласовывается с органами Госсанэпидемнадзора. Общие требования к организации и методам контроля качества воды определены в ГОСТ Р51232–98.

Необходимость и частота определения того или иного показателя зависят от цели, с которой выполняется анализ. Основные показатели, быстро изменяющиеся в процессе очистки, например мутность и цветность, по которым нормируется качество воды, определяются часто. Для их определения на крупных станциях применяют автоматические регистрирующие приборы. Если на очистной станции предусмотрено кондиционирование ионного состава воды, постоянно контролируется показатель, по которому осуществляется кондиционирование. Часто определяются и показатели, характеризующие санитарное состояние воды.

Часть технологических показателей определяют с целью контроля за условиями протекания процесса обработки воды. К их числу относятся, например, температура, pH, щелочность. Функцией температуры является вязкость воды, а следовательно, и силы сопротивления частицам в процессе их осаждения. От температуры зависит растворимость в воде газов и скорость окислительных процессов. Температура существенным образом влияет на скорость и глубину процесса умягчения. Резкие колебания температуры даже на 1–2°С осложняют работу осветлителей водоумягчительных установок.

Активная реакция среды является технологическим параметром при процессах коагуляции, умягчения, обезжелезивания. Значением pH определяется состояние химических равновесий в воде, растворимость гидроксидов алюминия и железа. Величина pH — важнейший показатель при оценке коррозионных свойств воды и ее стабильности.

Определение щелочности является одним из вариантов технологического контроля некоторых процессов. От величины щелочности исходной воды зависят дозы реагентов.

При обработке воды ее качество зависит и от остаточных концентраций применяемых реагентов. Концентрации алюминия, полиакриламида, железа и других соединений строго нормируются в питьевой воде. Определение остаточных концентраций хлора и озона проводится непрерывно автоматическими регистрирующими приборами, а в случае невозможности такого контроля — 1 раз в час. Столь частое выполнение этих анализов диктуется необходимостью поддержания определенной остаточной концентрации окислителя для достижения требуемого бактерицидного эффекта. Кроме того, по этим показателям контролируется доза окислителя.

Однако для исходной воды данные полного санитарно-химического анализа еще не могут дать полного представления о свойствах воды.

В связи с этим в практике водоподготовки широко применяют технологические анализы воды, позволяющие оценить ее качество с точки зрения возможности обработки воды тем или иным методом и выбрать оптимальные дозы реагентов. К числу таких анализов относятся пробные коагулирование, углевание, хлорирование, обезжелезивание, стабилизация воды и т.д.

Как правило, качество воды контролируют на всех этапах ее обработки, поэтому перед каждым сооружением и после него должны быть предусмотрены приспособления для отбора проб. Качество воды контролируют не только на очистной станции, но и в распределительной сети. При этом места отбора проб выбирают с таким расчетом, чтобы можно было оценить качество воды во всех основных магистральных водопроводных линиях и в наиболее возвышенных и тупиковых участках уличной распределительной сети.

Общее число анализируемых проб должно быть при численности обслуживаемого населения: до 10 тыс. человек — не менее 2; до 20 тыс. человек — не менее 10; до 50 тыс. человек — не менее 30; до 100 тыс. человек — не менее 100 и при большей численности населения — не менее 200 анализов в месяц. Во всех отобранных пробах определяется общее микробное число, количество общих и термотолерантных колиформных бактерий, содержание колифагов, мутность, цветность, запах и привкус воды.

Контроль водоподготовки и водного режима в промышленности состоит:

- из текущего, осуществляемого обычно круглосуточно по приборам или упрощенными методами ручного анализа сменным персоналом лабораторий, аппаратчиками водоочистных установок, операторами котельных и тепловых пунктов;

• углубленного периодического, включающего полные анализы разовых или средних проб, в том числе приборные и ионитовые методы контроля, анализ реагентов, отложений (накипи, продуктов коррозии и др.);

• специального, предусматривающего внутренние осмотры оборудования (баков, фильтров, осветлителей, деаэраторов и т.п.), контроля при очистках и промывках от отложений: парогенераторов, турбин, теплообменников (водных, щелочных и кислотных) и установки специальных индикаторов (рис. 1.3).

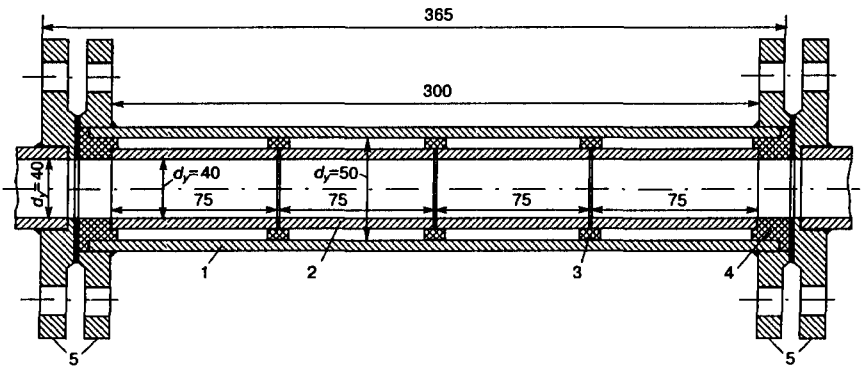


Рис. 1.3. Трубчатый индикатор коррозии и накипеобразования:
1 — корпус-патрон; 2 — индикатор;
3 — резиновые прокладки между индикаторами;
4 — то же между концами индикаторов и патроном;
5 — фланцы

Трубчатые индикаторы устанавливают на байпасе к обследуемому трубопроводу для периодического контроля состояния его внутренней поверхности с возможностью их извлечения, осмотра и измерения без отключения трубопровода от сети.

Производственный контроль может быть местным и централизованным. Он должен обеспечивать нормальный ход технологического процесса и своевременно оповещать об изменениях качества исходной и обрабатываемой воды. Контроль осуществляют круглосуточно и его разделяют: на гидравлический, химико-бактериологический и гидробиологический, выполняемый лабораторией водоподготовительной станции (за проведение анализов отвечает заведующий лабораторией станции); технологический, производимый дежурным персоналом по стан-

ции под наблюдением главного инженера или начальника станции и включающий контроль за своевременной заготовкой растворов реагентов, их концентрацией и подачей в сооружения станции, а также за работой всех сооружений, включая хлораторные и аммонизаторные.

Для этого на водоподготовительных станциях любого назначения необходимо предусматривать установку приборов с целью контроля:

- расхода воды, поступающей на станцию; чистой, подаваемой в резервуары; поступающей на каждое водоочистное сооружение и на промывку фильтров; подаваемой в сеть водопотребителей и на собственные нужды станции;
- уровня воды в отстойниках, фильтрах, а также резервуарах, промывных и реагентных баках; потерь напора в фильтрах и отдельных участках трубопроводов;
- давлений на всасывающих и напорных линиях трубопроводов;
- автоматического дозирования вводимых в воду реагентов;
- качества воды, поступающей на станцию, обработанной после сооружений и подаваемой потребителям.

Контрольные замеры, обходы и наблюдения за работой сооружений осуществляют в определенные сроки, устанавливаемые эксплуатационными инструкциями. О периодичности химического контроля можно судить на приведенном ниже примере производственного регламента взятия проб воды в схеме ее ионитового обессоливания (цифры указывают интервал в часах между взятием проб воды на анализ).

Показатель качества воды	Исходная природная вода	Химически обработанная вода
Солесодержание	24–168	1–8
Жесткость	24–168	4–8
Щелочность	24–168	4–8
Прозрачность	24–168	24–168
Окисляемость перманганатная	24–168	24–168
Кремний	168–720	8
Железо	168	24–168
Хлориды	168	4–8

Для получения представительных результатов при проведении анализа необходимо, чтобы свойства воды в отобранной пробе не изменялись в промежутке времени от момента взятия пробы до

ее поступления на анализ. В табл. 1.4 представлены некоторые приемы консервации проб воды.

1.3. Контроль предварительной обработки воды, процессов коагулирования, отстаивания, фильтрования

Предварительная обработка воды

Установки предварительной обработки воды (предочистки) обычно служат для удаления или снижения содержания в воде взвешенных и органических веществ, полного удаления свободной углекислоты, частично кальция, магния, бикарбонатного иона и кремниевой кислоты путем фильтрования, осаждения, обработки в поле центробежных сил, окисления, углевания, подщелачивания.

В качестве окислителей используют хлор, озон, перманганат калия. Наибольшее распространение получило предварительное хлорирование воды, обеспечивающее окисление части органических веществ, обусловливающих цветность воды, и разрушение защитных коллоидов, препятствующих коагуляции. Одновременно со снижением цветности происходит обеззараживание воды, что значительно улучшает условия эксплуатации сооружений водоподготовки.

Дозы хлора составляют в среднем 3–6 мг/дм^3. Поскольку хлорирование снижает численность клеток фитопланктона, контроль процесса должен быть дополнен гидробиологическими тестами.

В программу предварительной водообработки входит удаление из воды запахов и привкусов. В тех случаях, когда этой цели добиться одним хлорированием воды не удается, дополнительно вводят в воду перманганат калия $KMnO_4$, который добавляют после хлора в виде 1–2%-го раствора дозой 1–10 мг/дм^3. Время между введением Cl_2 и $KMnO_4 \geq 10$ мин.

Другим вариантом комбинированной дезодорации и удаления антропогенной органики является хлорирование в сочетании с углеванием воды. Активированный уголь в виде суспензии 2,5–5% по массе вводят в воду после ее первичного хлорирования с интервалом 10–15 мин дозой 20–80 мг/дм^3.

Технологический контроль комбинированных методов обработки сводится к поддержанию оптимальных доз и соблюдению порядка ввода реагентов, обеспечению необходимого времени

контакта их с водой, периодическому контролю качества воды по таким показателям, как запах и остаточный хлор.

Таблица 1.4

Способы консервации проб воды до производства ее анализов на содержание наиболее часто встречающихся примесей

Анализируемый показатель	Используемый способ или реактив-консервант	Максимальное время сохранения стабильных свойств
Кислотность и щелочность	Охлаждение до 4°С	24 ч
БПК	То же	6 ч
Кальций	Без рекомендаций	24 ч
ХПК	2 мл/дм^3 H_2SO_4 с плотностью 1,84 г/м^3	7 сут
Хлориды	Без рекомендаций	7 сут
Цветность	Охлаждение до 4°С	24 ч
Цианиды	NaOH до pH = 10	24 ч
Растворенный кислород	Следует определять на месте	–
Фториды	Без рекомендаций	24 ч
Жесткость	То же	24 ч
Общее содержание металлов	5 мг/дм^3 HNO_3 с плотностью 1,33 г/м^3	Несколько недель
Аммонийный азот	40 см^3 $HgCl_2$ на 1 дм^3 или охлаждение до 4°С	7 сут
Нефтепродукты и масла	2 мл/дм^3 H_2SO_4 или охлаждение до 4°С	24 ч
Органический углерод	2 см^3/дм^3 H_2SO_4 pH = 2	7 сут

При концентрации планктона в воде более 1000 клеток в 1 мл целесообразно в качестве предварительной ступени очистки применять микрофильтры. При контроле работы микрофильтров замеряют потери напора (до 5 КПа) и расход воды на промывку (1,5% от расхода обрабатываемой воды). Частичную отмывку сетчатых полотен осуществляют обратным током воды, а полную очистку сеток производят вручную с извлечением сетки из корпуса фильтра. Гидробиологический анализ воды до и после микрофильтров позволяет оценить эффективность их работы.

Наиболее распространенными схемами предочисток при химической обработке воды для питания паровых котлов являются: коагуляция в осветлителях + фильтрование; бессатураторное известкование в осветлителях + фильтрование; бессатураторное известкование (иногда с коагуляцией) + отстаивание в зашламленных осветлителях + фильтрование [5]. Дозы реагентов определяют расчетом [6] и уточняют экспериментально упрощенными методами.

При известковании остаточная жесткость ($Ж_{ост}$, мг-экв/дм^3) отстоянной и профильтрованной воды определяется по формуле

$$Ж_{ост} = Ж_{н.к} + Д_к + (0{,}8–1{,}5),$$

где $Ж_{н.к}$ — некарбонатная жесткость, мг-экв/дм^3; $Д_к$ — расход коагулянта, мг-экв/дм^3.

При содоизвестковании маломинерализованных вод $Ж_{ост}$ должна находиться в пределах 0,3–0,6 мг-экв/дм^3, а высокоминерализованных — 1,0–2,0 мг-экв/дм^3.

В качестве коагулянтов используют сернокислые соли алюминия и железа. Большое значение для процесса коагуляции имеет растворимость образующегося гидроксида. Растворимость $Al(OH)_3$ уменьшается с повышением температуры и оказывается минимальной при pH = 5,5–7,5. Величина pH влияет и на скорость коагуляции золя гидроксида алюминия.

Поскольку гидролиз коагулянта приводит к снижению pH, то при недостатке природной щелочности в воду добавляют известь или соду, рассчитывая их дозы в соответствии с указаниями [6].

Несмотря на то, что коагуляция уже давно и широко применяется для обработки воды с различными целями, еще не найден параметр, который мог бы в полной мере характеризовать процесс коагуляции. При введении в воду коагулянтов изменению подвергается целый ряд качественных показателей: изменяется солевой состав воды и, в частности, содержание сульфатов и хлоридов, электропроводность, увеличивается мутность и др. Однако эти физико-химические показатели в отдельности в большинстве случаев не могут служить критериями для определения оптимальной дозы коагулянта, кроме того, не каждый из них может быть измерен. Из-за сложности измерения не используется наиболее объективный показатель коагуляции — ξ-потенциал, которым обладают заряженные частицы взвеси и коллоидов.

Сложность одновременной оценки и учета многочисленных факторов, влияющих на процесс коагулирования, приводит к необходимости экспериментального определения дозы коагулянта. Пробное коагулирование проводят с 6–10 различными дозами,

охватывающими диапазон предполагаемой оптимальной дозы. Одновременно уточняется доза извести или соды.

Для интенсификации процессов коагуляции и осветления применяют флокулянты. Наибольшее распространение в Российской Федерации получили полиакриламид и активированная кремниевая кислота. При использовании флокулянтов пробное коагулирование дополняется определением оптимальной дозы флокулянта.

Полиакриламид вводится в воду спустя 1–1,5 мин после подачи коагулянта. Если процессу коагулирования предшествует обработка воды окислителями, коагулянт вводят с интервалом 2–3 мин. При углевании воды разрыв между подачей угольной пульпы и коагулянта должен составлять не менее 10–15 мин.

На крупных станциях предусматривается автоматическое дозирование коагулянта с непрерывной регистрацией дозы на самопишущих приборах. В этом случае контрольные определения дозы выполняют 1 раз в сутки или в смену. Расчет истинной дозы коагулянта производят на основании данных анализа исходной и обработанной воды по показателю «щелочность».

В некоторых случаях контроль по щелочности оказывается недостаточным, так как требуется подщелачивание или подкисление воды для поддержания оптимального для коагуляции значения pH. В этих случаях контроль осуществляется по величине pH. Частота отбора проб устанавливается в каждом конкретном случае, но не реже 1 раза в смену.

Процессы коагулирования и фильтрования воды

Смесители. Обеспечение быстрого распределения коагулянта в объеме обрабатываемой воды позволяет экономить коагулянт на 10–20%. Для эффективного смешения реагентов с водой требуется создавать турбулентное движение ее потока.

Существующие гидравлические и механические смесители в силу своих конструктивных особенностей не в состоянии быстро и полно распределить раствор реагента в массе обрабатываемой воды. Кроме того, их работа зависит от производительности системы: при изменении расходов воды меняется и их смешивающая способность. В связи с этим наметилась тенденция к использованию трубчатых смесителей, не зависящих от расхода воды и обеспечивающих высокий эффект смешения.

Камеры хлопьеобразования. Важным условием нормальной работы камер хлопьеобразования является правильный выбор ско-

ростей движения воды. При малых скоростях может произойти оседание образующихся хлопьев, при больших — их разрушение. Требуемый эффект хлопьеобразования и повышение прочности хлопьев могут быть достигнуты при введении в камеру хлопьеобразования флокулянтов.

Очистку воды от основной массы грубодисперсных примесей и скоагулированной взвеси осуществляют в горизонтальных, вертикальных, радиальных и тонкослойных отстойниках и осветлителях со взвешенным осадком и вертикальными, поддонными осадкоуплотнителями и без осадкоуплотнителей.

Технологический контроль за работой этих сооружений включает наблюдение за равномерностью распределения и скоростью движения воды в них, оценку качества поступающей и осветленной воды, определение количества и качества задержанного осадка.

Оптимальная скорость восходящего потока зависит от концентрации взвеси в исходной воде и изменяется в пределах от 0,8–0,9 до 1,1–1,2 мм/с при возрастании концентрации взвешенных веществ от 100 до 1000–2500 мг/дм^3.

Среднее время пребывания воды в отстойнике составляет обычно 3–4 ч, что при соблюдении требуемых гидравлических условий в сооружении обеспечивает снижение мутности воды до 8–12 мг/дм^3 в соответствии с [6]. Контроль времени пребывания воды в сооружении осуществляют по хлоридам.

Для оценки эффективности работы отстойников и осветлителей выполняются санитарно-химический и гидробиологический анализы воды. Сокращенный анализ осветленной воды проводится 1 раз в сутки. Более часто, 1–2 раза в смену, выполняют анализ на мутность и цветность. На основании результатов анализа определяют эффективность процессов коагуляции и осветления.

Качество осадка контролируется по показателю «запах». Осадок не должен иметь гнилостных оттенков запаха, которые появляются у него при слишком длительном накоплении в отстойнике вследствие биохимического гниения органических веществ.

Накопление осадка в отстойнике контролируют периодическими замерами высоты слоя осадка по длине отстойника. Высота этого слоя не должна превышать 2–2,5 м. В зависимости от мутности и цветности исходной воды и конструкции отстойника период накопления осадка может составлять от нескольких часов до нескольких месяцев.

При обработке воды коагулянтами влажность осадка в зависимости от исходной концентрации взвеси и времени уплотнения осадка колеблется в пределах 94–99,4%.

Не реже 1 раза в год производят чистку отстойника. Дно и стенки его моют водой и обрабатывают 5%-ным раствором железного купороса, после чего дезинфицируют хлорной водой с концентрацией хлора 25 мг/дм^3.

Гидравлическая нагрузка для тонкослойных отстойников устанавливается в результате технологических экспериментов в пределах от 0,6–1,5 м/ч (для маломутных цветных вод) до 1,5–2,5 м/ч (для малоцветных мутных вод).

Фильтровальные сооружения можно применять как в качестве доочистки воды после отстойников или осветлителей со взвешенным осадком, так и как самостоятельные сооружения. Все типы фильтрования воды (процеживание, пленочное и объемное) включают в себя два основных цикла: рабочий и регенерационный.

Важнейшим параметром контроля рабочего цикла является скорость фильтрования воды. Для скорых фильтров в зависимости от их конструкции скорость фильтрования принимается равной 5,5–12 м/ч и обычно поддерживается постоянной в течение фильтроцикла. Для наблюдения за скоростью фильтрования, потерей напора, продолжительностью фильтроцикла, длительностью и интенсивностью промывки фильтровальные аппараты должны быть оборудованы уровнемерами, расходомерами и манометрами.

Контроль за состоянием фильтрующей загрузки заключается в проверке ее гранулометрического состава, высоты слоя песка на фильтрах, определении остаточных загрязнений и периодической проверке горизонтальности гравийных поддерживающих слоев.

Одновременно с высотой слоя песка проверяют горизонтальность гравийных слоев, нарушение которой резко снижает способность фильтра задерживать загрязнения. Проверка производится с помощью специального щупа во время промывки фильтра.

Фильтрующую загрузку проверяют на остаточные загрязнения 1 раз в год. Для этого в нескольких точках каждого фильтра на разной глубине отбирают определенное количество загрузочного материала. Отмывкой отобранной пробы и последующим анализом определяют количество остаточных загрязнений и их характер. При большом содержании в составе остаточных загрязнений бактерий, клеток гидробионтов и органических веществ производят санитарную обработку фильтра хлором.

Эффективность процесса фильтрования оценивают сравнением качества поступающей воды и фильтрата по их мутности, цветности (через каждые 2–4 часа) и бактериологическим показателям (1 раз за 10 суток).

Отклонение мутности фильтрованной воды от заданной является наиболее объективным параметром вывода фильтра на промывку. Однако чаще для этого используется косвенный параметр — максимальный прирост потерь напора в загрузке фильтра, измеряемый непосредственно дифманометром. О приросте потерь напора можно судить по повышению уровня воды в фильтре, если фильтр не связан гидравлически с другими фильтрами.

Для определения длительности промывки по прозрачности промывной воды, сбрасываемой в систему водоотведения, используют фотоэлектрические приборы-сигнализаторы. Интенсивность промывки можно регулировать по параметру, характеризующему степень расширения загрузки, — высоте подъема слоя взвешенного песка. Контроль за этим параметром можно вести упрощенными оптическими приборами. Для такого прибора, установленного на определенной глубине, подбираются сила источника света и расстояние между ним и светоприемником, при которых сигнал о затемнении будет возникать при требуемом расширении загрузки. Этот сигнал и используют для управления расходом промывной воды.

Стремление контролировать мутность и цветность воды непрерывно и исключить фактор субъективности, характерный для всех экспрессных лабораторных определений, привело к попыткам создать автоматически действующую аппаратуру, основанную на свойстве света уменьшать свою интенсивность при пропускании через жидкие среды за счет поглощения и рассеивания. Соответственно этому существуют два принципа измерения мутности и цветности: турбидиметрический (абсорбционный) и нефелометрический (тиндалеметрический).

При сравнительно небольших концентрациях взвешенных частиц и постоянном дисперсном составе концентрация взвеси и оптическая плотность воды связаны линейной зависимостью. Этим и пользуются для измерения мутности методом турбодиметрии.

В нефелометре мутность контролируют по степени отражения света от взвешенных в воде инородных частиц, что позволяет контролировать мутность в больших пределах — от 0 до 150 мг/дм^3.

В последние годы для борьбы со вторичным загрязнением питьевой воды в процессе ее транспортирования все большее распространение получают бытовые фильтры, устанавливаемые с водоразборной арматурой у потребителей водопровода. Это механические, мембранные, сорбционные и ионообменные фильтры.

В табл. 1.5 приведены основные характеристики этих фильтров, которые влияют на показатели качества питьевой воды.

Если на пересечении показателя качества воды и конструкции фильтра в табл. 5 стоит знак «•» — эта конструкция фильтра позволяет существенно улучшить показатель качества воды; если знак «–» — влияние фильтра этой конструкции незначительно.

1.4. Контроль процессов обеззараживания воды

Для обеззараживания воды используют в основном два метода — обработку воды сильными окислителями (хлор, озон, перманганат калия, перекись водорода и др.) и воздействием на воду ультрафиолетовыми лучами. Чаще всего в качестве обеззараживающих агентов используют хлор либо его соединения: диоксид хлора, гипохлориты натрия и кальция, хлорную известь, хлорамины.

Необходимую дозу хлора принимают на основании пробного хлорирования, по результатам которого строят график хлоропоглощаемости воды. Задаваясь требуемой концентрацией остаточного свободного хлора, по этому графику определяют бактерицидную дозу хлора. Для обеззараживания обработанной воды поверхностных источников обычно требуется доза хлора 2–3 мг/дм^3.

Контакт прошедшей очистку воды с хлором должен осуществляться не менее 1 ч, при этом концентрация остаточного свободного хлора в местах ближайшего водоразбора должна быть 0,3–0,5 мг/дм^3 [7].

На эффективность бактерицидного действия хлора большое влияние оказывает режим смешения его с водой: при быстром распределении реагента во всем объеме воды обеззараживание происходит мгновенно. Поэтому в резервуарах чистой воды должна быть обеспечена постоянная циркуляция и полный обмен воды должен происходить не более чем за 5 суток при температуре 18°С и не более чем за 10 суток при более низких температурах.

Вариант обеззараживания хлорированием с аммонизацией применяют в двух случаях: для снижения запаха воды и для консервации остаточной концентрации хлора на более длительный период. Аммонизацию проводят до ввода хлора, если вода содержит фенолы или другие органические соединения.

Контроль дозы реагентов производят по расходу хлора и аммиака и по остаточному хлору (свободному или связанному в зависимости от режима хлорирования). Каждую смену взвешивают бочки или баллоны с реагентом и таким образом определяют его расход за смену. Гидробиологический анализ обеззараженной воды

Таблица 1.5

Возможности улучшения показвтелей квчествв воды бытовыми фильтрами

Улучшаемый показатель		Основные примеси	Фильтры															
			Мехвнические			Мембрвнные				Сорбционные		Ионообменные						
			З									КОС			АОС			
			П	Мр	С (Пр)	Мф	У	Н	О	АУ	АУ+Ag	Na	Н	Ag	Cl	J	OH
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Органолептические	М	Механические примеси	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	◐	●
	М	Водоросли	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	М	Бактерии	–	–	–	●	●	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–
	Ц	Крупные органические примеси	–	–	–	–	●	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–
	Ц	Комплексные соединения железа и других металлов	–	–	–	●	●	●	●	●	●	●	●	●	–	–	–
	Ц	Ионы меди и кобальта	–	–	–	–	–	●	●	●	●	●	●	●	–	–	–
	ПЗ	Крупные органические молекулы природного и искусственного происхождения, остаточный хлор и т.д.	–	–	–	–	●	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–
Физико-химические	К	pH-водородный показатель	–	–	–	–	–	–	●	–	–	–	●	–	–	–	●
	К	Концентрация катионов (в том числе тяжелых металлов и радионуклидов)	–	–	–	–	–	–	●	●	●	●	●	●	–	–	–
	К	Жесткость воды	–	–	●	–	–	–	–	–	–	●	●	–	–	–	–

Улучшаемый показатель		Основные примеси	Фильтры														
			Мехвнические			Мембранные				Сорбционные		Ионообменные					
			З									КОС			АОС		
			П	Мр	С (Пр)	Мф	У	Н	О	АУ	АУ+Ag	Na	H	Ag	Cl	J	OH
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Физико-химические	К	Концентрация анионов (в том числе нитратов, нитритов и фосфатов)	–	–	–	–	–	–	●	–	–	–	–	–	●	●	●
	О	Органические и минеральные вещества, способные к окислению	–	–	–	●	●	●	●	●	●	–	–	–	–	–	–
Биологические	Б	Бактерии	–	–	–	●	●	●	●	●	●	–	–	●	●	●	–
	В	Вирусы	–	–	–	–	–	●	●	●	●	–	–	●	●	●	–
	–	Бактерицидность материала	–	–	–	–	–	–	–	–	●	–	–	●	●	●	–

Примечание. Следующими буквами показаны показатели качества воды: М — мутность, Ц — цветность, ПЗ -привкусы и запахи, К — концентрации растворенных примесей, О — окисляемость воды, БВ — бактерии, вирусы; для обозначения конструкции фильтрующих аппаратов использованы такие буквы: З — засыпные, С — с синтетической загрузкой (Пр — пропилен), П — песчаные, Мр — мраморные, Мф — микрофильтрационные, У — ультрафильтрационные, Н — нанофильтрационные, О — обратноосмотические, АУ — с загрузкой из активированного угля, АУ+Ag — волокнистые, импрегнированные серебром, катионитовые соответственно в Na-, H- и Ag-формах; анионитовые соответственно в Cl-, J- и OH-формах.

проводят обычно 1 раз в сутки. Бактериологические показатели в очищенной воде определяют не реже двух раз в сутки. Остаточную концентрацию хлора в воде, подаваемой из резервуаров чистой воды, определяют каждый час.

Наиболее эффективный режим хлорирования воды можно обеспечить, если дозу хлора корректировать по свободному хлору в обрабатываемой воде. Это самый простой способ учета реальной хлорпоглощаемости данной воды.

O_3 и $KMnO_4$ — более сильные окислители, чем хлор. Необходимые дозы озона для обеззараживания подземных вод не должны превышать 0,75–1 мг/дм^3, а для фильтрованной воды — 1–3 мг/дм^3. Продолжительность контакта озона с водой зависит от ряда факторов: качества воды, температуры, концентрации озона в озоно-воздушной смеси, конструкции смесителя, но в среднем составляет 5–20 мин.

Для правильного ведения технологического процесса озонирования контролируют расход поступающей на озонирование воды, концентрацию озона в озоно-воздушной смеси после озонаторов и при выбросе в атмосферу, а также содержание остаточного озона в воде после смесителей.

Для контроля содержания озона в воде станции водоподготовки снабжают различного типа анализаторами, действие которых основывается на методах вольтамперметрии, спектрофотометрии и хемилюминесценции.

В анализаторах, работа которых основывается на принципе вольтамперметрии и которые включают поляризованные гальванопары (например, Cu/Au, Cu/Pt, Pt/Au, Ni/Ag и др.), производится сравнение сигналов изменения силы тока при пропуске через электроды воды до и после озонирования, т.е. когда окислителем осуществляется деполяризация электродов.

Так как озон в ряде растворителей (фреоне, четыреххлористом углероде и т.д.) довольно стабилен, то его концентрацию можно измерять в растворах данных веществ способом спектрофотометрии. Чувствительность метода может составить порядка 10^{-4}–10^{-5} моль/дм^3. Однако применение этого метода ограничено. Основной его недостаток состоит в подборе способов компенсации поглощения излучения растворителем, которое в условиях опыта может быть велико (т.е. может превышать поглощение, обусловленное наличием озона).

Известны конструкции газоанализаторов, в основу действия которых положен способ измерения интенсивности хемилюминесцентного свечения, возникающего при реакции растворенного в воде озона с реактивом. Прибор, как правило, имеет выход

на автоматически записывающий потенциометр, шкала которого отградуирована в единицах концентрации остаточного в воде озона.

Концентрацию озона в озоно-воздушной смеси контролируют озонометром, построенным на базе газоанализатора ртутных паров. Принцип действия его основан на свойстве озона поглощать ультрафиолетовые лучи.

При применении $KMnO_4$ необходимо исключить опасность попадания в очищенную воду остаточного марганца сверх предельной его концентрации, равной 0,1 мг/дм^3.

Перекись водорода H_2O_2 бактерицидна по отношению к возбудителям кишечных заболеваний. Обеззараживающий эффект H_2O_2 в отношении бактерий достигается дозой 3–10 мг/дм^3, в отношении вирусов — 6–10 мг/дм^3 и спор — 100 мг/дм^3.

Ультрафиолетовые лучи с длиной волн 220–280 нм действуют на бактерии губительно. Бактерицидное действие ультразвуковых колебаний возрастает с увеличением интенсивности ультразвукового поля и продолжительности воздействия его на воду [8]. Качество облучения контролируют обычными бактериологическими анализами.

1.5. Контроль процессов фторирования, обесфторивания, обезжелезивания воды, удаления марганца

Фторирование воды следует осуществлять при содержании F в ней < 0,7 мг/дм^3. Место ввода F — после очистных сооружений, так как процессы очистки снижают его концентрацию в воде.

Для фторирования питьевой воды может быть использован ряд фторсодержащих соединений, таких, как кремнефтористый натрий $NaSiF_6$, кремнефтористая кислота H_2SiF_6, фтористый натрий NaF, кремнефтористый аммоний $[(NH_4)_2\,SiF_6]$, фтористый кальций CaF_6, фтористоводородная кислота HF, кремнефтористый калий K_2SiF_6, кремнефтористый алюминий $Al_2(SiF_6)_3$, фтористый алюминий AlF_3 и ряд других.

Одним из важнейших направлений в технологическом контроле за процессом фторирования является обеспечение точности дозировки реагента с целью предотвращения поступления в питьевую воду избытка фтора (> 1,2–1,5 мг/дм^3). Контроль осуществляют по концентрации и расходу фторсодержащих реагентов и по концентрации фтора в обработанной воде.

Контролю также подлежит рабочая концентрация фторсодержащего реагента: фторида натрия — 2–2,5%; кремнефтористого натрия — 0,25%; кремнефтористого аммония — 7%; фторид-бифторид аммония — 6–10%. Проверяют наличие оборудования для точного приготовления раствора фторреагента (весы, водомеры и др.) и обеспечения хорошего растворения реагента (необходимо не менее 2-часового перемешивания его с водой) — наличие механических мешалок, приспособлений для барботажа с подачей воздуха расходом 8–10 л/с × м^2.

Детально рассматривается важнейший узел — конструкция дозатора, отдавая предпочтение пропорциональным дозаторам (например, дозирующим насосам с автоматическим регулированием).

На большинстве водоочистных станциях фторирование воды является последней стадией обработки ее, не считая хлорирования. Хлор и фтор можно добавлять одновременно. При этом следует иметь в виду, что хлор и его производные обесцвечивают компоненты, добавляемые при определении фторидов в воде, что может дать ошибку в определении концентрации фтора в воде.

Для обесфторивания воды в настоящее время применяют следующие методы: а) ионный обмен на селективных по отношению к фтору анионитах; б) сорбция свежевыделенными осадками – гидроксидами алюминия или магния, а также фосфатом кальция.

Если в результате обесфторивания концентрация фтора в воде окажется ниже оптимальной, ее повышают путем добавления соответствующего количества необработанной воды.

Частота отбора проб и набор показателей, по которым осуществляется контроль качества воды, устанавливаются санитарным врачом с учетом местных условий.

Для оперативного контроля содержания фтора в воде на оптимальном уровне как фторированием, так и обесфториванием целесообразно применять автоматические анализаторы. В известных конструкциях таких приборов содержание фтора в воде определяют по интенсивности окраски смеси контролируемой воды с индикатором. Дозирование воды и индикатора, приготовление смеси и подача ее в кювету фотометрического блока осуществляются автоматически.

В воде, подаваемой централизованными системами хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержание железа допускается не более 0,3 мг/дм^3. При подаче подземных вод в водопроводную сеть по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы может быть допущено содержание железа до 1 мг/дм^3. На многих промышленных предприятиях, где вода употребляется для промывки продукта в процессе его изготовления, в частности в

текстильной промышленности, даже невысокое содержание железа в воде приводит к браку продукции.

Если концентрация железа в воде не превышает 10 мг/дм^3, pH ≥ 6,7, щелочность Щ ≥ 1 и окисляемость не более 6–7 мг/дм^3 O_2, то обезжелезивание осуществляется методом упрощенной аэрации с фильтрованием. Вода обогащается кислородом при изливе из подающего трубопровода с высоты 0,5–0,6 м в распределительную камеру фильтров. При фильтрации воды через зернистый слой загрузки на поверхности зерен образуется каталитическая пленка, состоящая в основном из гидроксида железа. Эта пленка интенсифицирует процесс окисления и выделения железа из воды. Для образования каталитической пленки необходимо присутствие в воде растворенного O_2 в количестве 0,6–0,9 мг на 1 мг Fe^{2+} [8].

При эксплуатации сооружений, применяемых для обезжелезивания воды, необходимо следить: за полнотой удаления из воды CO_2 и насыщения ее кислородом (при аэрации); высотой слоев насадки, числом их и размерами элементов насадки в контактных и вентиляторных градирнях; временем пребывания воды в сборных и контактных резервуарах (оптимальное — 30–40 мин); за оптимальным значением pH, при котором наиболее интенсивно протекают процессы гидролиза, окисления и хлопьеобразования железосодержащих веществ; за состоянием отверстий в дренажных системах фильтров. Чтобы улучшить отмывку верхнего слоя песка в фильтрах от задержанных железистых загрязнений, следует предусматривать устройство для поверхностной промывки и продувки фильтрующего слоя воздухом.

1.6. Контроль процессов стабилизационной обработки воды. Удаление газов: кислорода, сероводорода

Под стабилизационной обработкой воды понимают направленное изменение различных форм существования соединений неорганического углерода в воде. При этом считается, что установление в воде в результате стабилизационной обработки ее таких количественных соотношений между этими формами, которые соответствуют требованиям расчета по индексам стабильности, позволяет контролировать кинетику двух технологически чрезвычайно важных процессов водоиспользования: электрохимическую коррозию и выпадение карбонатных отложений (инкрустацию) на

границе контакта двух сред — воды и конструкционных материалов труб (оборудования).

Для контроля агрессивности воды применяют стабилизацию ее реагентами, фильтрацию и декарбонизацию. В качестве реагентов используют известь, соду и соединения органического и неорганического фосфора. Стабилизационные фильтры загружают дробленными природными карбонатами — мрамором, известняком, мелом, доломитом, кораллами, силикатами и искусственными — магномассой, нютралайтом и анионообменной смолой в бикарбонатной форме. При декарбонизации удаление CO_2 достигается либо продуванием через воду воздуха, либо подогревом ее до температуры 40–50°С.

Для предотвращения отложений карбоната кальция применяют умягчение, подкисление, карбонизацию, фосфатирование воды и воздействие на нее электрохимическими, магнитными и ультразвуковыми полями.

Для оценки влияния стабильности воды на рассматриваемые процессы коррозии и инкрустации в настоящее время имеется несколько расчетных индексов. Большинство из этих индексов предлагает оценивать поведение углекислых соединений воды в конкретных термодинамических условиях с помощью индивидуальных расчетных формул: индекс Ланжелье (в отечественной практике [6] известный под названием «индекс насыщения»); индекс Сноинка–Дженкинса; индекс мгновенного пересыщения; потенциал осаждения углекислого кальция; индекс движущей силы и ряд производных от этих индексов оценочных критериев. Эти индексы являются альтернативными, характеризующими свойства воды только качественно: вода либо коррозионно-активна, либо инкрустабельна. Такая информация обнаруживается при сопоставлении фактических значений индексов, вычисленных по индивидуальным формулам, с соответствующими их критическими значениями. Последние определяются следующими величинами: индекс движущей силы — 1 ед.; индекс мгновенного пересыщения и потенциал осаждения — 0 мг/дм^3 $CaCO_3$; индексы Ланжелье и Сноинка–Дженкинса — 0 ед.; индекс агрессивности — 12 ед. В стабильной воде индекс Ризнера равен 6–7 ед. При значениях выше критических индексы (кроме индекса Ризнера) свидетельствуют о пересыщенности воды карбонатом кальция; наоборот, при значениях, меньших критических, индексы указывают на ее агрессивность. Связь индекса Ризнера с соответствующим критическим значением имеет обратный характер.

В разной мере успешным является применение для оценки влияния стабильности на состояние воды интегральных индексов,

учитывающих наряду с содержанием в воде компонентов углекислотно-кальциевого равновесия концентрации в ней ингибиторов и стимуляторов коррозии. Наиболее значимыми среди них являются хлориды и сульфаты (индекс Ларсона и методика Моргана); кислород, кремний, азот и диоксид углерода (индекс Риддика); силикаты и сумма всех анионов (индекс Кесил и методика Мизерза). Интегральные индексы уже количественно оценивают (хотя и достаточно грубо) интенсивность процессов коррозии и инкрустации конструкционных материалов в воде.

Наличие нескольких расчетных индексов стабильности и соответствующих им моделей состава некоррозионной или не выделяющей карбонатные отложения воды свидетельствует, с одной стороны, о сложности происходящих процессов и, с другой стороны, о том, что каждый из индексов не является универсальным.

В связи с этим контроль доз реагентов и параметров сооружений и установок стабилизации воды должен производиться с помощью нескольких индексов стабильности и уточняться в ходе технологических исследований.

В лабораторных условиях коррозионная активность воды по отношению к низкоуглеродистой стали определяется на устройстве типа ОКА. Оно состоит из смонтированного на кронштейне электродвигателя, вал которого через промежуточные детали вращает цилиндрический образец с частотой порядка 1500 об.$\times$мин$^{-1}$. Кронштейн можно перемещать по штативу и фиксировать на нем винтом. Штатив крепят к плите. Стакан с исследуемой водой устанавливают на кронштейн. Цилиндрический образец, имеющий в верхней части хвостовик с резьбой, ввинчивают в медную втулку. На медную втулку насажена фторопластовая обойма.

Цилиндрические образцы изготовляют из углеродистой стали марки Ст 3 ПС. Они имеют диаметр 10, а длину 35 мм. Чистота обработки поверхности образца должна соответствовать классу чистоты не ниже 10.

Коррозионная активность воды определяется по общему количеству продуктов коррозии (в растворе и на образце), образовавшихся за время опыта (в течение 3 ч). При определении коррозионной активности воды используется следующая классификация: невысокая — не более 0,1; средняя — 0,1–0,2; высокая — более 0,2 мг/см^2.

Обескислороживание воды

Основным способом обескислороживания воды является ее термическая деаэрация, проводимая при различных температурах

(табл. 1.6). Другие способы (десорбционное, сталестружечное, электрохимическое, сульфитное и гидразиновое обескислороживание) применяются реже.

Таблица 1.6

Основные показатели термической деаэрации воды

Показатели	Тип деаэрации		
	Вакуумная	При атмосферном давлении	При повышенном давлении
Давление, МПа	0,0075–0,05	0,12	0,6–0,8
Температура	40–80	104–107	158–165
Производительность, т/ч	5–2400	1–300	6–4000
Удельный расход выпара, кг/т	≤ 5	≤ 1,5	≤ 1,5
Остаточное содержание кислорода, мг/дм³ при:			
насыщении исходной воды кислородом	0,05	0,02	–
содержании кислорода в исходной воде 1,0 мг/дм³	–	–	0,01

Деаэраторы должны иметь следующее оборудование и приборы: водоуказательные стекла по всей высоте деаэраторных баков; ртутные термометры, устанавливаемые на время теплотехнических испытаний на деаэраторном баке; манометры, регистрирующие давление в нижней части колонки, в паровом объеме деаэраторного бака или в паровой уравнительной линии группы деаэраторов; мерные бачки для замера количества конденсата выпара; указывающие расходомеры на подаче добавочной воды и дренажного конденсата; указывающие расходомеры и манометры на линии барботажного пара; манометры на основных подводящих паровых магистралях.

Деаэраторы повышенного давления должны быть оборудованы предохранительными и переливными клапанами.

Для перекачки воды после вакуумного деаэратора необходимо применять насосы конденсатного типа, рассчитанные на забор воды из-под вакуума. Для защиты деаэрированной воды, находящейся в открытых баках, от попадания воздуха при температуре > 90°С следует применять паровую или газовую подушку из обескислороженного азота с давлением 1–2 кПа.

На середине высоты деаэрированного бака и на линии, отводящей деаэрированную воду, должна быть установлена пробоот-

борная трубка с холодильником. При контроле работы деаэраторов определение кислорода в воде производят известным йодометрическим способом с двойным или тройным отбором, если концентрация его находится в пределах 0,2–1 мг/дм^3. При концентрациях > 1 мг/дм^3 следует применять йодометрический метод Винклера. Малые концентрации кислорода (< 0,2 мг/дм^3), характерные для деаэрированной воды, определяют лейкометрическими методами с использованием индигокармина, сафранина или метиленблау.

Удаление сероводорода

Сероводород придает неприятный запах воде при концентрации ≥ 0,5 мг/дм^3, поэтому наличие его в питьевой воде недопустимо. Для очистки воды от сероводорода применяют физические, биохимические и реагентные методы.

К физическим методам относится метод аэрации, реализуемый на пленочном дегазаторе с принудительной подачей воздуха. Полного удаления свободного сероводорода в этом методе можно достичь путем предварительного подкисления обрабатываемой воды.

Очищенная по методу «подкисление–аэрация» вода должна быть подвергнута стабилизационной обработке подщелачиванием для устранения коррозионных свойств. Только при аэрации сероводородных вод одновременно с удалением H_2S происходит выдувание CO_2 из воды, что, в свою очередь, приводит к смещению карбонатного равновесия в сторону увеличения щелочности и образованию отложений $CaCO_3$. Кроме того, требуется разрешение органов санитарного надзора на выброс обогащенного токсичным сероводородом воздуха в районе размещения аэрационных очистных сооружений. Средняя суточная ПДК сероводорода в воздухе населенных пунктов составляет 0,008 мг/м^3.

При биологической очистке воды окисление сероводорода происходит в результате жизнедеятельности серобактерий с образованием сульфатов.

Наибольшее распространение в технологии дегазационной обработки сероводородных вод получили реагентные методы, основанные на окислении H_2S и его форм HS^- и S^{2-} различными реагентами-окислителями: кислородом, озоном, хлором и его соединениями, перманганатом калия и др. Восстанавливая какое-либо соединение, сульфидный или гидросульфидный ион сероводорода на первом этапе окисляется до свободной серы. Она придает воде специфическую мутность и опалесценцию.

Доочистку воды от коллоидной и мелкодисперсной серы рекомендуется производить коагуляцией с последующим отстаиванием или фильтрованием обрабатываемой воды.

1.7. Контроль процессов умягчения, опреснения и обессоливания воды

Умягчить воду — значит удалить из нее кальций и магний. Общая жесткость воды, подаваемой водопроводами для хозяйственно-питьевых нужд, не должна превышать 7 мг-экв/дм^3, а в особых случаях, по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы, не более 10 мг-экв/дм^3. Норма жесткости питательной воды парогенераторов может достигать 0,05 мг-экв/дм^3. В зависимости от качества исходной воды и требуемого эффекта снижения жесткости применяют реагентный, термохимический, ионитовый методы умягчения или различные комбинации их.

Реагентное умягчение. Реагентные методы основаны на способности катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} образовывать нерастворимые и малорастворимые соединения при обработке воды реагентами. В качестве реагентов наиболее часто используются известь и сода.

Декарбонизация воды только известкованием применяется в тех случаях, когда требуется одновременное снижение жесткости и щелочности воды.

Известь совместно с содой применяют для умягчения воды, в которой кальций и магний содержатся в сочетании с анионами сильных кислот.

Теоретический предел умягчения воды определяется растворимостью карбоната кальция и гидроксида магния. Растворимость карбоната кальция в монорастворе при температуре 0°С равна 0,15 мг-экв/дм^3, а при температуре 80°С — 0,03 мг-экв/дм^3; для гидроксида магния — соответственно 0,4 и 0,2 мг-экв/дм^3.

Как $CaCO_3$, так и $Mg(OH)_2$ обладают способностью образовывать пересыщенные растворы, которые лишь весьма медленно приближаются к равновесному состоянию даже при контакте с твердой фазой образующегося осадка. На практике нецелесообразно длительно выдерживать воду в водоумягчительных аппаратах до наступления равновесного состояния. Поэтому вода, умягченная известкованием (если жесткость вся карбонатная) или известково-содовым методом, обычно имеет остаточную жесткость не менее 0,5–1 мг-экв/дм^3.

Глубина умягчения зависит от наличия в обработанной воде избытка осаждаемых ионов и осадительных реагентов. Так, при

40°С, солесодержании воды до 800 мг/дм^3, наличии в ней ионов Ca^{2+} в количестве 0,7–1,0; 1–3 и > 3 мг-экв/дм^3 остаточная карбонатная жесткость в отсутствие замедлителей кристаллизации обычно не превышает 0,5–0,8; 0,6–0,7 и 0,5–0,6 мг-экв/дм^3 соответственно, а $Щ_{общ} \le 1,2$; $Щ_{гидр} \le 0,4$ и $Ж_{общ} \le 1,0$ мг-экв/дм^3. При солесодержании 800–2000 мг/дм^3 $Щ_{общ} = 2,0–2,2$ мг-экв/дм^3, $Щ_{гидр} \le 0,5–0,8$ мг-экв/дм^3 и $Ж_{общ} \le 2,0$ мг-экв/дм^3. Здесь в подстрочнике «общ» и «гидр» обозначают соответственно «общая» и «гидратная».

Следует отметить, что вода, умягченная известкованием или известково-содовым методом, как правило, пересыщена карбонатом кальция и характеризуется очень высоким pH. Поэтому для увеличения точности дозировки реагентов необходимо в дополнение к автоматическому регулированию пропорционально расходу обрабатываемой воды корректировать дозу еще и по pH. Возможна также корректировка дозы в зависимости от электропроводности обработанной воды, если содержание SO_4^{2-}, Cl^- и NO_3^- стабильно и невелико. При небольших колебаниях дозировки извести Mg^{2+} играет буферную роль: с увеличением дозировки извести повышается количество Mg^{2+}, переводимого в осадок (ухудшая тем самым его свойства), при сохранении щелочности умягченной воды примерно на постоянном уровне.

Контроль за процессом умягчения осуществляется по величине pH, которая должна быть > 10 из-за необходимости удаления из воды Mg^{2+}, или, что менее точно, по величине гидратной щелочности, рассчитываемой на основе титрования проб воды кислотой в присутствии индикаторов фенолфталеина и метилоранжа.

Необходимо отметить, что контроль процесса реагентного умягчения воды может осуществляться и по ее электропроводности. При введении в воду извести и переходе бикарбонатов в карбонаты, выпадающие в осадок, электропроводность обрабатываемой воды изменяется. В соответствии с кривой кондуктометрического титрования в момент полной нейтрализации солей карбонатной жесткости электропроводность достигает минимального значения. При дальнейшем увеличении добавок реагента электропроводность повышается вследствие избытка реагента. Таким образом, оптимальная доза известкового молока, вводимого в умягчаемую воду, характеризуется минимальным значением электропроводности воды.

С повышением температуры воды ускоряются химические реакции и кристаллизация осадков $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$. Колебания температуры ухудшают условия осаждения.

Коагуляция улучшает осаждение осадков $CaCO_3$ + $Mg(OH)_2$. Из-за высокого pH умягчаемой воды применяют только коагулянты на основе железа и алюминат натрия. На 1 моль $FeSO_4$ необходимо наличие в воде 4 мг O_2.

Попадание в осветлитель воздуха приводит к взмучиванию и выносу осадка с умягчаемой водой. Пересыщение воды воздухом можно установить, определяя йодометрическим способом содержание кислорода в воде после воздухоотделителя и сравнивая полученные результаты с табличными для данных температур.

Термохимическое умягчение заключается в подогреве воды выше 100°С и применении извести и соды, реже — едкого натрия и соды. В результате термохимического умягчения кальциевая жесткость может быть снижена до 0,2 мг-экв/дм^3, а магниевая — до 0,1 мг-экв/дм^3. Термохимический метод часто сочетают с фосфатным доумягчением воды. В качестве фосфатных реагентов используют ди- или тринатрийфосфат. В результате фосфатного доумягчения можно получить воду с остаточной жесткостью 0,04–0,05 мг-экв/дм^3.

Сульфатную жесткость устраняют карбонатом, гидроксидом или алюминатом бария.

Для обеспечения правильного проведения описанных выше процессов умягчения воды необходим соответствующий аналитический контроль. Рекомендуемые анализы и частота их выполнения приведены в табл. 1.7.

Полезным руководством для обеспечения хорошего эффекта умягчения могут служить следующие правила: 1) гидратная щелочность должна превышать магнезиальную жесткость примерно на 0,4 мг-экв/дм^3 при процессе без подогрева и на 0,2 мг-экв/дм^3 при процессе с подогревом; 2) карбонатная щелочность должна превышать кальциевую жесткость примерно на 1,2 мг-экв/дм^3 при процессе без подогрева и примерно на 0,8 мг-экв/дм^3 при процессе с подогревом.

Так как некоторые малорастворимые соли [$CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $Al(OH)_3$] при длительном хранении могут выпасть в осадок, а NaOH переходит в Na_2CO_3, то не следует пользоваться данными усредненных проб умягчаемой воды.

Также из-за наличия проскоков суспензии $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ в умягченную воду ее необходимо дополнительно профильтровать через дробленый антрацит. Кварцевый песок в этом случае является нежелательным материалом в связи с тем, что он может обогащать воду соединениями кремниевой кислоты.

Ионитовое умягчение. Оно осуществляется главным образом с применением Na^+-, H^+- и NH_4^+-форм.

В процессе умягчения воды Na-катионированием содержание кальция и магния в воде может быть снижено до весьма малых значений. Общая щелочность при этом не изменится, сухой остаток несколько возрастает в результате замещения в воде одного иона кальция, имеющего молекулярную массу 40,08, на два иона натрия (масса $2 \times 22{,}99 = 45{,}98$).

Таблица 1.7

Рекомендуемые анализы и периодичность их проведения при реагентном умягчении воды

Вода	Показатели качества воды		Периодичность анализов
	Обязательные	**Дополнительные**	
Исходная	Свободная углекислота, общая жесткость, кальций, магний, общая щелочность	Сульфаты, сухой остаток, pH, кремний, хлориды	Не реже 1 раза в неделю, а жесткость и щелочность — ежедневно
Умягченная	*Известково-содовое умягчение* Общая жесткость, pH, щелочность общая и по фенолфталеину, взвешенные вещества	Сульфаты, сухой остаток, кальций, магний, кремний, алюминий, хлориды	Для аппаратов периодического действия — при каждой новой дозе реагентов; для аппаратов непрерыаного действия — ежедневно, хотя может потребоваться и более частое проведение анализа, если качество исходной воды существенно меняется
	Фосфатное умягчение с подогревом Общая жесткость, щелочность по фенолфталеину, избыток фосфатов		

При фильтровании через катионит в Н-форме все катионы растворенных солей (в том числе и катионы солей жесткости) будут сорбироваться на его зернах; в воду будет переходить эквивалентное количество H^+-ионов; растворенные в воде соли будут превращаться в соответствующие кислоты. Кислотность воды, прошедшей через Н-катионитовый фильтр, который загружен сильноосновным катионитом, будет равна сумме концентраций в исходной воде солей сильных кислот.

Регенерация Н-катионитовых фильтров кислотой в количестве, недостаточном для полного вытеснения из катионита катионов жесткости («голодная» регенерация), позволяет в рабочем цикле снижать щелочность воды до 0,4–0,5 мг-экв/дм^3, не снижая ее некарбонатную жесткость.

Если в умягченной воде не допускается наличия карбонатов натрия и калия, но в ней допустимо присутствие ионов аммония,

то вместо H-Na-катионирования можно применять NH_4-Na-катионирование.

Умягченная катионированием вода получается более коррозионно-активной, чем исходная, из-за полного отсутствия в ней бикарбоната кальция, который при определенных условиях может образовывать защитный слой карбоната кальция на поверхности металла, находящегося в контакте с водой.

При контроле качества фильтрата катионитовых установок особое внимание уделяется определению показателей, так или иначе связанных с понятием жесткости и щелочности воды: жесткости общей и карбонатной, щелочности карбонатной и гидратной, содержанию солей кальция и магния, общему солесодержанию, величине pH, содержанию анионов.

В процессе работы катионитов дополнительно необходимо периодически проверять поглощение или вынос из них фильтратом органических веществ.

Под обессоливанием воды понимают процесс снижения растворенных в ней солей до требуемой величины. Различают частичное и полное обессоливание. Частным случаем обессоливания воды является опреснение, в результате которого величина солесодержания в очищенной воде не превышает 1000 мг/дм^3 — ПДК всех солей в питьевой воде.

К наиболее распространенным методам обессоливания воды относятся ионный обмен, электродиализ, обратный осмос и дистилляция.

Обессоливание позволяет почти полностью удалить из воды вещества, способные целиком или частично диссоциировать (например, соли и кремниевую кислоту); неэлектролиты при этом могут остаться в воде. Иногда происходит также некоторое уменьшение цветности, связанное с абсорбцией кислых органических веществ ионитами и мембранами. Так как при обессоливании удаляются те вещества, которые проводят электрические вещества, показателем качества обработанной воды служит обычно ее электропроводность, выраженная в мкСм/см. Расчетное значение этого параметра при 18°С в «сверхчистой» воде составляет 0,037 мкСм/см. Однако в производственных условиях пока удается получать «сверхчистую» воду с удельной электрической проводимостью 0,1—1,0 мкСм/см.

За основной критерий, оценивающий качество обработки воды и ионообменную способность фильтров, часто принимают электропроводность воды, пороговая величина которой устанавливается по опытно-исследовательским данным. Например, электропроводность воды после катионообменника должна быть менее 240,

после слабоосновного анионообменника — 50–220 и после сильноосновного анионообменника < 20 мкСм/см. Превышение этих значений указывает на истощение ионообменных смол до контрольного уровня и на необходимость их регенерации.

Поскольку существующие нормы качества питьевой воды в большинстве своем регламентируют предельно допустимые концентрации макро- и микрокомпонентов ее состава, то опресненные воды в основном отвечают действующим нормативным требованиям. Однако в связи со все расширяющимся вовлечением опресненных вод в централизованные системы хозяйственно-питьевого водоснабжения возникает необходимость дополнительного нормирования минимально необходимых концентраций важнейших в гигиеническом отношении показателей качества: содержания кальция, бикарбонатов, общего солесодержания, натрия, калия и др. Как показывают современные медико-физиологические исследования, недостаточное содержание в опресненной воды солей жесткости (менее 1,5 мг-экв/дм^3) может привести к нарушениям обмена веществ и сердечно-сосудистым заболеваниям в организме людей, длительное время употребляющих такую мягкую воду.

1.8. Контроль гидрохимического режима работы оборотных систем охлаждающего водоснабжения

На рис. 1.4 схематично показана система оборотного водоснабжения промышленного предприятия с градирней в качестве охладителя воды.

При гидрохимическом контроле оборотной системы водоснабжения первоначально проверяется соблюдение следующих водных балансов:

$$q_{св} = q_{ст} + q_{бв} = q_т + q_п; \quad (1.1)$$

$$q_{бв} = q_{ис} + q_{кап} + q_{п.п}; \quad (1.2)$$

$$q_{ст} = q_{пр} + q_{от}; \quad (1.3)$$

$$q_{от} = q_{от}^{жидк} + q_{от}^{ос}, \quad (1.4)$$

где $q_{пр}$, $q_{ис}$, $q_{кап}$ и $q_{п.п}$ — расходы воды на соответственно продувку системы, испарение, капельный вынос и потери воды в производственных процессах; $q_{от}$ — расход отработанной воды; $q_{от}^{жидк}$ — суммарный расход канализуемых с заводской территории вод; $q_{от}^{ос}$ — расход воды, сбрасываемой с осадками; $q_т$, $q_п$, $q_{ст}$, $q_{св}$, $q_{об}$ и $q_{бв}$ —

расходы соответственно технической (подпиточной), питьевой, сточной, свежей, оборотной и повторно используемой воды, а также безвозвратное водопотребление.

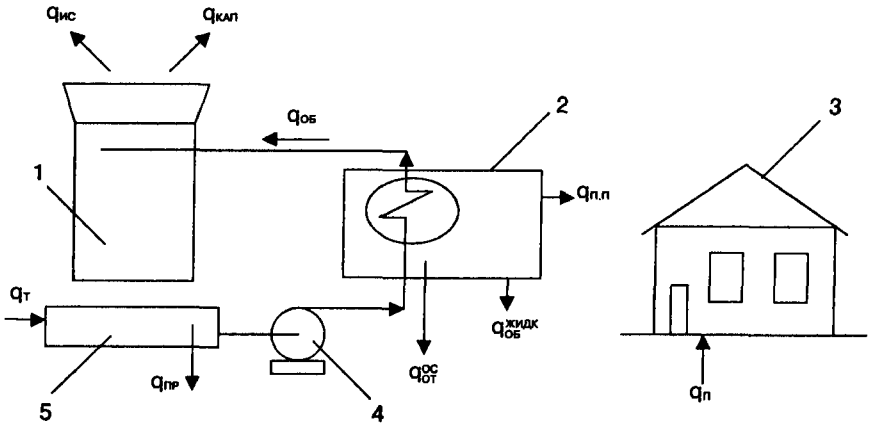


Рис. 1.4. Схема охлаждающей системы оборотного водоснабжения промышленного предприятия:
1 — градирня; 2 — теплообменная аппаратура промышленного предприятия; 3 — потребители питьевой воды на промплощадке; 4 — циркуляционный насос; 5 — водосборный бассейн градирни

Из формул (1.1) и (1.2) следует:

$$q_{ст} = q_т + q_п - q_{ис} - q_{кап} - q_{п.п.} \qquad (1.5)$$

Коэффициент упаривания воды в системе оборотного водоснабжения, характеризующий техническое совершенство ее работы, определяется по формуле

$$K_у = \frac{q_{ис} + q_{кап} + q_{п.п}}{q_{кап} + q_{п.п}} = \frac{C_ц}{C_п}, \qquad (1.6)$$

где $C_ц$ и $C_п$ — концентрация консервативных ионов (например, хлорида или магния) соответственно в циркуляционной и подпиточной воде.

Чем выше $K_у$, тем меньше $q_{св}$, но больше капиталовложения на подготовку циркуляционной воды. Среднее значение $K_у$ на предприятиях РФ — 1,2. В большинстве промышленно развитых странах мира $K_у$ на порядок и более выше.

Контроль качества циркуляционной воды сводится к следующим четырем требованиям: вода не должна вызывать солевых отложений, интенсивных коррозионных разрушений конструкционных материалов, биологических обрастаний и отложений механических примесей.

Из четырех возможных в системах оборотного водоснабжения солевых отложений: карбонатных, сульфатных, фосфатных и силикатных — имеется надежная технология предотвращения первых трех отложений, которая называется умягчением воды. Разработано несколько способов умягчения воды: физическое (с помощью нагрева воды, ультразвуковой, электрической и магнитной обработки ее), химическое (известковое и известково-содовое) и катионитовое (при регенерации катионитов кислотами, поваренной солью и аммиаком). Наиболее употребительны из-за их надежности последние два способа. При доминировании в отложениях карбонатов кальция эффективна кислотная обработка воды.

Об эксплуатационно-опасном образовании карбонатных отложений в охлаждающих системах оборотного водоснабжения судят [6] по величине произведения щелочности добавочной воды в мг-экв/дм^3 на коэффициент упаривания воды. Если это произведение превышает 3,0, то рекомендуются мероприятия по предотвращению образования карбонатных отложений.

Для систем горячего водоснабжения и отопления контроль карбонатных отложений осуществляют с помощью карбонатного индекса, представляющего собой предельное значение произведения щелочности на концентрацию кальция в воде (в мг-экв/дм^3 каждая), выше которой интенсивность карбонатных отложений превышает 0,1 г/(м^2 × ч). В табл. 1.8 приведены нормы предельного значения карбонатного индекса для некоторых распространенных систем горячего водоснабжения и отопления.

Антикоррозионная защита предусматривает изготовление ответственного оборудования систем оборотного водоснабжения (теплообменных аппаратов) из коррозионно-стойких металлов (латуни, титана и др.) и обработку воды ингибиторами коррозии (фосфатами, силикатами, хроматами и т.п.). В табл. 1.9 содержатся рекомендации по выбору способа обработки воды для централизованного горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения.

Борьба с биообрастаниями по [6] сводится в основном к биоцидной обработке их хлором. Накоплен также положительный опыт по механическим методам удаления биообрастаний из теплообменных трубок конденсаторов, например метод «шомполосования» или абразивного воздействия зернистой присадкой.

Таблица 1.8

Нормативные значения карбонатного индекса для подпитки тепловых сетей

Тип оборудования	Температура нагрева сетевой воды, °С	Карбонатный индекс, (мг-экв/дм³)² для системы теплоснабжения	
		открытой	закрытой
1	2	3	4
Водогрейные котлы, установленные на электростанциях и в отопительных котельных*	70–100	3,2	3,0
	101–120	2,0	1,8
	121–130	1,5	1,2
	131–140	1,2	1,0
	141–150	0,8	0,5
Сетевые подогреватели	70–100	4,0	3,5
	101–120	3,0	2,5
	121–140	2,5	2,0
	141–150	2,0	2,0
	151–200	1,0	0,5

* Качество подпиточной и сетевой воды водогрейных котлов, установленных в промышленных котельных, отвечает действующему стандарту.

Очистка циркуляционной воды от механических примесей осуществляется на байпасе к основному контуру оборотного водоснабжения, где устанавливают осветлительные сооружения, практически аналогичные тем, которые применяют в коммунальном водоснабжении.

В то же время в оборотных системах водоснабжения, подверженных биологическим обрастаниям, при наиболее часто практикуемых скоростях движения воды в трубках теплообменных аппаратов (1 м/с) взвешенные вещества ухудшают работу теплообменного оборудования только в тех случаях, когда их концентрация достигает больших значений (примерно 2000 мг/дм³ в расчете на подпиточную воду). При концентрации 450–700 мг/дм³ взвешенные вещества способствуют некоторому повышению коэффициентов теплопередачи. При концентрациях 150–200 мг/дм³ эти коэффициенты повышаются еще более и теплопередача значительно улучшается по сравнению с теплопередачей контрольного аппарата, работающего на воде, практически не содержащей взвешенных веществ, при той же интенсивности развития биологических обрастаний. Это объясняется преобладанием процесса абразивного уноса биообрастаний водой, содержащей взвешенные вещества в указанных концентрациях, над процессом внедрения этих примесей в массу биообрастаний.

Таблица 1.9

Выбор способа обработки воды для централизованного горячего водоснабжения в (при) закрытых системах теплоснабжения

Показатели качества исходной воды, средние за год			Способ противокоррозионной и противонакипной обработки в зависимости от вида труб		
Индекс насыщения при 60°С	$Cl^- + SO_4^{2-}$, мг/дм³	Перманганатная окисляемость, мг/дм³ O_2	Стальные трубы без покрытия или совместно с оцинкованными	Оцинкованные трубы	Стальные трубы с внутренним неметаллическим покрытием или термостойкие пластмассовые трубы
< –1,5	≤ 50	0–6	ВД	ВД	–
< –1,5	> 50	0–6	ВД + С	ВД+ С	–
< 1,5 ÷ –0,5	≤ 50	0–6	С	С	–
–0,5–0	≤ 50	0–6	С	–	–
0–0,5	≤ 50	> 3	С	–	–
0–0,5	≤ 50	≤ 3	С + М	М	М
> 0,5	≤ 50	0–6	М	М	М
–1,5–0	51–75	0–6	С	С	–
–1,5–0	76–150	0–6	ВД	С	–
–1,5–0	> 150	0–6	ВД + С	ВД	–
0–0,5	51–200	> 3	С	С	–
0–0,5	51–200	≤ 3	С + М	С + М	М
0–0,5	> 200	≤ 3	ВД	ВД	–
0–0,5	> 200	≤ 3	ВД + М	ВД + Д	М
> 0,5	51–200	0–6	С + М	С + М	М
> 0,5	201–350	0–6	ВД + М	С + М	М
> 0,5	> 350	0–6	ВД + М	ВД + М	М

Примечания. 1. В табл. 1.9 ВД — вакуумная деаэрация; С — силикатная обработка; М — магнитная обработка.

2. При наличии на тепловом пункте пара вместо вакуумной деаэрации следует предусмотреть атмосферную деаэрацию с охладителями деаэрированной воды.

3. Если в исходной воде концентрация $CO_2 > 10$ мг/дм³, то после вакуумной деаэрации следует предусмотреть подщелачивание ее до pH 8,3–8,5.

4. Магнитная обработка применяется при общей жесткости воды не более 10 мг-экв/л и при карбонатной жесткости более 4 мг-экв/дм³. Напряжение магнитного поля в рабочем зазоре магнитного аппарата ≤ 159×10^3 А/м.

5. При содержании в воде Fe > 0,3 мг/дм³ предусматривается обезжелезивание воды независимо от наличия других способов обработки воды.

При снижении скорости движения воды в трубках теплообменников абразивное действие взвешенных веществ значительно уменьшается.

На рис. 1.5 приведена допустимая концентрация взвешенных веществ в оборотной воде в зависимости от скорости движения ее в трубках.

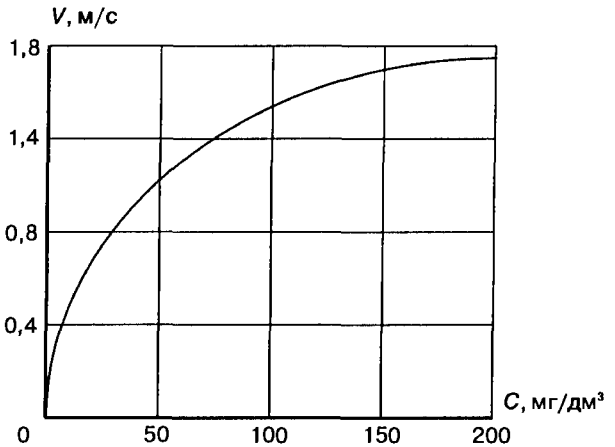


Рис. 1.5. Зависимость допустимой скорости движения оборотной воды в трубках теплообменных аппаратов (V) от концентрации взвешенных веществ в ней (C)

Характерный график проведения анализов циркуляционной воды в оборотных системах охлаждающего водоснабжения приведен в табл. 1.10. Из табл. 1.10 видно, что частое проведение анализов воды необходимо не всегда, так как при нормальных условиях эксплуатации состав воды в оборотной системе охлаждающего водоснабжения меняется очень медленно.

1.9. Контроль процесса охлаждения воды

На рис. 1.6 даны схемы наиболее распространенных в промышленности охладителей оборотной воды.

За счет испарительного охлаждения воды в шести из семи приведенных на рис. 1.6 водоохладителей (кроме радиаторных градирен 4, называемых также аппаратами воздушного охлаждения) удается снизить температуру охлаждаемой воды ниже температуры окружающего воздуха.

Таблица 1.10

График проведения анализов циркуляционной охлаждающей воды

Показатель	Когда требуется	Периодичность проведения
Значение pH	В тех случаях, когда для контроля за величиной pH или щелочности (или того и другого вместе) к воде добавляется кислота или щелочь	1 раз в смену
Щелочность	То же	То же
Кальциевая жесткость	Почти всегда	1 раз в неделю
Магниевая жесткость	То же	То же
Содержание взвешенных веществ	Иногда	То же
Содержание хлоридов	Почти всегда	То же
Содержание фосфатов	В случае применения фосфатирования	То же

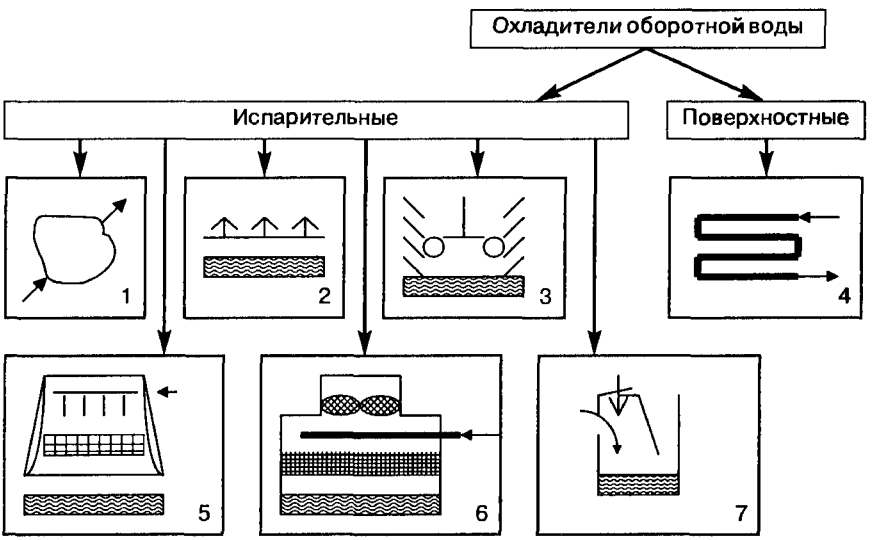


Рис. 1.6. Классификация охладителей оборотной воды:
1 — водохранилище (пруд-охладитель); 2 — брызгальный бассейн;
3 — открытые градирни; 4 — радиаторные градирни; 5 — башенные градирни;
6 — вентиляторные градирни; 7 — эжекционные градирни

В числе преимуществ аппаратов воздушного охлаждения — отсутствие загрязнения охлаждаемой воды воздушными примесями и гидравлического разрыва ее струи.

При ориентировочных расчетах необходимая активная площадь охладителя (в $м^2$) для охлаждения 1 $м^3$/ч воды для средних условий охлаждения в перечисленных ниже сооружениях может приниматься:

Вид охладителя	**Его активная площадь, $м^2$**
Пруды-охладители	30,0–40,0
Бассейны брызгальные	0,8–1,3
Градирни открытые:	
брызгальные	0,35–0,6
капельные	0,25–0,5
Градирни башенные:	
брызгальные	0,3
капельные	0,25
пленочные	0,15
Градирни вентиляторные:	
брызгальные	0,16–0,20
капельные	0,12–0,15
пленочные	0,10–0,12

Из этих данных видно, что по эффективности охлаждения воды (на единицу площади охладителя) лидируют при прочих равных условиях вентиляторные градирни 6 (рис. 1.6) — до 0,1 $м^2$. У них же минимальные потери воды с капельным выносом влаги. Однако из-за роста платы за электроэнергию в современной России в новом строительстве получают распространение и более габаритные башенные градирни 5 [9].

Глубина прудов рекомендуется до 3,0 м, брызгальных бассейнов — 1,5–1,8 м. Площади оросителя башенных градирен принимаются в пределах 10–2400 $м^2$ при общей высоте градирен от 18 до 50 м.

Технологический контроль за работой градирен включает в себя сбор и анализ следующих видов информации: измерение и регистрация в журнале температур нагретой и охлажденной воды, параметров атмосферного воздуха, расхода воды на градирню, данных о загрязнениях оборотной воды и их концентрации; сведения об эффективности работы отдельных элементов: оросителя, водоразбрызгивающих устройств, водоуловителя, противообледенительной системы и др., вентиляторной установки и др.

Температура наружного воздуха по сухому и смоченному термометрам измеряется с помощью психрометра на расстоянии до

50 м от градирни. Температуру воды измеряют ртутными стеклянными термометрами или электротермометрами при прямом контакте с водой.

Оценку охлаждающей способности градирен производят путем сопоставления расчетных температур охлажденной воды с температурами, полученными при испытаниях, а также по коэффициентам массоотдачи.

1.10. Упражнения и задачи

К параграфу 1.1

1.1.1. Определить общую и некарбонатную жесткость по результатам анализа воды, представленным графически на рис. 1.1, *а*, где общая жесткость определяется суммой концентраций катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} и равна 7,5 мг-экв/дм^3.

Решение. Из рис. 1.1, *а*, видно, что 4,5 мг-экв/дм^3 Ca^{2+} компенсированы ионами HCO_3^-. Остальная часть катионов жесткости, т.е. 0,5 мг-экв/дм^3 Ca^{2+} и 2,5 мг-экв/дм^3 Mg^{2+}, компенсирована анионами сильных кислот. Таким образом, некарбонатная жесткость этой воды равна 0,5 + 2,5 = 3 мг-экв/дм^3.

1.1.2. Рассчитать ориентировочно концентрацию карбоната натрия в растворе, имеющем pH 10,7, при температуре 20°С, полагая, что ионные и активные концентрации равны, отношение $(CO_3^{2-})/(HCO_3^-)$ равно 2,1/1 и в растворе не существует других видов карбонатов.

Решение. Часть карбоната натрия дает ионы карбонатов, а часть гидролизуется согласно уравнению

$$CO_3^{2-} + H_2O = HCO_3^- + OH^-.$$

В силу того что каждый образованный ион бикарбоната способствует появлению иона гидроксида, имеем

$$[HCO_3^-] = [OH^-].$$

Однако

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]} = \frac{10^{-14,167}}{10^{-10,7}} = 10^{-3,467},$$

где K_w — ионное произведение воды.

Следовательно,

$$[HCO_3^-] = 10^{-3,467}$$

и наконец,

$$[CO_3^{2-}] = 2,1 \times 10^{-3,467}.$$

Тогда

$$[CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] = 3,1 \times 10^{-3,467} \text{моль} = 3,1 \times 10^{-3,467} \times 106 \times 10_3 \text{ мг/дм}^3 =$$

$$= 112 \text{ мг/дм}^3 \ Na_2CO_3,$$

где 106 — молекулярная масса Na_2CO_3.

К параграфу 1.2

1.2.1. На примере водоснабжения г. Москвы рассмотреть организацию контроля качества водопроводной воды.

Решение. В г.Москве с десятимиллионным населением эксплуатируется одна из крупнейших в Европе городских систем водоснабжения. Среднесуточное потребление питьевой воды городом составляет в среднем 5 млн м^3, что в пересчете на год составляет около 2 км^3.

Водоснабжение города Москвы и части населенных пунктов Московской области осуществляется в основном из поверхностных источников. Вода подается потребителю после двухступенчатой очистки, которая осуществляется на четырех водопроводных станциях. Рублевская и Западная водопроводные станции забирают воду из Москворецко-Вазузского источника; Северная и Восточная водопроводные станции — из Волжского источника.

Контроль качества воды на водоочистных станциях (в пределах ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая») проводится на всех стадиях обработки по всем технологическим линиям. Микробиологические показатели, характеризующие безопасность воды в эпидемиологическом отношении, определяют 2 раза в сутки, органолептические (запах, цветность, мутность) — 6–12 раз в сутки (при ухудшении качества воды водоисточника — 12–24 раза в сутки). Остаточный хлор определяют ежечасно. На каждой водопроводной станции ежесуточно проводится около 1000 химических определений, 100 бактериологических и 20 гидробиологических.

Изменение общей экологической обстановки с каждым годом требует расширения круга контролируемых параметров качества воды и развития прецизионных методов его контроля. Увеличивается список веществ, содержание которых нормируется в воде. В настоящее время проводится ежемесячный контроль по содержанию в воде хлороформа, четыреххлористого углерода, дихлорбромметана, фосфорорганических пестицидов, калия, натрия, лития, серебра, хрома, кадмия, никеля, кобальта, бария, ртути и фенолов.

Система подачи и распределения воды в г.Москве включает в себя 10,5 тыс. км водопроводной сети, 10 городских насосных станций и 6 регулирующих узлов. Общая вместимость регулирующих узлов составляет 1,2 млн $м^3$, водопроводная сеть — радиально-кольцевая. Основным материалом, используемым при строительстве, является сталь, и 72,3% водопроводных сетей г. Москвы составляют стальные трубопроводы, 25,9% — чугунные, 1,8% — из искусственных материалов.

Вода от очистной станции до потребителя в центре города движется в трубах несколько часов, проходя десятки километров, что, естественно, влияет на ее качество. По мере удаления от источника несколько (на 0,2–0,3 $мг/дм^3$) повышается мутность, увеличивается содержание железа (на 0,02–0,03 $мг/дм^3$), снижается количество остаточного хлора (на станции 1,0 $мг/дм^3$, у потребителя — до 0,2 $мг/дм^3$). Незначительные изменения качества воды имеют место в городских резервуарах по тем же показателям.

В связи с этим регулярно проверяют качество воды в более чем 500 действующих водоразборных колонках. При этом колонки, находящиеся на сетях централизованного водоснабжения, контролирует лаборатория Мосводоканала 2 раза в год (около 300 шт.). Там, где снабжение водой осуществляется от артезианских скважин, колонки обследуют 2 раза в год (более 200 шт.). В случае неудовлетворительного качества воды колонку немедленно выключают, проводят ее дезинфекцию, промывку и взятие повторных проб. Чаще всего неудовлетворительное качество бывает в колонках с разбором воды 1–2 ведра в сутки. За такими колонками установлен особый контроль и отбор проб здесь производится гораздо чаще.

Новые трубопроводы диаметром до 800 мм подвергаются предварительной промывке с помощью поролонового поршня, в процессе движения которого вода, проходя с большой скоростью через кольцевой зазор между стенками трубы и поршнем, смывает со стенок трубы частицы песка, грунта, случайные

предметы и выносит их до выпуска. Дезинфекцию трубопроводов осуществляют традиционными хлорсодержащими реагентами: хлорной известью, жидким хлором и гипохлоритом натрия. После сбросов хлора трубопровод промывают до получения двух удовлетворительных анализов и пускают в эксплуатацию (в противном случае предстоит повторная промывка).

Необходимо отметить, что контроль за санитарным состоянием сетей осуществляют еще и органы санитарного надзора, которые регулярно проводят выборочные отборы проб воды в жилом секторе столицы, ее учреждениях, организациях, в водопроводных колонках и др.

1.2.2. Установить число (n) параллельных проб подземной воды для анализа содержания в ней общего железа, чтобы случайная ошибка аналитического определения среднего арифметического значения по выборке из n проб с вероятностью 95% находилась в пределах $\Delta Fe_{общ\,i} = \pm 0{,}025$ мг/дм^3. Результаты анализов подземной воды на содержание в ней общего железа, выполненных в течение одних суток, приведены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Содержание растворенного железа в пробах подземной воды и расчет среднего квадратического отклонения (σ) для них

№ пробы	Концентрация $Fe_{общ\,i}$, мг/дм^3	Среднее арифметическое значение $Fe_{общ}$, мг/дм^3	Квадраты отклонений от среднего, мг/дм^3
1	1,12	5,66: 5 =1,13	0,0001
2	1,15		0,0004
3	1,11		0,0004
4	1,16		0,0009
5	1,12		0,0001
$\Sigma Fe_{общ\,i} = 5{,}66$			$\Sigma(\Delta Fe_{общ\,i}) = 0{,}0019$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta Fe_{общ\,i})}{n-1}} = \sqrt{\frac{0{,}0019}{5-1}} = \pm 0{,}022 \text{мг/дм}^3. \qquad (1.7)$$

Обозначения членов в формуле (1.7) приведены выше.

Решение. Рассматривая приведенные в табл. 1.11 результаты анализов $Fe_{общ\,i}$ как малую выборочную совокупность из нормаль-

но распределенной генеральной совокупности всех возможных результатов анализов, воспользуемся для нахождения n аппаратом математической статистики. Как следует из закона Гаусса,

$$n = \frac{t^2 \times \sigma^2}{(\Delta Fe_{общ})^2}, \qquad (1.8)$$

где t — критерий, зависящий от вероятности прогноза и числа определений в выборке.

Из специальных статистических таблиц для 95%-ной вероятности и объема выборки, равной 5, $t = 2{,}78$.

Тогда $n = 2{,}78^2 \times 0{,}022^2/0{,}025^2 \approx 6$ проб.

К параграфу 1.3

1.3.1. В связи с резким повышением стоимости привозного сернокислого алюминия $Al_2(SO_4)_3$ разработать технический регламент извлечения его из осадка цеха водоподготовки на Ефремовском заводе по производству синтетического каучука для повторного использования. В этом цехе годовой объем алюминийсодержащего осадка в цехе водоподготовки составлял 40 тыс. м^3.

Решение. Производим регенерацию алюминия из осадка разбавленным (1,5%-ным) раствором серной кислоты (в цехе такую кислоту получают после промывки Н-катионитовых фильтров). Количество алюминия, переходящего в раствор в зависимости от величины pH осадка, составляет:

pH	6	5	4	3	2
Al^{3+}, мг/дм^3	2,5	5	55	620	970

Из этих данных следует, что при pH = 2–3 основная часть алюминия, находящегося в осадке в виде гидроксида, переходит в раствор.

Отделение жидкой фазы осадка с растворенным в ней алюминием предположительно осуществлялось на центрифуге. После сепарации от осадка жидкая фаза с содержащимся в ней растворенным алюминием с концентрацией 970 мг/дм^3 может быть использована для коагуляции речной воды.

1.3.2. Предложить схему контроля содержания некаля (натриевой соли дибутилсульфокислоты) в подземных водах на примере Воронежского завода по производству синтетического каучука. Он используется в качестве эмульгатора при производстве каучуков эмульсионной полимеризации. Некаль не поддается биохимическому распаду, при поступлении вместе со сточными водами на поля фильтрации он способен проникать в глубокие подземные горизонты и загрязнять грунтовые воды. Особенно сильно некалем загрязнены водоносные горизонты в районе бывших полей фильтрации. Здесь содержание некаля в подземной воде достигало 200 мг/дм^3 и выше при ПДК некаля в воде водных объектов 0,1 мг/дм^3.

Решение. Принят к реализации двухстадийный физико-химический способ очистки подземных вод. На первой стадии происходит осаждение некаля на хлопьях алюмината натрия до остаточной концентрации 60–70 мг/дм^3, на второй — окисление некаля озоном. Очищенную воду с остаточной концентрацией некаля до 1 мг/дм^3 сбрасывают в систему водоотведения. Выделенный после первой стадии очистки осадок утилизируют.

1.3.3. Определить длину l_0 тонкослойного элемента, размещаемого в действующем горизонтальном отстойнике для контроля содержания мутности в отстоенной воде. Общий вид элемента показан на рис. 1.7.

Тонкослойные элементы прямоугольного сечения имеют размеры в плане 0,05 × 0,05 м (высота × ширина) и угол наклона $\alpha = 60°$.

Качество исходной воды: цветность — 100 град; содержание взвеси — 50 мг/дм^3; доза коагулянта — 60 мг/дм^3 по безводному продукту; расчетная скорость осаждения взвеси $u_0 = 0{,}3$ мм/с $\approx 1{,}1$ м/ч. В паводковый период отмечается увеличение мутности отстоенной воды выше ПДК для отстойников этого типа (15 мг/дм^3 [6, п. 6.10]).

Значение нагрузки на сооружения по условиям накопления взвеси и исходя из расчетных объема зоны накопления осадка и периода межпродувочного цикла принято $V_н = 4$ м/ч.

Решение. Длина тонкослойных элементов определяется по формулам

$$l_0 = K_2 \times H_0 \times \left[\frac{V_н \times K_1}{u_0 \times (\beta \times K_{аг})} - 1\right] = 2{,}3 \times 0{,}05 \times \left(\frac{4 \times 2{,}4}{1{,}1 \times 1{,}15} - 1\right) = 0{,}76 \text{ м}; \quad (1.9)$$

$$K_1 = \frac{1}{K_{ст} \times K_{и.о} \times K_к)} = \frac{1}{0{,}8 \times 0{,}7 \times 0{,}75} = 2{,}4; \quad (1.10)$$

$$K_2 = \frac{K_ф \times K_{ст}}{\sin\alpha \times \cos\alpha} = \frac{1{,}25 \times 0{,}8}{0{,}865 \times 0{,}5} = 2{,}3, \qquad (1.11)$$

где $K_к$ — конструктивный коэффициент, учитывающий отношение фактической открытой для движения воды площади тонкослойных элементов к общей площади зеркала воды отстойного сооружения (0,75); $K_{и.о}$ — коэффициент, определяющий гидравлическое совершенство тонкослойного сооружения и степень его объемного использования и рассчитываемый как отношение фактического к расчетному времени пребывания воды (0,7); $K_ф$ — коэффициент, учитывающий форму поперечного сечения тонкослойных элементов (1,25); β — коэффициент, учитывающий стесненное осаждение взвеси под тонкослойными элементами; $K_{аг}$ — коэффициент агломерации, учитывающий влияние осадка, выделяющегося из тонкослойных элементов, на интенсификацию хлопьеобразования ($\beta \times K_{аг} = 1{,}15$); $K_{ст}$ — коэффициент, учитывающий стеснение сечения потока в тонкослойном элементе сползающим осадком (0,8); K_1, K_2 — обобщенные расчетные коэффициенты.

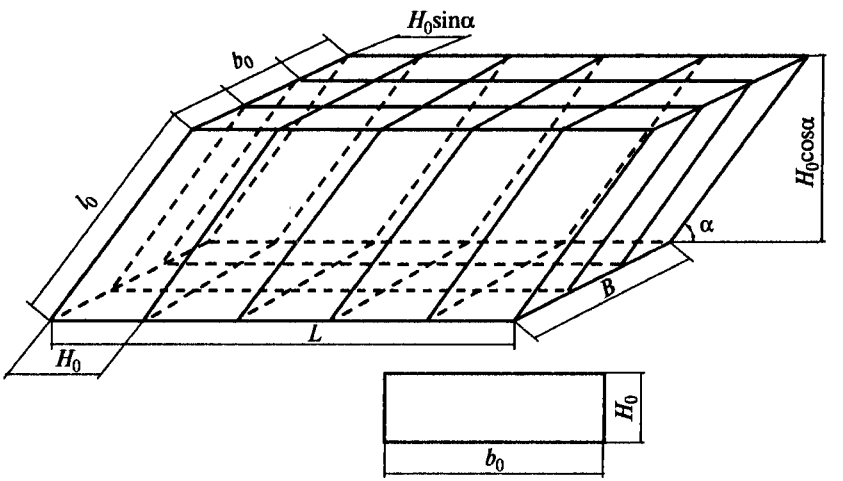


Рис. 1.7. Конструктивные параметры тонкослойных элементов в блоке:
b_0 — ширина тонкослойного элемента;
H_0 — высота тонкослойного элемента (0,05 м);
H — высота тонкослойного сотоблока;
L — длина тонкослойного сотоблока;
B — ширина тонкослойного сотоблока

Принимаем длину тонкослойных элементов равной $l_0 = 0{,}8$ м.

Пусконаладочные испытания реконструированного горизонтального отстойника со встроенным тонкослойным сотоблоком показали, что в период весеннего паводка в отстоянной воде мутность не превышает 15 мг/дм^3.

1.3.4. Определить и сравнить с нормативными потери очищенной воды на собственные нужды фильтра при продолжительности фильтроцикла, выбранной исходя из недопущения превышения в фильтрате ПДК мутности для хозяйственно-питьевого водоснабжения (1,5 мг/дм^3).

Решение. Рабочие характеристики двухслойного (антрацит + + кварцевый песок) фильтра площадью 100 м^2 приведены на рис. 1.8. Скорость фильтрования воды с исходной мутностью 4 мг/дм^3 составляет 6 м/ч. Промывка загрузки очищенной водой с интенсивностью 10 л/(с × м^2) длится 10 мин.



Рис. 1.8. Зависимость перепада давления (1) при фильтровании воды через загрузку и содержания мутности в фильтрате (2) от продолжительности фильтрования воды с начала фильтроцикла

Из рис. 1.8 видно, что повышение мутности в фильтрате сверх 1,5 мг/дм^3 происходит при увеличении сопротивления фильтрующего слоя до 25 кПа и продолжительности фильтроцикла 23,5 ч.

При этой продолжительности фильтроцикла объем очищенной воды за 1 фильтроцикл составит:

$$23{,}5 \text{ ч} \times 6 \text{ м/ч} \times 100 \text{ м}^2 = 14100 \text{ м}^3.$$

Потребление фильтрата на одну промывку загрузки будет равно

$$[10 \text{ мин} \times 10 \text{ л}/(\text{с} \times \text{м}^2) \times 100 \text{ м}^2 : 1000] \times 60 = 600 \text{ м}^3.$$

Следовательно, потери очищенной воды на собственные нужды фильтра составят

$$600 \times 100 : 14100 = 4{,}25\%,$$

что близко к норме [6, п. 6.6].

Следовательно, продолжительность фильтроцикла, равная 23,5 ч, является допустимой. Для сокращения расхода очищенной воды на промывку фильтрующей загрузки целесообразно последнюю продувать сжатым воздухом.

1.3.5. Пользуясь данными табл. 1.5 и 1.12, определить конструкцию бытового фильтра для очистки водопроводной воды от вторичных загрязнений с таким расчетом, чтобы довести ее показатели до требований нормативов (или даже улучшить их).

Решение. В табл. 1.12 даны наиболее демонстрационные показатели качества воды в некоторых жилых зданиях одного из районов Подмосковья.

Таблица 1.12

Основные показатели качества воды у абонентов очистной водопроводной станции

Показатель, размерность	ПДК	Фактическое значение (максимальное)
Цветность, градусы	20	50
Мутность, мг/дм³	1,5	6,67
Остаточный хлор, мг/дм³	0,8–1,2	3,12
Остаточный аммоний, мг/дм³	0,5	1,3
Железо, мг/дм³	0,3	3,06

Из табл. 1.12 следует, что все перечисленные в ней показатели превышают соответствующие ПДК.

Основываясь на сведениях, приведенных в табл. 1.5, проанализируем возможности очистки исследуемой воды на бытовых фильтрах по каждому показателю.

Цветность водопроводной воды в 2,5 раз превышает норматив. Цветность вызывается наличием в воде крупных органичес-

ких молекул, комплексных соединений железа и других металлов или ионов меди и кобальта. Следовательно, она может быть устранена на мембранных, сорбционных или катионообменных фильтрах.

Мутность воды, обусловленная механическими примесями и водорослями, может быть устранена фильтрами любого типа; бактериальные загрязнения удаляются мембранными или сорбционными фильтрами.

Концентрацию остаточного хлора, изменяющую органолептические свойства воды (запах), можно корректировать на мембранных (кроме микрофильтрационных) или сорбционных фильтрах.

Концентрация остаточного аммония снижается при фильтровании через обратноосмотические мембраны методами сорбции и ионного обмена.

Избыточная концентрация железа в трехвалентной форме устраняется фильтрованием через механический, мембранный или сорбционный фильтр. Двухвалентное железо — методами сорбции ионного обмена или путем окисления его в трехвалентное железо и последующего фильтрования через механический фильтр.

Таким образом, для доведения показателей качества водопроводной воды до нормативного уровня необходимо использовать бытовой фильтр, в конструкции которого есть механический блок для снижения мутности воды, сорбционный или мембранный блок для снижения цветности и остаточного хлора и катионообменный блок для снижения концентрации остаточного аммония. При снижении мутности воды на механическом фильтре будет происходить и уменьшение содержания железа в ней, поэтому следует выбрать фильтр с минимальным размером пор.

К параграфу 1.4

1.4.1. Определить необходимую стартовую дозу хлора для обеззараживания подземной воды с pH = 7,0 перед транспортированием ее по водоводу протяженностью 6 км для средней температуры 10°С и мутности воды < 3 мг/дм^3.

Решение. При контроле режима дезинфекции поверхностных вод все большее распространение находит индекс, получивший шифр «СТ» и представляющий собой произведение дозы дезинфектанта в миллиграммах на 1 дм^3 на время прохождения обработанной воды до первого потребителя в мин.

Требуемые значения индекса СТ для обеззараживания слабомутной воды (мутность < 3 мг/дм^3) только дезинфектантами (без

предварительного ее фильтрования) по зарубежной практике приведены в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Индекс CT в мг/(дм³ х мин)
(минимально необходимые значения для инактивации воды на 99,9 % по лямблиям различными дезинфектантами)

Дезинфектант	pH	Температура, °С				
		0,5	5	10	15	20
Хлор (при остаточном свободном содержании 2 мг/дм³)	6	170	120	90	60	46
	7	260	190	130	100	70
	8	380	270	190	140	101
	9	520	370	260	190	139
Озон	6–9	4,5	3	2,5	2	1,5
Диоксид хлора	6–9	81	54	40	27	21
Хлорамин	6–9	3300	2300	1700	1100	830

В табл. 1.13, наряду с традиционной очисткой воды от бактерий *Coli*, нормируется удаление из воды лямблий и энтеровирусов: в процентах соответственно на 99,9 и 99,99. При этом предполагается, что 99,9%-ная инактивация по лямблиям гарантирует 99,99%-ную инактивацию по энтеровирусам.

Для условий данного упражнения по табл. 1.13 величина индекса CT = 130. При средней минимальной скорости движения воды в трубопроводе 1,2 м/с = 0,072 км/мин расчетное время пребывания воды в водоводе будет

$$6 \text{ км} : 0{,}072 \text{ км/мин} \approx 85 \text{ мин}.$$

Тогда доза хлора составит

$$130 : 85 = 1{,}5 \text{ мг/дм}^3.$$

Эта доза должна быть средней по наименьшим ежедневным определениям хлора в воде.

В случае дополнительного фильтрования слабомутной воды нормативная величина индекса CT уменьшается для хлора почти в 3 раза при прочих равных условиях. Резко снижается CT для хлорамина, что дает возможность использовать преаммонизацию воды для уменьшения стартовых доз хлора, а это, в свою очередь,

снижает опасность внутренних коррозионных разрушений конструкционных металлов.

К параграфу 1.5

1.5.1. Для удаления железа из воды используется его способность образовывать нерастворимый в воде гидроксид железа $Fe(OH)_3$, константа растворимости которого равна $4{,}0 \times 10^{-38}$. Определить количество железа, остающегося в растворе при pH = 5 и 10.

Решение. При pH = 5 величина pOH = 14 – 5 = 9 и, следовательно, $[OH^-] = 10^{-9}$ моль/дм^3.

Используя выражение для произведения растворимости, находим, что

$$[OH^-]^3 \times [Fe^{3+}] = 4{,}0 \times 10^{-38} \text{ моль}^2/\text{дм}^3,$$

откуда:

$$[Fe^{3+}] = \frac{10^{-38}}{[OH^-]^3} = \frac{4{,}0 \times 10^{-38}}{(10^{-9})^3} = 4 \times 10^{-11} \text{моль/дм}^3.$$

Аналогичным образом определяем количество железа, остающегося в растворе при pH = 10:

$$[Fe^{3+}] = \frac{4{,}0 \times 10^{-38}}{(10^{-4})^3} = 4 \times 10^{-26} \text{моль/дм}^3.$$

Растворимость гидроксида железа в воде при pH = 10 более чем в миллиард раз меньше, чем при pH = 5, при прочих равных условиях.

Необходимо отметить, что железо может существовать как в виде двухвалентного Fe^{2+}, так и трехвалентного Fe^{3+}. В данном случае, если количество железа, находящегося в растворе при pH = 5, поддается оценке, оно не является трехвалентным железом.

К параграфу 1.6

1.6.1. Определить, стабильна ли вода в озере Истихед, и наметить программу ее стабилизации. Озерная вода имеет следующий физико-химический состав: температура 6°C, pH = 6,2, соле-

содержание 160 мг/дм^3, щелочность 0,08 мг-экв/дм^3, содержание, мг/дм^3: Ca^{2+} = 6; CO_2 = 8; SiO_2 = 0,1; Cl^- = 83; SO_4^{2+} = 8; Mg^{2+} = 4; ΣАн = 2,55 мг-экв/дм^3. Натурные наблюдения за коррозионной стойкостью конструкционных сталей сети и оборудования показывают, что они в процессе эксплуатации подвергаются интенсивному разрушению при контакте с водой.

Решение. Оценим стабильность воды в совокупности с помощью следующих индексов стабильности:

$$\text{индекс Ризнера} = 2pH_S - pH,$$

где pH_S и pH — водородный показатель воды соответственно гипотетический, рассчитываемый по методике [6], и фактический;

$$\text{индекс Ланжелье} = pH - pH_S;$$

$$\text{индекс Ларсена} = \frac{48 \times (Cl^-) + 35{,}5 \times (SO_4^{2-})}{85200 \times Щ},$$

где Cl^- и SO_4^{2-} — концентрация соответственно хлоридов и сульфатов, мг/дм^3; Щ — щелочность воды, мг-экв/дм^3;

$$\text{индекс агрессивности} = pH + \lg (Ca^{2+} \times Щ),$$

где Ca^{2+} и Щ — исходная концентрация соответственно ионов кальция и щелочности воды, мг/дм^3 $CaCO_3$;

$$\text{индекс Кесил} = 0{,}05 \times Ca^{2+} + 0{,}83 \times Mg^{2+} + 0{,}016 \times HSiO_3 - 0{,}5 \times \Sigma Ан,$$

где Ca^{2+}, Mg^{2+} и $HSiO_3$ — концентрации соответственно кальция, магния и силикатов в мг/дм^3; ΣАн — сумма анионов воды, мг-экв/дм^3.

Результаты вычислений индексов стабильности озерной воды сведены в табл. 1.14.

Из данных табл. 1.14 видно, что по расчетному индексу Ланжелье озерная вода характеризуется как нестабильная и способная к растворению карбоната кальция, а по интегральным индексам — как коррозионная.

Произведенный по рекомендации [6] выбор технологии стабилизационной обработки ее и расчет требуемых доз показал, что

необходим одновременный ввод двух реагентов: извести и углекислого газа, исходя из условия поддержания в обработанной воде pH ≤ 9,0.

Таблица 1.14

Расчетная оценка стабильности озерной воды

Индекс	Значение		Характеристика воды
	фактическое	критическое	
Ризнера	14,8	7	В высшей степени коррозионна
Ланжелье	–4,3	0	Агрессивна
Ларсена	0,63	0,2	Коррозионна
Агрессивности	7,98	12	Очень коррозионна
Кесил	–2,34	0,1	Очень коррозионна

1.6.2. Исходя из стехиометрии соответствующих реакций электрохимической коррозии железа с кислородной деполяризацией дать сравнительную оценку влияния кислорода O_2 и диоксида углерода CO_2 на процесс разрушения металла в пресной воде.

Решение. При отсутствии в воде диоксида углерода протекает следующая реакция взаимодействия кислорода с корродирующей поверхностью конструкционных сталей:

$$4Fe + 3O_2 + 6H_2O = 4Fe(OH)_3.$$

Коррозионный коэффициент кислорода K_{O_2}, представляющий собой отношение массы металла, переведенного в продукт коррозии, к расходу прореагировавшего газа, при этой реакции составляет:

$$K_{O_2} = 4Fe : (3 \times O_2) = 4 \times 56 : 3 \times 32 = 2{,}33.$$

Диоксид углерода играет роль катализатора кислородной коррозии. При его наличии в воде каждая молекула прореагировавшего кислорода переводит в продукты коррозии четыре молекулы железа:

$$4Fe(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Fe(OH)_3 + 8CO_2.$$

Для этого процесса коррозионный коэффициент кислорода составляет:

$$K_{O_2} = 4Fe : O_2 = 4 \times 56 : 32 = 7.$$

Таким образом, присутствие в воде свободного диоксида углерода в три раза повышает интенсивность кислородной коррозии металла.

К параграфу 1.7

1.7.1. Определить количество осадка, образующегося в процессе умягчения известью 8400 м^3 воды, содержащей 450 кг Ca и 200 мг Mg.

Решение. Ниже приводится упрощенная форма записи стехиометрических уравнений происходящих реакций:

$$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O;$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 \rightarrow Mg(OH)_2\downarrow + 2CaCO_3 + H_2O.$$

Если в воде растворен углекислый газ, то для его нейтрализации требуется определенное количество гашеной извести. Кроме того, необходимо дополнительное количество гашеной извести, чтобы величина pH раствора достигла уровня, при котором углекислый кальций выпадает в осадок.

Из приведенных выше уравнений следует, что на каждый удаленный моль Ca мы получим два моля $CaCO_3$ и на каждый удаленный моль Mg — два моля $CaCO_3$. Кроме того, на каждый удаленный моль Mg образуется моль $Mg(OH)_2$.

Удаленные моли Ca и Mg составляют соответственно

420 кг Ca / 40 кг на кг-моль = 10,5 кг-моль и

200 кг Mg / 24,3 кг на кг-моль = 8,23 кг-моль.

Образующийся твердый осадок состоит из

$2(10,5) + 2(8,23) = 37,46$ кг-моль $CaCO_3$ и

$1(8,23) = 8,23$ кг-моль $Mg(OH)_2$.

Масса 1 кг-моль $CaCO_3$ составляет

$$40 + 12 + 3 \times 16 = 100 \text{ кг},$$

а масса 1 кг-моль $Mg(OH)_2$

$$24{,}3 + 2 \times 16 + 2 \times 1 = 58{,}3 \text{ кг}.$$

Преобразуя молярные единицы в единицы массы, получим, что общая масса образующегося осадка составляет

(100 кг/кг-моль) × (37,46 кг-моль) + (58,3 кг/кг-моль) × × (8,23 кг-моль) = 4226 кг.

Несмотря на то что при расчетах были использованы упрощенные стехиометрические уравнения, полученный результат достаточно хорошо согласуется с опытными данными, по которым при умягчении 8400 м^3 воды образуется 4—5 т твердых отходов.

1.7.2. Необходимо с помощью ионообменной технологии получить 1 дм^3/с воды жесткостью 2 мг-экв/дм^3 из исходной воды жесткостью 10 мг-экв/дм^3.

Решение. Вода, очищенная ионообменной смолой, будет иметь нулевую жесткость. В соответствии с материальным балансом солей жесткости в системе очистки количество воды (x), которая будет проходить мимо катионитового фильтра, составит

10 мг-экв/дм^3 × x дм^3/с + 0 мг-экв/дм^3 × $(1 - x)$ дм^3/с = 1 дм^3/с × × 2 мг-экв/дм^3,

откуда $x = 0{,}2$ дм^3/с, а 0,8 дм^3/с подвергается обработке на катионитовом фильтре. При этом удаляется (0,8 дм^3/с) × (86400 с/сут) × × (0,01 г-экв/дм^3 жесткости) = 691,2 г-экв жесткости в сутки.

При обменной способности катионита из сульфоугля 570 г-экв на 1 м^3 и количестве регенераций 1 раз в сутки его объем составит

$$\frac{691{,}2 \text{ г-экв удаленной жесткости}}{570 \text{ кг/м}^3} = 1{,}21 \text{ м}^3.$$

Обычно высота слоя катионита 1—2 м.

При удельном расходе поваренной соли на регенерацию катионита, равном 160 кг/м^3, потребность в ней на 1 регенерацию составит

$$(1{,}21 \text{ м}^3) \times (160 \text{ кг/м}^3) = 193{,}6 \text{ кг NaCl}.$$

На регенерацию расходуется соль в виде 10%-ного водного раствора. Объем раствора при его плотности 1064 кг/м^3 составит

$$193{,}6 \text{ кг} : 1064 \text{ кг/м}^3 = 0{,}18 \text{ м}^3.$$

Отработанный регенерационный раствор содержит натрий, хлориды, кальций и магний. Жесткость, перенесенная из исходной воды в регенерационный раствор, концентрируется в

$$(691{,}2 \text{ г-экв} : 0{,}18 \text{ м}^3) : 10 \text{ г-экв/м}^3 = 384{,}5 \text{ раза}.$$

К параграфу 1.8

1.8.1. Определить коэффициент упаривания воды в охлаждающей системе оборотного водоснабжения и установить, идет ли процесс выпадения кальцийсодержащих солей [$CaCO_3$, $CaSO_4$ и $Ca_3(PO_4)_2$] в осадок в ней. Режим работы этой системы запроектирован следующим образом. Добавка подпиточной воды компенсирует только потери циркуляционной воды на испарение и капельный унос. Продувка системы и обработка циркуляционной воды хлором, а также ингибиторами коррозии и накипеобразования не производятся. Охлаждение нагретого продукта осуществляется в кожухотрубном теплообменнике.

Спустя год после начала эксплуатации системы в подпиточной и циркуляционной воде определеио содержаиие ионов кальция и хлоридов. Установлены следующие их концентрацин:

	Подпиточная вода	Циркуляционная вода
Ca^{2+}, мг-экв/дм^3	1,8	2,5
Cl^-, мг/дм^3	41	82

Решение. В соответствии с формулой (1.6) по хлоридам находим:

$$K_y^{Cl} = \frac{82}{41} = 2.$$

Эта величина может быть принята в качестве искомой величины коэффициента упаривания воды в рассматриваемой системе оборотного водоснабжения.

В то же время в отношении кальция

$$K_{\text{у}}^{\text{Ca}} = \frac{2,5}{1,8} = 1,39.$$

Поскольку $K_{\text{у}}^{\text{Ca}} < K_{\text{у}}^{\text{Cl}}$, то в системе имеет место выпадение кальцийсодержащих солей. Контрольные вскрытия теплообменника обнаружили бугристые солевые отложения на омываемых охлаждающей водой поверхностях трубок толщиной 5–7 мм. В результате этого исследования было принято решение о ремонте теплообменника.

1.8.2. Рассмотреть способы упрощенного качественного анализа отложений в системах технического водоснабжения.

Решение. Белый цвет свидетельствует об отсутствии в отложениях оксидов железа и меди. Серый, бурый и черный цвета указывают на наличие в отложениях Fe_2O_3, Fe_3O_4 и CuO. Черные блестящие отложения с металлическим блеском, прочно сцепленные с металлом, свидетельствуют о протекании пароводяной коррозии и о том, что отложения состоят почти из одного магнетита Fe_3O_4. Красные блестки указывают на присутствие металлической меди.

Полная растворимость отложений в воде свидетельствует об отсутствии в них Ca, Mg, Fe, SiO_2, Cu, Al и Zn. Выделение пузырьков газа CO_2 при обработке отложений соляной кислотой указывает на наличие в них $CaCO_3$. Иногда в отложениях могут присутствовать сульфиды S^{2-} и сульфиты SO_3^{2-}, обусловливающие специфический запах.

Желтый цвет соляно-кислого раствора отложений указывает на наличие в отложениях оксидов железа, преимущественно Fe_2O_3. Сине-голубой цвет соляно-кислого раствора отложений после обработки его избытком NH_3 свидетельствует о присутствии в отложениях меди. Белый цвет нерастворимого остатка после обработки отложений соляной кислотой (лучше при кипячении и сливе раствора с осадка) указывает на наличие в отложениях силикатов $CaSiO_3$, $MgSiO_3$ и SiO_2.

К параграфу 1.9

1.9.1. Требуется модернизировать конструкцию малогабаритной поперечно-точной градирни с нижним расположением вентилятора, повысив ее производительность за счет интенсификации тепломассообмена между водой и воздухом, а также уменьшения выброса

влаги. Сетчатые элементы оросителя, воздухораспределительного устройства и водоуловителя выполнены из полых с решетчатой поверхностью длинномерных элементов треугольного сечения. Последние изготовлены в виде призм из полиэтилена низкого давления марки 273–79.

Решение. На рис. 1.8 дано схематичное изображение градирни, в значительной мере отвечающей поставленной задаче.

Градирня содержит горизонтальный корпус 1 с воздухоподводящим раструбом 7, в котором установлен нагнетательный вентилятор 6, водораспределителем 8 с форсунками 9 в верхней части корпуса, оросителем 10, воздухораспределительным устройством 5 и водоуловителем 3, установленными в горизонтальном корпусе 1 по ходу движения воздуха после оросителя 10, воздухоотводящим раструбом 2 и резервуаром охлажденной воды 4 в нижней части корпуса с водоотводом.

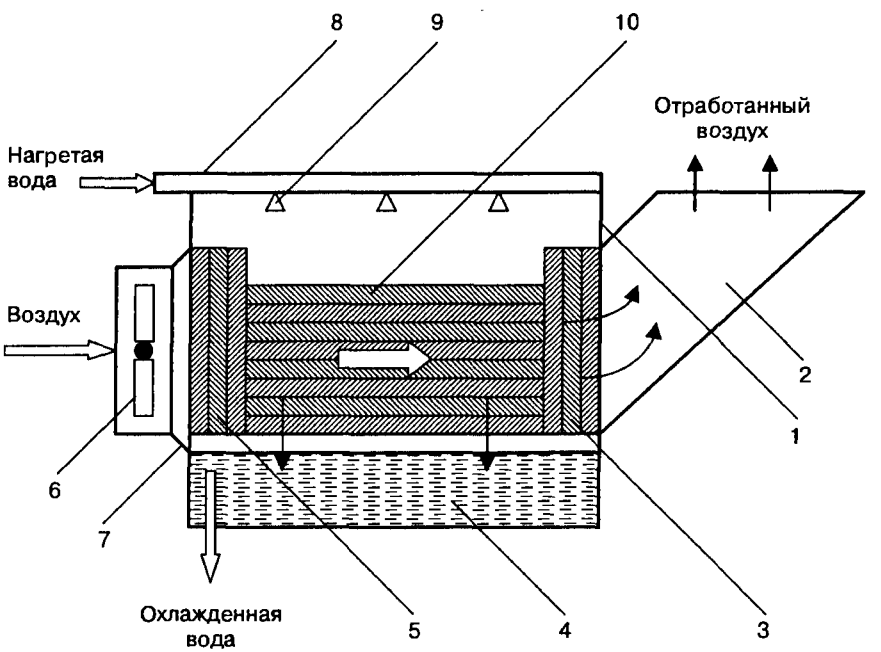


Рис. 1.8. Схема поперечно-точной градирни с сетчатым оросителем: 1 — корпус; 2 — воздухоотводящий раструб; 3 — водоуловитель; 4 — резервуар охлажденной воды; 5 — воздухораспределительное устройство; 6 — вентилятор; 7 — раструб; 8 — водораспределитель; 9 — форсунки; 10 — ороситель

Сетчатые элементы оросителя 10, воздухораспределительного устройства 5 и водоуловителя 3 выполнены из полых с решетчатой поверхностью длинномерных элементов насадки, при этом воздухораспределительное устройство 5 и водоуловитель 3 выполнены из трех–шести слоев параллельно уложенных сетчатых элементов, расположенных перпендикулярно направлению движения воздуха с чередованием в соседних слоях продольной и поперечной укладки сетчатых элементов.

Градирня работает следующим образом. Подвергаемую охлаждению воду подают в водораспределитель 8, расположенный в верхней части горизонтального корпуса 1 градирни, откуда через форсунки 9 ее разбрызгивают на верхнюю поверхность сетчатых элементов оросителя 10 с ориентацией каналов вдоль движения воздушных потоков. Через воздухоподводящий раструб 7 вентилятором 6 в градирню нагнетают воздух, поток которого дробят в воздухораспределительном устройстве 5, выполненном из трех–шести слоев параллельно уложенных сетчатых элементов, расположенных перпендикулярно направлению движения воздуха с чередованием в соседних слоях продольной и поперечной укладки сетчатых элементов. Такое расположение сетчатых элементов позволяет максимально равномерно распределить поток воздуха перед подачей его в ороситель 10, где охлаждающий воздух вступает в контакт с охлаждаемой водой. Струйки воды по мере движения вниз и под действием потока воздуха на сетчатом оросителе 10 многократно дробятся, распадаются на капли, которые постоянно меняют свою поверхность, что позволяет существенно увеличить интенсивность тепломассообмена между водой и воздухом. С нижнего ряда оросителя 10 охлажденная вода поступает в резервуар 4, расположенный в нижней части горизонтального корпуса 1, и через водоотвод направляется потребителю. Поток воздуха по мере прохождения через ороситель 10 нагревается и увлекает за собой мельчайшие капли охлаждаемой воды. На выходе из оросителя 10 воздух поступает в водоуловитель 3, состоящий из трех–шести слоев параллельно уложенных сетчатых элементов, расположенных перпендикулярно направлению движения воздуха с чередованием в соседних слоях продольной и поперечной укладки сетчатых элементов. Такое исполнение водоуловителя 7 позволяет разбить поток отводимого воздуха на многочисленные мельчайшие потоки, при этом капли воды, отделяемые от воздуха, также опускаются в резервуар 4. Увлажненный воздух выводится из градирни через воздухоотводящий раструб 2.

Количество слоев сетчатых элементов воздухораспределительного устройства 5 и водоуловителя 3 должно быть не менее трех, так как только такое количество слоев изначально позволяет равномерно распределить воздух на входе в ороситель и предотвратить капельный унос на выходе из него, а количество слоев более шести увеличивает сопротивление, которое необходимо преодолеть вентилятору при нагнетании воздуха, что приводит к снижению расхода воздуха через градирню, а следовательно, снижает тепломассообмен.

Технический результат от использования предложенной градирни заключается в снижении температуры охлаждаемой воды для средних условий на 2–3°С по сравнению с прототипом.

Раздел 2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

2.1. Общие положения

Контроль за работой очистных сооружений и сбросом сточных вод проводится для предупреждения и прекращения загрязнения водных объектов неочищенными и недостаточно очищенными сточными водами, а также повторного их использования в промышленности и сельском хозяйстве. Он включает в себя учет и регистрацию очистных сооружений; проверку эффективности очистки сточных вод; определение влияния сбрасываемых сточных вод на водные объекты и технологические процессы; выдачу предписаний по совершенствованию работы очистных сооружений.

Обследование очистных сооружений предполагает изучение проектных данных, технологической схемы и регламента работы очистных сооружений, а также их паспортов; ознакомление с ранее выданным разрешением на сброс очищенных сточных вод; проверку выполнения ранее выданных предписаний по улучшению работы очистных сооружений. Одновременно ведут контроль работы лаборатории, осуществляющей ведомственный контроль за эксплуатацией очистных сооружений. Причем особое внимание обращают на укомплектованность ее квалифицированными кадрами, оснащенность необходимым оборудованием, соблюдение согласованных с органами водоохраны методик, периодичности и объема анализов сточных вод, а также точек и порядка взятия проб, ведение отчетной документации, изучение данных лабораторного анализа сточных вод, поступающих на очистные сооружения, и сравнение их с проектными данными.

Во время обследования проверяют соблюдение регламентов на эксплуатацию каждого сооружения и организацию учета количества очищаемой воды, обращают внимание на степень автоматизации технологических процессов, подачу и дозирование реагентов, работу насосных станций, скребковых механизмов в отстойниках, регулирование работы аэрационных сооружений,

метантенков, механического обезвоживания осадков, обеззараживания хлором и других процессов, устанавливают соответствие находящихся в эксплуатации сооружений запроектированным.

При необходимости отбирают пробы и проводят анализ сточных вод для определения степени их очистки как на очистных сооружениях в целом, так и по отдельным ступеням. Место, время и способ взятия проб зависят от цели осуществляемой проверки и определяются в каждом конкретном случае с учетом режима работы очистных сооружений и возможных колебаний по времени состава и расхода сточных вод (рис. 2.1–2.3).

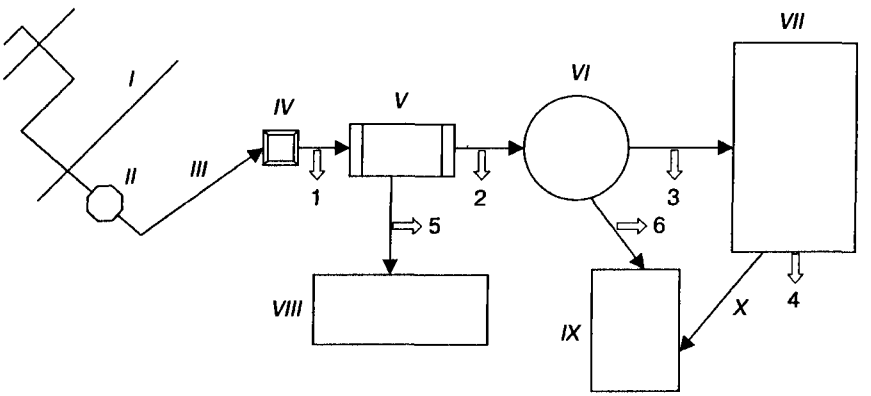


Рис. 2.1. Схема сооружений биологической очистки сточных вод в естественных условиях с указанием мест взятия проб (1–6) для лабораторного контроля:
I — сети водоотведения; II — насосная станция перекачки;
III — напорный водовод; IV — колодец-успокоитель; V — песколовка;
VI — первичный отстойник; VII — биологические пруды, поля фильтрации;
VIII — песковые площадки; IX — иловые площадки; X — дренажный канал;
⇨ — места взятия проб сточной воды

В табл. 2.1 дана характеристика состава указанных на рис. 2.1–2.3 проб и перечень определений, которые должны выполняться с их содержимым.

Необходимо отметить, что взятие проб производится в обязательном порядке на входе и выходе из очистных сооружений или проверяемой ступени очистки с учетом времени прохождения сточных вод через сооружения. По результатам контрольных анализов определяют эффективность работы очистных сооружений и оценивают достаточность очистки сточных вод на них.

В последние годы одновременно с физико-химическими анализами обрабатываемой воды проводят биологические ее исследования с использованием живых организмов. В качестве тест-объектов выбирается один организм из следующих четырех категорий:

- бактерии (*Pseudomonas*, *Mycobacterium*, *Escherchia Coli* и т.д.);
- водоросли (*Chlamydomonas*, *Dunaliella*, *Selenastrum* и т.д.);
- беспозвоночные (чаще всего ракообразные, но также черви, простейшие и т.д.);
- рыбы (форель, гольян, гуппии, карп и *Brachydanio*).

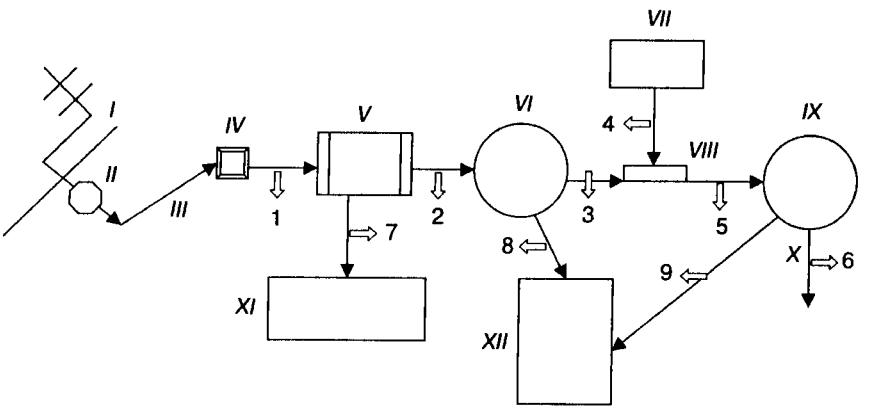


Рис. 2.2. Схема сооружений механической очистки сточных вод в естественных условиях с указанием мест взятия проб (1–9) для лабораторного контроля:
I–VI — те же, что на рис. 2.1; VII — хлораторная; VIII — смеситель ершового типа; IX — вторичный отстойник; X — сбросной коллектор; XI — песковые площадки; XII — иловые площадки; ⇨ — места взятия проб сточной воды

Эти тесты могут быть либо статическими, либо динамическими. В статике изучаются, например, поведение и физиологические рефлексы рыб в лабораторном аквариуме, заполненном исследуемой водой. Наблюдение за жизнедеятельностью подопытных рыб производится с помощью приборов, размещенных также в аквариуме и работающих в автономном режиме. Если в воду введены токсичные вещества, то физическое состояние рыб ухудшается, что фиксируется этими приборами.

В динамических условиях биологические тесты применяют для определения случайного загрязнения водотока. Обычно используются рыбы (чаще всего форель или карп).

Согласно п. 2 ст. 23 закона РФ №7-ФЗ «Об охране окружающей среды» нормативы контроля сбросов сточных вод должны устанавливаться на основе наилучших существующих технологий (НСТ) с учетом экономических и социальных факторов. В настоящее время в Российской Федерации достаточно широко применяются следующие НСТ: полная биологическая очистка (НСТ-1), полная биологическая очистка с доочисткой (НСТ-2), биологическая очистка с полным окислением (НСТ-3), биологическая очистка с нитри-денитрификацией (НСТ-4) и физико-химическая очистка (НСТ-5). Показатели, которые достигаются при этих технологиях, приведены в табл. 2.2. Из таблицы видно, что применяемые в нашей стране НСТ по основным показателям, за исключением фосфатов, соответствуют нормативам, установленным в странах ЕЭС. Следует, однако, отметить, что для большинства регионов Российской Федерации удаление фосфатов до концентрации ниже 2 мг/дм^3 нецелесообразно, так как 70–80% данного биогенного элемента поступает в водные объекты с неорганизованными стоками.

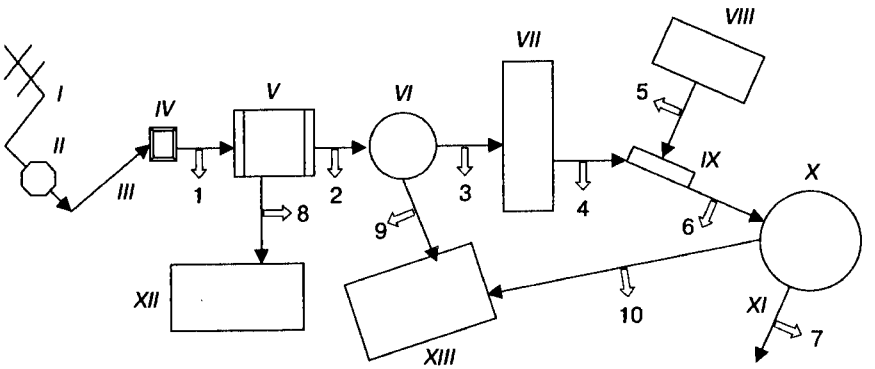


Рис. 2.3. Схема сооружений биологической очистки сточных вод в искусственно созданных условиях с указанием мест взятия проб (1–10) для лабораторного контроля:
I–VI — те же, что на рис. 2.1 и 2.2; VII — биофильтр; VIII — хлораторная; IX — смеситель ершового типа; X — вторичный отстойник; XI — сбросной коллектор; XII — песковые площадки; XIII — иловые площадки; ⇨ — места взятия проб сточной воды

Из существующих технологий наилучшие показатели по удалению органических веществ и аммонийного азота обеспечивают

Таблица 2.1

Характеристика указанных на рис. 2.1–2.3 мест взятия проб и перечень соответствующих определений

№ точек взятия проб	Точки взятия проб в процессе очистки сточных вод	Наименование показателей		
		Физические величины	Химические ингредиенты	Бактериологические показатели
1	2	3	4	5
1	Сырые сточные воды, поступающие на очистные сооружения	+	+	+
2	Сточные воды после песколовки	+	–	–
3	Сточные воды после первичного отстойника	+	–	+
	По рис. 2.1			
4	Биологические пруды, поля фильтрации, поля орошения	–	+	+
5	Осадок после песколовки	+	–	–
6	Осадок после первичного отстойника	+	+	–
	По рис. 2.2			
4	Концентрация хлора	–	+	–
5	Сточные воды после хлорирования	–	+	–
6	Сточные воды после очистки на сооружениях	+	+	+
7	Осадок после песколовки	+	–	–
8	То же после первичного отстойника	+	+	–
9	То же после вторичного отстойника	+	+	–
	По рис. 2.3			
4	Сточные воды после биофильтра, аэротенка	–	+	+
5	Концентрация хлора	–	+	–
6	Сточные воды после хлорирования	–	+	–
7	Сточные воды после очистки на сооружениях	+	+	+
8	Осадок после песколовки	+	–	–
9	То же после первичного отстойника	+	+	–
10	То же после вторичного отстойника	+	+	–

Примечание. Знак (+) указывает на необходимость определения показателя, а при знаке (–) пробы не отбираются и анализ воды не производится.

сооружения биологической очистки с полным окислением (сооружения продленной аэрации). Особенностью данного типа сооружений является увеличенный в 1,5–2 раза объем аэротенков, меньшие габариты вторичных отстойников и низкий прирост ила. Практически аналогичные показатели достигаются на сооружениях биологической очистки с нитри-денитрификацией (НСТ-4), однако в конструктивном отношении они значительно сложнее, поэтому НСТ-3 предпочтительнее как более простая и дешевая в эксплуатации технология.

Сооружения физико-химической очистки хозяйственно-бытовых сточных вод (НСТ-5) применяются, когда возможны длительные перерывы в поступлении сточных вод (санатории, дома отдыха) или при низкой их температуре (в районах Крайнего Севера). Однако в настоящее время использование этой технологии не имеет достаточно широкого распространения, так как наличие реагентных установок делает ее сложной в эксплуатации и приводит к дополнительному загрязнению окружающей среды отходами реагентов.

Наибольшее распространение в Российской Федерации имеют классические сооружения полной биологической очистки (НСТ-1), которые при относительно невысоких капитальных и эксплуатационных затратах обеспечивают высокую степень задержания органических и взвешенных веществ (до 90–95%).

2.2. Классификация сточных вод. Виды загрязнений и методы их удаления

В зависимости от происхождения, вида и качественной характеристики примесей сточные воды подразделяются на бытовые, производственные (промышленные) и дождевые (атмосферные).

Методика взятия проб для анализа содержания в сточной воде примесей зависит от характера их формирования в воде. Если сточные воды образуются равномерно по времени, то прибегают к отбору средних проб. При нерегулярном образовании сточных вод составляют среднепропорциональные пробы, т.е. отбирают порции, пропорциональные объемам воды. Например, если в течение часа образуется 500 м^3 сточных вод, отбирают 0,5 л, если за тот же промежуток времени образуется 1000 м^3, то — 1 л. В том случае, когда по данным санитарного обследования есть основания предполагать, что в сточные воды периодически попадают токсические вещества, отбирают две пробы: одну используют для

Таблица 2.2

Эффективность очистки сточных вод нв основе наилучшей существующей технологии

Загрязнения	Исходная концентрация, мг/дм³	Полная биологическая очистка								Физико-химическая очистка (НСТ-5)		Нормы ЕЭС	
		НСТ-1		С доочисткой (НСТ-2)		С полным окислением (НСТ-3)		С нитри-дени-трификацией (НСТ-4)					
		Очищенные, мг/дм³	Эффективность, %	Очищенные, мг/дм³	Эффективность, %	Очищенные, мг/дм³	Эффективность, %	Очищенные, мг/дм³	Эффективность, %	Очищенные, мг/дм³	Эффективность, %	Очищенные, мг/дм³	Эффективность, %
Взвешенные вещества	250	20	92	10	96	25	90	20	92	12,5	95	35	86
$БПК_{полн}$	200	15	92,5	10	95	12	94	12	94	18	91	25	87,5
Азот аммонийный	16	8	50	7,2	55	1,5	91	2	87,5	12	25	10	37,5
Азот нитратный	–	10	0	10	0	8	–	6	–	–	–	–	–
Фосфаты	4	2	50	1,5	62,5	2,5	40	1,5	62,5	0,4	90	1	75
Минерализация	1000	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0	1000	0

получения среднепропорциональной пробы, а вторую направляют в лабораторию для исследования на содержание токсических веществ. При наличии автоматических пробоотборников среднесуточную пробу получают путем непрерывного в течение суток отбора разовых проб очень небольшого объема.

Время хранения сточной воды, как правило, не должно превышать одних суток. Хранят воду при температуре не выше 3—5°С в холодильнике, чтобы устранить возможность протекания окислительных процессов.

Допускается консервирование проб. Наиболее часто консервацию выполняют путем прибавления к 1 $дм^3$ сточной воды 2 мл 25%-ной серной кислоты. Из консервированной таким образом пробы можно определить ХПК и перманганатную окисляемость, содержание общего и аммонийного азота. Следует отметить, что универсального консервирующего вещества не существует, в связи с чем консервацию для разных целей выполняют разными веществами.

Определение БПК делают только из неконсервированных проб. Для определения взвешенных веществ, нитритов и нитратов для консервации можно применять хлороформ (2 мл на 1 $дм^3$ сточной воды).

При исследовании состава сточных вод следует руководствоваться схемой, приведенной на рис. 2.4 [10]. Сначала определяют общие показатели загрязненности сточных вод (органолептические и физико-химические) — I этап, затем содержание органических и неорганических примесей, а также растворенных газов — II этап; при наличии в сточной воде коллоидных мелко- и крупнодисперных примесей определяют их количества и свойства — III этап.

Программа полного анализа сточных вод предусматривает также определение специфических ингредиентов, характеризующих присутствие промышленных сточных вод, — железа, меди, хрома, цинка, свинца, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) и др., микробного числа, содержания бактерий кишечной палочки. Производят радиологический, гельминтологический и гидробиологический анализы; по эпидемическим показаниям выясняют наличие патогенных микроорганизмов.

Концентрация загрязнений в бытовых сточных водах обусловлена нормой водопотребления, так как суточное количество загрязнений, поступающих в канализационную сеть от одного человека, примерно постоянно (табл. 2.3).

Обычно содержание промышленных сточных вод колеблется в пределах 15—45% от общего притока (при поступлении про-

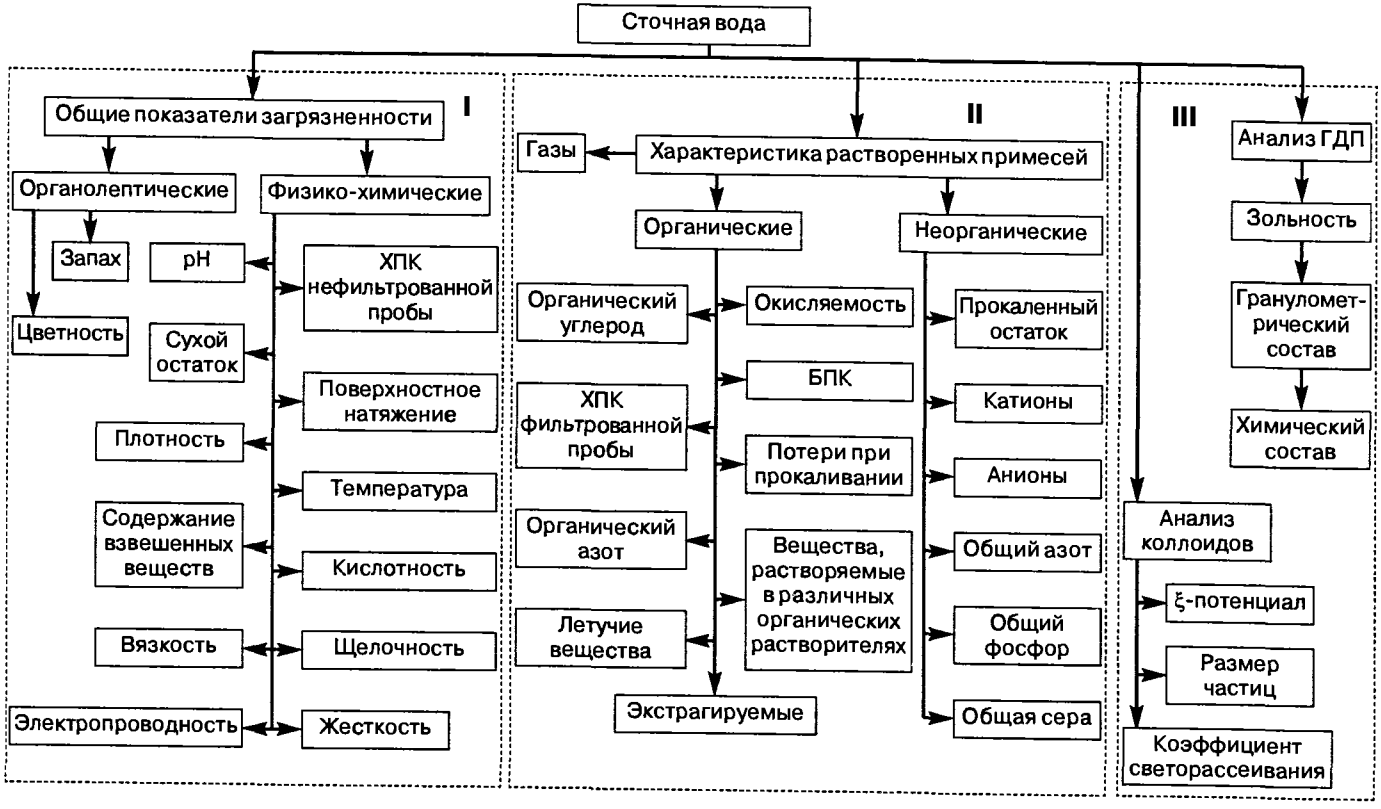


Рис. 2.4. Показатели, определяемые при исследовании состава сточных вод. Пояснения в тексте

мышленных сточных вод более 50–60% принято относить очистные сооружения в ведение промышленности, а город становится абонентом, сбрасывающим свои сточные воды на очистку на договорных условиях). Производственные сточные воды, подлежащие отведению и очистке совместно с бытовыми, не должны иметь: температуру выше 40°С; 6,5 > pH <9; отношение ХПК к $БПК_{полн}$ > 1,5 (или $БПК_5$ в 2,5 раза). Количественное соотношение БПК : азот : фосфор не должно быть ниже соответственно 100 : 5 : 1. Не допускается объединение производственных сточных вод с бытовыми, если в результате их взаимодействия образуются эмульсии, ядовитые и взрывоопасные вещества (например, сточных вод, содержащих соли кальция или магния и щелочные растворы, соду и кислые воды, хлор и фенолы и т.п.). Поскольку различные компоненты промышленных сточных вод биологически окисляются с различной скоростью и часто требуют строго определенных условий проведения процесса очистки, то наилучшим способом оценки их влияния на ход биохимической очистки бытовых сточных вод является экспериментальная проверка на лабораторных либо опытно-промышленных установках.

Таблица 2.3

Концентрация загрязнений а бытовых сточных водах при различных уроанях водопотребления

Показатель	Количество загрязнения на 1 жителя, г/сут.	Концентрация загрязнений (мг/дм³) при расходе воды на 1 жителя		
		50	100	200
Взвешенные вещества	65	1300	650	325
$БПК_{полн}$ неосветленных вод	75	1500	750	375
$БПК_{полн}$ осветленных вод	40	800	400	200
$БПК_5$ неосветленных вод	54	1080	540	270
$БПК_5$ осветленных вод	35	700	350	175
Азот аммонийный	8	160	80	40
Фосфаты, в том числе от моющих веществ	3,3 1,6	66 32	33 16	16,5 8
Хлориды	9	180	90	45
Поверхностно-активные вещества	2,5	50	25	12,5

Что касается дождевого стока, то очистке следует подвергать его наиболее концентрированную часть, представленную часто повторяющимися малоинтенсивными дождями.

При контроле выноса в водные объекты загрязняющих веществ используют данные по удельному выносу основных примесей с неочищенным дождевым стоком с территории городов (табл. 2.4).

Таблица 2.4

Удельный вынос примесей с дождевым стоком из городов Европы плотностью населения около 100 чел/га в кг/(га × год)

Примесь	Вынос
Взвешенные вещества	2500
Органические вещества по показателям: ХПК БПК	 1000 140
Эфиромасличные вещества	100
Азот	6
Фосфор	1,5
Минеральные соли	400

Поверхностный сток с промышленных территорий имеет более сложный состав, чем дождевой сток. Сплавлять по водоотводящим сетям можно лишь чистый свежевыпавший снег, плотность которого приблизительно равна 0,3 т/м^3.

Представление о методах и способах очистки сточных вод дает классификация на рис. 2.5. В табл. 2.5 приведен примерный объем анализов сточных вод применительно к соответствующему способу их очистки.

Принципы контроля технологического режима важнейших из приведенных на рис. 2.5 способов очистки рассматриваются ниже. Причем в пп. 2.3—2.5 анализируются способы, используемые в основном для очистки сточных вод перед сбросом их в водные объекты, а в пп. 2.8—2.9 — при повторном использовании в промышленности и сельском хозяйстве.

При выпуске очищенных сточных вод в водные объекты учитывается их категория и ПДК вредных загрязнений. Условия спуска сточных вод в водоемы регламентированы «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами»

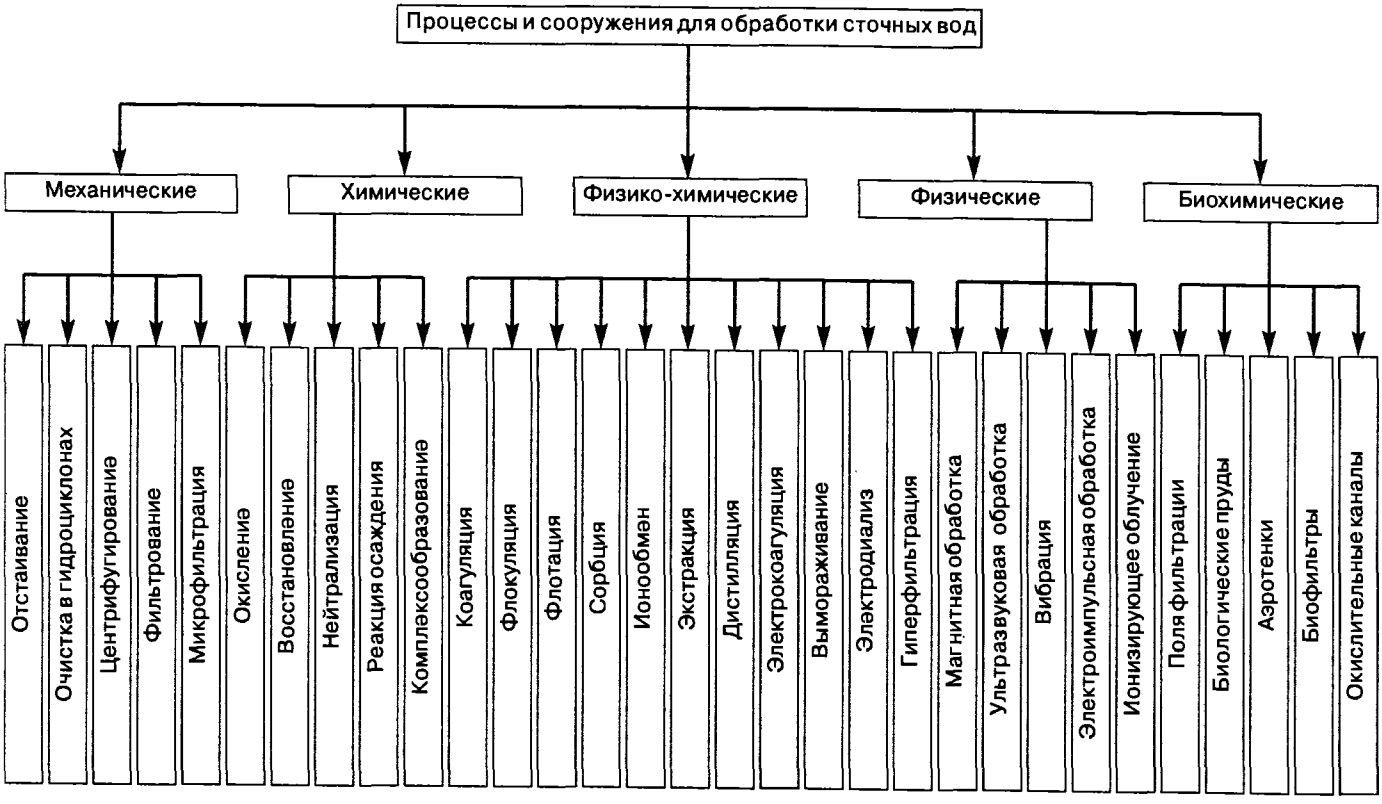


Рис. 2.5. Классификация процессов и сооружений для обработки сточных вод

Таблица 2.5

Примерный перечень анализов состава сточных вод для основных методов их очистки

Метод очистки	Очистное сооружение	Ожидаемый эффект очистки	Перечень анализируемых показателей
Механический	Отстойник горизонтальный и вертикальный	Уменьшение содержания взвешенных веществ, увеличение прозрачности и снижение $БПК_5$	Окраска, запах, прозрачность, взвешенные вещества, содержание осадка по объему
	Двухъярусный отстойник	Уменьшение содержания взвешенных веществ, увеличение прозрачности и снижение $БПК_5$ для жидкой фазы сточных вод. Изменение свойств осадка (улучшение внешнего вида, устранение зловония, разрушение его коллоидной структуры, уплотнение)	Окраска, запах, прозрачность, взвешенные вещества, содержание осадка по объему, вид осадка, запах, pH иловой воды
Биологический	Поля фильтрации, поля орошения, биологические пруды, очистка с применением биофильтров, аэротенки с расчетом на полную или неполную очистку	Минерализация органического вещества, уменьшение содержания и изменение состава взвешенных веществ, изменение органолептических свойств сточных вод (окраска, прозрачность, запах)	Температура, pH, окраска, прозрачность, запах, осадок по объему, взвешенные вещества, растворенный кислород, окисляемость, БПК, стабильность, азот нитратов и нитритов, специфические загрязняющие вещества. В случае необходимости производится анализ активного ила
Химический	Сооружение для нейтрализации кислых и щелочных промышленных сточных вод, сооружение для полного или частичного освобождения сточных вод от вредных веществ	Усреднение водородного показателя (pH) до величины, установленной расчетом. Снижение содержания вредных веществ в сточных водах до пределов, установленных расчетом. Изменение внешних свойств сточных вод (обесцвечивание, устранение запаха, увеличение прозрачности)	pH, окраска, запах, прозрачность, вредные вещества, характерные для данного объекта; остаточные количества реагентов (в необходимых случаях)

[11]. Этими правилами установлены нормативы качества воды для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водоиспользования и водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях.

Правила устанавливают нормативы качества воды водоемов по категориям водопользования: к первой категории относят участки водоемов, используемые в качестве источника для централизованного или нецентрализованного питьевого водоснабжения, а также водоснабжения предприятий пищевой промышленности. Ко второй относят участки водоемов, используемые для спорта и отдыха населения.

Приведенные в правилах нормативы качества воды в водоемах и водохранилищах — к створам в 1 км в обе стороны от пункта водопользования. Некоторые из этих нормативов для водотоков и водоемов соответствующих категорий даны в табл. 2.6.

Общие требования к производственным сточным водам, поступающим в городскую водоотводящую сеть, представлены в табл. 2.7.

2.3. Контроль процессов механической очистки сточных вод

Механическая очистка сточных вод обычно предшествует биологической или физико-химической очистке. В сооружениях для механической очистки сначала отделяются наиболее крупные загрязнения (на решетках и ситах), затем тяжелые взвеси (в песколовках) и на заключительном этапе — основная масса тонкодиспергированных нерастворенных загрязнений (в отстойниках и гидроциклонах).

Решетки и сита. Эффективность работы решеток может быть оценена по числу отказов (поломок оборудования, закупорок и т.п. явлений), происшедших на очистной станции. Основным технологическим параметром является скорость движения воды в прозорах решеток. Максимальное ее значение 1,0 м/с обусловлено недопустимостью продавливания отбросов и их проскока между прутьями. Снижение скорости движения воды благоприятно отражается на задержании отбросов, но приводит к накоплению песка и тяжелых примесей перед решеткой.

При сепарации из сточных вод на ленточных ситах волокнистых включений окружная скорость вращающихся барабанов должна быть не менее 1,5 м/с. Технологическая характеристика рабо-

Таблица 2.6

Основные допустимые изменения состава воды в водных объектах после выпуска в них очищенных сточных вод

Показатель состава и свойств воды	Требования к составу и свойствам воды в водном объекте по катагориям водоиспользования и назначению			
	Хозяйственно-питьевое и культурно-бытовое		Рыбохозяйственноа	
	I категория	II категория	I категория	II катагория
Температура	Допускается увеличение не более чем на:			
	3°С по отношению к среднемесячной температуре самого жаркого месяца		5°С по отношению к естественной температуре воды	
Взвешенные вещества, мг/дм³	Допускается увеличение не более чем на:			
	0,25	0,75	0,25	0,75
	Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/дм³ природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания на 5%			
Водородный показатель	Не должен выходить за пределы 6,5–8,5			
Минеральный состав	Сухой остаток должен быть ≤ 1000 мг/дм³		Не нормируется	
Наличие растворенного кислорода	Должно быть не менее 4 мг/дм³		> 6 мг/дм³	Зимой подо льдом ≥ 4 мг/дм³, летом ≥ 6 мг/дм³
$БПК_{полн}$ при температуре 20°С, мг/дм³	Не должна превышать			
	3	6	3 (если в зимний период содержание кислорода в воде снижается для водоемов I категории до 6 мг/дм³, II категории до 4 мг/дм³, то разрешается только сброс воды, не влияющей на БПК)	

ты решеток и сит дается на основе оценки количества и качества задерживаемых отбросов.

Таблица 2.7

Общие требоввния к производственным сточным водвм, поступвющим в городскую водоотводящую сеть

Поквзвтель состввa и свойств сточных вод	Единицв измерения	Предельно допустимвя концентрация (ПДК)
1	2	3
Взвешенные вещества	мг/дм^3	500
Зольность взвешенных веществ	%	30
$БПК_{полн}$	мг/дм^3	500
ХПК	мг/дм^3	800
pH		6,5–8,5
Температура	°С	40
Порог цветности		1/16
Плотный остаток	мг/дм^3	2000
Хлориды	мг/дм^3	350
Сульфаты	мг/дм^3	500
Эмульгированные вещества	мг/дм^3	20

На станциях производительностью > 500 тыс. м^3/сут количество снимаемых с решеток отбросов обычно находится в пределах от 10 до 16 дм^3 на 1000 м^3, на станциях меньшей производительности количество отбросов может доходить до 50 дм^3 и более на 1000 м^3 сточных вод.

Песколовки. Они подразделяются на горизонтальные, вертикальные и с вращательным движением воды (тангенциальные и аэрируемые).

При производительности очистных станций до 5000 м^3/сут целесообразно устраивать тангенциальные песколовки, свыше 10 000 м^3/сут — горизонтальные и свыше 20 000 м^3/сут — аэрируемые.

После прохождения сточной воды через песколовки, где она находится в течение 1–5 мин, ее химические показатели не изменяются. Однако в санитарном отношении качество воды несколько улучшается, так как с частицами песка и другой крупной взвеси удаляется до 10–25% количества яиц гельминтов.

В характеристике снятых с решеток загрязнений указывается влажность удаляемой массы (70–80%), зольность (5–7%) и содержание трепья и бумаги (порядка 80% массы снимаемых с решеток отбросов). Плотность отбросов меняется в зависимости от состава в незначительных пределах и для расчетов принимается равной 750 кг/м^3.

Учет количества загрязнений (отбросов) производится объемным способом по форме, приведенной в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Ведомость месячного учетв работы решеток

Двта	Количество сточных вод, м^3	Число чвсов рвботы решеток	Звдержано отбросов, м^3	Хврвктеристикв отбросов, %		Обрвботкв отбросов
				Влажность	Зольность	

Примечание. Анализы отбросов, снимаемых с решеток, рекомендуется производить один раз в месяц.

Расчет основных параметров производят на основании гидравлической крупности песка U_0, мм/с. Для бытовых сточных вод U_0 в расчетах принимается в пределах 13,2–24,2 мм/с. Скорость движения воды в горизонтальных песколовках должна быть в пределах от 0,15 до 0,3 м/с, а в аэрируемых — 0,08 и 0,12 м/с.

Для контроля их работы в поступающей и очищенной воде определяют прозрачность, взвешенные и оседающие вещества (осадок по объему), периодически рассчитывают потери при прокаливании и окисляемость.

Незначительное увеличение (а иногда уменьшение) прозрачности, рост количества взвесей и оседающих веществ в воде, прошедшей через песколовки, снижение количества взвешенных веществ менее чем на 5 % — все это указывает на плохую работу данных устройств. В этом случае поступающие загрязнения песколовками не задерживаются, а частично выносятся и осевшие в них ранее осадки.

Резкое увеличение потерь при прокаливании взвешенных веществ в сточных водах после песколовок свидетельствует об оседании органических веществ. При этом значительно снижается окисляемость воды (более чем на 5–10%).

О работе песколовок можно судить и по характеристике осевшего в них осадка. Для этого определяют сухое вещество (и влаж-

ность), потери при прокаливании (органическое вещество) и зольность, фракционный состав песка.

Нормальная влажность осадка 25–30%, плотность 1,6–1,8 т/м^3. Большая влажность осадка и малая его плотность свидетельствуют о том, что в нем содержится много органических загрязнений. Такой осадок трудно обезвоживается на песковых площадках и загнивает, его нельзя использовать для планировки местности. Если зольность осадка из песколовки > 80%, содержание песка в осадке > 75%, а доля песка фракции < 0,25 мм больше 30%, то работу песколовки можно считать удовлетворительной.

Учет работы песколовок осуществляется по форме, данной в табл. 2.9.

Нормальная эксплуатация песколовок характеризуется проектными скоростями движения воды, что достигается путем включения или отключения отдельных секций в соответствии с количеством поступающих сточных вод. Нарушение нормальной работы связано с повышенным выносом песка (при сверхнормативных скоростях движения воды) или с задержанием органических соединений, способных к загниванию (при скоростях протока меньше нормативных).

Важным показателем работы песколовок является количество песка, задерживаемого на последующих сооружениях (первичных отстойниках) и его фракционный состав. При этом в осадке первичных отстойников песка должно быть не более 5%, а диаметр его зерен — меньше 0,25 мм.

Первичные отстойники (горизонтальные, вертикальные и радиальные). Продолжительность пребывания воды в них может колебаться в широких пределах — от 0,5 до 2,5 ч, но чаще всего составляет 1,5–2 ч.

Таблица 2.9

Ведомость месячного учетв рвботы песколовки

Дата	Количество сточных вод, м^3	Фактические скорости движения сточных вод	Время пребывания сточных вод, с	Задержано осадка, м^3/сут	Харвктеристикв осадкв			Фрвкционный составв пескв, мм	
					Влажность, %	Зольность, %	Песок в осадке, %	До 0,25	Более 0,25

Расчет производительности отстойников производится по кинетике выпадения взвешенных веществ, зависящей от гидравлической крупности частиц.

Для достижения высокого эффекта очистки расчетные скорости движения бытовых сточных вод не должны превышать для горизонтальных 5–7 мм/с, вертикальных — 0,7 мм/с и радиальных — 7 мм/с.

Для контроля задержания осадка и осветления воды достаточно в поступающей и выходящей из отстойников сточной воде определить взвешенные вещества, осадок по объему за 2 ч отстаивания (иногда и осадок по массе) и прозрачность. Количество взвешенных веществ должно уменьшаться не менее чем на 40% и не более чем на 60%.

Сырой осадок, выпускаемый из отстойников, должен иметь влажность не более 92–95%, так как более высокая влажность тормозит процесс метанового брожения при обработке осадка. При нерегулярном выпуске осадок загнивает. Поверхность воды в отстойнике покрывается пузырями выделяющихся газов, окисляемость выходящей из него воды увеличивается по сравнению с окисляемостью поступающей воды. Норма накопления осадка составляет 0,7–0,8 $дм^3/(м^3 \times сут)$ на жителя.

В процессе отстаивания сточной воды в результате сорбции и соосаждения происходит снижение концентрации загрязнений, фиксируемых величинами БПК и ХПК, примерно на 10–25%, фосфатов — на 20–30%, азота общего — на 20–30%, биологических загрязнений — до 50%.

Удаляемый из отстойников осадок имеет полугустую консистенцию, обычно темно-серый цвет и содержит большое количество посторонних включений — тряпья, палок, волос, кухонных отбросов. Осадок обильно заражен яйцами глистов и патогенной микрофлорой. Содержание песка в осадке обычно составляет не более 5–8%, зольность — 25–35%.

Из горизонтальных и вертикальных отстойников осадок удаляется 1-2 раза в сутки, а из радиальных — 1-2 раза в смену. При выпуске осадка из радиальных отстойников сдвиг осадка илоскребом к иловому приямку производится за час до открытия иловой задвижки. Прекращение работы илоскребов осуществляется после удаления осадка. Илопроводы и иловые колодцы после выпуска ила должны быть промыты сточной водой. В процессе промывки должны быть удалены песок и крупные отбросы.

Учет работы первичных отстойников производится по форме, представленной в табл. 2.10.

Гидроциклоны. Контроль за работой гидроциклонов производится по манометрам, установленным на напорном водоводе. По их показаниям оценивают объемную производительность гидроциклонов.

При постоянном режиме питания регулирование работы гидроциклона после наладочных работ не требуется, но если в этом возникает необходимость, регулирование производится при помощи изменения диаметра нижнего отводного отверстия.

Таблица 2.10

Ведомость учетв рботы первичных отстойников

Дата	Фактическая производительность, м³/сут	Время пребывания сточных вод в отстойнике, ч	Содержвние взвешенных веществ, мг/дм³:		Хврвктеристикв освдкв, %	
			в поступвющей воде	в выходящей воде	Влвжность	Зольность

При работе со сменными насадками получается ступенчатое регулирование. Если манометр показывает постоянное давление, а выход осадка через нижнее отверстие прекращается, значит, оно забито. Для предотвращения попадания крупноразмерных частиц в гидроциклон, которые могут забивать нижнее входное отверстие, на всасывающем трубопроводе насоса необходимо устанавливать сетчатый фильтр.

2.4. Контроль работы сооружений аэробной биологической очистки сточных вод

Биологическая очистка сточных вод может осуществляться как в естественных условиях (поля орошения, поля фильтрации и биологические пруды), так и в специальных сооружениях (аэротенки, окситенки, биофильтры и др.).

Поля орошения. При их проектировании следует учитывать, что наиболее интенсивно процесс окисления идет в верхних слоях почвы (0,2–0,4 м), в порах которой израсходованный запас кислорода быстро пополняется.

Для успешной эксплуатации полей необходимо подавать на них предварительно осветленную сточную воду, что снижает загрязнение почвы в 7–10 раз.

Поля фильтрации. На них не достигается баланс между количеством биогенов, вводимых со сточными водами и выносимых с дренажными водами, поэтому очищенная вода может содержать остаточные их количества. Качество дренажных вод считается удовлетворительным, если оно приближается к качеству воды после биологической очистки с последующей фильтрацией на песчаных фильтрах. При назначении поливной нормы учитывают окислительную способность почв, составляющую 0,5–1,5 г БПК/($м^2$ × сут) в центральных и северных климатических зонах страны и 2–3 г БПК/($м^2$ × сут) в южных черноземных районах.

В основе почвенно-биологической очистки лежит способность почвы поглощать и использовать загрязнения сточных вод. Наибольшее значение из всех ее видов имеет поглощение, вызываемое действием поверхностных сил молекулярного и ионно-электростатического происхождения и обусловленное способностью микроорганизмов и корней растений адсорбировать питательные вещества с растворимыми в воде веществами. При этом одновременно с процессом минерализации происходит гумификация органических веществ сточных вод, что повышает содержание гумуса и потенциальное плодородие почв.

Пригодными и полезными для удобрительного орошения признаны промышленные сточные воды консервных, сахарных, крахмало-паточных, спиртовых, пивоваренных, дрожжевых и молочных заводов, а также некоторых предприятий нефте- и коксохимии.

Пригодность сточных вод для орошения сельскохозяйственных культур определяется как допустимой минерализацией, аналогично применяемой при орошении речными и подземными водами, так и концентрацией органических веществ. Сточные воды при использовании их для орошения должны отвечать агромелиоративным требованиям, предъявляемым к поливной воде, в целях получения высоких урожаев, полноценного качества продукции и повышения плодородия почвы, которые в разных почвенно-климатических условиях различны. Для условий Нечерноземной зоны Российской Федерации, где распространены дерново-подзолистые, дерново-глеевые почвы, характеризующиеся кислой или слабокислой реакцией среды и низким потенциальным и эффективным плодородием, установлены такие требования, как: pH от 6 до 8,5 (лучше 7–8); сухой остаток до 5 мг/$дм^3$; прокаленный ос-

таток до 3 г/дм^3; катионы: Ca^{2+} до 500 мг/дм^3, Na^+ до 500 мг/дм^3; анионы: HCO_3^- до 500 мг/дм^3, SO_4^{2-} до 500 мг/дм^3; Cl^- до 200 мг/дм^3, CO_3^{2-} не более 150 мг/дм^3; азот общий до 250 мг/дм^3, аммиачный до 150 мг/дм^3; K^+ до 250 мг/дм^3; общее содержание отдельных специфических органических веществ не допускается более 150 мг/дм^3; бихроматная окисляемость во вневегетационный период допускается до 3000 мг/дм^3, в вегетационный период — до 2000 мг/дм^3.

Для светло-каштановых тяжелосуглинистых солонцеватых почв Нижнего Поволжья в основу оценки качества воды для целей орошения положено определение общей концентрации солей и эквивалентного отношения натрия к сумме кальция и магния, которое должно быть меньше двух при общей минерализации до 1,5 г/дм^3.

При контроле пригодности промышленных сточных вод для орошения встает также другой вопрос — о допустимости содержания токсичных веществ в поливных водах, которые могут попадать в воду в силу особенностей производства. Установлено, что при почвенном обезвреживании сточных вод ПДК может быть значительно выше, чем в приемниках сточных вод (табл. 2.11).

Контроль очистительной способности почвогрунтов в химическом, санитарно-бактериологическом и гельминтологическом отношении с проработкой микробиологических процессов производят лизиметрическим методом.

Контроль за работой полей фильтрации можно осуществлять при помощи анализов грунтовых вод, взятых при бурении скважины на расстоянии 1 м от этих полей. Разница (в процентах) между количеством загрязнений, обнаруженных в сточных водах, и в фильтрате выражает эффект очистки их на поле фильтрации.

Если состав сточных вод не соответствует указанным требованиям, то перед орошением необходимо проводить предварительную подготовку сточных вод (разбавление, нейтрализацию, смешение и др.).

Биологические пруды. В обязанности эксплуатационного персонала входит постоянное наблюдение за развитием донных отложений в биопрудах. При небольшом объеме эти отложения перерабатываются сообществом организмов донного слоя, преобладающими в котором являются личинки комаров. Непринятие мер по удалению осадков приводит к резкому ухудшению качества воды, вплоть до более высоких концентраций, чем на входе в пруды (за счет выноса осадка).

Аэротенки. Различают аэротенки-смесители, аэротенки-вытеснители и аэротенки промежуточного типа. Аэротенки обычно рассчитывают на полную биологическую очистку со снижением $БПК_{полн}$ сточной воды до 15 мг/дм^3.

Таблица 2.11

Предельно допустимая концентрация вредных веществ при сбросе в приемник сточных вод и почвенном обезвреживвнии, мг/дм^3

Вредное вещество	ПДК при:	
	сбросе в водный объект	почвенном обезвреживвнии
1	2	3
Фенолы	0,001	50–100
Смолы	–	5–10
Нефтепродукты	По показателю плавающей смеси	50–100
Ацетон	По $БПК_5$	40
Нитрилакрил	2	50
Метанол	По $БПК_5$	200
Формальдегид	0,5	100
Медь	0,1	0,1–2
Цинк	1	0,17–2,2
Свинец	0,1	0,16–1,8
Вольфрам	–	10
Кобальт	1	10
Хром	0,1–0,5	1
Цианиды	0,1	50
Роданиды	–	2,5
Капролактам	–	200

К числу основных технологических параметров, характеризующих процесс биохимической очистки сточных вод и определяющих эффективность работы аэротенков, относятся нагрузка, скорость окисления, окислительная мощность аэротенка и ила, возраст ила, удельный прирост ила, иловый индекс, необходимое время аэрации, расход воздуха на 1 м^3 очищенной воды и на 1 кг

снятой $БПК_5$, затраты электроэнергии и вместимость аэрационной секции.

Индекс ила оценивает седиментационные его свойства и представляет собой объем в миллилитрах, который занимает ил в цилиндре после 30 мин отстаивания. Объем должен быть отнесен к 1 г сухого вещества ила. Хорошо оседающий ил имеет иловой индекс от 60 до 150 мл/г в зависимости от технологического регламента работы аэрационных сооружений и состава сточных вод. При индексе ила > 150 мл/г говорят о «вспухании» ила.

Если величина нагрузки (Н) характеризует количество поданных загрязнений, то окислительной мощностью (ОМ) оценивается количество снятых переработанных загрязнений:

$$ОМ = Н \times Э_{БПК}, \qquad (2.1)$$

где $Э_{БПК}$ — эффективность очистки воды по БПК в долях единицы; единицы измерений у ОМ и Н одинаковые: БПК на 1 г беззольного вещества в сутки или г БПК/($м^3$ × сут).

Прирост ила (Пр), мг/$дм^3$ — количество вновь образующегося ила (за счет изъятия и усвоения загрязнений воды), определяемое при проектировании систем по формуле

$$Пр = 0{,}8В + 0{,}3L_a, \qquad (2.2)$$

где В и L_a — концентрация загрязнений в воде, поступающей в аэротенки, соответственно по взвешенным веществам и по $БПК_{полн}$.

Окислительная мощность, отнесенная к одному часу, есть средняя скорость окисления загрязнений активным илом.

Возраст ила — это среднее время (сут) его пребывания в системе аэрационных сооружений, определяемое как частное от деления общей массы ила в аэрационной системе на суточный прирост ила.

Расход воздуха при пневматической системе аэрации подсчитывают по отношению к 1 $м^3$ очищенной воды и 1 кг снятой $БПК_5$. Для городских сточных вод при мелкопузырчатой системе аэрации на 1 $м^3$ воды расходуется 5–10 $м^3$ воздуха или 40–60 кг на 1 кг снятой $БПК_5$.

Оперативный контроль за работой аэротенков ведут путем систематически выполняемых определений концентрации растворенного кислорода, минимальное количество которого в любом месте аэрационной системы не должно быть ниже 2 мг/$дм^3$, дозы ила и его гидробиологического состава. Количество бактерий в иле

колеблется от 10^8 до 10^{13} на 1 мг беззольного вещества, большинство из которых принадлежит родам *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Bacterium* и др. Ориентировочно можно считать, что при удовлетворительном развитии вида количество его особей колеблется в пределах от 10 до 100 тыс. в 1 мл.

Повышенный вынос взвешенных веществ из вторичных отстойников является одной из характерных особенностей вспухания ила. Причиной этого является перегрузка аэротенка загрязнениями, наличие большого количества углеводов, недостаточное количество воздуха, низкая активная реакция pH. Микрофлора такого ила отличается большим количеством нитевидных бактерий, замедлением скоростей отстаивания и увеличением илового индекса.

При наладке и эксплуатации аэротенков необходимо также контролировать конструктивные их параметры: равенство отметок каждого ряда гребней водосливов для всех систем подачи и удаления сточной воды и активного ила; соответствие проектным решениям расположения фильтросных каналов относительно стен бассейнов, состояние воздушных стояков, водовоздушных (продувочных) трубок; калибровка и сортировка фильтросных пластин в соответствии с их пропускной способностью и сопротивлением. Фильтросные пластины следует чистить металлическими щетками, а промывку производить 20–30%-ной соляной кислотой.

Учет работы аэротенков проводится в соответствии с формой, приведенной в табл. 2.12.

Таблица 2.12

Ведомость учетв рвботы вэротенков

Дата	Количество очищаамых сточных вод, м³/сут	Интансивность аэрации, м³/(м² × ч)	Врамя аэрации, ч	Рвсход воздухв:			Концентрация активного ила, г/дм²
				нв 1 м³ воздухв	всего	нв 1 кг снижения $БПК_{20}$	

Окситенки. По технической сути процессы биологической очистки в окситенках идентичны очистным процессам в аэротенках. Основное отличие заключается в применении в окситенках для обеспечения аэробных условий технического кислорода или воздуха, обогащенного кислородом, вместо атмосферного воздуха. Окситенк оборудуется системой автоматизации, обеспечивающей подачу кислорода в зону аэрации в строгом соответствии со скоростью его потребления.

Высокая концентрация растворенного кислорода в окситенке позволяет значительно повысить дозу активного ила в сооружении и интенсифицировать процессы нитрификации аммонийного азота.

Технологический расчет и контроль за их работой основывается на тех же принципах, что и аэротенков-смесителей, но с рабочей дозой ила в пределах 6–10 г/дм^3 и концентрацией растворенного кислорода 6–12 мг/дм^3.

Биофильтры. По характеру загрузочного материала различают биологические фильтры с объемной (зернистой) и плоскостной загрузкой. Биологические фильтры с объемной загрузкой могут быть капельными, высоконагружаемыми и башенными. Биологические фильтры с плоскостной загрузкой различаются в зависимости от характера загрузочного материала.

Контроль работы биофильтров имеет много общего с контролем аэротенков, поскольку в обоих типах сооружений проходят принципиально сходные процессы. Существенным отличием является отсутствие необходимости в частом анализе количества биопленки. Она прочно прикреплена к материалу загрузки биофильтра, а очищаемой водой смывается лишь отмершая, отработанная ее часть. Общая масса прироста биопленки за год эксплуатации биофильтра примерно равна массе взвешенных веществ, поступивших за этот же период на биофильтр.

В нормально работающем биофильтре общая толщина слоя биопленки может составлять от нескольких микрон в верхних его слоях до 3–6 мм в нижних. При большей толщине слоя биопленки часто наблюдается прекращение потребления ею кислорода, вследствие чего возникают процессы гниения. Показателем жизнестойкости экосистемы биофильтра является большое разнообразие видового состава биопленки.

Для поддержания аэробного режима работы биофильтра достаточно поступления воздуха в количестве 20 м^3/ч на 1 м^2 площади его поверхности.

С целью предупреждения переохлаждения биофильтров в зимний период их работы необходимо устанавливать противо-

ветровую их защиту, сооружать над биофильтром купольное перекрытие и снижать коэффициент неравномерности притока сточных вод. Минимальную допустимую температуру сточных вод, поступающих на биофильтры, можно рекомендовать не ниже +7°С.

Основным технологическим параметром, определяющим эффективную работу биофильтров, является окислительная мощность, под которой понимают количество органических загрязнений по БПК, которое может быть изъято из сточной воды 1 $м^3$ загрузочного материала в течение суток. Она может изменяться от 150 до 600 г БПК/(сут × $м^3$).

БПК определяют в основном разбавлением пробы водой, насыщенной кислородом воздуха, имитируя процесс окисления органических веществ в естественных условиях. Встречаются такие органические соединения, полное окисление которых завершается уже через 2 сут с начала анализа, для других оно затягивается до 25–30 сут, что в ряде случаев затрудняет оперативный контроль и управление качеством сточной воды. В то же время пятисуточная БПК ($БПК_5$) далеко не всегда объективно характеризует ход дальнейшего окислительного процесса [12].

С помощью респирометров можно получать кривую потребления во времени, из которой находят: предельные концентрации органических загрязнений сточных вод, допустимые для биохимической очистки; количество кислорода и время, необходимые для полного окисления этих загрязнений; степень биохимического распада органических загрязнений и др.

Контроль биохимического процесса очистки воды производят также методом измерения редокс-потенциала (еН). Установлено, что еН полнее характеризует процесс биохимической очистки сточных вод, чем, например, растворенный кислород. Кроме того, еН дает объективную оценку этого процесса в тех случаях, когда загрязнения содержат токсичные вещества по отношению к микроорганизмам и тормозят очистку, несмотря на достаточное количество кислорода.

Величину еН измеряют электрометрическим методом. Электродная система составляется из платинового пластинчатого электрода с гладкой поверхностью и стандартного электрода сравнения — каломельного или хлорсеребряного.

Для всех типов биофильтров характерно массовое развитие мушки *Psyhoda*, личинки которой развиваются в биопленке, способствуя ее минерализации, разрыхлению и отторжению от загрузки. В связи с невозможностью ликвидации источника выплода мушек проводят периодические мероприятия по их уничтожению

путем обработки поверхностей биофильтра хлорной известью или инсектицидами.

При экспертизе проектов биофильтров необходимо проверить, какой материал будет использоваться для загрузки фильтра, его общий объем, размер частиц, толщину отдельных слоев и общую высоту фильтрующего слоя; наличие устройств, обеспечивающих периодическую подачу воды от отстойников на биофильтр, и длительность интервалов между подачей двух порций воды; способ равномерного распределения воды по поверхности фильтра.

Во время эксплуатации биофильтра особое внимание следует обращать на поддержание загрузочного материала в работоспособном состоянии. Борьба с поверхностным заилением загрузки проводится путем разрыхления заболоченного места граблями или вилами. Одновременно можно рекомендовать промывку струей воды под напором. Если заиление распространилось на большую часть площади и в глубину, промывку загрузочного материала необходимо проводить вне корпуса фильтра. Промытая загрузка укладывается обратно, недостающее ее количество компенсируется новым промытым материалом той же крупности. В летнее время года борьбу с заилением можно вести путем отключения отдельных секций биофильтра на 5–10 сут или хлорированием исходной сточной воды. Дозы хлора не должны превышать 35–50 г на 1 м^2 поверхности биофильтра.

Увеличение продолжительности цикла орошения указывает на уменьшение пропускной способности вследствие засорения сети и спринклерной системы распределения сточных вод по поверхности биологического фильтра. Отверстия в спринклерных головках прочищаются металлическими ершами, прутьями, а распределительная сеть промывается водопроводной водой.

Учет работы проводится по форме, представленной в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Ведомость учетв рвботы биофильтрв

Отчетный период	Рвсход сточных вод, м^3/сут	Изрвсходовано нв 1 м^3 сточных вод:			Окислительнвя мощность, г O_2/сут
		рециркуляционной воды, м^3	воздуха, м^3	энергии, кВт × ч	

Вторичные отстойники. Они конструктивно аналогичны первичным отстойникам и бывают вертикальными, горизонтальными, диагональными и радиальными. Основные отличия заключаются в характере механизмов для сбора и удаления осадка и связанной с этим конструкцией днища. Вторичные отстойники всех типов после аэротенков рассчитывают по гидравлической крупности взвеси с учетом концентрации активного ила в аэротенке, его индекса и концентрации выносимой иловой взвеси в осветленной воде.

Контролируя работу вторичных отстойников по задержанию взвешенных веществ (активного ила или биопленки), сопоставляют их количество, осадок по объему (количество оседающих веществ) и прозрачность в сточной воде до и после отстойников.

При контроле работы вторичных отстойников проверяют также состояние клапанов илососов, наличие штурвалов на этих клапанах, убеждаются в отсутствии вибраций, шума и стука при работе редукторов илососов.

Осадок, выносимый из биофильтров во вторичные отстойники, состоит из отмершей биологической пленки, смываемой сточной водой с поверхности загрузочного материала. Удалять его необходимо не реже одного раза в сутки зимой и не менее двух-трех раз в сутки летом. Всплываемая на поверхность корка, состоящая из биопленки, осаждается ударами метлы.

Учет работы вторичных отстойников производится по форме, представленной в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Ведомость учета работы вторичных отстойников

Датв	Количество поступающих сточных вод, м³/сут	Продолжительность отстаивания, ч	Содержание растворенного кислорода в выходящей аоде, мг/дм³	Зольность осадка, %

Отстойники с преаэраторами. Эффективность их работы зависит от степени соответствия параметров (подачи активного ила, интенсивности и продолжительности аэрации) оптимальному сочетанию их. Количество подаваемого ила соотносится с общим

содержанием взвешенных веществ и той частью их, которая осаждается в лабораторных цилиндрах за период от 20 мин до 2 ч (диапазон от 1200 до 7200 с). Интенсивность аэрации выбирается по количеству растворенного кислорода, поддерживающегося в сточных водах на уровне 0,5–2 мг/дм^3.

Лабораторные методы (метод Винклера и др.) определения количества кислорода в воде, несмотря на сравнительно медленное изменение во времени этого параметра, недостаточны для корректного проведения этой технологической операции. В основу современных инструментальных методов определения растворенного кислорода в воде положен метод измерения предельного диффузионного тока, т.е. тока, при котором кислород восстанавливается на отрицательно заряженном металлическом электроде. В зависимости от источника напряжения, необходимого для получения предельного диффузионного тока данного вещества, полярографические системы, используемые в анализаторах на кислород, делят на системы с внешним источником тока и на системы с внутренним источником тока.

Взвешенные вещества, выносимые из отстойников с преаэраторами, состоят из консервативных элементов (частиц примесей воды) и живых клеток активного ила. Отличить ту и другую части примесей возможно по содержанию дезоксирибонуклеиновой кислоты (хромосомный аппарат клеток) либо по изменению ферментной активности.

Илоуплотнители. Оценка работы этих сооружений аналогична технологической оценке работы вторичных отстойников. Фиксируется количество и качество подаваемого ила, уплотненного ила и иловой воды. Илы уплотняют в гравитационных сооружениях (отстойники радиального и вертикального типа), а также во флотаторах. На городских станциях часто используют илоуплотнители радиального типа, обеспечивающие снижение объема ила в 5–15 раз (или изменение по влажности с 99,2 до 98,5%) за время пребывания, равное 9–15 ч.

На илоуплотнители подают ил как из вторичных отстойников с концентрацией сухого вещества 4–8 г/дм^3, так и из аэротенков с концентрацией 1–2 г/дм^3. Качество уплотненного ила в обоих случаях практически одинаково, а время уплотнения для менее концентрированного ила составляет 5–7 ч. Чтобы получить сравнительную оценку, какой вариант схемы уплотнения предпочтительнее, необходимо сравнение по величине нагрузки по сухому веществу (1 г сухого вещества на 1 м^3/сут). По этой же величине можно сравнивать производительность различных видов уплотнителей или уплотнителя одного вида, но разных диаметров.

Важно учитывать качество иловой воды (по взвеси и БПК), поскольку передача этой воды на повторную очистку увеличивает нагрузку на очистные сооружения. Обычно количество взвеси иловой воды колеблется в пределах от 20 до 100 мг/дм^3.

Часть избыточного ила иногда направляют в первичные отстойники с целью интенсифицировать процессы отстаивания. Рекомендуется передавать в первичные отстойники до 50% прироста ила. Расход воздуха на перемешивание воды и ила составляет величину порядка 0,5 м^3/м^3, продолжительность контакта в преаэраторах — от 10 до 20 мин и в биокоагуляторах — 20 мин. Дополнительный эффект осветления по взвешенным веществам и $БПК_{полн}$ в обоих случаях составляет 10–15%. Если указанные приемы использованы в эксплуатации, то при характеристике работы отстойников обязательно принимается во внимание изменение состава воды после смешения ее с избыточным илом.

Биофлокуляторы. Они служат для интенсификации первичного отстаивания сточных вод [13]. Биофлокуляция реализуется во встроенных в вертикальные отстойники камерах флокуляции путем ввода в очищаемую сточную воду активного ила или биопленки. При этом достигается повышение содержания оседающих веществ в отстойнике до 85–90% и снижение БПК в осветленной воде на 40–50%. Время пребывания сточной воды в камере флокуляции назначается равным 20 мин.

Сооружения для аэробной минерализации ила. К этой категории сооружений можно отнести аэротенки длительной аэрации, аэробные минерализаторы (иначе называемые аэробными стабилизаторами), циркуляционные окислительные каналы, некоторые разновидности биологических прудов, работающих в условиях низких нагрузок. Кроме аэробных минерализаторов все остальные перечисленные сооружения совмещают в себе функции биологической очистки сточной воды и минерализации ила.

При минерализации ила уменьшается масса беззольного вещества, а следовательно, и масса сухого вещества, что обусловливает увеличение зольности ила. Максимально достигаемые величины зольности ила колеблются в пределах от 45 до 55%. Более глубокого окисления ила получить не удается, поскольку в его составе преобладающими становятся биохимически неусвояемые органические материалы.

При контроле за работой аэротенка длительной аэрации, а также циркуляционного окислительного канала особое внимание уделяется характеристике состава очищенной сточной воды. Эта вода отличается присутствием большого количества нитра-

тов и, как правило, незначительного количества нитритов, низкой концентрацией аммонийного и общего азота, колеблющимися величинами БПК и ХПК, присутствием достаточного количества кислорода. Ил такого аэротенка характеризуется очень низкой дегидрогеназной активностью, повышенной зольностью и составом микронаселения, отличающимся от состава ила обычного аэротенка.

Если процесс проводится в аэротенке-вытеснителе, то при тщательном выполнении анализов можно заметить изменения концентрации ила по длине аэротенка: сначала нарастание дозы ила и после перехода через «размытый» максимум — постепенная убыль.

При проведении процесса в отдельном минерализаторе фиксируют убыль сухого (и беззольного) вещества ила, постоянно контролируют наличие растворенного кислорода в аэрируемой смеси, характеризуют состав иловой воды, отделяющейся при отстаивании смеси в специальном отстойнике после минерализатора. Иловую воду, отделенную от минерализованного ила, направляют на повторную очистку в аэротенки. Продолжительность отстаивания принимают равной 1,5–2 ч.

В минерализаторах можно обрабатывать смесь ила с осадком из первичных отстойников. В этом случае увеличиваются: продолжительность обработки — до 10–12 сут; расход воздуха — до 1,2–1,5 $м^3/(м^3 \times ч)$ вместо 1 $м^3/(м^3 \times ч)$ для одного ила. Степень окисления смеси осадка и ила может достигать 30–40% (по беззольному веществу), а одного ила — 20–30%.

2.5. Контроль процессов доочистки и обеззараживания сточных вод

Согласно регламентированным предельно допустимым сбросам веществ, поступающим со сточными водами в водные объекты, на городских станциях аэрации необходимо вводить дополнительную ступень обработки сточных вод для удаления органических соединений до ПДК=3–5 $мг/дм^3$ по $БПК_{полн}$, соединений азота до ПДК = 0,5–2 $мг/дм^3$ по NH_4^+ – N и 10 $мг/дм^3$ по NO_3^- – N [13]. В некоторых регионах страны в очищенных сточных водах ограничивается содержание соединений фосфора и взвешенных веществ.

Возможная степень удаления загрязнений в процессах доочистки (третичной очистки) практически не ограничена и определя-

ется условиями их дальнейшего использования и затратами на их практическую реализацию. Основные методы доочистки, условия их применения и контроля приведены в табл. 2.15.

Наиболее распространенными сооружениями в блоках доочистки сточных вод как в нашей стране, так и за рубежом являются фильтры с зернистой загрузкой. Технологический контроль работы фильтров доочистки основан на тех же принципах, что и контроль работы водопроводных фильтров. Так, учитываются скорость фильтрации и продолжительность фильтроцикла, определяемая по достижении заданной величины потери напора, расход воды на промывку фильтра и ее интенсивность. Промывку фильтра производят фильтрованной сточной водой. Качество сточной воды оценивается до и после ее обработки по обычным санитарно-химическим показателям, принятым для характеристики сточных вод.

В процессе адсорбционной доочистки активный уголь удаляет из воды биохимически неокисленные органические вещества, микроколичества ионов тяжелых металлов, бактериальные и другие загрязнения. При количестве отработанного угля более 0,5 т/сут восстановление его адсорбционной емкости производят обычно термическим способом.

При обессоливании минерализованных сточных вод гиперфильтрацией через полупроницаемые мембраны основные параметры — концентрацию растворенных веществ в концентрате и фильтрате необходимо определять на единицу ширины мембраны при заданной ее длине, разделяющей способности, коэффициенте проницаемости мембран, давлении, расходах исходной воды, фильтрата и концентрата.

При использовании реагентного метода удаления фосфатов необходимо тщательное дозирование сульфата алюминия, для чего требуется знать концентрацию фосфатов в воде. Поэтому определение этого показателя должно выполняться не только по общему графику контроля за качеством сточной воды, но и несколько раз в промежутках между этими анализами.

Барботажная флотация ведется с флокуляцией при 30—40%-ной рециркуляции пены; напорная флотация — с флокуляцией при 50%-ной рециркуляции сточных вод. Флотатор рассчитывается на пребывание в нем сточных вод в течение 15—20 мин при восходящей скорости воды во флотационной камере 2—3 мм/с и 10—15 мин в отстойной зоне при нисходящей скорости 1—3 мм/с.

Напорная флотация наиболее эффективна именно для таких биосуспензий, как иловая смесь, поскольку при биологической очистке микроорганизмы активного ила присутствуют в воде в

Таблица 2.15

Методы доочистки сточных вод, условия их применения и контроля

Методы доочистки	Назначение метода	Область использования воды	Показатели контроля эффекта доочистки	Примечание
1	2	3	4	5
Фильтрование	Снижение содержания взвешенных веществ, легкоокисляющихся органических соединений, бактериального загрязнения	Техническое водоснабжение, сброс в водные объекты, орошение, пополнение запасов подземных вод	ХПК, БПК, содержание взвешенных веществ, микробное загрязнение	Перед использованием доочищенные воды нужно обеззараживать
Адсорбция	Очистка воды от растворенных органических соединений	То же	ХПК, БПК, содержание органических веществ, соединения азота, микробное загрязнение	Поступающие на очистку стоки должны быть освобождены от взвешенных и коллоидных веществ
Бисорбция	Очистка воды от антропогенных загрязнений	В системах производственного водоснабжения	ХПК, БПК, микробное загрязнение	Перед использованием вода должна быть обеззаражена
Коагуляция	Очистка от растворенных органических, взвешенных, коллоидных веществ, фосфорных соединений, бактериального загрязнения	Техническое водоснабжение, сброс в водные объекты	ХПК, БПК, окисляемость, содержание взвешенных веществ, фосфаты, органический фосфор, остаточные концентрации коагулянта	Добавки флокулянтов улучшают процесс осветления воды. После коагуляции необходимо применение песчаных и угольных фильтров

Методы доочистки	Назначение метода	Область использования воды	Показатели контроля эффекта доочистки	Примечание
1	2	3	4	5
Флотация	Очистка от поверхностно-активных веществ	Техническое водоснабжение, сброс в водные объекты	Содержание ПАВ, ХПК	Очищенная флотацией вода насыщена кислородом. Перед использованием доочищенные воды необходимо обеззараживать
Ультра- и гиперфильтрация	Деминерализация, полное удаление взвешенных и органических веществ, азота и фосфора, бактериального загрязнения, вирусов, а также извлечение ценных веществ из солей тяжелых металлов. В сочетании с другими методами — получение воды питьевого качества	Опреснение высокоминерализованных вод. Техническое водоснабжение, сброс в водные объекты	Сухой остаток, содержание органических веществ специфических компонентов мембран, микрозлементы, микробное загрязнение	Мембраны должны обладать селективностью, высокой скоростью фильтрации, химической и механической прочностью. При получении воды для питья используются мембраны, допущенные к применению в водоснабжении
Электродиализ	Деминерализация, частичное удаление органических соединений, микробного загрязнения. В сочетании с другими методами — получение воды питьевого качества	Всевозможные области использования воды	Сухой остаток, содержание органических веществ специфических компонентов мембран, микрозлементы, микробное загрязнение	Из воды не удаляются химические вещества неионогенной природы, требуется обязательное обеззараживание доочищенных стоков

Методы доочистки	Назначение метода	Область использования воды	Показатели контроля эффекта доочистки	Примечание
1	2	3	4	5
Ионный обмен	Деминерализация, удаление органических примесей, соединений азота и фосфора, снижение микробного загрязнения	То же	Сухой остаток, микроэлементы, специфические вещества ионообменных смол, микробное загрязнение	Требуется обязательное обеззараживание недоочищенных стоков
Окисление	Снижение органического загрязнения, мутности, цветности, микробного загрязнения	Техническое водоснабжение, сброс в водные объекты, питьевое водоснабжение	ХПК, БПК, содержание органических веществ, мутность, цветность, микробное загрязнение, остаточные количества окислителя	Исходная вода должна быть очищена от взвешенных веществ и растворенных газов. Особое внимание следует уделять определению недоокисленных органических продуктов
Биологические	Окисление органических веществ, обогащение кислородом, снижение содержания взвешенных веществ, соединений азота, фосфора и других биогенных элементов, микробного загрязнения	Сброс в водные объекты, техническое водоснабжение, орошение, пополнение запасов подземных вод	ХПК, БПК, растворенный кислород, азот, фосфаты, органический фосфор, микробное загрязнение	Исходная вода должна быть биохимически очищена

основном в виде хлопьев, что способствует флотационному разделению этих суспензий. При этом достигается и довольно удовлетворительная степень сгущения (3–5 раз) биомассы активного ила.

Особый интерес представляет использование для флотации такого газа, как CO_2. Источником его может быть, например, метантенк, в котором наряду с образованием метана происходит накопление углекислого газа, сероводорода и др. При использовании углекислого газа приготовляют так называемую газированную воду, или насыщенный раствор углекислого газа. Добавление такого раствора в разделяемую суспензию приводит к тому, что сначала на флотируемых частицах выделяются пузырьки воздуха сравнительно небольшого размера, а затем на них образуются пузырьки углекислого газа большого размера. Такие флотокомплексы позволяют увеличить скорость флотации.

Биологически очищенная вода содержит значительное количество аммонийного азота и фосфатов. Азот и фосфор способствуют усиленному развитию водной растительности, последующее отмирание которой приводит к вторичному загрязнению водоема. Контроль процессов биохимической денитрификации проводится аналогично контролю процессов биологической очистки сточной воды в аэрационных сооружениях, и при этом особое внимание уделяется оценке форм и концентраций соединений азота.

Схемы компоновки основных сооружений доочистки можно разделить на три основные группы. К первой относятся схемы безреагентной механической доочистки (включающие микрофильтры и фильтры), которые можно эксплуатировать в комплексе одну с другой или раздельно. Вторую схему используют при необходимости реагентного осветления и умягчения воды. Для выбора оптимального варианта необходимо определять эффект снижения мешающих загрязнений после каждого этапа доочистки. Третью группу схем применяют при необходимости помимо реагентной обработки стоков, использования ионных методов, умягчения и опреснения (обессоливания) воды.

Способы обеззараживания сточных вод можно разделить на четыре основные группы: термические; химические с помощью сильных окислителей; олигодинамические (воздействие ионов благородных металлов); физические (с помощью ультразвука, радиоактивного излучения, ультрафиолетовых лучей).

Наиболее широко применяются способы второй группы. В качестве окислителей используют хлор, диоксид хлора, озон, мар-

ганцевокислый калий, пероксид водорода, гипохлорит натрия и кальция. В свою очередь, из перечисленных окислителей на практике предпочтение отдают хлору, озону, гипохлориту натрия, которые вызывают инактивацию кишечных вирусов в результате денатурирования их белковой оболочки. По вирулицидному действию свободные формы хлора примерно в 50–100 раз превосходят его связанные формы.

Для снижения *Coli*-форм на 99,9% требуются следующие дозы хлора, г/м^3:

после механической очистки	10
после химической очистки	3–10
после полной и неполной биологической очистки	3 и 5
после фильтрования на песчаных фильтрах	2–5

Хлор, добавляемый к сточной воде, должен быть тщательно перемешан, а затем находиться в контакте со сточной водой не менее 30 мин, после чего количество остаточного хлора должно быть не менее 1,5 г/м^3.

Объектом технологического контроля при хлорировании являются контактные резервуары или другие заменяющие их емкости. Регистрируются время пребывания воды в контактном резервуаре и изменения ее качества вследствие действия хлора и дополнительного удаления осаждающихся частиц активного ила. Оценивается количество выпадающего в контактных резервуарах ила для последующего учета его в тех сооружениях, в которые он передается на обработку.

Схема узла хлорирования на очистных станциях различна в зависимости от вида хлорирования, но в любом случае контролируется процесс приготовления рабочих растворов для установления точной дозы активного хлора.

Контролировать дозирование раствора хлорной воды следует систематически. Главным в контроле является определение остаточного активного хлора, т.е. разности между общим расходом хлора и количеством, прореагировавшим с органическими и бактериологическими загрязнениями сточных вод.

На очистных сооружениях с подачей хлорной воды на большие расстояния от хлораторной, когда напора, развиваемого эжектором, не хватает, последний располагают ближе к месту ввода хлорной воды. При этом для сокращения протяженности трубопровода хлорной воды увеличивают длину трубопровода газообразного хлора. Это возможно при массовом дозировании и контроле (1-2 раза в смену) остаточного хлора в воде. Воздей-

ствуя на микрофлору, Cl освобождает сточную воду от патогенных микроорганизмов, повышает прозрачность воды и снижает ее цветность.

Из-за высокой коррозионной активности хлорной воды недопустимо заменять рекомендованные проектом хлоропроводы на хлоропроводы из другого материала.

Озонирование не оказывает влияния на качественный состав растворенных минеральных веществ, содержащихся в сточной воде. Число бактерий после озонирования уменьшается в среднем на 99,9%. Спорообразующие бактерии более устойчивы к озону, чем вегетативные.

Эффект обеззараживания ультрафиолетовыми лучами основан на воздействии их на белковые коллоиды и ферменты протоплазм микробных клеток. Обрабатываемая ультрафиолетовым излучением вода должна иметь достаточную прозрачность, поскольку в загрязненных водах интенсивность проникновения ультрафиолетовых лучей затухает. Немаловажное значение при обработке воды бактерицидными лампами имеет сопротивляемость бактерий воздействию излучения. Критерием стойкости различных видов микроорганизмов может служить количество бактерицидной энергии, необходимой для заданной степени обеззараживания воды.

В табл. 2.16 приведены особенности наиболее распространенных методов обеззараживания сточных вод.

2.6. Контроль процессов обработки осадков. Процессы метанового брожения и контроль работы метантенков

Суспензии, выделяемые из отработанных и сточных вод в процессе их механической, биологической и физико-химической (реагентной) очистки, представляют собой осадки.

Свойства осадков целесообразно разделить на характеризующие их природу и структуру, а также обусловливающие их поведение в процессе обезвоживания.

Свойства, характеризующие природу осадков

Содержание сухого вещества обычно выражается в г на 1 $дм^3$ или в процентах и определяется сушкой при температуре 105°С до

Таблица 2.16

Специфика различных методов обеззараживания сточных вод

Метод	Время обеззараживания, мин	Период после действия	Влияние на органолептические свойства воды	Влияние исходного качества воды на эффект обеззараживания
Хлорирование	30	Сутки и более в зависимости от дозы	Улучшает: окисляет фенолы до продуктов, не обладающих хлорфенольными запахами	С ростом мутности, цветности и pH ухудшается
Йодирование	5–10	–	Ухудшает: запах йода, который улетучивается через 40–50 мин	При наличии в воде органических веществ бактерицидный эффект не изменяется
Озонирование	2–10	–	Улучшает: устраняет запахи	С ростом концентрации взвешенных веществ бактерицидная активность падает
Обработка ионами серебра	60–120	90–150 сут в зависимости от дозы	Не влияет	С ростом концентрации взвешенных веществ, температуры, солевого состава и pH уменьшается
Обработка УФ-лучами	Мгновенно	–	Не влияет	Наличие взвешенных веществ резко снижает эффект обеззараживания
Гамма-облучение	–	На кишечную палочку не действует	Улучшает: уничтожает запах	Не влияет

постоянной массы. В жидких осадках оно приблизительно близко к концентрации взвешенных веществ, определяемых фильтрованием или центрифугированием.

Содержание беззольного вещества выражается в процентах по массе от содержания сухого вещества. Определяется сжиганием при температуре 550–600°С.

В гидрофильных органических осадках этот показатель часто близок к содержанию органических веществ и характеризует содержание азотистых веществ.

Элементарный состав особенно важен для органических осадков, в первую очередь по таким показателям, как содержание: углерода и водорода для определения степени стабилизации или установления общей кислотности; азота и фосфора для оценки удобрительной ценности осадка; тяжелых металлов и др.

Для неорганических осадков часто полезно определять содержание Fe, Mg, Al, Cr, солей Ca (карбонатов и сульфатов) и Si.

Токсичность. Металлы, содержащиеся в осадках производственных сточных вод (медь, хром, кадмий, никель, цинк, олово), токсичны. Они обладают способностью вызывать в организме человека различные виды биологических эффектов — общетоксичный, мутагенный и эмбриотоксический. Степень токсичности и опасности различных металлов неодинакова и может быть оценена по величинам среднелетальных доз для лабораторных животных. Результаты опытов показывают, что наиболее токсичными для животных являются хром и кадмий.

Согласно принятым в настоящее время предельно допустимым концентрациям, учитывающим наряду с токсичностью и кумулятивные свойства веществ, наибольшую опасность для здоровья населения представляют кадмий, хром, никель; менее опасными являются медь и цинк.

Осадки очистных сооружений гальванических производств, содержащих оксиды тяжелых металлов, относятся к четвертому классу опасности, т.е. к малоопасным веществам.

Свойства, характеризующие структуру осадков

Формирование осадков с заданными свойствами начинается с выбора тех методов очистки, которые обеспечивают возможность утилизации или безопасного складирования осадков, сокращение затрат на их обезвоживание и сушку.

Возможность безопасного складирования осадков сточных вод определяется следующими характеристиками и свойствами осад-

ков: кажущейся вязкостью и связанной с ней текучестью осадков, а также характером воды, содержащейся в осадке.

Кажущуюся вязкость и связанную с ней текучесть осадков можно рассматривать как меру интенсивности сил взаимосвязи между частицами. Она также позволяет оценить тиксотропный характер осадка (способность осадка образовывать гель в состоянии покоя и возвращать текучесть даже при слабом встряхивании). Это свойство очень важно для оценки способности осадка к сбору, транспортированию и перекачиванию.

Иловая суспензия не является ньютоновской жидкостью, поскольку найденное значение вязкости очень относительно и зависит от приложенного напряжения сдвига.

Характер воды, содержащейся в осадке. Эта вода представляет собой сумму свободной воды, которая может быть легко удалена, и связанной, включающей коллоидальную гидратную воду, капиллярную, клеточную и химически связанную воду. Выделение связанной воды требует значительных усилий. Например, клеточная вода сепарируется только тепловой обработкой (сушкой или сжиганием).

Приблизительное значение этого соотношения может быть получено термогравиметрически, т.е. построением кривой потери массы образцом уплотненного осадка при постоянной температуре и обработке в соответствующих условиях. Точку, в которой термограмма имеет перелом, можно определить построением зависимости $V = f(S)$, где V — скорость сушки, г/мин; S — содержание сухого вещества в образце, % (рис. 2.6).

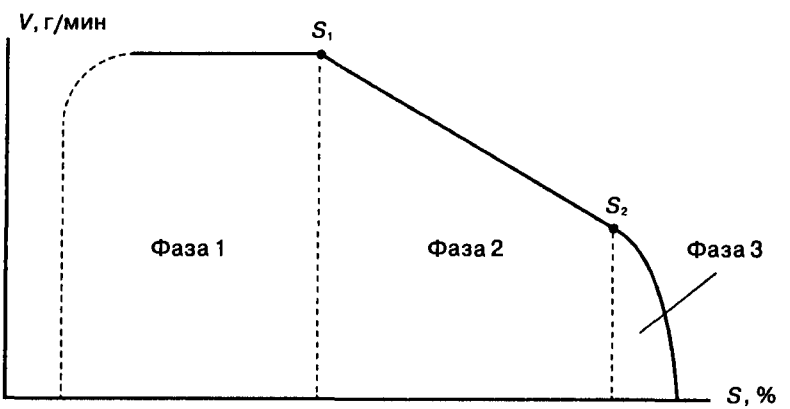


Рис. 2.6. Кривая обезвоживания осадка выпариванием при постоянной температуре. Здесь V — скорость сушки; S — содержание сухого вещества в образце, %; S_1 и S_2 — соответственно первая и вторая критические точки

Соотношение между свободной и связанной водой является решающим фактором в оценке способности осадка к обезвоживанию.

Из рис. 2.6 видно, что первая критическая тока S_1 определяет количество воды, способной удаляться из осадка при постоянной скорости сушки (фаза 1), и представляет собой содержание сухого вещества в осадке после потери свободной воды. Далее удаляется связанная вода: сначала до точки S_2 при линейной связи снижения скорости сушки с ростом содержания сухого вещества (фаза 2), а затем — при более резком уменьшении темпов снижения скорости сушки (фаза 3).

Факторы, обусловливающие поведение осадка в процессе обезвоживания

К этим факторам относятся: способность к уплотнению; удельное сопротивление; числовые характеристики сжимаемости осадка под влиянием увеличивающегося давления (сжимаемость осадка); определение максимального процентного содержания сухого вещества в осадке при данном давлении [14].

Способность к уплотнению определяется из анализа седиментационной кривой для осадка. Эту кривую вычерчивают на основании лабораторных исследований в сосуде, оборудованном медленно работающей мешалкой. Кривая характеризует степень разделения массы осадка в сосуде в зависимости от времени пребывания в нем.

Важнейшим показателем способности осадков сточных вод во влагоотдаче является удельное сопротивление. Величина удельного сопротивления (r) является обобщающим параметром и определяется по формуле

$$r = \frac{2PF}{\eta C'} b, \tag{2.3}$$

где P — давление (вакуум), при котором происходит фильтрование осадка; F — площадь фильтрующей поверхности; η — вязкость фильтрата; C' — масса твердой фазы осадка, отлагающегося на фильтре при получении единицы объема фильтрата;

$$b = \frac{\tau}{V^2}. \tag{2.4}$$

Здесь τ — продолжительность фильтрования; V — объем выделяемого осадка.

Влажность. Этот параметр учитывает изменение состава и свойств осадка в процессе их обработки и складирования.

Сжимаемость осадка. С увеличением перепада давления поры кека исчезают и возрастает сопротивление фильтрованию. Коэффициент сжимаемости осадка (S) определяют по формуле

$$S = \frac{\lg r_2 - \lg r_1}{\lg P_2 - \lg P_1}, \qquad (2.5)$$

где r_1 и r_2 — удельное сопротивление осадка, вычисляемое по формуле (2.3) соответственно при давлении P_1 и P_2.

Скорость фильтрования воды будет увеличиваться, оставаться постоянной или уменьшаться при увеличении P в соответствии с тем, будет ли значение S меньше, равно или больше единицы.

Нерастворимые кристаллические вещества обычно сжимаются с трудом (S близко к 0 или < 0,3). Суспензии с гидрофильными частицами имеют высокую сжимаемость (S > 0,5, достигающий, а иногда превышающий 1,0).

Для многих видов органических осадков существует даже «критическое давление», выше которого поры кека закрываются настолько, что дренирование становится невозможным. Например, для осадка городских сточных вод фильтрование под давлением выше 1,5 МПа почти безрезультатно. Вот почему полагают, что постепенное увеличение давления имеет некоторые преимущества, задерживая уплотнение кека.

Максимальное содержание сухого вещества в осадке при данном давлении. Влага в осадках может находиться в химической, физико-химической и физико-механической связи с твердыми частицами, а также в форме свободной влаги. Чем больше связанной влаги в осадке, тем больше энергии нужно затратить для ее удаления. Увеличение водоотдачи осадков достигается перераспределением форм связи влаги с твердыми частицами в сторону увеличения свободной и уменьшения связанной влаги различными методами обработки.

Исследования зависимости коэффициента фильтрации осадков от их влажности показали, что с уменьшением влажности осадков снижаются и значения коэффициента фильтрации. При этом можно отметить определенные значения влажности осадков, ниже которых коэффициент фильтрации мало зависит от влажности. Для гидроксидных осадков сточных вод гальванопроизводств она

лежит в области 67–70%, а для осадков после гальванокоагуляционной обработки сточных вод — в области 50–55%.

Прочность. Использования одного критерия влажности для прогнозирования возможности хранения шламов, образующихся при очистке сточных вод, недостаточно. Поэтому для оценки возможности складирования осадков используются их прочностные характеристики — прочность на срез и несущая способность, токсичность, вымываемость, влажность, устойчивость (прочность) и фильтруемость.

Вымываемость. Тяжелые металлы содержатся в осадках в виде гидроксидов или труднорастворимых солей, например карбонатов, фосфатов, хроматов, сульфидов и др. Использование литературных данных о растворимости соединений металлов в воде не позволяет с достаточной точностью определить класс опасности осадков, так как при этом не учитываются сложные физико-химические процессы, протекающие при складировании осадков. Более надежные данные можно получить путем исследований осадков сточных вод на вымываемость.

Количество вымываемых загрязнений зависит от многих факторов. С точки зрения фазового состава осадки сточных вод могут быть охарактеризованы как кристаллическая решетка с растворимыми и полурастворимыми составляющими и порами, заполненными жидкостью. Жидкая фаза осадков содержит осадочные количества тяжелых металлов и растворенные соли в виде анионов SO_4^{2-}, Cl^-, CO_3^{2-} и др. При складировании осадка происходит физико-химическое старение гидроксидов металлов, в результате чего в жидкую фазу переходят десорбированные катионы и анионы, уменьшается значение pH и возрастает солесодержание, способствующее снижению произведений растворимости гидроксидов. При воздействии на осадок выщелачивающей жидкости растворяются полурастворимые соединения, например гипс, что также приводит к повышению солесодержания жидкой фазы. Если выщелачивающая жидкость содержит ангидриды кислот (серной, угольной, азотной), значение pH также снижается.

Экспериментальное определение вымываемости осадков осуществляется в статических и динамических условиях. Сущность статического исследования заключается в замачивании образцов осадка в дистиллированной воде без перемешивания и замены воды с последующим контролем содержания вымываемого компонента в воде в течение 6–12 месяцев. Динамическим экспериментом предусматривается хранение образцов в естественных условиях на специально оборудованных площадках, где они подвергаются всем видам внешних атмосферных воздействий (дож-

ди, замораживание и т.п.). Вымывание элемента контролируется как в пробах воды, отводимой с площадки, так и по его убыли в осадке за время эксперимента (6–12 месяцев и более).

Водоотдача осадков во многом зависит от размеров их твердой фазы. Чем мельче частицы, тем хуже водоотдача осадков. Органическая часть осадков быстро загнивает, при этом увеличивается количество коллоидных и мелкодисперсных частиц, вследствие чего снижается водоотдача.

На рис. 2.7 показан типовой граф процессов, применяемых для обработки осадков сточных вод.

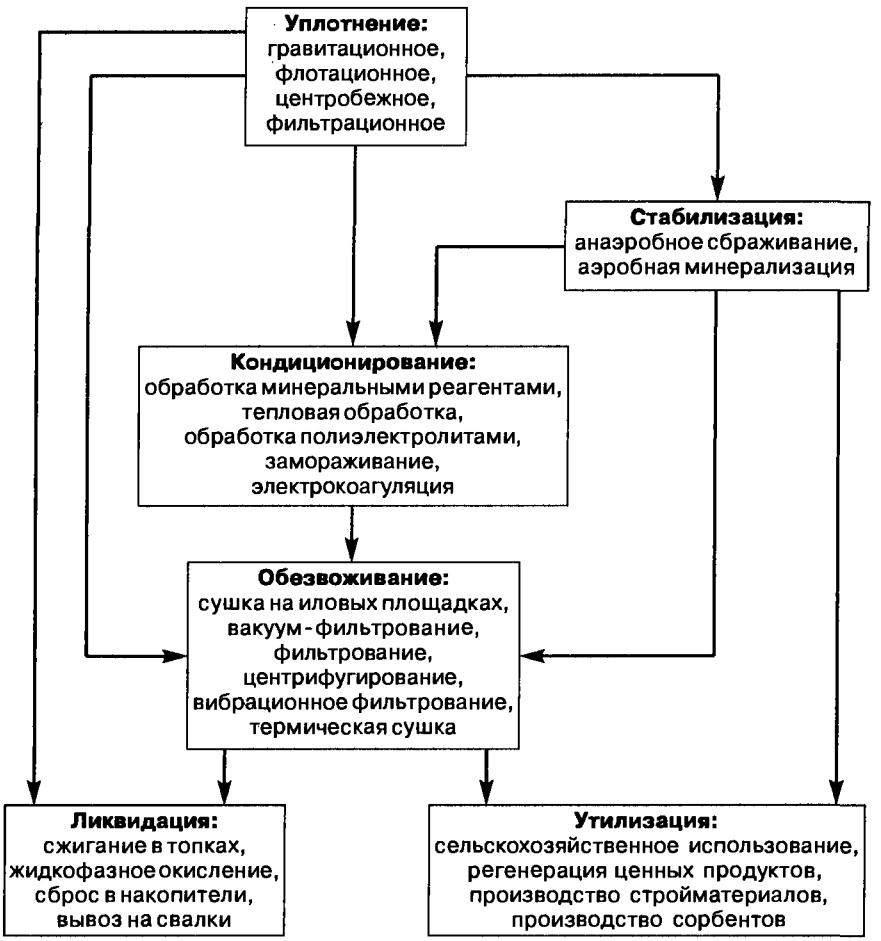


Рис. 2.7. Типовые процессы, применяемые для обработки осадков сточных вод

Современными техническими средствами можно добиться любой степени уменьшения влажности.

В настоящее время применяют (см. рис. 2.7) четыре метода уплотнения и сгущения осадков: гравитационное, флотационное, сгущение в центробежном поле и фильтрование.

Гравитационное уплотнение является наиболее распространенным методом уплотнения осадков. Оно просто в эксплуатации и сравнительно недорого. Время уплотнения устанавливается экспериментально и может быть самым различным — от 2 до 24 ч и более.

С целью снижения продолжительности уплотнения, получения осадка с меньшей влажностью и уменьшения выноса взвешенных веществ из уплотнителя применяют различные приемы: перемешивание в процессе уплотнения, цикличное сгущение, коагуляцию, совместное уплотнение различных видов осадков и термогравитационный метод.

При перемешивании осадка во время уплотнения происходит частичное разрушение сплошной пространственной структуры осадка. Лопасти мешалки, раздвигая оторванные друг от друга части структурированного осадка, создают условия для беспрепятственного выхода свободной влаги, ранее захваченной и удерживаемой пространственной структурой осадка. Медленное перемешивание способствует сближению отдельных частиц осадка, что приводит к их коагуляции с образованием крупных агрегатов, которые более интенсивно уплотняются под действием собственной массы.

На рис. 2.8 представлена зависимость степени сгущения осадка от продолжительности и скорости перемешивания в стержневой мешалке [14].

Максимальный эффект уплотнения был достигнут при скоростях перемешивания конца лопастей мешалки 0,04 м/с, содержание взвешенных веществ в осветленной воде не превышало 50 мг/дм^3.

Цикличное сгущение осуществляется путем последовательного накапливания сгущенного осадка от нескольких циклов сгущения при медленном перемешивании стержневой мешалкой и откачивании осветленной воды после каждого цикла сгущения. Эффективность процесса циклического сгущения можно объяснить тем, что при росте гидростатического давления, определяемого числом последовательных циклов сгущения осадка, и медленном механическом перемешивании более интенсивно, чем при одноразовом наливе, наблюдается вторичное образование хлопьев в скоагулированном ранее осадке, которое приводит к утяжелению хлопьев и ускорению уплотнения осадка.

Увеличение гидростатического давления вышележащих слоев сгущенного осадка на нижележащие приводит к деформации структуры осадка, сопровождающейся переходом части воды, связанной в хлопьевидных структурах осадка, в свободную воду, удаляемую фильтрацией через поровое пространство слоя сгущенного осадка.

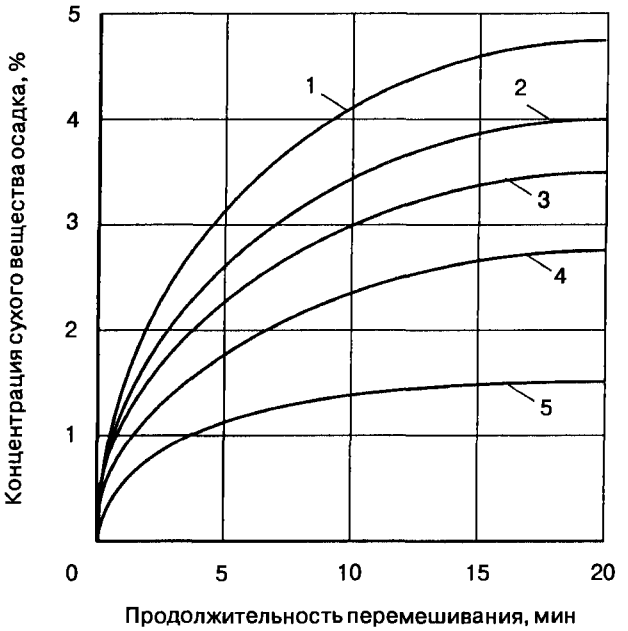


Рис. 2.8. Влияние продолжительности и скорости перемешивания на степень сгущения осадка:
1 — скорость перемешивания осадка 0,04 м/с;
2 — 0,1 м/с; 3 — 0,01 м/с; 4 — 0,008 м/с;
5 — без перемешивания

В качестве коагулянтов применяют различные минеральные и органические соединения. В системе реагентного хозяйства контролируют качество растворов реагентов (хлорного железа и извести) по концентрации в них активного агента. Тщательный контроль растворов реагентов необходим, так как их избыток не улучшает фильтруемости осадков, в то же время перерасход дефицитных веществ влечет за собой необоснованное удорожание стоимости эксплуатации.

При термографическом методе уплотнения осадок подвергается нагреву. Во время нагрева гидратная оболочка вокруг частицы осадка разрушается, часть связанной воды переходит в свободную, а поэтому процесс уплотнения улучшается. Оптимальная температура нагрева активного ила сточных вод гидролизных заводов составляет 80–90°С. После нагревания в течение 20–30 мин с последующей выдержкой ила и уплотнением его влажность снижается с 99,5 до 96–95%. Общее время обработки составляет 50–80 мин.

Флотация. Достоинство этого метода состоит в том, что его можно регулировать путем оперативного изменения параметров. К недостаткам метода относятся более высокие эксплуатационные затраты и невозможность накопления большого количества осадка в уплотнителе.

Обычно применяют импеллерную, электро- и напорную флотацию. Последняя получила наибольшее распространение.

При проектировании флотационного уплотнителя назначают удельную нагрузку по сухому веществу 5–13 кг/(м^2 × ч) и гидравлическую нагрузку менее 5 м^3/(м^2 × ч); концентрацию уплотненного осадка принимают: без полиэлектролитов 3–4,5% по сухому веществу, с применением полиэлектролитов 3,5–6% в соответствии с дозой полиэлектролита и нагрузкой.

Объем накопителя осадка должен быть рассчитан на несколько часов, так как по истечении этого времени пузырьки воздуха выходят из осадка и он вновь приобретает нормальную удельную массу.

Фильтрационное уплотнение. Фильтрование чаще всего используется как метод механического обезвоживания осадков, а для их сгущения применяется крайне редко. Распространены следующие типы современных уплотнительных фильтров: барабанный фильтр, барабанный сетчатый фильтр и фильтрующий контейнер.

Для анаэробного сбраживания обычно используют два температурных режима: мезофильный при температуре 30–35°С и термофильный при температуре 52–55°С.

Контроль процессов метанового брожения включает систему замеров и анализов твердой, жидкой и газообразной фаз. Замер количества поступающих осадков и активного ила по объему позволяет рассчитать суточную дозу загрузки метантенка по объему Д в %. Общий объем метантенка принимают за 100%. Объем поступающих осадков за сутки, выраженный в процентах от общего объема метантенка, и составляет объемную дозу загрузки сооружения. Эта величина может быть выражена либо в процентах от

полного объема метантенка, либо в долях от единицы его объема, т.е. в $м^3$ осадка, приходящегося на 1 $м^3$ объема за сутки. Например, если доза Д = 8%, то второй вариант выражения этой величины 0,08 $м^3/(м^3 \times сут)$.

Принимают, что в процессе сбраживания объем осадка и общее количество поступившей в метантенк воды не изменяются. Таким образом, в учете пренебрегают количеством влаги, поступающей с перегретым паром (используемым для нагрева сбраживаемой массы), а также теряющейся с удаляемыми газами брожения.

Не реже 1-2 раз в неделю для поступающих и сброженных осадков выполняют анализы с определением их влажности и зольности. Зная влажность и зольность исходных осадков, а также Д, нетрудно подсчитать дозу загрузки метантенка по беззольному веществу $Д_{бз}$. Эта величина, измеряемая в килограммах беззольного вещества, приходящегося на 1 $м^3$ объема сооружения за сутки, аналогична нагрузке на единицу объема, определяемой для аэротенков. В зависимости от вида загружаемых осадков и их характеристик по влажности и зольности величина $Д_{бз}$ колеблется в широких пределах: для мезофильного режима сбраживания от 1,5 до 6 $кг/(м^3 \times сут)$, а для термофильного — от 2,5 до 12 $кг/(м^3 \times сут)$.

При эксплуатации метантенков химический анализ осадков на содержание газообразующих компонентов, а также фосфатов, СПАВ, азота общего выполняют обычно один раз в квартал (реже один раз в месяц). Анализ делают из средних проб, набираемых за период исследования. Используют высушенные осадки, остающиеся после определения влажности.

Учет количества газов брожения производят непрерывно с использованием приборов автоматической регистрации. Химический анализ состава газов выполняют один раз в декаду или в месяц. Определяют CH_4, H_2, CO_2, N_2 и O_2. Если процесс проходит устойчиво, то содержание H_2 — продукта первой фазы брожения — не должно превышать 2%, содержание CO_2 должно быть не более 30–35%. При этом кислород должен отсутствовать, так как указанный процесс строго анаэробный. Присутствие кислорода обнаруживается только из-за несоблюдения полной изоляции от атмосферного воздуха приборов, применяемых для анализа. Количество метана обычно составляет 60–65%, азота — не более 1–2%. Если обычные соотношения в составе газов изменяются, то причины следует искать в нарушении режима брожения.

Глубокие и длительные изменения в составе газов, выражающиеся в уменьшении процентного содержания метана и увеличении содержания углекислоты, могут быть свидетельством «за-

кисания» метантенка, что обязательно отразится и на химическом составе иловой воды. В ней в большом количестве появятся продукты кислой фазы, в частности низшие жирные кислоты (НЖК), при одновременном снижении щелочности иловой воды, определяемой кроме НЖК содержанием карбонатных и гидрокарбонатных соединений.

При этом наблюдается резкое падение выхода газа с единицы объема загружаемого осадка и снижение величины pH до 5,0. В газах кислого брожения появляется сероводород H_2S, убывает метан CH_4 и сильно повышается концентрация углекислоты CO_2. Все это сопровождается образованием пены и накоплением плотной корки внутри метантенка.

При устойчивом режиме брожения содержание НЖК в иловой воде находится на уровне 5—15 мг-экв/дм^3, а величина щелочности — 70—90 мг-экв/дм^3. Сумма всех органических кислот определяется через эквивалент уксусной кислоты, а щелочность — через эквивалент гидрокарбонат-иона.

Химический состав иловой воды определяют 1—3 раза в неделю (по графику определения влажности осадков). В иловой воде, кроме того, определяют содержание азота аммонийных солей, появляющегося вследствие распада белковых компонентов. При нормальной работе метантенка концентрация азота аммонийных солей в иловой воде составляет от 500 до 800 мг/дм^3.

По данным анализов и замеров делают ряд расчетов, в результате которых определяют Д и $Д_{бз}$, процент распада беззольного вещества осадков $Р_{бз}$ (учтенный по изменению влажности и зольности), а также по выходу газа $Р_г$, выход газа с 1 кг загруженного сухого вещества и 1 кг сброженного беззольного вещества и расход пара на 1 м^3 осадка.

Причинами нарушений нормального брожения могут быть: высокая доза загрузки метантенка свежим осадком, резкое колебание температуры и загрузка в метантенк загрязнений, не поддающихся сбраживанию. В результате воздействия этих причин угнетается деятельность метанпродуцирующих микроорганизмов и снижается интенсивность процесса сбраживания осадка.

Учет работы метантенка производится по форме, данной в табл. 2.17.

При пусконаладочных работах прежде всего проверяется герметичность метантенков, наличие предохранительных клапанов, а также наличие и работоспособность перемешивающих устройств; обращается внимание на возможность появления искр вследствие возможного задевания стальных вращающихся частей о неподвижные детали конструкций.

Таблица 2.17

Ведомость месячного учетв работы метантенков

Дата	Температура поступающего осадка, °С	Количество загруженного осадка, м³	Влажность загрузки, %	Температура брожения, °С	Доза загрузки, %	Количество выгруженного осадка, м³	Влажность выгруженного осадка, %	Количестао газа, м³	Израсходовано пара, м³	Количество иловой воды, м³

Для автоматизированного контроля технологических параметров действующих метантенков применяют следующие приборы.

1. Приборы контроля загазованности помещений и сигнализации взрывобезопасного (до 2%) содержания газов в воздухе. Датчик сигнализатора устанавливают на стене в помещении инжекторной, а показывающий прибор — на щите управления, который может быть удален от датчика на расстояние до 500 м. При достижении аварийной концентрации метана в воздухе автоматически включается аварийный вентилятор и звуковой (световой) сигнал аварии.

2. Прибор контроля температуры осадка. Он включает первичный прибор — медное или платиновое термосопротивление в гильзе, заделанной в резервуар метантенка, и вторичный прибор на щите управления.

3. Для измерения расхода газа от метантенков в качестве первичного преобразователя используется мембранный или колокольный дифманометр, а в качестве вторичного — самописец. Количество выделяемого газа регистрируют ежедневно.

Кроме того, в типовых проектах метантенков предусматривают измерение температуры газа в газопроводах от каждого метантенка и измерение давления газа.

Контроль процессов метанового брожения проводят для достижения следующих целей:

- сокращение продолжительности сбраживания при достижении заданной степени распада для уменьшения объемов сооружений, а следовательно, капитальных затрат;

• повышение количества биогаза, выделяющегося в процессе брожения, с целью использования его для сокращения затрат на обогрев самих метантенков и дополнительного получения других видов энергии;

• увеличение содержания метана в биогазе для повышения его теплоты сгорания и эффективности утилизации;

• достижение хорошего уплотнения и водоотдающих свойств сброженного осадка для сокращения затрат на сооружения для его обезвоживания.

2.7. Контроль работы сооружений обезвоживания и сушки осадка

Сушка в естественных условиях применяется для осадков всех видов и может быть осуществлена на иловых площадках (см. рис. 2.7) с естественным основанием, на площадках с поверхностным отводом воды и на площадках-уплотнителях [14].

Допускается проектировать площадки на естественном основании с дренажом и без него, на искусственном основании с дренажом, каскадные с отстаиванием и поверхностным удалением иловой воды, площадки-уплотнители. Последние два типа рекомендуются при удельном сопротивлении осадка $> 4000 \times 10^{-8}$ см/г.

Нагрузки осадка на иловые площадки H_P ($м^3/м^2$) в год в районах со средней температурой воздуха 3–6°С и среднегодовым количеством осадка до 500 мм принимают по табл. 2.18.

Контроль за процессом сушки проводят путем определения влажности проб осадков, отобранных в нескольких местах площадки и с разных глубин. Кроме того, ведется санитарно-бактериологический контроль с определением бактерий кишечной палочки и яиц гельминтов. Осадок вывозят на сельскохозяйственные поля только после получения удовлетворительного результата санитарного анализа.

При использовании иловых площадок с поверхностным отводом воды кроме определений, указанных выше для твердой фазы, периодически контролируют качество иловой воды, передаваемой на повторную обработку. Если эта вода попадает в головные сооружения очистных станций, то она анализируется точно так же, как и вода, поступающая на станцию с объекта водоотведения.

Фильтрование. Для обезвоживания промышленных осадков используют вакуум-фильтры с наружной фильтрующей поверхностью: дискового и ленточного типов, а также фильтр-прессы.

Работу вакуум-фильтра оценивают величиной производительности аппарата — количеством осадка по сухому веществу, снятым с 1 м^2 поверхности фильтра за 1 ч, для чего периодически определяют влажность кека. Качество и количество фильтрата учитывают с целью более полного анализа работы отстойника-уплотнителя, куда его передают для интенсификации процессов уплотнения сброженного осадка.

Таблица 2.18

Нагрузка на иловые площадки в год, м^3/м^2

Харвктеристика осадка	Тип иловой площадки				
	на естественном основании	на естественном основании с дренажом	на естественном асфальтобетонном основании с дренажом	каскадные с оверхностным удалением иловой воды	площадки-уплотнители
Сброженная в мезофильных условиях смесь осадка из первичных отстойников и активного ила	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5
То же в термофильных условиях	0,8	1,0	1,5	1,0	1,0
Сброженный осадок из первичных отстойников и осадок из двухъярусных отстойников	2,0	2,3	2,5	2,0	2,3
Аэробно стабилизированная смесь активного ила и осадка из первичных отстойников или стабилизированный активный ил	1,2	1,5	2,0	1,5	1,5

Контроль работы площадок-уплотнителей проводится аналогично контролю иловых площадок с поверхностным отводом воды.

Учет работы иловых площадок производится по форме, данной в табл. 2.19.

Периодически и при необходимости выполняют санитарно-бактериологический анализ сброженных осадков.

Фильтр-прессы применяют для обработки сжимаемых аморфных осадков. По сравнению с вакуум-фильтрами при прочих равных условиях после обработки на фильтр-прессах получают осадки с меньшей влажностью. Фильтр-прессы применяют в тех случаях, когда осадок направляется на сушку, сжигание или когда для

дальнейшей утилизации необходимо получить осадки с минимальной влажностью.

Различают рамные, камерные типа ФПАКМ, ленточные, барабанные и винтовые (шнековые) фильтр-прессы.

Таблица 2.19

Ведомость месячного учета работы иловых площадок

Дата	Размер карты	Дата		Продолжительность сушки осадка, сут	Влажность поступающего осадка, %	Количество поступающего осадка, м³	Влажность выгружаемого осадка, %	Количество выгружаемого осадка, м³
		напуска осадка	выгрузки осадка					

Центрифугирование. Оно позволяет разделить суспензии в компактных и высокопроизводительных аппаратах — гидроциклонах, центрифугах и сепараторах. Следует отметить, что скорость разделения суспензий в гидроциклонах в 10–20 раз, а в центрифугах и сепараторах более чем в 1000 раз больше, чем при гравитационном уплотнении.

Центрифуги принято разделять на два класса: фильтрующие и осадительные.

Фильтрующие центрифуги с проницаемой фильтровальной перегородкой применяют для разделения суспензий, имеющих среднюю и крупнозернистую твердые фазы. Они выпускаются периодического и непрерывного действия. Центрифуги периодического действия, применяющиеся при разделении быстро расслаивающихся суспензий сточных вод с несжимаемыми осадками, работают обычно в режиме постоянной производительности (по суспензии).

Фильтрующие центрифуги непрерывного действия оборудуются пульсирующей выгрузкой осадка.

В осадительных центрифугах непрерывного действия как загрузка, так и выгрузка фугата и кека осуществляются непрерывно.

Осадок на центрифуги подается поршневыми насосами. Фугат обычно подают в голову очистных сооружений.

Характеристика работы центрифуг включает оценку их производительности по объему переработанного осадка, отнесенному к

единице времени (обычно 1 ч), эффективности задержания сухого вещества, влажности кека и качеству фугата. При центрифугировании, так же как при вакуум-фильтрации, проводят санитарно-бактериологическую оценку осадков.

Фугат от гидроциклонов должен уплотняться в гравитационных сгустителях с применением коагуляции и обезвоживаться на барабанных вакуум-фильтрах.

Виброфильтры классифицируют на напорные и безнапорные. Эти аппараты просты по конструкции и требуют малых энергетических затрат. Они могут применяться для обезвоживания труднофильтруемых осадков без предварительного кондиционирования. Однако после обработки на виброфильтрах осадок имеет относительно высокую влажность, а фильтрат содержит загрязнения высокой концентрации.

Термическая сушка осадков (см. рис. 2.7). Наиболее освоенной в эксплуатации является сушилка барабанного типа, однако в перспективе, по-видимому, большее распространение будут иметь сушилки фонтанирующего типа (со встречными струями, взвешенным слоем осадка и т.п.).

Производительность сушилок определяют по массе испаряемой влаги в единицу времени из расчета на единицу объема аппарата. Чтобы рассчитать величину производительности, необходимо измерять влажность осадков до и после сушки, что и выполняется не менее одного раза в сутки. При оценке работы сушилок подсчитывают также затраты тепла на испарение влаги, фиксируют температуру топочных газов на входе в сушилку и на выходе из нее.

Сушилки фонтанирующего типа часто работают с так называемым «ретуром» — использованием части уже высушенного осадка, который подмешивают к осадку, поступающему на сушку. Этот прием используют для уменьшения начальной влажности смеси и придания ей свойства сыпучести. При подсчете производительности сушилки количество и качество ретура учитываются обязательно.

Кондиционирование (см. рис. 2.7) — технологический прием, которым обеспечивается наилучшее обезвоживание осадков и которым в большинстве случаев заканчивается их обработка. С помощью кондиционирования увеличивают водоотдающие свойства осадков путем изменения их структуры и форм связи воды. Осадки после термической сушки имеют влажность 5–40%. Санитарные показатели таких осадков достаточно высоки, однако осадки не полностью стерильны, хотя и не загнивают при сохранении влажности; осадки удобны для транспортирования и утилизации.

Сжигание малозольных осадков применяют в тех случаях, когда утилизация их невозможна или экономически нецелесообразна, а также с целью их обезвреживания и уменьшения объема. Сжигание осадков необходимо, если в них содержатся токсичные примеси.

Утилизация осадков сточных вод промышленных предприятий предназначена для извлечения и использования ценных веществ. Ряд осадков сточных вод обладают высокими удобрительными свойствами. Активный ил может быть использован как кормовой продукт. Осадки сточных вод минерального происхождения могут найти применение в промышленности строительных материалов и в дорожном строительстве.

Осадки сточных вод, подсушенные на иловых площадках или механически обезвоженные, а также термически высушенные, чаще всего используются в сельском хозяйстве в качестве органоминерального азотно-фосфорного удобрения, содержащего необходимые для развития растений микроэлементы. Учитывая возможность накопления в почве и растениях токсичных веществ из осадков, разрешается вносить осадок на один и тот же участок сельскохозяйственных угодий не чаще одного раза в 5 лет дозой 10–40 т/га.

Осадки сточных вод органического происхождения при сбраживании их в метантенках разлагаются с выделением метана, который может быть использован как источник тепловой, механической и электрической энергии.

Контроль процессов ликвидации и утилизации осадков сточных вод определяется технологическими требованиями к проведению этих процессов, разрабатываемыми соответствующими ведомствами и организациями.

2.8. Контроль процессов обработки промышленных стоков и методов извлечения из них вредных веществ

Представление об основных методах обработки промышленных сточных вод дает табл. 2.20 [15].

Многие методы обработки и очистки производственных сточных вод имеют общую основу с некоторыми методами очистки городских стоков.

Очистка производится в аналогичных по конструкции сооружениях. Технологические процессы описываются теми же зако-

номерностями, учитывающими, однако, специфику обрабатываемых стоков; управляются и контролируются по одним и тем же принципам. В связи с этим в данном параграфе будут рассмотрены только такие методы, которые, как правило, для обработки городских стоков не применяются, — нейтрализация и усреднение.

Таблица 2.20

Рекомендуемые методы обработки промышленных сточных вод

Концентрация загрязняющих веществ, мг/дм³	Методы очистки сточных вод, содержащих вещества преимущественно:			
	органические с температурой кипения, °С			неорганические
	<120	120–150	>250	
1	2	3	4	5
1–500	Биологический, химический, сорбционный		Химический, сорбционный	Механический, химический, сорбционный
500–5000	Химический (озонирование, хлорирование), сорбционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах	Химический, сорбционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах	Сорбционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах	Механический, сорбционный, выпаривание
5000–30000	Химический, экстракционный, жидкофазное окисление с биологической доочисткой, сжигание в печах			Механический, выпаривание, сброс в море, захоронение в земле, сушка в кипящем слое
> 30000	Экстракционный, жидкофазное окисление с различными методами доочистки, сжигание в печах			То же

Станции нейтрализации могут быть непрерывного либо циклического действия. Последние сооружаются на предприятиях с небольшим количеством загрязненных сточных вод. Станции непрерывного действия имеют в своем составе усреднительные ем-

кости, оборудованные устройствами для выравнивания концентраций загрязнений, смесители, камеры реакции, отстойники или осветлители, фильтры, устройства для обезвоживания осадка или шламовые площадки, а также узел приготовления реагентов и насосные установки.

Применяются следующие способы нейтрализации: 1) взаимная нейтрализация кислых и щелочных сточных вод; 2) нейтрализация реагентами (растворы кислот, негашеная и гашеная известь, кальцинированная и каустическая сода, а также аммиак); 3) фильтрование через нейтрализующие материалы (дробленые известняк, мрамор и доломит, а также мел, обожженный и необожженный магнезит).

В табл. 2.21 приведены дозы реагентов, необходимые для полной нейтрализации содержащихся в сточных водах кислот и щелочей.

Таблица 2.21

Расход реагентов (кг/кг) для нейтрализации кислот и щелочей

Щелочь	Кислота:			
	серная	соляная	азотная	уксусная
Известь:				
негашеная	0,56/1,79	0,77/1,3	0,46/2,2	0,47/2,15
гашеная	0,76/1,32	1,01/0,99	0,59/1,7	0,62/1,62
Сода:				
кальцинированная	1,08/0,93	1,45/0,69	0,84/1,19	0,88/1,14
каустическая	0,82/1,22	1,1/0,91	0,64/1,57	0,67/1,5
Аммиак	0,35/288	0,47/2,12	0,27/3,71	–

Примечание. В дроби над чертой указан расход щелочи, под чертой — расход кислоты.

Поскольку в кислых и щелочных сточных водах всегда присутствуют ионы тяжелых металлов, то дозу реагента следует определять с учетом выделения в осадок солей тяжелых металлов (табл. 2.22).

Конечный результат нейтрализации сточных вод в соответствии с установленными правилами рационально контролировать по водородному показателю. Статистической характеристикой объекта, контролируемого по величине pH, служит кривая потенциометрического титрования. При нейтрализации сточных вод, содержащих смеси слабых и сильных кислот, оснований и их со-

лей, кривые титрования (нейтрализации) имеют четко выраженную *S*-образную форму, вследствие того что фактор pH есть показатель логарифмический.

Эта существенная нелинейность затрудняет использование pH как параметра контроля процесса нейтрализации. Она приводит к тому, что при одном и том же приращении концентрации загрязнений в сточной воде изменения потенциала, измеренного на разных диапазонах шкалы pH-метра, могут отличаться друг от друга во много раз. Так, в сточной воде при pH ≈ 1 уменьшение содержания серной кислоты на 50 мг/л вызовет ничтожное увеличение pH (около 0,01 единицы pH). Такое же уменьшение кислотности при pH = 3 вызовет увеличение показаний pH-метра на 4 единицы.

Таблица 2.22

Расход реагентов (кг/кг), требуемых для удаления из сточных вод некоторых металлов

Металл	Реагент			
	CaO	$Ca(OH)_2$	Na_2CO_3	NaOH
Цинк	0,85	1,13	1,6	1,22
Никель	0,95	1,26	1,8	1,36
Медь	0,88	1,16	1,66	1,26
Железо	1	1,32	1,9	1,43
Свинец	0,27	0,36	0,51	0,38

Существенно искажает форму кривых титрования присутствие в растворе кислоты катионов металлов.

Важную роль в динамических свойствах реакций нейтрализации играют особенности реагента. В открытых и закрытых гетерогенных системах (при фильтрационной очистке воды) потребность в нейтрализаторе увеличивается в несколько раз по сравнению с гомогенной реакцией.

Мерой динамики реакции нейтрализации может служить коэффициент буферности, определяемый по формуле

$$\beta = \Delta\varphi / \Delta pH, \qquad (2.6)$$

где $\Delta\varphi$ — изменение количества реагента в мг-экв/дм^3; ΔpH — изменение pH.

На ряде предприятий химической промышленности значение коэффициента буферности может изменяться в десятки раз в течение года.

Большое осложнение при контроле очистки по параметру pH вносит нестационарность концентрации многокомпонентных загрязнений. Нейтрализация таких сточных вод дает не одну, а множество кривых потенциометрического титрования, каждая из которых соответствует определенному соотношению концентраций компонентов. Поэтому нельзя использовать только один pH для контроля нейтрализации сточных вод с сильно переменной буферностью.

В этих случаях одним из вариантов системы контроля процесса нейтрализации может быть совместное применение pH-метра и автоматического титрометра. Определенное соотношение значений pH и полной кислотности или щелочности исходных сточных вод характеризует степень их буферности. В реальных условиях при колебаниях концентрации реагента и расхода сточных вод отношение расхода реагента к величине pH исходных сточных вод характеризует степень самовыравнивания процесса очистки, если на выходе из реактора поддерживается нейтральная реакция обработанных сточных вод.

Усреднение сточных вод — метод, используемый для выравнивания концентраций загрязнений и реакции среды при спуске кислых и щелочных стоков в приемник сточных вод, а также для выравнивания расходов удаляемых стоков. Вместимость усреднителей обычно соответствует 4—12-часовому притоку. Для предотвращения выпадения осадка усреднители часто оборудуют мешалками. Иногда для этой цели подают воздух с интенсивностью не менее 2—5 $м^3/(ч \times м^2)$.

Повседневный контроль за работой усреднителя обеспечивается определением одного-двух показателей, например величины pH среды, перманганатной окисляемости, вида специфического загрязнения. Целесообразно использование экспресс-методов. Наиболее надежно контроль процессов усреднения, так же как и нейтрализации сточных вод, достигается путем применения автоматических измерителей качества воды.

По общему графику отбора среднесуточных проб 1-2 раза в 10 дней производится полный анализ воды на входе и выходе из усреднителя, позволяющий оценить возможность и эффективность его работы, а также работы последующих сооружений.

Одними из самых эффективных способов извлечения из сточных вод отдельных компонентов (тяжелые металлы, нефтепродук-

ты, хлорорганика, СПАВ, фенолы) являются сорбция, флотация и ультрафильтрация.

Сорбция многих примесей производственных стоков эффективно проходит на активированном угле. Кроме активированного угля в качестве сорбентов находят применение глины, торф, опилки, зола, ионообменные смолы, оксигидраты железа и алюминия и др.

Сорбцию осуществляют в статических и динамических условиях. В первом варианте сорбент в виде крошки или порошка вводят в очищаемую сточную воду; после определенного времени контакта смесь отстаивается. Второй вариант предусматривает фильтрацию обрабатываемой сточной воды через слой сорбента.

Основной технологической характеристикой процесса сорбции является сорбционная способность, определяемая количеством загрязнений, оставшихся в 1 $м^3$ или 1 кг сорбента. Эта величина обусловливает общий расход сорбента, а следовательно, одну из основных статей расхода на очистку сточных вод. Отнесенная ко времени процесса, величина сорбционной способности позволяет определить объем сорбционных колонн.

Наиболее сложной частью сорбционного процесса является регенерация сорбента. Для извлечения сорбированных веществ применяются экстрагирование органическим растворителем, изменение степени диссоциации слабого электролита в равновесном растворе, отгонка адсорбированного вещества с водяным паром, испарение адсорбированного вещества током инертного газообразного теплоносителя. В отдельных случаях осуществляют химические превращения сорбированных веществ с последующей десорбцией.

Контроль за процессами флотации аналогичен контролю за процессами седиментации, но включает определение параметров, специфичных для этого метода. Так, фиксируются общее и удельное количество воздуха, подаваемого во флотатор; давление, под которым воздух вводится в сооружение; объем образующейся пены и ее состав. Из химических характеристик чаще всего определяется изменяемый показатель, например концентрация удаляемых маслонефтепродуктов. Общий анализ воды проводят 1-2 раза в 10 дней.

Флотационный процесс протекает в 4–6 раз быстрее отстаивания при одинаковой эффективности удаления загрязнений. При флотации сточных вод, содержащих около 1 кг/$м^3$ взвесей, продолжительность флотации составляет не менее 45 мин, при содержании взвешенных веществ 4–7 кг/$м^3$ — не менее 30 мин

[16]. Оптимальный удельный расход воздуха в несколько раз превышает то количество воздуха, которое необходимо для создания условий всплывания агрегатов с твердыми частицами (1–1,6 дм^3/кг). Однако большой избыток воздуха может привести к накоплению пузырьков воздуха под слоем шлама, и толщина верхнего шламово-воздушного слоя, увеличиваясь, может достичь области гидравлических возмущений, создаваемой впускными устройствами, что ухудшит эффект флотации. Поэтому высота слоя накапливаемого шлама не должна превышать 0,5 м и ограничивается нагрузка по сухому веществу на 1 м^2 поверхности водного зеркала во флотаторе.

2.9. Контроль деструктивных методов очистки промышленных сточных вод

Если в результате очистки сточных вод загрязнения разрушаются и продукты распада удаляются из воды или образуются безвредные для водных объектов соединения, то такие методы очистки называют деструктивными. Сюда относят биологическое и химическое окисление загрязнений, а также химическое восстановление их водородом и электрохимическую деструкцию.

Биологические методы очистки. Из деструктивных методов первое место принадлежит биологическому методу очистки. С помощью микроорганизмов удается минерализовать огромное большинство органических и разрушить ряд неорганических веществ.

Интенсификация работы аэротенков возможна за счет различных мероприятий: повышения концентрации ила в сооружениях, выравнивания нагрузки на ил и исключения шоковых перегрузок, создания оптимальных условий по pH и температуре, а также внедрения способов окисления с помощью чистого кислорода или воздуха, обогащенного кислородом.

Эффективными разновидностями сооружений биологической очистки являются биофильтры с погружными дисками и ряд новых конструкций аэротенков.

Работу биоокислителей, установленных на промышленных предприятиях, контролируют так же, как и работу аэротенков городских станций. Однако если качество очищенных вод лимитируется по содержанию в них какого-либо определенного вещества, то помимо общих стандартных характеристик периодически определяют и содержание именно этого вещества.

Методы химического окисления. При наличии в стоках примесей, биохимически неокисляемых или токсичных для микроорганизмов, используются методы химического окисления, из которых наибольшее признание получил процесс озонирования.

При использовании методов химического окисления серьезное внимание при контроле за процессами уделяется составу конечных продуктов реакции. Не исключаются случаи, когда в процессе озонирования конечные продукты реакции оказываются более токсичными для водоемов, чем исходные продукты. В таком случае этот способ в качестве основного, безусловно, неприменим.

Озонированием удается разрушить такие трудноокисляемые вещества, как нефтепродукты, фенолы, красители, некоторые СПАВ, хиноны и др.

Контроль за процессом аналогичен контролю за реагентными методами очистки стоков; особое внимание уделяется определению потребного количества озона, которое обеспечивает заданную степень очистки, а также определяет стоимость процесса.

Химическое восстановление водородом применяется для обесцвечивания окрашенных сточных вод предприятий текстильной промышленности.

Окраска многих красителей обусловлена наличием в молекуле вещества двойной связи между атомами азота. Если эта связь разрушается, то вещество теряет окраску. На этом принципе и основан метод обесцвечивания водородом, который присоединяется по месту двойной связи. Водород получают в результате воздействия соляной кислоты на цинковую стружку и вводят его сразу же по получении, когда эффективность водорода наибольшая.

Метод обесцвечивания водородом не следует называть методом очистки воды, поскольку общая сумма примесей в ней, по существу, не изменяется.

Окисление под давлением рекомендуется проводить как при искусственном введении кислорода, так и без него. Обрабатываемую сточную воду (или осадок сточных вод) нагревают до температуры примерно 150°С под давлением 0,5—1 МПа. В этих условиях происходят реакции окисления и деструкции органических веществ, что сопровождается выделением газов и переходом части продуктов реакции в жидкость. Вода после подобной обработки полностью стерилизована. Метод изучен, в частности, применительно к стокам химико-фармацевтической промышленности.

Электрохимическая деструкция основана на окислении и восстановлении как органических, так и неорганических соединений. Причем эти реакции включают в себя широкий круг процессов: от простейшей ионной перезарядки до сложных превращений, лежащих в основе органического синтеза.

Механизмы электрохимического окисления (или восстановления) зависят от материала электродов, природы подвергаемых электролизу исходных продуктов, температуры и состава электролита (активной реакции среды, присутствия посторонних веществ ионного или молекулярного типа, наличия ингибиторов, поверхностно-активных веществ и т.п.).

В настоящее время разработана основанная на анодном окислении и катодном восстановлении технология очистки сточных вод от фенолов, роданитов, нитросоединений, формальдегида, метанола, красителей, симазина, цианурхлорида, производных антрахинона, этиленгликоля, 2,4–Д-кислоты, перекисных органических соединений, серосодержащих и прочих органических загрязнений, присутствующих в сточных водах предприятий химической, нефтехимической и других отраслей промышленности [17].

Процесс электрохимической деструкции осуществляют в электролизерах с диафрагмой и без нее. Наличие диафрагмы между электродами приводит к значительному повышению напряжения на аппарате и, следовательно, к увеличению расхода электроэнергии.

Важным достоинством метода электрохимической деструкции является то, что этот метод в большинстве случаев почти полностью снимает проблему осадка и реагента.

Перечисленными методами не ограничивается все многообразие возможных приемов обработки промышленных стоков. Так, в последние годы большое число исследований было посвящено изучению методов магнитной обработки, дезактивации радиоактивных сточных вод и некоторых других. Требования к технологическому контролю этих методов обычно достаточно высоки и многообразны, однако для любого процесса основной принцип контроля обработки воды заключается в регистрации наиболее доступных, аналитически несложных и эффективных индикаторов процесса. Эти индикаторы служат основой оперативного текущего контроля. При полном контроле фиксируются и анализируются параметры, которые определяют эффективность и глубину процесса и его стоимость. Параметры включают данные санитарно-химического анализа качества воды и осадков, расход воды, реагентов, пара, электроэнергии и т.п.

2.10. Упражнения и задачи

К параграфу 2.1

2.1.1. Привести последовательность операций при стандартном анализе токсичности сточных вод методом биологического тестирования.

Решение. В качестве тест-объектов следует выбрать дафнии (*Crustaceae, Cladocera*). Определяемый с помощью этих ракообразных параметр характеризует продолжительность ингибирования их подвижности в загрязненной воде. Результаты определений выражают в единицах равной токсичности (эквитокс). Сточную воду оценивают значением 1 эквитокс/м^3, если в условиях теста 50% популяций лишаются подвижности на 24 ч.

Для теста выбирают дафнии определенного размера (от 560 до 800 мкм). На пробе, содержащей группу таких дафний, проводят предварительный тест с использованием бихромата калия в качестве стандарта токсичности (50% дафний, находящихся в воде, содержащей C_0 =1,2 мг/дм^3 $K_2Cr_2O_7$, лишаются подвижности на 24 ч).

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 находят действительный результат. Количество эквитокс/м^3 сточной воды эквивалентно концентрации C_1, откорректированной в соответствии со значением C_0.

К параграфу 2.2

2.2.1. Оценить класс загрязнения речной воды при помощи биологического критерия. Определяющие этот индекс показатели состава речной воды имеют следующие концентрации, мг/дм^3: взвешенные вещества — 27; БПК — 6,8; O_2 — 8,9 и аммонийный азот — 1,3. Процент насыщения воды кислородом — 78.

Решение. Поскольку фоновые концентрации некоторых ингредиентов качества в приемниках сточных вод в настоящее время часто превышают их нормативные ПДК, то для расчетов общего резерва самоочищающей способности водоприемников приходится использовать интегральные критерии. Один из них — универсальный биологический критерий. В соответствии с результатами

натурных наблюдений значения входящих в этот индекс показателей разбиты на определенные интервалы, каждому из которых определен балл в пределах от 0 до 30. В табл. 2.23 приведены эти интервалы и соответствующие им баллы.

Как видно из табл. 2.23, общая сумма максимальных значений баллов по 5 параметрам равна 100.

Расчет величины критерия ведется по формуле

$$\text{Биологический критерий} = \frac{\text{Сумма баллов}}{10} (\text{условных единиц}). \qquad (2.7)$$

Поскольку предельное значение суммы баллов равно 100, величина биологического критерия при расчете по формуле (2.7) может колебаться от 0 до 10, причем большее значение индекса соответствует более чистой воде.

Таблица 2.23

Балльная оценка степени загрязнения воды

Взвешенные веществв		БПК		Аммонийный азот		Растворенный кислород			
Концентрация, мг/дм³	Балл	Концентрация, мг/дм³	Балл	Концентрация, мг/дм³	Балл	Концентрация, мг/дм³	Балл	Концентрация, % насыщения	Балл
0–10	20	0–2	30	0–0,2	30	9	10	90–100	10
10–20	18	2–4	27	0,3–0,5	24	8–9	8	80–90	8
20–40	14	4–6	24	0,5–1,0	18	6–8	6	105–120	8
40–80	10	6–10	18	1,0–2,0	12	4–6	4	60–80	6
80–150	6	10–15	12	2,0–5,0	6	1–4	2	> 120	6
150–300	2	15–25	6	5,0–10,0	3	0–1	0	40–60	4
> 300	0	25–50	3	> 10,0	0	–	–	10–40	2
–	–	> 50	0	–	–	–	–	0–10	0

Установлена следующая классификация загрязненности воды в зависимости от значений биологического критерия: 10 — чис-

тая вода; 8 — небольшое загрязнение; 6 — вода загрязнена; 3 — сильное загрязнение и 0 — сточная вода.

Соответствующие баллы для рассматриваемого в данном примере состава речной воды по табл. 2.23 составят:

Параметр	Концентрация	Балл
Взвешенные вещества	27 мг/дм^3	14
БПК	6,8 мг/дм^3	18
O_2	8,9 мг/дм^3	8
O_2	78% насыщение	6
Аммонийный азот	1,3 мг/дм^3	12
	Всего	58

Подставляя значение суммы баллов в формулу (2.7), получим, что величина биологического критерия составляет около 6 условных единиц.

Таким образом, речная вода, судя по величине биологического критерия, относится к классу загрязненных.

2.2.2. Выяснить, как влияют на качество речной воды сброшенные в нее сточные воды, содержащие 20 мг/дм^3 казеина.

Решение. Сначала определим потребность реакции в кислороде на основе стехиометрического уравнения:

$$C_8H_{12}O_3N_2 + 8O_2 = 8\,CO_2 + 2NH_3 + 3H_2O$$

	Казеин	Кислород	Диоксид углерода	Аммиак	Вода
Молекулярная масса	184	256	352	34	54

Для полного окисления казеина требуется

$$\frac{(20\ \text{мг/дм}^3\ \text{казеина}) \times (256\ \text{мг кислорода})}{184\ \text{мг казеина}} = 27{,}8\ \text{мг/дм}^3\ \text{кислорода}.$$

Полученная величина означает, что при полном окислении необходимо израсходовать 27,8 мг/дм^3 кислорода в воде, что и определит величину ее ХПК. Поскольку вода в насыщенном со-

стоянии при температуре 20°С содержит всего 9,2 мг/дм^3 растворенного кислорода, следует принять меры для обеспечения требуемого его количества. Отметим, что с помощью одного ХПК нельзя определить, как быстро расходуется кислород, идет или не идет реакция до конца и с какой скоростью кислород может поступать в поток воды.

К параграфу 2.3

2.3.1. Рассчитать концентрацию песка в сточной воде, поступающей на очистную станцию, и эффективность работы песколовок, если в них задерживается песка 15 дм^3 на 1000 м^3. Содержание песка в осадке первичных отстойников 6% (по массе), количество этого осадка составляет 0,25% по объему от расхода обрабатываемой воды, влажность осадка 93%.

Решение. Общее количество песка определяют как сумму песка, задерживаемого песколовками и первичными отстойниками.

Рассчитаем часть песка, улавливаемого песколовками. При этом все расчеты приведем к 1 дм^3 сточной воды, как и принято для выражения концентрации по любому виду загрязнений.

Из условия задачи следует, что в песколовках на 1 дм^3 сточной воды задерживается 0,015 см^3 песка по объему. Объемную массу песка при расчетах принимаем равной 1,5 т/м^3, или 1,5 г/см^3.

Следовательно, в песколовках улавливается песка (по массе)

$$0{,}015 \times 1{,}5 = 0{,}0225 \text{ г/дм}^3 = 22{,}5 \text{ мг/дм}^3.$$

Далее определим часть песка, удаляемого с осадком первичных отстойников. По условию с 1 дм^3 обрабатываемой воды образуется осадка 0,25%, или 2,5 см^3/дм^3. По массе при влажности осадка 93% (и объемной массе 1 г/см^3) сухого вещества осадка на 1 дм^3 воды будет

$$2{,}5 \times 1 \times 0{,}07 = 0{,}175 \text{ г/дм}^3, \text{ или } 175 \text{ мг/дм}^3.$$

Так как количество песка составляет 6% по массе по отношению к сухому веществу осадка, то масса песка в осадке будет

$$175 \times 0{,}06 = 10{,}5 \text{ мг/дм}^3.$$

Таким образом, в исходной сточной воде общее содержание песка составит

$$22{,}5 + 10{,}5 = 33 \text{ мг/дм}^3.$$

Из этого количества песколовками задержано 22,5 мг/дм^3, или 68,2% песка.

2.3.2. Как изменится объем откачиваемого из первичных отстойников осадка, если обеспечить снижение его влажности с 94 до 92,5%?

Решение. Концентрация сухого вещества в осадке влажностью 94% составляет 60 г/дм^3, а в осадке влажностью 92,5% — 75 г/дм^3. Чтобы получить 1 дм^3 осадка с концентрацией сухого вещества 75 г, нужно взять жидкого осадка с 94%-ной влажностью 75 : 60 = 1,25 дм^3. Следовательно, объем осадка уменьшится с 1,25 до 1 дм^3, или в 1,25 раза. (Объемная масса осадка принимается равной 1 кг/дм^3.)

К параграфу 2.4

2.4.1. Сколько ила образуется при биологической очистке сточных вод и какое количество воздуха необходимо подать в аэротенки для выполнения требований норматива?

Эксплуатационные условия процесса подготовки активного ила для обработки городских сточных вод следующие. Расход сточных вод 40 тыс. м^3/сут, исходное содержание взвешенных веществ 90 г/м^3, БПК$_{полн}$ (L_a) в исходных сточных водах 300 г/м^3, БПК$_{полн}$ в сбрасываемых сточных водах 15 г/м^3 (норматив).

Решение. По формуле (2.2) прирост ила составит

$$\text{Пр} = 0{,}8 \times 90 + 0{,}3 \times 300 = 162 \text{ г/м}^3$$

или с учетом производительности станции

$$40\,000 \text{ м}^3\text{/сут} \times 162 \text{ г/м}^3 : 106 = 6{,}48 \text{ т/сут}.$$

Расход воздуха при пневматической системе аэрации подсчитаем по отношению к 1 кг снятой БПК$_{полн}$. Удаление БПК$_{полн}$ составляет

$$40\,000 \text{ м}^3\text{/сут} \times (300 - 15) \text{ г/м}^3 \times 10^{-3} = 11\,400 \text{ кг/сут}.$$

Для городских сточных вод при мелкопузырчатой системе аэрации расходуется 50 кг воздуха на 1 кг снятой БПК$_{полн}$. Плотность воздуха при стандартных температуре и давлении равна 1,203 кг/м^3.

Тогда общая потребность в воздухе для станции биохимической очистки будет равна

$$11\,400 \times 50 : 1{,}203 = 473\,815{,}5 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

К параграфу 2.5

2.5.1. Определить необходимые параметры хлораторной установки, проектируемой для дезинфекции сточной воды на станции биохимической очистки производительностью $Q_{ср.сут}$ = 20 000 м³/сут при общем коэффициенте неравномерности $K_{общ}$ = 1,39.

Решение [18]. Средний секундный расход воды на очистную станцию составит

$$q_{ср} = Q_{ср.сут} / (24 \times 3600) = 20\,000 / (24 \times 3600) = 0{,}23 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При $K_{общ}$ = 1,39 максимальный часовой расход

$$Q_{макс.ч} = \frac{Q_{ср.сут}}{24} \times K_{общ} = \frac{2000}{24} \times 1{,}39 = 1158 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При дозе хлора для дезинфекции сточных вод $Д_{хл}$ = 3 г/м³ расход хлора за 1 ч при максимальном расходе составляет

$$g_{хл} = \frac{Д_{хл} \times Q_{макс.ч}}{1000} = \frac{3 \times 1158}{1000} = 3{,}47 \text{ кг/ч}.$$

Расход хлора в сутки

$$g_{хл} = \frac{Д_{хл} \times Q_{ср.сут}}{1000} = \frac{3 \times 20000}{1000} = 60 \text{ кг/ч}.$$

В хлораторной предусматривается установка двух хлораторов ЛОНИИ-100 с ротаметром РС-5. Один хлоратор рабочий, а другой — резервный.

Для обеспечения требуемой производительности в 1 ч необходимо иметь баллонов-испарителей

$$n_{бал} = \frac{g_{хл}}{S_{бал}} = \frac{3,47}{0,5} = 7 \text{ шт.},$$

где $S_{бал} = 0,5–0,7$ кг/ч — съем хлора с одного баллона вместимостью 20 л, содержащего 25 кг жидкого хлора.

Баллоны-испарители хранятся в расходном складе хлора. Для контроля за расходованием хлора на складе устанавливают двое циферблатных весов марки РП-500-Г, на которых размещаются по семь баллонов. Каждые весы с баллонами являются частью двух самостоятельных установок, работающих периодически.

Хлораторная обеспечивается подводом воды питьевого качества с давлением не менее 300 кПа и расходом

$$Q = g_{хл} \times q_{хл} = 3,47 \times 0,6 = 2,08 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $q_{хл} = 0,6$ м^3/кг — норма водопотребления в м^3 на 1 кг хлора.

Подача хлорной воды для дезинфекции сточной воды производится перед смесителем типа «лоток Паршала» с горловиной шириной 500 мм, потеря напора в котором равна $\Delta h = 2$ кПа.

Для обеспечения контакта хлора со сточной водой запроектированы контактные резервуары по типу горизонтальных отстойников. Их объем

$$V_{к.к.} = Q_{макс.ч} \times T = 1158 \times 30 / 60 = 579 \text{ м}^3,$$

где $T = 30$ мин — продолжительность контакта хлора со сточной водой.

При скорости движения сточных вод в контактных резервуарах $v = 10$ мм/с их длина равна

$$L = v \times T = 10 \times 30 \times 60 / 1000 = 18 \text{ м}.$$

Площадь поперечного сечения

$$w = V_{к.р.} / L = 579 / 18 = 32,2 \text{ м}^2.$$

При глубине $H = 2,8$ м и ширине каждой секции $b = 6$ м количество секций

$$n = w / (b \times H) = 32,2 / (6 \times 2,8) = 2 \text{ шт.}$$

К параграфу 2.6

2.6.1. Определить максимальный выход биогаза из распавшегося органического вещества осадка.

Решение. Эту задачу можно решить, если считать количество метана, образовавшегося при распаде органики, как эквивалент ХПК распавшегося осадка:

$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O. \qquad (2.8)$$

Из уравнения (2.8) следует, что один моль CH_4 (22,4 л при стандартных условиях) вступает в реакцию с двумя молями O_2 (64 г по ХПК). Тогда 1 г ХПК распавшегося осадка образует:

$$22,4 : 64 = 0,35 \text{ л } CH_4.$$

Однако даже при бесконечно длительном пребывании осадка в метантенке не происходит полного распада всего органического вещества осадка и превращения его в биогаз. Некоторая доля органического вещества синтезируется в биомассу микроорганизмов, участвующих в процессе ее распада, часть переходит в растворенное состояние, создавая щелочность среды, а часть вообще не сбраживается (лигнин). Поэтому найденное в данной задаче значение выхода биогаза следует считать ориентировочным.

2.6.2. Оценить работу метантенков, если анализ иловой жидкости дал в первом метантенке результаты по содержанию жирных кислот 33 мг-экв/дм^3 и щелочности 42 мг-экв/дм^3, а во втором — соответственно 8 и 92 мг-экв/дм^3. Газы брожения в первом метантенке имеют состав: 25% CH_4, 29% H_2, 45% CO_2, 1% N_2, а во втором — 65% CH_4, 1% H_2, 33% $C0_2$ и 1% N_2.

Решение. В составе газов первого метантенка мало процентное содержание метана и в больших количествах присутствуют компоненты первой (кислой) фазы брожения — углекислота и водород. В составе иловой воды этого метантенка жирных кислот значительно больше предела для нормально работающего сооружения при одновременно невысоком запасе щелочности. Все эти показатели однозначно свидетельствуют о подавлении щелочной фазы процесса брожения и наличии явных признаков «закисания» метантенка.

Для второго метантенка показатели по составу иловой воды и газа находятся в пределах норм стабильно работающего сооружения.

К параграфу 2.7

2.7.1. Рассчитать, какая часть ила по объему удаляется в виде фугата, и определить качество фугата, если на центрифугирование подается ил влажностью 96,8%. Влажность обезвоженного ила 80%, эффективность задержания взвеси 28%.

Решение. В 1 м^3 исходного ила было 32 кг сухого вещества. В виде обезвоженного ила получено сухого вещества

$$32 \times 0{,}28 = 8{,}96 \text{ кг/м}^3.$$

Объем этого ила при его влажности 80%, т.е. содержании сухого вещества 200 кг/м^3, составляет

$$8{,}96 : 200 = 0{,}0448 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Если с 1 м^3 обрабатываемого ила получается 0,0448 м^3 обезвоженного продукта, то фугата получится 0,9552 м^3/м^3, что составляет 95,5% первоначального объема ила.

В полученном фугате имеется сухого вещества

$$32 - 8{,}96 = 23{,}04 \text{ кг/м}^3.$$

Концентрация фугата по взвешенным веществам составит

$$23{,}04 : 0{,}9552 = 24{,}1 \text{ кг/м}^3, \text{ или } 24{,}1 \text{ г/дм}^3.$$

При концентрации сухого вещества в фугате 24,1 г/дм^3 его влажность составляет 97,6%.

В результате центрифугирования получилось более 95% фугата по объему от объема отработанного ила с качеством, практически близким к исходному илу. Влажность фугата всего на 0,8% выше влажности ила, поданного на центрифугирование.

В схеме сооружений должна быть предусмотрена система обработки или использования фугата.

2.7.2. Определить влажность осадка после удаления иловой воды, если на иловые площадки с поверхностным отводом воды подан осадок влажностью 97,4%. После отстаивания удалена иловая вода в объеме 50% первоначального объема осадков с концентрацией взвеси в ней 1 г/дм^3.

Решение. Расчет следует выполнить применительно к 1 дм^3 осадка. При влажности 97,4% содержание сухого вещества состав-

ляет 26 г/дм^3. После удаления отстоявшейся воды объем осадка уменьшился в 2 раза, т.е. стал равным 0,5 дм^3. Удалено иловой воды также 0,5 дм^3 с содержанием в ней сухого вещества 0,5 г. Следовательно, в 0,5 дм^3 осадка осталось сухого вещества 25,5 г, а в пересчете на 1 дм^3 — 51 г/дм^3. При концентрации сухого вещества 51 г/дм^3 влажность осадка составит 94,9%.

К параграфу 2.8

2.8.1. Требуется количественно оценить влияние буферности сточных вод завода биохимических реактивов на контроль процесса их нейтрализации. Они загрязнены смесью минеральных и органических кислот, содержащихся в постоянно изменяющемся соотношении и обладающих отчетливо выраженными буферными свойствами. На рис. 2.9 приведены кривые титрования этих сточных вод 5%-ной известковой суспензией.

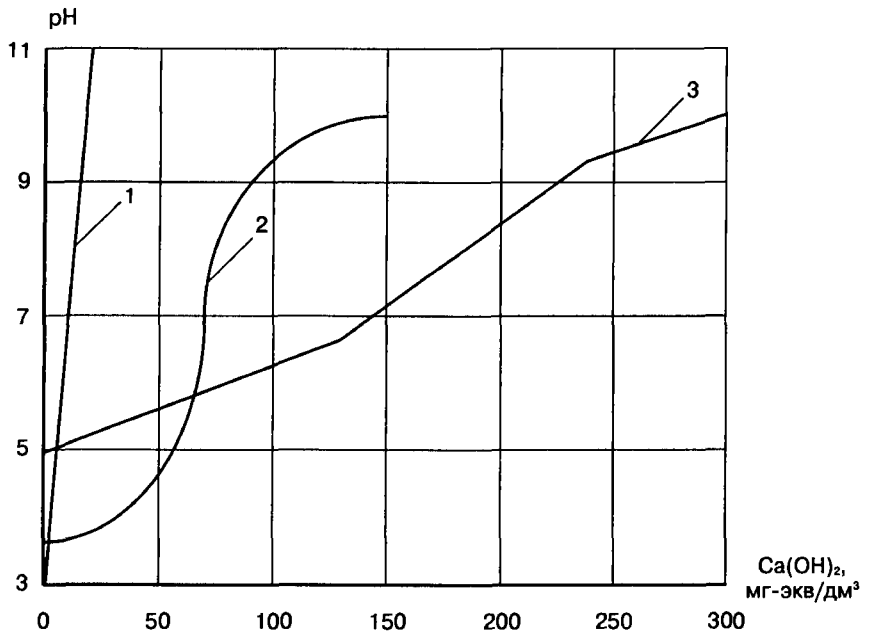


Рис. 2.9. Кривые титрования сточных вод завода химических реактивов:
1 — проба воды со слабо выраженными буферными свойствами;
2 — то же со средней буферностью;
3 — то же с сильной буферностью

Решение. Расчет по формуле (2.6) β в мг-экв/(дм^3 × ед. pH) для кривых рис. 2.9 в диапазоне изменения pH от 5 до 9 дает следующие результаты:

кривая $1 \rightarrow 8 : 4 = 2$;

$2 \rightarrow 34 : 4 = 8{,}5$;

$3 \rightarrow 210 : 4 = 52$,

где делимое — расход известковой суспензии на титрование соответствующих сточных вод в мг-экв/дм^3, а делитель — диапазон изменения pH.

Из результатов расчета следует, что коэффициент β в заводских сточных водах изменяется в $52 : 2 = 26$ раз.

Другие факторы, влияющие на контроль качества сточных вод в процессе их нейтрализации — колебания расхода этих вод и концентрация извести в воде, не подвергаются более чем 3–5-кратному изменению. Следовательно, коэффициент буферности является главной характеристикой контролируемого процесса.

2.8.2. Рассчитать pH буферного раствора $CH_3COOH + CH_3COONa$, в котором $C_{соли} = C_{кислоты} = 0{,}1$ моль.

Решение [20]. В этом случае целесообразно использовать уравнение для расчета pH буферного раствора:

$$pH = pK_д + \frac{C_{соли}}{C_{кислоты}}, \qquad (2.8)$$

где $pK_д$ — отрицательный логарифм константы диссоциации слабой кислоты, для уксусной кислоты $pK_д = 4{,}75$; $C_{кислоты}$ и $C_{соли}$ — концентрации слабой кислоты и ее соли, моль.

Подставив исходные значения в уравнение (2.8), получим:

$$pH = pK_д = 4{,}75.$$

Если в этот раствор добавить HCl концентрацией 10^{-2} моль, то по реакции

$$H^+ + Cl^- + CH_3COO^- = CH_3COOH + Cl^-$$

концентрация слабой кислоты CH_3COOH в растворе увеличится на 10^{-2} моль. Согласно уравнению (2.8) pH раствора равен

$$pH = 4{,}75 + \lg\frac{0{,}1 - 10^{-2}}{0{,}1 + 10^{-2}} = 4{,}75 + \lg\frac{0{,}09}{0{,}11} = 4{,}67.$$

Следовательно, pH изменяется незначительно (на 0,08 единицы). Если это количество HCl добавить в дистиллированную воду, то ее pH изменится от 7 до 2 (на пять единиц). Значит, раствор $CH_3COOH + CH_3COONa$ проявляет буферные свойства.

Поэтому многие токсичные соединения в буферных растворах переходят в осадок только при строго определенном значении pH.

2.8.3. Необходимо осадить из раствора Pb^{2+}. Определить, какой реагент (Na_2CO_3 или Na_3PO_4) следует использовать, чтобы достигнуть более полного осаждения свинца без избытка осадителя. Произведение растворимости $ПР_{PbCO_3} = 3{,}3 \times 10^{-14}$; $ПР_{Pb_3(PO_4)_2} = 7{,}9 \times 10^{-43}$.

Решение [20]. Осаждение свинца карбонатом натрия идет по реакции

$$Pb^{2+} + CO_3^{2-} = PbCO_3,$$

$$ПР = [Pb^{2+}] \times [CO_3^{2-}] = 3{,}3 \times 10^{-14}.$$

Остаточная концентрация ионов Pb^{2+} в растворе равна

$$[Pb^{2+}] = \sqrt{(3{,}3 \times 10^{-14})} = 1{,}8 \times 10^{-7} \text{ моль}.$$

Осаждение свинца фосфатом натрия идет по реакции

$$3Pb^{2+} + 2PO_4^{3-} = Pb_3(PO_4)_2,$$

$$ПР = [Pb^{2+}]^3 \times [PO_4^{3-}] = (2/3) \times [Pb^{2+}],$$

$$ПР = [Pb^{2+}]^3 \times \{(2/3) \times [Pb^{2+}]\}^2 = (4/9) \times [Pb^{2+}]^5 = 7{,}9 \times 10^{-43}.$$

Остаточная концентрация ионов Pb^{2+} в растворе

$$[Pb^{2+}] = \sqrt[5]{\frac{9 \times 7{,}9 \times 10^{-43}}{4}} = 4{,}9 \times 10^{-9} \text{ моль}.$$

Сравнивая остаточные концентрации ионов Pb^{2+} в растворах, можно сделать вывод, что осаждение Pb^{2+} фосфатом натрия идет

более эффективно. Остаточная концентрация Pb^{2+} в случае применения Na_3PO_4 почти в 37 раз меньше, чем при Na_2CO_3.

К параграфу 2.9

2.9.1. Необходимо нейтрализовать 100 кг серной кислоты и удалить 6 кг никеля, содержащихся в производственных сточных водах. Требуется установить, какое количество негашеной извести CaO для этого следует применить.

Решение. Потребуется следующее количество CaO:

$$g = (\frac{100}{49,04} + \frac{6}{29,35}) \times 28 = 62,8 \text{ кг},$$

где 49,04 и 29,35 — соответственно эквивалентные массы серной кислоты и никеля.

С учетом примесей, содержащихся в товарной извести, общее потребное количество ее должно быть увеличено на 50% и составит

$$g = 1,5 \times 62,8 = 94,2 \text{ кг}.$$

2.9.2. На примере оборотной системы охлаждающего водоснабжения Нижнекамского завода по производству синтетического каучука разработать технологический регламент очистки продувочных вод от токсичных ингибиторов коррозии стали. В оборотной системе этого завода, эксплуатирующейся с повышенным коэффициентом упаривания воды, для снижения коррозионной активности циркуляционной воды успешно применяют тройной цинк-бихроматфосфатный ингибитор в дозе, мг/дм^3: $Zn^{2+} = 2$; $CrO_4^{2-} = 3$ и $PO_4^{3-} = 3$.

Решение. Предложена и с положительным эффектом внедрена технология очистки продувочных вод по двухступенчатой схеме. На первой продувочная вода подкисляется до pH = 3–4 и пропускается через фильтр с загрузкой из железных стружек. При этом шестивалентный хром переводится в трехвалентный и снижается содержание фосфатов за счет образования нерастворимой соли $Fe_3(PO_4)_2$. На второй ступени продувочные воды обрабатываются кальцинированной содой и отстаиваются с выделением в осадок нерастворимых соединений $ZnCO_3$, $Cr(OH)_3$, $Fe(OH)_2$ и $Fe_3(PO_4)_2$.

Эта технология очистки продувочных вод позволяет уменьшить концентрацию токсичных хрома и цинка, а также фосфатов до требуемого водоохранными органами уровня.

2.9.3. Определить удельные (на единицу снимаемого загрязнения) дозы реагентов при очистке сточных вод от цианидов. Высокотоксичные цианиды превращаются в нетоксичные цианаты под действием сильных окислителей, таких, как гипохлорит натрия, газообразный хлор, мононадсерная кислота (кислота Каро), в щелочной среде.

Решение. Ниже даны суммарные уравнения реакций при введении реагентов в циансодержащую воду.

Реакция с гипохлоритом натрия:

$$NaCN + NaClO = NaOCN + NaCl,$$

с газообразным хлором:

$$NaCN + Cl_2 + 2NaOH = NaOCN + 2NaCl + H_2O,$$

с кислотой Каро:

$$NaCN + H_2SO_5 = NaOCN + H_2SO_4.$$

Первые две реакции протекают практически мгновенно при значении pH > 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 цианистоводородная кислота:

$$NaCN + NaClO + H_2O = CNCl + 2NaOH.$$

Начиная со значения pH = 10,5, хлористый циан быстро гидролизуется по реакции

$$CNCl + 2NaOH = NaCl + NaCNO + H_2O.$$

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

$$2NaCNO + 3Cl_2 + 6NaOH = 2NaHCO_3 + N_2 + 6NaCl + 2H_2O$$

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 незначительной токсичностью.

В табл. 2.24 приведены расходы реагентов на окисление 1 г цианата CN^-, присутствующего в сточной воде, значение pH которой предварительно доведено до оптимальной величины.

Таблица 2.24

Удельные (на единицу снимаемого загрязнения) дозы реагентов при очистке сточных вод от цивнидов

Реагенты	NaClO*, мл	Cl_2, г / NaOH, г	H_2SO_4**, мл / NaOH, г
На 1 г CN^-, по стехиометрии	18,2	2,75 / 3,1	22 / 3,1
На 1 г CN^-, по товарному продукту	21 избыток 20%***	3 / 3,5 избыток 10%	24 / 3,5 избыток 10%

Примечания:
* Выпускается с концентрацией активного хлора 150 мг/дм^3.
** Концентрация 200 г/дм^3.
*** Избыток допускается при концентрации цианидов < 100 мг/дм^3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В водоснабжении и водоотведении населенных пунктов и промышленных предприятий контроль качества воды имеет не менее важное значение, чем установление и обеспечение требуемых расходов и давлений в водоразборных сетях и водоотводящих коллекторах. От доброкачественности воды во многом зависит здоровье людей, санитарное благополучие водных объектов и возможность выпуска продукции, отвечающей техническим условиям на ее изготовление.

При изучении дисциплины «Контроль качества воды» по данному учебнику студент приобретает знания о современном состоянии качества воды в источниках водоснабжения, качестве питьевой и сточной воды, а также о процессах, происходящих при очистке этих вод. Он знакомится с возможностью действующих очистных станций удалять из воды различные примеси. Полученные знания позволяют студенту по эксплуатационным данным давать правильные заключения об эффективности работы станций, способах реконструкции действующих очистных сооружений с целью повышения глубины очистки воды, а также о необходимости использования дополнительных технологий водообработки.

Для закрепления теоретических знаний и приобретения необходимых практических умений изучение учебного курса должно сопровождаться лабораторными работами и практическими занятиями по теме.

Использование полученных знаний будущими специалистами позволит им активно способствовать решению одной из сложнейших задач современности — защите национальных водных ресурсов от истощения и деградации.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Комментарий к Водному кодексу Российской Федерации. — М.: Юридический Дом Юстицинформ, 1997. 336 с.

2. *Акимов В.Н.* Стандартные термины в водном хозяйстве / Под ред. Н.Н.Михеева. — М.: НИА-Природа, 1999. 140 с.

3. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. — М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001. 111 с.

4. *Алексеев Л.С., Гладков В.А.* Улучшение качества мягких вод. — М.: Стройиздат, 1994. 152 с.

5. *Мещерский Н.А., Быч Е.С., Фролов Ю.В.* Эксплуатация водоподготовок в металлургии. — М.: Металлургия, 1988. 400 с.

6. СНиП 2.04.02–84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. — М.: Стройиздат, 1996.

7. *Гончарук Е.И., Габович Р.Д., Гаркавый С.И., Рудейко В.А., Ткаченко И.И., Циприян В.И.* Руководство к лабораторным занятиям по коммунальной гигиене: Учеб. пособие. — М.: Медицина, 1990. 416 с.

8. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений: В 3-х т. — Т. 2. Очистка и кондиционирование природных вод / Научно-методическое руководство и общая редакция М.Г. Журбы — Вологда–Москва: ВоГТУ, 2001. 324 с.

9. *Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И.* Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие / Под общ. ред. В.С. Пономаренко. — М.: Энергоатомиздат, 1998. 376 с.

10. *Беличенко Ю.П., Гордеев Л.С., Комиссаров Ю.А.* Замкнутые системы водообеспечения химических производств. — М.: Химия, 1996. 272 с.

11. Правила охраны поверхностных вод от загрязнений сточными водами. Утверждено 21.01.91. Гос. ком. по охране природы СССР. — М., 1991. 34 с.

12. *Смирнов Д.Н.* Автоматическое регулирование процессов очистки сточных и природных вод. — М.: Стройиздат, 1974. 256 с.

13. *Яковлев С.В., Воронов Ю.В.* Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов / Под общ. ред. Ю.В. Воронова. — М.: АСВ, 2002. 704 с.

14. *Яковлев С.В., Волков Л.С., Воронов Ю.В., Волков В.Л.* Обработка и утилизация осадков производственных сточных вод. — М.: Химия, 1999. 448 с.

15. СНиП 2.04.03-85*. Канализация. Наружные сети и сооружения. — М.: ЦИТП, 1986. 72 с.

16. *Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М., Марутовский Р.М., Рода И.Г.* Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. — М.: Химия, 1983. 288 с.

17. *Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Рогов В.М.* Технология электрохимической очистки воды. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987, 312 с.

18. *Ласков Ю.М., Воронов Ю.В., Калицун В.И.* Примеры расчетов канализационных сооружений: Учеб. пособие для вузов. — М.: Стройиздат, 1987. 255 с.

19. *Алексеев В.И., Винокурова Т.Е., Пугачев Е.А.* Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием компьютерных информационных технологий: Учебное пособие. — М.: Издательство АСВ, 2003. 176 с.

20. *Никифоров А.Ф., Мигалатий Е.В., Аксенов В.И., Аникин Ю.В., Браяловский Б.С.* Физикохимия воды и водных растворов: Учебное пособие. — Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2003. 92 с.

Дополнительная

1. *Аксенов В.И., Мигалатий Е.Ф., Никифоров А.Ф.* Переработка осадков сточных вод: Учебное пособие. — Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2003, 82 с.

2. *Алексеев М.И., Мишуков Б.Г., Дмитриев В.Д.* Эксплуатация систем водоснабжения и канализации: Учебное пособие. — М.: Высш. шк., 1993. 272 с.

3. *К.Бараке, Ж. Бебен, Ж. Бернар* и др. Технические записки по проблемам воды: Пер.с англ. В 2-х т. / Под ред. Т.А. Карюхиной, И.Н. Чурбановой — М.: Стройиздат, 1983.1064 с.

4. *Гюнтер Л.И., Гольдфарб Л.Л.* Метантенки. — М.: Стройиздат, 1991. 128 с.

5. *Дмитриев В.Д., Коровин Д.А., Кораблев Г.П., Медведев Г.П., Мишуков Б.Г., Наумов М.П., Чистова Г.С.* Эксплуатация систем

водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник / Под ред. В.Д. Дмитриева, Б.Г. Мишукова. — 3-е изд., перераб. и доп. — Л.: Стройиздат. Ленигр. отд-ние, 1988. 383 с.

6. *Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В.* Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник. — М.: Энергоатомиздат, 1990. 254 с.

7. *Ксенофонтов Б.С.* Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. — М.: Химия, 1992. 144 с.

8. *Марымов В.И.* Использование промышленных сточных вод для орошения. — М.: Колос, 1982. 72 с.

9. *Миклашевский Н.В., Королькова С.В.* Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры. — СПб.: БХВ — Санкт-Петербург. «Издательская группа «Арлит». 2000. 240 с.

10. *Похил Ю.Н., Багаев Ю.Г., Мамаев В.В., Валуйских И.В., Соколов В.Д., Гридасов В.В.* Проблемы нормирования сбросов сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника, № 10, 2002, с. 34–37.

11. *Турянский И.П., Лысов В.А., Турянская Н.И.* Реконструкция и интенсификация инженерных сетей и сооружений водопровода: Учебное пособие. — Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2002. 160 с.

12. *Шарапов В.И., Ивухина М.А.* Декарбонизаторы водоподготовительных установок систем теплоснабжения: Учебное пособие. — М. : Издательство АСВ, 2002. 200 с.

Леонид Сергеевич Алексеев

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Учебник

Редактор *В.К. Писаренко*
Корректор *Л.С. Куликова*
Верстка *А.О. Муравенко*
Художественное оформление *«Ин-Арт»*

ЛР № 070824 от 21.01.93

Сдано в набор 09.02.2004.
Подписано в печать 13.05.2004.
Формат 60×90/16. Печать офсетная. Бумага типографская № 2.
Гарнитура «Newton». Усл. печ. л. 10,0. Уч. изд. 10,32.
Тираж 100 000 экз. (1 — 2 000 экз.).
Заказ № 0407010.

Издательский Дом «ИНФРА-М»
127214, Москва, Дмитровское ш., 107.
Тел.: (095) 485-70-63; 485-71-77.
Факс: (095) 485-53-18.
E-mail: books@infra-m.ru
http://www.infra-m.ru

Отпечатано в полном соответствии
с качеством предоставленных диапозитивов
в ОАО «Ярославский полиграфкомбинат»
150049, Ярославль, ул. Свободы, 97.

