

ЭН-97-002

Т.А.Карюхина, И.Н.Чурбанова

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ

ЭН - 97 - 002

Т.А.Карюхина, И.Н.Чурбанова

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Издание второе, переработанное и дополненное

Допущено Управлением кадров и учебных заведений Министерства жилищно-коммунального хозяйства РСФСР в качестве учебника для учащихся техникумов по специальности «Водоснабжение, канализация и очистка промышленных и сточных вод»



МОСКВА
СТРОЙИЗДАТ
1986

ББК 38.761
К 27
УДК 628.1/3:658.562(075.32)

Рецензент — член-корр. АН СССР С. В. Яковлев
(ВНИИ ВОДГЕО)

Карюхина Т. А., Чурбанова И. Н.
К 27 Контроль качества воды: Учеб. для техникумов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1986. — 160 с., ил.

Рассмотрены вопросы технологического контроля процессов очистки природных и сточных вод, а также обработки осадков. Приведены примеры решения практических задач и упражнения по оценке показателей контроля, способствующие более полному овладению теоретической частью данного курса.

Для учащихся техникумов, обучающихся по специальности «Водоснабжение, канализация и очистка промышленных и сточных вод».

К 3206000000—205 175—86
047(01)—86

ББК 38.761
6С9.3

УЧЕБНИК

ТАМАРА АЛЕКСАНДРОВНА КАРЮХИНА

ИРИНА НИКОЛАЕВНА ЧУРБАНОВА

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Редакция литературы по инженерному оборудованию
Зав. редакцией И. В. Соболева
Редактор С. И. Погудина
Мл. редактор Н. Н. Романова
Технический редактор М. В. Павлова
Корректор Г. А. Кравченко

ИБ № 3824

Сдано в набор 23.07.85 Подписано в печать 28.04.86 Т-06657
Формат 84×108/16 Бумага книжно-журнальная Гарнитура литературная
Усл. печ. л. 8,40 Усл. кр.-отт. 8,71 Уч.-изд. л. 9,57
Тираж 19.000 экз. Изд. А.111-1090 Зак. № 487 Цена 30 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Калаяевская ул., 23а

Подольский филиал ПО «Периодика» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли, 142110, Подольск, ул. Кирова, 26

© Стройиздат, 1977
© Стройиздат, 1986, с изменениями

Решениями XXVII съезда КПСС предусмотрено осуществление мероприятий по охране окружающей среды, рациональному использованию и воспроизводству природных ресурсов. Значительная часть средств, выделенных для этих целей, расходуется на строительство высокоэффективных городских очистных сооружений, создание систем использования воды после локальной очистки в замкнутых циклах, разработку мер по комплексному и рациональному использованию водных ресурсов страны.

В связи с этим серьезными задачами, которые предстоит решать в области очистки природных и сточных вод, являются разработка эффективных новых и глубокое освоение традиционных методов обработки воды с целью повышения качества и снижения стоимости ее очистки. Решение этих задач в значительной степени зависит от наличия подготовленных специалистов — технологов высшей и средней квалификации.

В системе подготовки техников-технологов по обработке природных и сточных вод учебным планом предусмотрены четыре дисциплины, непосредственно связанные с вопросами кондиционирования воды разного качества, а именно: «Химия воды и микробиология», «Водоснабжение», «Канализация» и «Контроль качества воды».

Курс «Контроль качества воды» изучается после того, как учащиеся ознакомятся с большей частью содержания первых трех дисциплин, и может, таким образом, рассматриваться как завершающий этап обучения по вопросам технологии обработки воды. В этом курсе излагаются основные принципы контроля процессов очистки и обработки природных и сточных вод по стадиям и даются конкретные сведения по технологическому контролю работы каждого сооружения.

В учебнике не рассматриваются некоторые вопросы, входящие в понятие «контроль качества воды». К ним относятся, в частности, вопросы организации и проведения ведомственного контроля водных источников и сточ-

1^е Зак. 487

ных вод органами здравоохранения, инспекцией рыбнадзора, бассейновыми инспекциями и т. п. Изучение всех видов контроля качества воды не предусматривается программой данного учебного курса.

Теоретический материал основных глав учебника иллюстрируется разработанными авторами упражнениями по оценке показателей контроля качества воды и решению ряда практических задач. Наряду с упражнениями, касающимися вопросов эксплуатации и проектирования очистных сооружений, подробно разбираются и задачи, цель которых научить анализу отчетных данных и расчетных норм проектирования.

Первый раздел учебника «Природные воды и их обработка» написан доц. канд. техн. наук И. Н. Чурбановой, а второй — «Сточные воды и их обработка» — доц. канд. техн. наук Т. А. Карюхиной. Из-за ограниченного объема учебника не все его разделы написаны с желаемой степенью детализации. Более подробные сведения по ряду вопросов, особенно касающихся обработки производственных сточных вод, можно получить из рекомендуемых учебных пособий и справочной литературы.

Авторы выражают глубокую признательность Заслуженному деятелю науки РСФСР, чл.-корр. АН СССР С. В. Яковлеву за ценные замечания, сделанные при рецензировании рукописи.

Раздел первый ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ И ИХ ОБРАБОТКА

Глава I СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ВОД

§ 1. ПРИМЕСИ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРИРОДНЫХ ВОД

Под качеством природной воды понимают совокупность ее свойств, обусловленных характером и концентрацией содержащихся в воде примесей. Примеси природных вод подразделяются на неорганические и органические. Отдельную группу примесей составляют микрофлора и микрофауна природных водоемов, оказывающая существенное влияние на качество воды.

При оценке качества природной воды с точки зрения возможности ее обработки теми или иными способами имеет значение не только природа примесей, но и их физико-химическое состояние. Классификация примесей на основе их фазово-дисперсной характеристики разработана под руководством акад. Л. А. Кульского. Согласно этой классификации, примеси природных вод по их физико-химическому состоянию, которое в значительной степени определяется дисперсностью веществ, могут быть разделены на четыре группы.

К первой группе примесей относятся взвешенные вещества — суспензии и эмульсии, средний размер частиц которых составляет 10^{-3} — 10^{-5} см. Состав примесей этой группы очень разнообразен: это частицы глины и песка, малорастворимые гидроокиси металлов, частицы ила, эмульсии минеральных масел, нефтепродукты, планктон (в том числе и бактериальный).

В совокупности эти примеси обуславливают мутность воды. Более полное представление о составе примесей первой группы можно получить на основе химического, гидробиологического и бактериологического анализов. Для этого обычно определяют взвешенные вещества и их зольность, качественный и количественный состав гидробионтов, микробное число и число бактерий группы кишечной палочки.

Ко второй группе относятся коллоидно-растворенные примеси и высокомолекулярные органические соединения со степенью дисперсности 10^{-5} — 10^{-6} см. Высокомолекулярные соединения могут образовывать не только коллоидные, но и истинные растворы. Тем не менее они отнесены ко второй группе примесей, так как размер их частиц соответствует коллоидной степени дисперсности и по ряду свойств растворы этих веществ сходны с коллоидными системами.

К примесям этой группы относятся минеральные и органоминеральные частицы почв и грунтов, коллоидные соединения железа и гумус, образующийся в результате химического и биохимического разложения растительных остатков непосредственно в водоеме и попадающий в него с атмосферными и талыми водами из почвы.

В составе гумусовых веществ этой группы различают коллоидные соединения гуминовых кислот и фульвокислот, которые придают воде цветность. Наличие коллоидных примесей увеличивает и мутность воды, хотя на показатель взвешенных веществ влияния не оказывает, так как частицы коллоидной степени дисперсности не задерживаются фильтром.

Третью группу примесей составляют молекулярно-растворенные вещества с размером частиц 10^{-6} — 10^{-7} см. Растворенные газы, главным образом кислород и углекислый газ, практически всегда содержатся в природной воде. В некоторых подземных водах и загрязненных поверхностных источниках может присутствовать сероводород.

К растворенным органическим соединениям относятся продукты жизнедеятельности и разложения бактерий, актиномицетов, плесеней, водорослей, макрофитов и других водных организмов, а также фенолы и истинно растворенные фульвокислоты. Содержание органических веществ может увеличиваться при спуске в водоем недостаточно очищенных бытовых и производственных сточных вод.

В связи с невозможностью индивидуального аналитического определения всех присутствующих в воде органических соединений прибегают к суммарной оценке их содержания по величине окисляемости, интенсивности запаха и привкуса и т. д.

Таким образом, примеси третьей группы существенно влияют на качество воды, изменяя ее органолептические

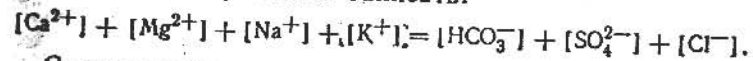
показатели и увеличивая окисляемость. Некоторые окрашенные молекулярно-растворенные органические соединения обуславливают цветность воды.

Четвертая группа примесей представлена веществами, диссоциирующими в воде на ионы, со степенью дисперсности менее 10^{-7} см. Это главным образом соли, концентрация которых определяет степень минерализации воды. Общее содержание солей в воде приближенно оценивают по величине плотного остатка, под которым подразумевается сумма всех примесей воды, определяемая путем выпаривания и последующего высушивания предварительно профильтрованной пробы.

В практике водоподготовки плотный остаток обычно называют сухим остатком, хотя последний определяется из нефилтрованной пробы, и таким образом в его состав входят все примеси, в том числе и нерастворенные. Такое смешение общепринятых понятий неверно, но оправдывается тем, что в маломутных, а тем более в питьевых водах результаты обоих определений очень близки, поскольку содержание взвешенных веществ в этих водах невелико, а объем плотного остатка значителен.

Более полное представление о составе примесей четвертой группы дает изучение ионного состава воды. Для подавляющего большинства природных вод общее содержание достаточно точно определяется катионами Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+} и анионами HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} . Остальные ионы обычно присутствуют в очень незначительных количествах, но могут существенно влиять на свойства и качество воды.

Вода электронейтральна, поэтому суммы концентраций катионов и анионов, выраженные в мг-экв/л, равны. Учитывая преобладание в природных водах перечисленных семи ионов, можно записать:



Соотношение содержания отдельных ионов в природной воде зависит от общего солесодержания. Маломинерализованные воды рек и пресные артезианские воды содержат преимущественно катионы кальция и анионы HCO_3^{-} . По мере повышения минерализации содержание Na^{+} , K^{+} , SO_4^{2-} , Cl^{-} в воде увеличивается. Суммарная концентрация катионов кальция и магния, выраженная в мг-экв/л, определяет общую жесткость воды.

Ионный состав воды обуславливает один из важней-

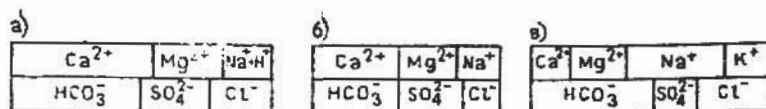


Рис. 1. Диаграмма гипотетического состава солей в воде

ших показателей ее качества — щелочность. Общая щелочность определяется суммой анионов слабых кислот, способных реагировать с соляной или серной кислотой. Общая щелочность в зависимости от ионного состава воды включает бикарбонатную, карбонатную, гидратную составляющие. Поскольку из перечисленных анионов в большинстве природных вод преобладает анион HCO_3^- , их щелочность определяется концентрацией бикарбонатов. Однако это справедливо при условии, что значение pH не превышает 8,4. При более высоких значениях pH (от 8,4 до 12) бикарбонатная щелочность постепенно уменьшается при одновременном увеличении карбонатной щелочности. При значениях $\text{pH} > 12$ бикарбонатная щелочность равна нулю, так как в этих условиях углекислота в растворе присутствует только в виде карбонат-ионов. В водах со значениями $\text{pH} > 9$ следует учитывать и гидратную составляющую общей щелочности.

Данные анализов ионного состава воды удобно изображать графически. Для этого в определенном масштабе на двух параллельных соприкасающихся полосах в порядке, указанном на рис. 1, откладывают концентрации катионов и анионов в мг-экв/л. Графическое изображение результатов анализа позволяет представить гипотетический состав солей в воде. Например, в воде, по результатам анализа которой составлена диаграмма, приведенная на рис. 1, в, гипотетически присутствуют $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , KCl . При известных концентрациях катионов и анионов можно вычислить и концентрации этих солей.

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. Именно такой прием обработки, т. е. увеличение щелочности среды, лежит в основе процессов реагентного умягчения и обезжелезивания воды аэрацией или известкованием.

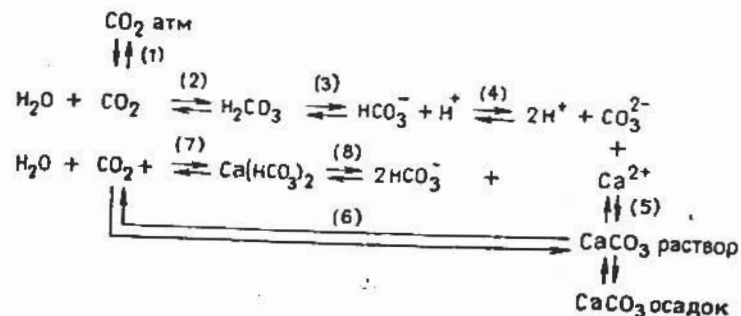


Рис. 2. Карбонатно-кальцевая система равновесий в природных водах

Огромное влияние на качество и свойства воды оказывают соединения угольной кислоты. Вместе с ионами кальция они образуют карбонатно-кальцевую систему равновесий, самую сложную в природных водах. Из рис. 2 видно, что с карбонатно-кальцевой 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.

Если количество растворенной углекислоты больше ее равновесной концентрации, равновесие реакции (7) на рис. 2 сдвинется вправо, что приведет к растворению CaCO_3 . Избыток CO_2 сверх равновесной концентрации называется агрессивной углекислотой. Контакт агрессивной воды с бетонными сооружениями приводит к вымыванию из них карбоната кальция.

При недостатке CO_2 по сравнению с равновесной концентрацией реакция (7) протекает справа налево, что приводит к дополнительному образованию и выпадению в осадок малорастворимого карбоната кальция.

Стабильность воды может быть оценена экспериментально или путем вычисления индекса насыщения воды карбонатом кальция по результатам определения в воде температуры, общего солесодержания, концентрации ионов кальция и общей щелочности. Основным и более точным методом является экспериментальный. Суть его

состоит в определении общей щелочности или величины рН в исходной пробе и после встряхивания ее с карбонатом кальция в течение 1—2 ч.

Таким образом, качество природных вод оценивается комплексом различных химических, физико-химических, санитарно-бактериологических и гидробиологических показателей, определяемых соответствующим анализом.

§ 2. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИСТОЧНИКАМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ. НОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Пригодность того или иного источника для целей водоснабжения определяется на основании данных его санитарного обследования с учетом результатов гидрогеологических, гидрологических и топографических изысканий. Вода источников водоснабжения не должна содержать нежелательных примесей, которые не могут быть удалены современными методами обработки, а концентрация загрязнений, поддающихся устранению, должна соответствовать эффективности применяемых методов обработки.

Согласно ГОСТ 2874—82 в воде источников водоснабжения нормируется содержание хлоридов (не более 350 мг/л) и сульфатов (не более 500 мг/л) при общем солесодержании не более 1000 мг/л по плотному остатку. По согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы в исключительных случаях допускается использование воды источников с солесодержанием до 1500 мг/л. Кроме того, в воде источников водоснабжения нормируется содержание веществ, токсичных для человека.

Допустимый коли-индекс воды источников водоснабжения зависит от способа ее очистки. Если намечается только хлорирование, то коли-индекс должен быть не более 1000, а при полной очистке воды — не более 10 000.

При несоответствии качества воды требованиям ГОСТ по тем или иным показателям, а также при содержании кишечных палочек более 10 000 в 1 л должна быть обеспечена дополнительная обработка воды, гарантирующая требуемое качество питьевой воды.

Качество питьевой воды регламентируется ГОСТ 2874—82. Нормирование концентрации тех или иных веществ обусловлено необходимостью обеспечения благоприятных органолептических свойств питьевой воды, без-

вредности ее химического состава и безопасности воды в санитарном отношении. Несоответствие хотя бы одного из этих нормативов требованиям ГОСТ 2874—82 дает основания для признания непригодности воды для питьевых целей.

Для всех нормируемых веществ определен лимитирующий показатель вредности — органолептический или санитарно-токсикологический. Например, железо даже в больших концентрациях не оказывает токсического действия на организм человека, но придает воде желто-бурю окраску и металлический привкус, если его концентрация превышает 0,3 мг/л. Лимитирующим показателем вредности для соединений железа является органолептический. То же самое можно сказать о хлоридах, сульфатах, марганце. Напротив, такие химические вещества, как соединения стронция, нитраты, не изменяя органолептических свойств воды, оказываются токсичными для человека. Например, стронций в концентрациях более 7 мг/л подавляет активность многих ферментов. В то же время горько-вяжущий привкус у воды появляется только при концентрации стронция 12 мг/л. Для таких соединений лимитирующим показателем вредности является санитарно-токсикологический.

К числу органолептических показателей качества воды относятся запах, привкус, мутность, цветность. Последние два показателя относятся к органолептическим, хотя определяются физическими методами, поскольку они, так же как запах и привкус, приобретают значение при оценке качества воды лишь в меру восприятия органами чувств человека. Органолептические свойства воды нормируются: 1) по интенсивности допустимого изменения органолептических показателей (табл. 1); 2) по содержанию химических веществ, вредность которых определяется их способностью в минимальных концентрациях ухудшать органолептические показатели воды (табл. 2).

Таблица 1

Показатель	Норматив
Запах при 20°C и при нагревании до 60°C, баллы (не более)	2
Вкус и привкус при 20°C, баллы (не более)	2
Цветность, град (не более)	20
Мутность по стандартной шкале, мг/л (не более)	1,5

Согласно ГОСТ 2874—82, интенсивность специфических привкусов и запахов, появляющихся после хлорирования или любой другой реagentной обработки воды, должна быть не более 1 балла, т. е. запах и привкус может быть обнаружен только опытным аналитиком.

Безвредность химического состава питьевой воды (санитарно-токсикологический показатель) обеспечивается нормированием веществ: а) встречающихся в природных водах, таких, как соединения бериллия, молибдена, мышьяка, стронция и т. д.; б) добавляемых к воде в процессе ее обработки реагентами, например, полиакриламидом (ПАА); в) появляющихся в результате промышленного и сельскохозяйственного загрязнения водосточника нефтепродуктами, пестицидами и другими веществами. Предельно допустимые концентрации (ПДК) для веществ, указанных в пп. «а» и «б», приведены в табл. 3. Вещества, названные в п. «в», нормируются «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами».

Таблица 2

Показатель	Норматив
Водородный показатель pH	6,0—9,0
Сухой остаток, мг/л (не более)	1000
Жесткость, мгХ экв/л (не более)	7
Химические вещества, мг/л, не более:	
железо	0,3
марганец	0,1
медь	1
цинк	5
сульфаты	500
хлориды	350
полифосфаты	3,5
остаточные (в пересчете на PO ₄ ³⁻)	

Таблица 3

Химические вещества	ПДК, мг/л
Алюминий остаточный	0,5
Бериллий	0,0002
Молибден	0,25
Мышьяк	0,05
Нитраты (в пересчете на NO ₃ ⁻)	45
ПАА остаточный	2
Свинец	0,03
Селен	0,001
Стронций	7
Фтор для климатических районов:	
I и II	1,5
III	1,2
IV	0,7

Если в воде одновременно обнаруживается несколько веществ, нормируемых по органолептическому или санитарно-токсикологическому показателям, то суммарная

концентрация их, выраженная в долях ПДК каждого вещества, не должна превышать единицы, т. е.

$$c_1/C_1 + c_2/C_2 + \dots + c_n/C_n \leq 1, \quad (1)$$

где c — обнаруженные концентрации веществ, мг/л; C — ПДК для тех же веществ, мг/л.

Безопасность воды в санитарно-эпидемиологическом отношении гарантируется при условии соблюдения требований ГОСТ 2874—82 по микробиологическим показателям. Общее число микроорганизмов в 1 см³ питьевой воды не должно превышать 100. Число бактерий группы кишечной палочки в 1 л питьевой воды (коли-индекс) не должно быть больше трех. В питьевой воде должны отсутствовать организмы, различаемые невооруженным глазом.

§ 3. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 1. Определить общую и некарбонатную жесткость по результатам анализа воды, представленным графически на рис. 1, а (масштаб 1 см — 2 мг-экв/л).

Решение. Общая жесткость определяется суммой концентраций катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ и равна, согласно данным рис. 1, а, 7,5 мг-экв/л.

Ионами HCO₃⁻ компенсированы 4,5 мг-экв/л Ca²⁺. Остальная часть катионов жесткости, т. е. 0,5 мг-экв/л Ca²⁺ и 2,5 мг-экв/л Mg²⁺, компенсирована анионами сильных кислот. Таким образом, некарбонатная жесткость этой воды равна: 0,5+2,5=3 мг-экв/л.

Упражнение 2. Определить, для какой из трех проб воды, результаты анализа которых представлены на рис. 1, равны: 1) общая и карбонатная жесткость; 2) карбонатная жесткость и щелочность; 3) карбонатная жесткость, щелочность и кальциевая жесткость?

Решение. 1. Общая и карбонатная жесткости равны в том случае, если катионы жесткости полностью компенсированы анионами HCO₃⁻, т. е. если [Ca²⁺] + [Mg²⁺] ≤ [HCO₃⁻]. Это неравенство справедливо для пробы воды по рис. 1, в.

2. Карбонатная жесткость определяется концентрацией катионов Ca²⁺ и Mg²⁺, эквивалентной концентрации анионов HCO₃⁻. Щелочность определяется концентрацией ионов HCO₃⁻, поскольку других анионов слабых кислот анализом не обнаружено. Щелочность и карбонатная жесткость оказываются равными при условии: [HCO₃⁻] ≤ [Ca²⁺] + [Mg²⁺]. Это условие соблюдается для проб воды по рис. 1, а и б.

3. Равенство карбонатной жесткости, щелочности и кальциевой жесткости возможно при условии: [Ca²⁺] = [HCO₃⁻] и [HCO₃⁻] ≤

$[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$, что справедливо только для пробы воды по рис. 1, б.

Упражнение 3. Проверить правильность выполнения анализа воды, результаты которого приведены ниже.

Концентрация, мг/л:	
Ca^{2+}	35,8
Mg^{2+}	24,8
Na^+	23
K^+	7,8
HCO_3^-	73,2
SO_4^{2-}	120
Cl^-	46,1
Плотный остаток	320
Общая жесткость, мг-экв/л	3,9
Карбонатная жесткость, мг-экв/л	1,2

Решение. Основным методом контроля правильности выполнения анализа является взаимная увязка полученных результатов. Рассмотрим основные варианты контроля.

1. Общая жесткость, определенная аналитически, должна быть равна жесткости, вычисленной по результатам анализа воды на содержание кальция и магния. Выразим концентрации катионов жесткости, мг-экв/л, и найдем их сумму:

$$35,8 : 20,04 + 24,8 : 12,16 \approx 1,78 + 2,04 = 3,82 \text{ мг-экв/л,}$$

что соответствует жесткости, определенной анализом. Разница в 0,02 мг-экв/л является допустимой ошибкой при анализе.

2. Результат определения карбонатной жесткости может быть проверен следующим образом. Сумма концентраций кальция и магния равна 3,82 мг-экв/л. Концентрация ионов HCO_3^- составляет 73,2:61,018 = 1,2 мг-экв/л. Следовательно, $[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] > [HCO_3^-]$. При этом условии карбонатная жесткость равна концентрации бикарбонатов ионов, т. е. 1,2 мг-экв/л, что полностью подтверждается результатом анализа.

3. В связи с электронейтральностью воды суммарная концентрация катионов должна быть равна сумме концентраций анионов. Анализ считается хорошо выполненным, если погрешность не превышает $\pm 2\%$ — при общей концентрации ионов более 15 мг-экв/л; $\pm 2-5\%$ — при концентрации 15—5 мг-экв/л; $\pm 5-10\%$ — при концентрации 5—3 мг-экв/л. Проверим, выполняется ли это условие, выразив концентрации всех ионов в мг-экв/л:

$$\frac{35,8}{20,04} + \frac{24,8}{12,16} + \frac{23}{22,997} + \frac{7,8}{39,1} = \frac{73,2}{61,018} + \frac{120}{48,033} + \frac{46,1}{35,46} = 5,02 \approx 5.$$

Результаты подсчетов показывают, что анализ выполнен очень точно (погрешность составляет 0,4%).

4. Следует сопоставить величину плотного остатка с суммарной массой всех ионов. При этом количество бикарбонатов следует принять равным половине концентрации, найденной анализом, так как при определении плотного остатка бикарбонаты переходят в карбонаты по реакции $2 HCO_3^- \rightarrow CO_3^{2-} + H_2O + CO_2$. Тогда

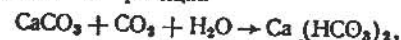
$$(73,2 : 2) + 120 + 46,1 + 35,8 + 24,8 + 23 + 7,8 = 294,1 \text{ мг/л.}$$

Анализом найдено, что плотный остаток составляет 320 мг/л. Разница между экспериментально определенным плотным остатком и остатком, вычисленным по сумме растворенных веществ, объясняется возможным присутствием растворенных органических веществ и некоторыми неточностями в определении плотного остатка. Допустимым считается расхождение 5—10%.

Таким образом, проверка показала, что все показатели качества воды определены достаточно точно.

Упражнение 4. Что можно сказать о воде, если при экспериментальном определении ее стабильности значение pH до опыта было равно 6,2, а после опыта оказалось равно 6,9.

Решение. Показатель стабильности воды рассчитывается как отношение pH до встряхивания пробы с карбонатом кальция к значению pH после проведения опыта: $6,2:6,9 = 0,9$. Так как показатель стабильности составляет меньше 1, можно сделать вывод о способности данной воды растворять карбонат кальция, т. е. об агрессивности воды по отношению к бетону. Наличие в воде агрессивной углекислоты приводит к реакции



в результате которой концентрация бикарбонатов, а следовательно, и щелочность воды повышается. Повышение щелочности приводит к соответствующему повышению значения pH.

Упражнение 5. Определить, пригодна ли вода для питьевых целей, если она удовлетворяет требованиям ГОСТ 2874—82 по органолептическому и бактериологическому показателям, а из веществ, нормируемых по санитарно-токсикологическому показателю вредности, обнаружены ионы свинца $[Pb] = 0,01$ мг/л, стронция $[Sr] = 3,64$ мг/л, молибдена $[Mo] = 0,1$ мг/л.

Решение. Концентрации свинца, стронция, молибдена не превышают норм, установленных ГОСТ 2874—82. Однако для учета кумулятивного (совместного) действия соединений перечисленных элементов требуется провести расчет по формуле (1). Тогда

$$0,01 : 0,03 + 3,64 : 7 + 0,1 : 0,25 = 1,25.$$

Так как сумма отношений концентрации каждого из обнаруженных соединений к соответствующей предельно допустимой концентрации более 1, можно сделать вывод о непригодности воды для питьевых целей.

Глава II

КОНТРОЛЬ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 4. КОНТРОЛЬ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Подземные воды, используемые для целей водоснабжения, подразделяют на грунтовые, межпластовые безнапорные и межпластовые напорные (или артезианские).

Формирование состава грунтовых вод происходит под влиянием различных факторов, в том числе климата, обу-

словливающего возможность питания грунтовых вод атмосферными осадками. Не меньшее значение имеют характер и строение покровных образований водоносного пласта, от которых зависит возможность поглощения атмосферных осадков. На качество грунтовых вод значительное влияние оказывает санитарное состояние вышележащего горизонта. Определяющим фактором формирования состава артезианских вод являются глубинные геологические структуры. Защищенность водоносных пластов обеспечивает постоянство их состава и почти полное отсутствие бактерий в артезианских водах.

В целом для подземных вод характерно большое разнообразие ионного состава. Степень минерализации и соотношение между основными ионами для различных источников изменяются в широких пределах.

Для централизованных систем водоснабжения чаще всего используются маломинерализованные, бактериально чистые артезианские воды, подаваемые потребителю без очистки. Однако часто подземные воды содержат повышенные концентрации железа, обладают высокой жесткостью. В этих случаях предусматривается соответствующая обработка воды.

Порядок осуществления контроля за качеством воды подземных водоисточников определяется в основном особенностями его гидрологического и гидрохимического режима и включает надзор за состоянием зоны санитарной охраны, постоянное наблюдение за техническим состоянием скважины, оборудования и трубопроводов, оценку качества воды по данным санитарно-химического анализа.

Надзор за состоянием зоны санитарной охраны включает комплекс мероприятий по контролю за соблюдением санитарного режима в зоне, в том числе предотвращение загрязнения ее территории, наблюдение за исправностью канализационной сети в зоне, контроль за состоянием здоровья обслуживающего персонала и т. д. Цель этих мероприятий — предотвратить загрязнение источника водоснабжения.

Грунтовые воды могут загрязняться из-за неисправности канализации, наличия свалок и др. Кроме того, загрязнение артезианских вод может происходить вследствие возникновения гидравлической связи между эксплуатируемым горизонтом и вышележащими загрязненными водоносными слоями. Как правило, появление та-

кой связи обусловлено размывами в водоупорной кровле и дефектами в самой скважине. Постоянное наблюдение за техническим состоянием скважины и быстрая ликвидация неполадок в оборудовании позволяют прекратить загрязнение водоносного горизонта. Генеральная проверка состояния скважины, оборудования и трубопроводов производится 2 раза в год — перед весенним паводком и перед наступлением зимы. Результаты проверки заносятся в паспорт скважины.

Существенное изменение качества воды возможно в результате нерациональной эксплуатации подземных источников, поэтому в процессе эксплуатации скважины ведется постоянное наблюдение за статическим и динамическим уровнями воды в скважине, а также за ее дебитом.

Для скважин на грунтовых водах при усиленной откачке возможно изменение органолептических показателей качества воды вследствие подсоса воды из близлежащих карьеров и торфяных болот, расположенных в сфере питания водозабора.

Превышение водоотвода над дебитом скважины может привести к нарушению гидравлического равновесия между пресными и минерализованными водами и вызвать приток последних в артезианский водоносный горизонт, если он имеет гидравлическую связь с соседними минерализованными водными слоями.

Качество воды подземных водоисточников оценивают по данным санитарно-химического анализа. Для отбора проб устанавливают специальный кран, располагаемый как можно ближе к выходу воды из скважины. Для артезианских скважин анализируют две пробы, взятые не ранее 24 ч одна после другой.

Для эксплуатируемых скважин обязательно определение плотного остатка, жесткости, сульфатов, хлоридов, соединений железа, марганца, меди, цинка, величины рН. Этот анализ выполняют не реже 2 раз в год (в весенний и осенний периоды) в первый год эксплуатации скважины; в дальнейшем анализ выполняют 1 раз в год, если качество воды стабильно. При значительных колебаниях состава воды анализируют не менее девяти проб в год — по три в осенний, весенний и летний периоды.

Химический анализ воды по всем показателям, приведенным в табл. 3 (кроме ПАА), проводят 2 раза в течение первого года эксплуатации скважины. В последую-

щие годы в зависимости от результатов анализа с обязательным учетом местных гидрогеологических и санитарных условий устанавливают частоту отбора проб и перечень приведенных в табл. 3 показателей, по которым должен выполняться анализ. Объем намечаемого к выполнению анализа обязательно согласовывается с местными органами санитарно-эпидемиологической службы.

Порядок проведения бактериологического анализа воды источника устанавливается в зависимости от дебита скважины и качества воды. Если качество воды источника по бактериологическому показателю соответствует требованиям ГОСТ 2874—82 и вода подается потребителю без обработки, то бактериологический анализ выполняется для скважин, обслуживающих население: до 20 тыс. человек — 1 раз в месяц; до 50 тыс. человек — 2 раза в месяц; при большей численности населения — 1 раз в неделю. Если подземные воды подвергаются обеззараживанию, то анализ исходной и обработанной воды по бактериологическим показателям проводится соответственно приведенной выше численности населения, обслуживаемого скважиной, 1 раз в неделю, 3 раза в неделю, ежедневно. Во всех случаях в обеззараженной воде каждый час определяется концентрация остаточного хлора.

Независимо от того, подается вода потребителю без обработки или после предварительного обеззараживания, во всех пробах, отбираемых для бактериологического анализа, обязательно определяются запах, привкус, мутность и цветность.

При отклонениях качества воды от нормального назначают более частые контрольные анализы. Результаты всех анализов фиксируются в специальном журнале и заносятся в паспорт скважины.

§ 5. КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Для большинства крупных городов источниками водоснабжения служат поверхностные водоемы — реки, водохранилища, озера. Состав воды поверхностных источников определяется совокупностью физико-географических условий (климат, рельеф местности, почвенный покров, характер растительности) и деятельности человека (регулирование речного стока, строительство гидротехнических сооружений, сброс сточных вод и т. д.).

Для большей части поверхностных источников характерны малая минерализация, изменение состава воды под действием гидрометеорологических условий и биологических процессов.

Особенностью всех поверхностных водоемов являются сезонные колебания состава воды, особенно четко проявляющиеся в изменении таких показателей ее качества, как мутность, цветность, щелочность, жесткость, температура.

Поступление в водоем талых и дождевых вод приводит к резкому увеличению количества взвешенных веществ, бактериальной загрязненности и цветности воды. Одновременно уменьшаются щелочность и жесткость воды. Сезонные изменения температуры оказывают существенное влияние на интенсивность биологических процессов в водоеме, а следовательно, и на качество воды, поскольку в открытых источниках одним из важнейших факторов формирования состава и свойств воды является деятельность гидробионтов.

Выраженная зависимость состава и свойств воды от характера хозяйственного использования водоема и значительные сезонные колебания качества воды приводят к необходимости постоянного контроля за санитарным состоянием поверхностных источников водоснабжения и определяют порядок осуществления контроля. Контроль за состоянием водоемов заключается в периодических обследованиях, проводимых с целью комплексной оценки качества воды в водоемисточнике.

При обследовании прежде всего обращают внимание на состояние береговой полосы и внешний вид водоема. Затопление части прибрежной растительности в результате размыва берега, опадающая в осенний период листва и постепенное отмирание затопленных растений обогащают водоем органическими веществами. Песчаная или залуженная береговая полоса препятствует этому и, кроме того, способствует снижению выноса взвешенных веществ из почвы в водоем.

На поверхности воды не должно быть пятен нефти и масел, которые свидетельствуют о загрязнении водоема и, препятствуя атмосферной реэрации, могут привести к нарушению кислородного режима в водоеме, а следовательно, и к нарушению процессов самоочищения.

Комплексная оценка качества воды в водоемисточнике

дается на основании санитарно-химического, микробиологического и гидробиологического анализов.

Пробы для анализов отбирают в нескольких местах водоема на разной глубине. Число проб и точки их отбора определяют в соответствии с гидрологическими и санитарными особенностями водонисточника и согласовывают с местными органами санитарно-эпидемиологической службы. При этом обязательным считается отбор проб непосредственно в месте водозабора и в 1 км выше по течению реки, а для озер и водохранилищ — в 1 км в обе стороны от водозабора.

ГОСТ устанавливает частоту отбора проб — не менее 3 раз в каждый сезон года. Для озер и водохранилищ назначают, кроме того, дополнительные анализы проб, отобранных после длительного и сильного волнения воды.

При отборе проб отмечаются метеорологические условия: температура воздуха, осадки, сила и направление ветра и особые условия, которые могут оказать влияние на качество воды. Сведения приводятся для дня отбора и для каждого из 10 дней, предшествовавших взятию пробы.

Взятые пробы анализируют по следующим показателям: температуре, запаху, прозрачности, содержанию взвешенных веществ и их зольности, величине pH, щелочности, жесткости общей и карбонатной, плотному остатку, окисляемости, БПК₅, содержанию общего железа, кальция, магния, солевого аммиака, нитритов, нитратов, сульфатов, хлоридов, растворенного кислорода, сероводорода. Кроме того, в соответствии с местными гидрогеологическими и санитарными условиями водоема намечают перечень обязательных анализов воды на содержание тяжелых металлов, пестицидов и других соединений, токсичных для человека и животных.

Поскольку развитие тех или иных видов микроорганизмов обусловлено в первую очередь составом воды, микробиологический и гидробиологический анализы позволяют дать более полную оценку качества воды в водоеме.

Микробиологический анализ включает определение бактериологических показателей, т. е. общего числа сапрофитных бактерий и бактерий группы кишечной палочки, и анализ микрофлоры по физиологическим группам.

Гидробиологический анализ дает возможность под-

считать число клеток фито- и зоопланктона в единице объема воды и определить видовой состав планктона. При гидробиологическом анализе определяют также число и видовой состав непланктонных организмов — червей, личинок насекомых и т. д., попадающих в воду из почвы и донных отложений.

Гидробиологический анализ воды имеет чрезвычайно важное значение, так как фито- и зоопланктон существенным образом влияют на работу водопроводных очистных сооружений. Следует отметить, что имеет значение не только число клеток планктона, но и их видовой состав, так как различные виды планктонных организмов обладают разной устойчивостью к действию окислителей и других реагентов, применяемых при обработке воды. В совокупности с санитарно-химическим анализом гидробиологические тесты дают возможность оценить изменение степени загрязненности водоема, что очень важно для очистных сооружений, так как изменение качества воды требует корректировки технологических параметров очистки.

Особое значение гидробиологический анализ приобретает во время цветения водоема. Длительные наблюдения за сезонными колебаниями содержания фитопланктона в обследуемом водонисточнике позволяют сделать вывод о периодах интенсивного развития в нем фитопланктона.

А. В. Францевым разработан достаточно простой метод краткосрочного прогноза цветения. Для составления такого прогноза из разных точек водохранилища перед наступлением предполагаемого периода цветения отбирают пробы воды, которые помещают в термолюминостат в условия постоянного освещения и температуры. Температура поддерживается на несколько градусов выше, чем в водохранилище. В этих условиях цветение в колбах начинается на 5—6 дней раньше, чем в водоеме. Микроскопирование проб позволяет предсказать характер цветения и его интенсивность и принять соответствующие меры.

Иногда вода из водохранилища к очистной станции транспортируется по водопроводным каналам достаточно большой протяженности. Длительное время пребывания воды в канале может существенным образом влиять на ее качество. Откосы открытых каналов интенсивно зарастают водорослями и мхом, которые после отмирания

попадают в воду и, разлагаясь, придают ей неприятные запахи и привкусы. На дне канала осаждаются большое число личинок насекомых, моллюска дрейссены, нематод и т. д. Вода в канале весной прогревается быстрее, чем в водохранилище, поэтому в нем раньше начинается цветение.

Все это говорит о необходимости постоянного контроля за состоянием канала и качеством воды в нем. Периодически канал опорожняют и чистят, дно и стенки канала обрабатывают дезинфицирующими средствами. Порядок контроля за работой канала устанавливают в каждом конкретном случае органы санитарно-эпидемиологической службы.

§ 6. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 6. При анализе пробы воды, взятой из водоносного горизонта, получены следующие результаты: запах 1 балл, мутность 1,2 мг/л, цветность 8 град, pH=7,6, жесткость общая 3,4 мг-экв/л, $[Ca^{2+}] = 36,8$ мг/л, $[Mg^{2+}] = 19,8$ мг/л, железо общее 0,22 мг/л, $[Cl^-] = 7$ мг/л, $[SO_4^{2-}] = 30$ мг/л, плотный остаток 140 мг/л. Можно ли эту воду использовать для целей питьевого водоснабжения и достаточен ли объем выполненного анализа для такой оценки?

Решение. По всем приведенным показателям качество воды источника удовлетворяет требованиям ГОСТ 2874—82. Однако на основании только этих данных вывода о пригодности воды для питьевых целей сделать нельзя: во-первых, не выполнены бактериологические анализы, поэтому оценить качество воды с точки зрения ее санитарно-эпидемиологической безопасности не представляется возможным; во-вторых, не определена концентрация фтора, наличие которого в воде обязательно и строго нормировано; в-третьих, выполненный анализ не позволяет оценить качество воды по санитарно-токсикологическому показателю (см. табл. 3). При заведомом отсутствии перечисленных в табл. 3 соединений должна быть сделана специальная оговорка.

Упражнение 7. При очередном обследовании водоема пробы отбирали в четырех пунктах по течению реки выше водозабора. Самым удаленным от водозабора является пункт № 4. Следует оценить результаты обследования, приведенные в табл. 4.

Решение. Анализируя результаты обследования, можно отметить следующее.

1. В пункте № 3, расположенном ниже по течению реки от пункта № 4, значительно изменилось качество воды: увеличился плотный остаток, произошли изменения в ионном составе воды, в 3 раза увеличилась перманганатная окисляемость воды и более чем в 4 раза возросло микробное число. Изменения в ионном составе особенно ярко проявились в увеличении хлоридов, концентрация которых возросла более чем в 10 раз. Количество сульфатов в воде увеличилось с 9,6 до 48 мг/л. Кроме того, значительно возросла концентрация аммонийного азота.

Эти результаты говорят о том, что вода реки между пунктами № 4 и 3 получила дополнительное загрязнение. Можно предполо-

Показатель	Концентрация, мг/л, в точках (№ пункта) отбора проб			
	1	2	3	4
Плотный остаток	375	360	370	205
Ионы:				
HCO_3^-	156	160	152	184
SO_4^{2-}	49,4	46,2	48	9,6
Cl^-	75	70,8	72,2	7,1
NO_2^-	Следы	3,2	0	Следы
NO_3^-	2,8	Следы	0	»
Ca^{2+}	52	50	51	40
Mg^{2+}	12	12	13	12
Na^+	17	16,8	18,4	12
NH_4^+	0,2	1,2	4,5	0,2
Окисляемость	6,2	10	18	6
Микробное число	180	500	850	200
Коли-индекс	$2,2 \times 10^3$	3×10^3	$4,5 \times 10^3$	5×10^3

Примечание. Микробное число дано в кл/мл, коли-индекс — в кл/л.

жить, что в водоем сбрасываются производственные сточные воды, о чем свидетельствуют столь серьезные изменения в концентрации хлоридов и сульфатов. То, что поступившие в воду реки загрязнения имеют промышленное происхождение, подтверждается результатами коли-теста. В воде между пунктом № 4 и пунктом № 3 число бактерий группы кишечной палочки не увеличивается, чего можно было бы ожидать в случае спуска в водоем бытовых сточных вод.

Сбрасываемые сточные воды содержат значительное количество органических веществ, вследствие чего в воде в пункте № 3 возрастает перманганатная окисляемость. Этой величиной оценивается наличие в воде органических и неорганических восстановителей, способных окисляться перманганатом калия. Об органической природе внесенных загрязнений говорит изменение микробного числа воды в пункте № 3. Резкое увеличение числа сапрофитов может быть вызвано поступлением в водоем органических веществ, которые используются сапрофитами в процессах энергетического и конструктивного метаболизма.

2. Сравнение результатов анализа воды в пунктах № 3, 2 и 1 позволяет говорить об интенсивном процессе самоочищения на этом участке реки. Окисляемость воды от пункта № 3 до пункта № 1 уменьшается примерно в 3 раза в результате бактериального окисления органических веществ. Уменьшение количества питания приводит к соответствующему снижению числа аэробных сапрофитов с 850 до 180 колоний в 1 мл.

На этом же участке зафиксирован процесс нитрификации. В результате нитрификации внесенный со сточными водами аммонийный азот превращается в нитратный.

На обследованном участке реки идет процесс бактериального самоочищения, о чем свидетельствует снижение коли-индекса с $5 \cdot 10^2$ (в пункте № 4) до $2,2 \cdot 10^2$ (в пункте № 1).

Оценивая результаты процесса самоочищения, следует отметить, что окисляемость, микробное число и аммонийный азот оказались на прежнем уровне, т. е. такими же, как в воде в пункте № 4 до сброса сточных вод в водоем. Однако эти результаты не позволяют говорить о полном восстановлении качества воды в результате процесса самоочищения. В этом легко убедиться, сравнив ионный состав и общее солесодержание воды в пунктах № 1—4. В воде в пункте № 3 величина плотного остатка увеличилась более чем в 1,5 раза по сравнению с его величиной в воде в пункте № 4 и осталась на этом уровне в воде в пункте № 1. В воде этого пункта не изменилось и содержание сульфатов и хлоридов по сравнению с их содержанием в воде в пункте № 3.

Серьезные изменения в ионном составе воды могут оказать существенное влияние на обитателей водоема. Сравним суммарные концентрации анионов и катионов в воде пунктов № 4 и 3.

Для воды в пункте № 4 концентрация составляет:

$$\frac{184}{61,018} + \frac{9,6}{48,033} + \frac{7,1}{35,457} \approx 3,4 \text{ мг-экв/л};$$

катионов

$$\frac{40}{20,04} + \frac{12}{12,16} + \frac{12}{22,997} \approx 3,5 \text{ мг-экв/л}.$$

Для воды в пункте № 3 концентрация составляет:

$$\frac{152}{61,018} + \frac{48}{48,033} + \frac{72,2}{35,457} \approx 5,54 \text{ мг-экв/л},$$

катионов

$$\frac{51}{40} + \frac{13}{12,16} + \frac{18,4}{28,997} + \frac{4,5}{18,040} \approx 4,55 \text{ мг-экв/л}.$$

Для воды в пункте № 3 разница между концентрациями анионов и катионов выходит за пределы допустимой ошибки. Полагая, что анализ выполнялся опытными лаборантами и сделан достаточно точно, можно предположить, что со сточными водами сбрасывались соединения каких-то элементов, не определяемых обычным анализом воды. В этом случае необходимо повторить анализы речной воды, предварительно выяснив характер сбрасываемых сточных вод.

Таким образом, самоочищающая способность водоема позволила ликвидировать лишь часть внесенных со сточными водами загрязнений, не обеспечив восстановления ионного состава воды.

В условии задачи не приведены данные по расходу воды в водоеме, количественной характеристике сточных вод и условиям их смешения с водой реки, поэтому возможна лишь качественная оценка изменений, происшедших в реке в результате ее загрязнения сточными водами.

Глава III

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД

7. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Основными технологическими приемами, обеспечивающими благоприятные органолептические свойства воды и ее безопасность в санитарно-эпидемиологическом отношении, являются осветление, обесцвечивание и обеззараживание воды. В отдельных случаях комплекс сооружений по осветлению, обесцвечиванию и обеззараживанию дополняется установками по кондиционированию ионного состава воды (обесфторивание, фторирование, обезжелезивание, умягчение), если качество воды источника по отдельным показателям не соответствует требованиям стандартов.

Требуемое качество очищенной воды в значительной степени зависит от правильной организации и оперативности технологического контроля за работой очистных сооружений. Технологический контроль включает технические мероприятия, обеспечивающие работу сооружений в определенном режиме и постоянное наблюдение за качеством исходной и обработанной воды.

Качество 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+} , $\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+}$, Al^{3+} (остаточный), Cu^{2+} , Zn^{2+} , F^- ; плотного остатка; углекислоты свободной и связанной; растворенного кислорода; окисляемости, БПК₅ (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 значительно изменяться в зависимости от вида водонисточника, методов обработки воды и требований, предъявляемых к воде потребителем.

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. Все перечисленные показатели дают возможность оценить эффективность работы очистной станции и каждого из сооружений, входящих в ее состав. Постоянный контроль этих показателей позволяет технологически оперативно управлять процессом очистки.

Часть технологических показателей определяют с целью контроля за условиями протекания процесса обработки воды. К их числу относятся, например, температура, рН, щелочность.

От температуры зависят вязкость жидкости, а следовательно, и силы сопротивления частицам в процессе их осаждения. От температуры зависят растворимость в воде газов и скорость окислительных процессов. Температура существенно образом влияет на скорость и глубину процесса умягчения. Резкие колебания температуры даже на 1—2°C осложняют работу осветлителей водомыгательных установок.

Активная реакция среды является важнейшим технологическим параметром при процессах коагуляции, умягчения, обезжелезивания. Значением рН определяется состояние химических равновесий в воде, растворимость гидроксидов алюминия и железа. Величина рН — 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.

Качество воды при обработке зависит и от остаточных концентраций применяемых реагентов. Концентрации алюминия, ПАА, железа и других соединений в питьевой воде строго нормируют. Остаточные концентрации хлора и озона определяют непрерывно автоматическими регистрирующими приборами, а в случае невозможности такого контроля определение проводят 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. Например, известно, что с увеличением мутности возрастает необходимая доза коагулянта. Но эффективность процесса коагуляции зависит не только от количества, но и от характера взвешенных веществ, в частности от степени их дисперсности. Только по величине цветности невозможно судить о лучшем варианте обесцвечивания, поскольку соединения, обуславливающие цветность воды, могут быть в коллоидном и истинно растворенном состояниях. Точно так же интенсивность запаха, оцениваемая по пятибалльной системе, не позволяет выбрать метод дезодорации и рассчитать дозы реагентов.

В связи с этим в практике водоподготовки широко применяются 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 и т. д.

Как правило, качество воды контролируется на всех этапах ее обработки, поэтому перед каждым сооружением и после него должны быть предусмотрены приспособления для отбора проб. Качество воды контролируется 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 согласовывают с

органами санитарно-эпидемиологической службы, но 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 число бактерий, коли-индекс, мутность, цветность, запах и привкус воды.

§ 8. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Предварительная обработка воды производится с целью повышения эффективности процессов осветления и обезжелезивания и снижения дозы коагулянта, ликвидации специфических примесей, которые не удаляются из воды в основном технологическом цикле, а также для улучшения санитарного состояния сооружений. В зависимости от характера и концентрации примесей в воде источника при предварительной обработке решаются все перечисленные задачи или некоторые из них.

К числу методов предварительной обработки воды относятся окисление, углевание, подщелачивание или подкисление, если это необходимо для дальнейшего процесса обработки.

В качестве окислителей используют хлор, озон, перманганат калия. Наибольшее распространение получило предварительное хлорирование. В результате обработки воды хлором окисляется часть веществ, обуславливающих цветность воды, и разрушаются органические защитные коллоиды, препятствующие процессу коагуляции. В зависимости от состава гумусовых веществ путем предварительной обработки воды хлором удается снизить цветность воды на 25—60%, что ощутимо сказывается на расходе коагулянта. Одновременно со снижением цветности происходит обеззараживание воды, что значительно улучшает санитарное состояние сооружений.

Скорость процесса окисления органических веществ и обеззараживания воды зависит от качества обрабатываемой воды, дозы хлора, времени контакта воды с окислителем, температуры. При снижении температуры замедляются окислительные реакции, поэтому процесс обезжелезивания в зимний период протекает менее эффективно. Частично компенсировать снижение скорости про-

цесса можно путем увеличения времени контакта хлора и воды.

Для одновременного учета всех перечисленных факторов оптимальную дозу хлора определяют пробным хлорированием, а контроль процесса осуществляют по наличию остаточного хлора. Частота проведения пробного хлорирования зависит от стабильности качества обрабатываемой воды.

Место отбора пробы на остаточный хлор выбирают так, чтобы обеспечить 30-минутный контакт хлора и воды. Контроль ведут с помощью автоматических приборов с проверкой в лаборатории через каждые 4 ч, а при отсутствии приборов пробы воды берут для анализа не реже 1 раза в час.

Доза хлора для предварительного хлорирования в среднем составляет 3—6 мг/л, но на практике в отдельные периоды может достигать 12—15 мг/л. Обязательным условием является обеспечение в обрабатываемой воде концентрации остаточного хлора, равной 0,5 мг/л. Дозу хлора одновременно контролируют по его расходу.

Применение больших доз хлора часто приводит к необходимости дехлорирования воды. Удаление избытка хлора достигается обработкой воды сернистым газом. Контроль процесса осуществляется по остаточному хлору.

Одной из важнейших задач предварительного хлорирования является снижение численности живых организмов — фито- и зоопланктона. В периоды цветения водоемов осложняется работа очистных сооружений: увеличивается расход коагулянта, возрастает число промывок фильтров, вода приобретает неприятные запахи и привкус. В этих условиях возрастает значение предварительной обработки, которую необходимо проводить с максимальной эффективностью, чтобы воспрепятствовать накоплению планктонных организмов в загрузке фильтра.

Установлено, что предварительное хлорирование является главным альгицидным фактором при очистке воды и позволяет снизить число клеток фитопланктона в среднем на 80—85%.

При наличии в воде солевого аммиака эффективность хлорирования снижается, так как в этом случае хлор связывается аммиаком в хлорамины, обладающие значительно меньшим альгицидным действием. Для обеспечения необходимого эффекта приходится значительно повышать дозу хлора.

Не менее важно обеспечить гибель организмов зоопланктона, поскольку мертвые организмы хорошо удаляются из воды в процессе коагуляции, тогда как в живом состоянии многие представители зоопланктона (в частности, низшие ракообразные), обладая большой подвижностью, легко выбируются из хлопка скоагулированных взвешенных веществ.

При предварительной обработке решается задача снижения численности живых организмов планктона, поэтому контроль процесса должен быть дополнен гидробиологическими тестами. На основе видового гидробиологического анализа корректируют режим хлорирования, так как различные представители планктона обладают разной устойчивостью к действию хлора. Например, установлено, что для полной гибели диатомовых водорослей необходима доза хлора 4—5 мг/л при 0,5-часовом контакте и 3 мг/л при 2-часовом контакте хлора и воды. В то же время полная гибель зеленых водорослей достигается только при дозе хлора 9 мг/л и 2-часовом контакте.

Наибольший эффект предварительного хлорирования достигается при проведении его в ковше. Хлор вводится в начало ковша, в результате чего обеспечивается длительный контакт его с водой. Одновременно происходит выделение части взвешенных веществ. Эффективность работы ковша оценивается на основе санитарно-химического и гидробиологического анализов исходной и обработанной воды.

Предварительная обработка предусматривается также в случае необходимости удаления из воды запахов и привкусов, обусловленных метаболитами водных организмов или продуктами их распада. В некоторых случаях необходимой степени снижения запаха удается добиться одним хлорированием. Очень важно при этом правильно выбрать дозу хлора, так как недостаток окислителя может привести не к снижению, а к увеличению запаха воды. Это объясняется тем, что хлор, вызывая лизис (распад) клеток микроорганизмов, освобождает из них вещества, обуславливающие запах. В контрольных пробах кроме остаточного хлора обязательно определяется показатель «запах».

В том случае, когда не удается удалить запах воды хлорированием, прибегают к комбинированной обработке. Хлорирование может быть дополнено обработкой воды KMnO_4 — одним из наиболее эффективных реаген-

в для снижения запаха и привкуса воды. Окисляя органические вещества, KMnO_4 восстанавливается с образованием тонкодисперсного хлопьевидного осадка Mn(OH)_2 , обладающего развитой поверхностью, которая способна сорбировать некоторые органические примеси. Скорость процесса окисления возрастает с повышением pH. Одновременно со снижением запаха MnO_4 действует как хороший бактерицид и альгицид.

Реагент вводится в воду в виде 1—2%-ного раствора. Доза устанавливается опытным путем и в зависимости от окисляемости воды составляет 1—10 мг/л. Для снижения дозы перманганата калия в воду сначала вводят хлор. Время между введением хлора и KMnO_4 должно быть не менее 10 мин.

Если при хлорировании образуются хлорфенольные запахи, то перманганат калия вводится до хлорирования с тем же разрывом по времени.

Другим вариантом комбинированной предварительной обработки является хлорирование в сочетании с углеванием, применяемое в основном для снижения запаха и удаления из воды органических веществ природного происхождения. Для обработки применяются порошкообразные тонкодисперсные активированные угли, которые хорошо сорбируют органические вещества, обуславливающие запах воды. Углевание позволяет удалять из воды также нефть и нефтепродукты, канцерогенные углеводороды, пестициды, которые не удаляются при других видах обработки воды.

Уголь в виде 2,5—5%-ной суспензии вводится в воду после предварительного хлорирования с интервалом 10—15 мин. Доза угля определяется пробным углеванием в зависимости от интенсивности запаха колеблется от 1 до 80 мг/л. Иногда угольную пульпу вводят перед фильтрами, тогда доза угля не должна превышать 5 мг/л для избежания уменьшения продолжительности фильтрования. Этот метод менее рационален, чем введение угля в смеситель, так как в последнем случае уголь улучшает процесс коагуляции и осветления и предотвращает заиливание осадка в отстойнике.

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.

Независимо от принятого метода предварительной обработки исходная и обработанная вода 1 раз в сутки анализируется по схеме краткого санитарно-химического анализа, включающего наиболее часто следующие показатели: температуру, запах, pH, мутность, цветность, щелочность, окисляемость, содержание железа и хлоридов, остаточного хлора.

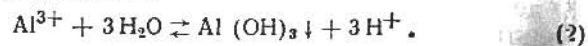
При концентрации планктона в воде более 1000 клеток в 1 мл целесообразно в качестве предварительной ступени очистки применять микрофильтры. Эффективность задержания фитопланктона на микрофильтрах составляет 60—95% в зависимости от преобладающего типа водорослей.

Применение микрофильтров позволяет снизить дозу коагулянта, сократить число промывок и расход промывной воды для фильтров, увеличить продолжительность фильтроцикла. При контроле работы микрофильтров замеряют потери напора и расход воды на промывку. Гидробиологический анализ воды до и после микрофильтров позволяет оценить эффективность их работы.

§ 9. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА КОАГУЛИРОВАНИЯ ВОДЫ

Обработку воды коагулянтами применяют для интенсификации и повышения эффективности процессов осветления и обесцвечивания. В качестве коагулянтов используют сернокислые соли алюминия и железа. Наибольшее распространение получил сернокислый глинозем.

В водном растворе эта соль диссоциирует с образованием ионов Al^{3+} , которые частично адсорбируются коллоидами и взвешенными веществами природной воды, частично гидролизуются:



В результате реакции образуется коллоид малорастворимого гидроксида алюминия. Таким образом, при введении коагулянта в воду, содержащую коллоидные гумусовые вещества и минеральные взвешенные частицы, образуется сложная система, состоящая из различных по характеру коллоидных веществ и суспензий. Коагуляция такой системы может быть вызвана обменной адсорбцией катионов, взаимной нейтрализацией разноименно заря-

женных коллоидных частиц, нарушением устойчивости какого-либо одного компонента системы. Например, добиться коагуляции всей системы можно, обеспечив оптимальные условия для коагуляции гидроксида алюминия. При этом вследствие чрезвычайно развитой поверхности хлопья гидроксида сорбируют вещества, загрязняющие воду, и способствуют флокуляции мелких взвешенных веществ.

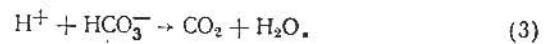
Большое значение для процесса коагуляции имеет растворимость образующегося гидроксида. Растворимость $Al(OH)_3$ уменьшается с повышением температуры и оказывается минимальной при $pH=5,5...7,5$. Величина pH оказывает значительное влияние и на скорость коагуляции золя гидроксида.

Оптимальное значение pH для процесса коагулирования зависит не только от условий коагуляции гидроксида алюминия, но в значительной степени от состава и характера примесей природной воды. Осветление и обесцвечивание мягких вод с цветностью более 50 град целесообразно осуществлять при значениях $pH=5...6$. Коллоидные гумусовые вещества сорбируются на поверхности $Al(OH)_3$, передавая ему свои свойства. Устойчивость гуминовых коллоидов снижается при понижении значения pH, поэтому и коагулирование таких вод успешней протекает в кислой среде.

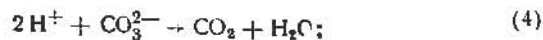
Коагулирование малоцветных жестких вод эффективней протекает в нейтральной или слабощелочной среде при $pH \leq 7,5$, т. е. в условиях, оптимальных для образования хлопьев гидроксида алюминия. Осаждаясь, хлопья $Al(OH)_3$ увлекают с собой нерастворенные частицы ила и взвешенных веществ, клетки планктона.

Следует иметь в виду, что гидролиз коагулянта приводит к снижению pH воды за счет выделяющихся ионов водорода [реакция (2)]. Ионы H^+ препятствуют гидролизу глинозема и тем самым ухудшают условия коагуляции $Al(OH)_3$.

Так как природные воды всегда имеют запас щелочности, ионы HCO_3^- связывают ионы H^+ по реакции



Если запаса природной щелочности воды не хватает для нейтрализации H^+ , к воде добавляют известь или соду. При этом происходят реакции:



Реагент для подщелачивания следует выбирать с учетом допустимого снижения значения pH. Из уравнений реакций (3) — (5) видно, что самым низким значение pH окажется в случае нейтрализации водорода за счет природной щелочности воды. Наиболее высокое значение pH обеспечивается при добавлении извести, так как в этом случае не выделяется CO_2 .

Из всего сказанного следует, что поддержание pH на определенном уровне очень важно для быстрой и эффективной коагуляции. Оптимальное значение pH определяется из условий обеспечения минимальной растворимости гидроксида алюминия и быстрой коагуляции золя с обязательным учетом качества исходной воды.

В процессе коагулирования решающую роль играет выбор и поддержание оптимальной дозы коагулянта, т. е. того минимального его количества, при добавлении которого достигается требуемая степень осветления и обезцвечивания воды. Доза реагента зависит не только от величины мутности и цветности, но и от степени дисперсности взвешенных веществ и характера веществ, обуславливающих цветность. При одной и той же мутности воды может потребоваться разная доза реагента, если в одном случае в воде преобладают грубодисперсные примеси, а в другом — мелкие, трудно осаждающиеся взвешенные частицы.

Сложность одновременной оценки и учета многочисленных факторов, влияющих на процесс коагулирования, приводит к необходимости экспериментального определения дозы коагулянта.

Пробное коагулирование проводят с шестью — десятью различными дозами, охватывающими диапазон предполагаемой оптимальной дозы, подсчитанной по формулам и таблицам СНиП 2.04.02-84. Одновременно уточняется доза извести или соды.

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

Качество очищенной воды зависит и от качества ре-

агентов, применяемых при обработке воды. Перед использованием любого реагента обязательно выполняют подробный химический анализ его для установления доли активной части реагента и наличия нежелательных примесей. Анализ выполняют из средней пробы, взятой из каждой партии поступившего на станцию реагента.

Для нормального течения процесса коагулирования должна быть предусмотрена возможность последовательного введения реагентов с соблюдением необходимого интервала времени между их подачей и обеспечено эффективное смешение реагентов с водой.

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

Эффективность коагулирования, а следовательно, и качество воды зависит от всех рассмотренных факторов, которые и определяют основные направления технологического контроля этого процесса.

Санитарно-химический анализ исходной воды выполняется не реже 1 раза в сутки. Обязательным является определение температуры, запаха, pH, мутности, цветности, щелочности, хлоридов, окисляемости и бактериологических показателей. В зависимости от специфических условий перечень показателей краткого анализа может быть расширен. Например, если в воде источника содержится железо в концентрациях, превышающих норму для питьевой воды, то определение общего железа включается в число обязательных характеристик воды. Полный санитарно-химический анализ исходной воды выполняется 1 раз в месяц.

Частота экспериментального определения дозы коагулянта зависит от постоянства качества воды в источнике. Для поверхностных водоемов состав и свойства воды изменяются по сезонам года. В соответствии с этим проводится и пробное коагулирование. Дополнительные определения оптимальной дозы коагулянта назначают в случаях непредвиденного изменения качества воды и при переходе к использованию новой партии коагулянта.

В процессе эксплуатации оптимальную дозу коагулянта, определенную пробным коагулированием, иногда приходится корректировать с учетом данных гидробиоло-

гического анализа. Изменение видового состава фитопланктона и появление некоторых представителей зоопланктона приводит к необходимости увеличения дозы коагулянта. Установлено, что прерывистое коагулирование, часто применяемое на очистных станциях, неприменимо при значительном развитии фито- и зоопланктона.

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.

Технологический контроль должен сочетаться с правильной технической эксплуатацией сооружений, предназначенных для коагулирования воды: обеспечением оптимальных гидравлических условий работы смесителей и камер хлопьеобразования, бесперебойной подачей реагентов, своевременной очисткой смесителей и камер хлопьеобразования и т. д.

§ 10. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ОТСТАИВАНИЯ ВОДЫ

Выделение из воды хлопьев гидроксида алюминия вместе с основной массой загрязнений осуществляется в отстойниках различных типов и в осветлителях со взвешенным слоем осадка.

Технологический контроль за работой этих сооружений включает наблюдение за равномерностью распределения воды между сооружениями и скоростью движения воды в отстойнике, оценку качества поступающей и осветленной воды, определение количества и качества задержанного осадка. При эксплуатации осветлителей со взвешенным слоем, высота которого поддерживается в пределах 2—2,5 м, ведут систематические наблюдения за равномерностью распределения и сбора воды, за состоянием отводных лотков и устройств, регулирующих перепуск взвешенного слоя в осадкоуплотнитель. Нормальная

работа осветлителей обеспечивается правильным распределением воды между зонами осветления и уплотнения осадка и поддержанием определенной скорости восходящего потока воды в зоне ее осветления. Оптимальная скорость восходящего потока зависит от концентрации взвешенных веществ в исходной воде и изменяется от 0,8 до 1,1—1,2 мм/с при возрастании концентрации взвешенных веществ от 100 до 1000—1500 мг/л.

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/л. Контроль времени пребывания воды в сооружении осуществляют по хлоридам.

Для оценки эффективности работы отстойников и осветлителей выполняют санитарно-химический и гидробиологический анализы воды. Сокращенный анализ осветленной воды проводят 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.

При расчете эффективности отстаивания воды исходную концентрацию взвешенных веществ $C_{исх}$ приходится определять расчетным путем, так как она зависит не только от мутности M и цветности C исходной воды, но и от дозы коагулянта D_k и количества нерастворенных веществ, вводимых в воду с известью в процессе подщелачивания B . Расчет концентрации взвешенных веществ $C_{исх}$ ведут по формуле

$$C_{исх} = M + K D_k + 0,25 C + B, \quad (6)$$

где K — коэффициент перевода массы коагулянта в массу сухого осадка, образующегося при коагулировании, для очищенного сернокислого алюминия $K=0,55$, для неочищенного — 1, для хлорного железа — 0,8.

Качество осадка контролируют 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. Особенно быстро биохимические процессы начинаются при обработке воды, содержащей значительное количество планктонных организмов. Продукты разложения органических веществ ухудшают качество осветленной воды.

Накопление осадка в отстойнике контролируется пе-

риодическими 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 6—24 ч, 2—3 недели или 2—3 мес.

Чрезмерное накопление осадка или нарушение гидравлического режима работы отстойника может привести ко вторичному выносу взвешенных веществ из-за взмучивания слоя выпавшего осадка.

Данные санитарно-химического анализа позволяют подсчитать количество осадка, образующегося при осветлении воды. Для подсчета необходимо кроме концентрации взвешенных веществ в исходной и осветленной воде знать время между сбросами осадка, пропускную способность станции за этот период и влажность осадка. Кроме того, учитывается разбавление осадка водой при его выгрузке. При обработке воды коагулянтами влажность осадка в зависимости от исходной концентрации взвешенных веществ и времени уплотнения осадка колеблется в пределах 94—99,4%.

Обезвоживание и сушка осадка производятся на площадках, для сокращения площади которых иногда предусматривается уплотнение осадка в резервуарах с медленным перемешиванием. Вода, образующаяся в результате уплотнения осадка, после хлорирования сбрасывается в водоем. Периодически качество этой воды контролируется по бактериологическим показателям.

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/л.

Более прогрессивным методом сушки осадка является механическое обезвоживание его на вакуум-фильтрах, контроль за работой которых изложен в § 44.

§ 11. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ ВОДЫ

Процесс осветления и обесцвечивания воды завершается на фильтрах. Фильтрация через слой зернистой загрузки позволяет почти полностью освободить воду от взвешенных веществ и большей части микроорганизмов. Фильтрованная вода должна удовлетворять требованиям ГОСТ 2874—82 по показателям «мутность» и «цветность».

Получение воды требуемого качества обеспечивается правильной технической эксплуатацией сооружений и

оперативным технологическим контролем, предусматривающим контроль за распределением воды по фильтрам, скоростью фильтрования, своевременным отключением фильтра на промывку, санитарным состоянием фильтра и состоянием фильтрующей загрузки, а также за качеством фильтрованной воды и эффективностью работы фильтров.

Скорость фильтрования является одним из важных технологических параметров, характеризующих работу фильтров. Для скорых фильтров в зависимости от их конструкции скорость фильтрования принимается равной 5,5—12 м/ч и обычно поддерживается постоянной в течение фильтроцикла. Наблюдение за скоростью фильтрования, потерей напора, продолжительностью фильтроцикла, длительностью и интенсивностью промывки входит в обязанности дежурного оператора. Все данные о работе фильтра обязательно регистрируются в журнале.

Одной из основных операций по обслуживанию фильтров является промывка фильтрующего материала. Эта операция должна обеспечить достаточно быструю и эффективную промывку всех слоев загрузки. Нельзя допускать перемешивания слоев, образования воронок на фильтрующей поверхности, выноса материала загрузки с промывной водой. Очень важно при промывке добиться полноты удаления из фильтрующей загрузки детрита, бактериальных и гидробиологических загрязнений. При недостаточно эффективной промывке оставшиеся в загрузке фильтра загрязнения могут быть причиной вторичного роста бактерий и некоторых гидробионтов, для которых детрит служит источником питания. В частности, вторичный рост в плохо отмытой загрузке могут давать некоторые низшие ракообразные, яйца которых задерживаются в загрузке при фильтровании воды. Предварительное хлорирование, являясь самой эффективной мерой для предотвращения загрязнения фильтра гидробионтами, не уничтожает полностью яйца гидробионтов даже при значительных дозах хлора, так как они имеют плотную непроницаемую для окислителей оболочку.

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

Высота слоя песка со временем может уменьшаться

вследствие постепенного его истирания и выноса легких песчинок при промывке фильтра. Проверку высоты слоя производят 2 раза в год. Убыль песка восполняется догрузкой фильтра свежим песком, качество которого должно удовлетворять требованиям к фильтрующему материалу по гранулометрическому составу, физической и химической его устойчивости к внешним воздействиям.

Одновременно с высотой слоя песка проверяют горизонтальность гравийных слоев, нарушение которой резко снижает способность фильтра задерживать загрязнения. Проверка производится с помощью специального шупа во время промывки фильтра. При явном смещении этих слоев фильтр отключается для ремонта.

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. На основании результатов анализа решается вопрос о необходимости обработки фильтрующего материала. Если в составе остаточных загрязнений преобладают соединения алюминия, то проводят обработку песка каустической содой или хлором; при загрязнении песка соединениями железа или марганца его обрабатывают сернистым газом.

При большом содержании в составе остаточных загрязнений бактерий, клеток гидробионтов и органических веществ производят санитарную обработку фильтра хлором. При этом сооружение работает как обычно, но фильтрат спускают в сток, а в поступающую воду подают хлор в количестве 50—100 мг/л. Обработку ведут в течение 2 ч, после прекращения подачи хлора фильтрат спускают в сток еще в течение 0,5 ч. Затем фильтр промывают водой и пускают в работу.

В число основных задач технологического контроля за работой фильтров входит круглосуточная проверка качества фильтрата (очищенной воды). Пробы отбираются от каждого фильтра в отдельности и из сборного канала, отводящего фильтрат в резервуар чистой воды.

В фильтрате определяют мутность, цветность, рН. Анализ выполняют каждые 2 ч, если вода обрабатывается коагулянтами, и через 4 ч при отсутствии реагентной обработки. На крупных станциях все эти показатели ре-

гистрируются автоматическими приборами непрерывного действия и проверяются в лаборатории 1—2 раза в смену. Один раз в смену в отобранных пробах определяются привкус и запах. Если на станции предусмотрено предварительное хлорирование воды, в фильтрате обязательно определяют наличие остаточного хлора через каждые 4 ч.

Пробы на анализ по бактериологическим показателям отбираются от каждого фильтра 1 раз в 10 дней. Бактериологический анализ общего фильтрата выполняется 1 раз в сутки. По такому же графику выполняется гидробиологический анализ. Для отбора проб на этот анализ на трубе, отводящей фильтрат, устанавливается специальный кран, на который надевается планктонная сетка. Вода фильтруется через сетку в течение определенного времени. За этот период измеряют расход воды, а содержимое планктонной сетки микроскопируют. Отдельно учитывают клетки фито-, зоопланктона и организмы, видимые невооруженным глазом. Результаты анализа выражают количеством клеток в 1 м³ фильтрата.

Эффективность процесса фильтрования оценивается сравнением качества поступающей воды и фильтрата.

§ 12. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

Одной из основных задач очистных сооружений водопровода является предотвращение возможного распространения через воду кишечных инфекций. Осветление и обесцвечивание воды с коагулированием и последующим отстаиванием и фильтрованием даже при условии предварительного хлорирования воды не обеспечивает полного удаления из воды бактериальной микрофлоры. Примерно 1—10% бактерий, среди которых могут оказаться и патогенные, сохраняют свою жизнеспособность.

В связи с этим завершающим этапом обработки воды является ее обеззараживание. Существует множество способов обеззараживания воды, но для коммунальных водопроводов применяют обеззараживание сильными окислителями (хлор, озон) и бактерицидными лучами.

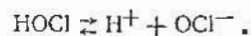
В соответствии с главной задачей обеззараживания — обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности воды — основной технологический контроль за качеством воды на этом этапе очистки заключается в периодическом определении в обеззараженной воде

бактериологических показателей. Бактериологический контроль дополняется технологическими анализами, гидробиологическими наблюдениями и другими контрольными определениями в зависимости от принятого способа обеззараживания.

Бактериологический анализ включает два определения: общего числа бактерий в 1 мл воды (микробное число) и числа бактерий группы кишечной палочки в 1 л воды.

Необходимость гидробиологического контроля качества воды вызвана тем, что в питьевой воде должны отсутствовать организмы, видимые невооруженным глазом, клетки фито- и зоопланктона. В то же время возможен прорыв этих организмов через фильтры, особенно в период повышенного содержания планктона в воде. Особое внимание гидробиологическим наблюдениям должно уделяться в случае наличия в воде хлор-устойчивых организмов, например протококковых и вольвоксовых водорослей.

Хлорирование. На коммунальных водопроводах для обеззараживания воды чаще всего применяется хлорирование. При введении хлора в воду происходит его гидролиз с образованием хлорноватистой кислоты, диссоциирующей на ионы:



Так как наибольшим бактерицидным действием обладают молекулы недиссоциированной хлорноватистой кислоты, очевидно, что обеззараживание будет более эффективным в условиях, при которых диссоциация HOCl подавлена. Такие условия обеспечиваются в нейтральной или слабокислой среде.

Механизм бактерицидного действия HOCl объясняется диффузией молекул хлорноватистой кислоты внутрь клетки и окислением ферментов. Процессы диффузии и окисления не протекают мгновенно, поэтому необходимым условием эффективного обеззараживания является интенсивное и полное смешение и длительный контакт обеззараживающего агента с водой.

Разные воды обладают различной хлоропоглощаемостью, зависящей от количества и характера примесей воды, способных окисляться хлором. Для обеспечения необходимого бактерицидного эффекта требуется вводить в воду некоторый избыток хлора по срав-

нению с хлоропоглощаемостью воды, так чтобы в воде оставался свободный хлор.

В соответствии с требованиями ГОСТ 2874—82 в питьевой воде через 30 мин после введения хлора концентрация остаточного свободного хлора должна быть не менее 0,3 мг/л, но не более 0,5 мг/л.

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/л.

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, хлорпроизводные которых ухудшают органолептические свойства воды. Хлор более энергично реагирует с аммиаком, а не с фенолами, что предотвращает появление неприятных хлорфенольных запахов. Для снижения хлорных запахов и консервации остаточного хлора аммиак вводят после хлорирования. Такой порядок ввода реагентов объясняется стремлением использовать большую по сравнению со связанным бактерицидность свободного хлора, и только потом связать его в хлорамины.

Процесс хлорирования с аммонизацией следует вести при $\text{pH} > 7$, так как при низких значениях pH образование хлораминов идет медленно. Дозы хлора и аммиака определяются пробной хлораммонизацией, при этом в зависимости от поставленной цели соотношение доз аммиака и хлора (по массе) изменяется от 1:3 до 1:10. Если требуется продлить обеззараживающее действие хлора, принимается меньшее соотношение, при низких температурах воды и необходимости более глубокого обеззараживания — большее.

Контроль дозы реагентов производится по расходу хлора и аммиака и по остаточному хлору (свободному или связанному в зависимости от режима хлорирования). Каждую смену производят взвешивание бочки или баллона с реагентом и таким образом определяют

его расход за смену. Дозы рассчитывают по расходу реагента и количеству обработанной воды.

Остаточный хлор в воде, подаваемой из резервуаров чистой воды, определяется каждый час. В случае непрерывного контроля остаточного хлора с помощью автоматических приборов лаборатория выполняет анализ 1 раз в смену.

Пробы из резервуаров чистой воды анализируются по показателям «мутность», «цветность» и pH каждые 4 ч или непрерывно автоматическими приборами. Краткий анализ выполняется 1 раз в сутки или в смену в зависимости от стабильности работы станции, полный анализ проводят 1 раз в месяц. В резервуарах чистой воды должна быть обеспечена постоянная циркуляция, полный обмен воды должен происходить не более чем за 5 сут при температуре $\geq 18^{\circ}\text{C}$ и не более чем за 10 сут при более низких температурах.

Гидробиологический анализ обеззараженной воды проводят обычно 1 раз в сутки. Бактериологические показатели в очищенной воде определяют не реже 2 раз в сутки.

Контроль за процессом обеззараживания не ограничивается выполнением перечисленных анализов. Особого контроля требуют реагенты и оборудование, применяемые при обеззараживании. Баллоны с хлором и аммиаком перед их подключением к дозирующим устройствам подвергают качественной индикации. Осторожно открывая вентиль баллона, вносят в струю газа индикаторную бумажку. Для индикации хлора применяют калийбромфлюоресцеиновую бумажку, которая при контакте с хлором становится розовой. Для индикации аммиака используют белую бумагу, пропитанную азотнокислой закисью ртути, чернеющей в результате реакции с аммиаком.

При использовании на небольших станциях для обеззараживания воды хлорной извести контроль дополняется определением содержания активного хлора в растворе хлорной извести. Определение проводится не реже 1 раза в смену.

Озонирование. Обеззараживание воды озоном имеет значительные преимущества перед хлорированием. Озон — более сильный окислитель, чем хлор, и его применение оказывается более эффективным для окисления детергентов, гербицидов, пестицидов и других трудно

окисляемых химических соединений. Озон энергично окисляет фенолы, поэтому обеззараживание воды, содержащей фенолы, предпочтительнее проводить озоном.

Применение озона для предварительной обработки воды позволяет полностью отказаться от углевания как метода устранения запаха воды и значительно снизить дозу коагулянта.

Бактерицидный и вирулицидный эффект действия озона намного выше, чем у хлора. Необходимые дозы озона для обеззараживания подземных вод не превышают 0,75—1 мг/л, а для фильтрованной воды — 1—3 мг/л. Концентрация остаточного озона после камер смешения должна быть 0,1—0,3 мг/л. Продолжительность контакта озона с водой зависит от ряда факторов: качества воды, температуры, концентрации озона в озонородной смеси, конструкции смесителя, но в среднем составляет 5—20 мин.

Контроль за процессом озонирования в принципе не отличается от контроля за обеззараживанием воды хлором и включает систему анализов и операций, обеспечивающих эффективную работу озонаторов и смесителей. Отбор и анализ проб проводится в том же объеме, однако вместо остаточного хлора определяется остаточный озон.

Бактерицидное облучение. Бактерицидные установки применяют для обеззараживания подземных вод, если по органолептическому и санитарно-токсикологическому показателям вредности вода удовлетворяет требованиям ГОСТ 2874—82. Коли-индекс обрабатываемой воды не должен превышать 1000.

К числу преимуществ обеззараживания воды бактерицидными лучами относятся отсутствие реагентов, а также изменений в составе и качестве воды, в частности исключение возможности появления привкуса и запаха, быстрота и возможность полной автоматизации процесса.

Обеззараженная вода периодически контролируется по бактериологическим показателям. Анализы выполняются при численности населения, обслуживаемого водопроводом, до 20 тыс. человек — 1 раз в неделю, до 50 тыс. человек — 3 раза в неделю, при большей численности населения — ежедневно. В этих же пробах оп-

ределяется мутность, цветность, запах, привкус. Полный анализ воды выполняется 1 раз в год.

Профилактический осмотр установки должен производиться не реже 1 раза в месяц.

§ 13. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 8. Дать технологическую оценку изменениям состава воды в процессе ее предварительной обработки (табл. 5). Предварительная обработка предусматривает хлорирование воды с последующим отстаиванием в ковше.

Таблица 5

Показатель	Значения показателя для воды	
	исходной	после предварительной обработки
Мутность, мг/л	83	50
Окисляемость, мг/л	10	1
Остаточный хлор, мг/л	—	0,54
Цветность, град	46	30
Число клеток в 1 мл:		
фитопланктона	1200	180
зоопланктона	650	94
Запах, баллы	4	2
Микробное число	250	14
Коли-индекс	54	5

Решение. Предварительное хлорирование с последующим отстаиванием воды в ковше значительно улучшает качество воды. В результате окислительного действия хлора на 35% снижается цветность воды, в 10 раз уменьшается количество органических загрязнений, определяемое величиной перманганатной окисляемости. Одновременно до установленных норм снижается запах воды, это говорит о том, что вещества, обуславливающие запах, хорошо окисляются хлором.

Весьма существенно снизилась концентрация гидробиологических загрязнений воды. Так как хлор — прекрасный альгицидный агент, хлорирование обеспечило отмирание 85% клеток фитопланктона. Одновременно погибает примерно такая же часть представителей зоопланктона.

В результате обеззараживающего действия хлора значительно улучшается качество воды в санитарном отношении: общее число бактерий снижается на 94,4%, а число бактерий группы кишечной палочки — на 90,7%.

Обеспечение в воде остаточного свободного хлора в концентрации 0,54 мг/л предохраняет последующие сооружения от развития биообрастаний и улучшает их санитарное состояние.

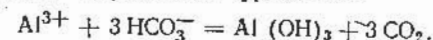
Высокая эффективность предварительной очистки обеспечена не

только действием хлора как окислителя и обеззараживающего агента, но в значительной степени объясняется проведением хлорирования в ковше. Длительное время пребывания воды в ковше обеспечивает снижение мутности на 40%. Основная масса отмерших в результате хлорирования планктонных организмов оседает в ковше, в результате чего облегчается работа фильтров — самых чувствительных к фитопланктону сооружений.

Уменьшение мутности, цветности, концентрации планктонных организмов в результате предварительной обработки позволяет снизить дозу коагулянта, нагрузку по взвешенным веществам на отстойники, общее количество образующегося при отстаивании осадка.

Упражнение 9. Подсчитать истинную дозу коагулянта в пересчете на технический продукт, если при контрольных определениях щелочности в процессе коагулирования зафиксировано ее падение с 4 до 3,25 мг-экв/л. Содержание активной части в глиноземе составляет 62%.

Решение. В результате взаимодействия выделяющихся при гидролизе алюминия ионов H^+ с бикарбонатными ионами щелочность в процессе обработки воды коагулянтом падает. Количественно это изменение щелочности может быть оценено по реакциям (2) и (3), которые суммарно выражаются уравнением



Подсчитаем, как изменится щелочность при введении в воду 1 мг/л безводного сульфата алюминия. По приведенному уравнению 26,98 мг Al^{3+} реагируют с 183,05 мг HCO_3^- , т. е. при введении в воду 1 мг Al^{3+} щелочность понизится на $183,05:26,98 = 6,78$ мг/л, или на $6,78:61,018 = 0,11$ мг-экв/л. 1 мг $Al_2(SO_4)_3$ содержит $3:2 \cdot 152:53,96 = 0,158$ мг Al^{3+} и может понизить щелочность на $0,11 \cdot 0,158 = 0,017$ мг-экв/л.

Таким образом, если снижение щелочности в процессе коагулирования составило 0,75 мг-экв/л, в воду было добавлено $0,75:0,017 = 44$ мг/л безводного $Al_2(SO_4)_3$.

Так как активность коагулянта по условию задачи равна 62%, доза его по товарному продукту составит $44:0,62 = 71$ мг/л.

Упражнение 10. Оценить, как изменится количество осадка, образующегося при коагулировании и отстаивании, если мутность воды увеличилась с 50 до 220 мг/л, цветность — с 64 до 81 град, щелочность понизилась с 3 до 1,5 мг-экв/л, а концентрация взвешенных веществ в отстойной воде в том и другом случае равна 10 мг/л.

Решение. Количество образующегося в отстойниках осадка зависит от качества исходной воды, эффективности работы отстойников, условий сброса осадка. Так как концентрация взвешенных веществ в отстойной воде осталась той же при изменении качества исходной воды, то, приняв, что условия сброса осадка были идентичными, можно считать, что количество образующегося осадка будет определяться концентрацией взвешенных веществ в воде, поступающей на отстаивание.

Исходную концентрацию взвешенных веществ определим по формуле (6), так как вода подвергалась обработке коагулянтом. Для расчета дозы коагулянта воспользуемся рекомендациями СНиП 2.04.02-84 и данными анализа воды из мутность и цветность. Поскольку в условии задачи ничего не говорится о характере взвешен-

ных веществ, дозу коагулянта по табл. 16 СНиП принимаем равной среднему из приведенных значений (25—35 и 30—45 мг/л). Тогда доза коагулянта для обработки воды в первом случае составит $D_{к1}=30$ мг/л, а во втором — $D_{к2}=37,5$ мг/л.

Дозу коагулянта, необходимую для обезжелезивания воды, определяем по формуле

$$D_k = 4 \sqrt{C},$$

тогда $D_{к1}=4\sqrt{64}=32$ мг/л и $D_{к2}=4\sqrt{81}=36$ мг/л.

При обработке цветных, мутных вод принимается большая из доз, определенных расчетом, поэтому в первом случае принимаем дозу коагулянта, рассчитанную из условия обезжелезивания, а во втором — из условия осветления воды. Таким образом, принимаем $D_{к1}=32$ мг/л и $D_{к2}=37,5$ мг/л.

Определим, требуется ли подщелачивание воды в процессе коагуляции. Расчет производим по формуле (9) СНиП 2.04.02-84. В качестве подщелачивающего реагента принимаем известь с содержанием активной части 70%.

В первом случае

$$D_{щ1} = 28 \left(\frac{32}{57} - 3 + 1 \right) \frac{100}{70} = -57,6.$$

Так как величина $D_{щ1}$ оказалась отрицательной, подщелачивания воды в этом случае не требуется.

Во втором случае

$$D_{щ2} = 28 \left(\frac{37,5}{57} - 1,5 + 1 \right) \frac{100}{70} = 6 \text{ мг/л.}$$

По формуле (6) подсчитаем концентрацию взвешенных веществ в воде, поступающей на отстаивание, приняв количество нерастворенных примесей вводимых с известью, равным 1 мг/л. Тогда

$$C_{исх1} = 50 + 0,55 \cdot 32 + 0,25 \cdot 64 = 83,6 \text{ мг/л;}$$

$$C_{исх2} = 200 + 0,55 \cdot 37,5 + 0,25 \cdot 81 + 1 = 241,9 \text{ мг/л.}$$

Так как концентрация взвешенных веществ в воде, поступающей на отстаивание, увеличилась почти в 3 раза, можно утверждать, что и количество образующегося осадка увеличится пропорционально изменению исходной концентрации взвешенных веществ.

Подобное изменение качества воды, т. е. резкое повышение мутности и цветности, снижение щелочности, возможно в период паводков; именно в это время обычно увеличивается и количество осадка, образующегося при отстаивании.

Упражнение II. По результатам, приведенным в табл. 6 и 7, дать технологическую оценку работы фильтра за два периода (I и II).

Решение. Прежде всего следует отметить серьезные отличия качества воды, поступающей на фильтр, в эти периоды. Если в I период работы мутность воды, поступающей на фильтр, уже удовлетворяет требованиям стандарта на питьевую воду, то во II период концентрация взвешенных веществ, хотя и не вышла за пределы норм, установленных СНиП 2.04.02-84 для отстоянной воды, но увеличилась почти в 9 раз по сравнению с концентрацией взвешенных веществ в I период.

Таблица 6

Показатель	Значения показателя в период работы фильтра	
	I	II
Скорость фильтрования, м/ч	10	6
Продолжительность фильтроцикла, ч	24	16
Продолжительность промывки, мин	6	10
Расход воды на одну промывку, м ³	400	600

Таблица 7

Показатель	Значения показателей			
	воды, поступающей на фильтр		фильтрата	
	I период	II период	I период	II период
Мутность, мг/л	1,4	12	0,7	2,4
Цветность, град	18	17	11	11
Фитопланктон, кл/мл	54	594	3	95
Число организмов, видимых невооруженным глазом	4	10	Нет	6

Цветность поступающей воды за оба периода работы была достаточно низкой и удовлетворяла требованиям стандарта на питьевую воду. Следует обратить внимание на результаты гидробиологического анализа. Очевидно, что II период работы характеризуется резким ухудшением качества воды источника по гидробиологическим показателям. В этих условиях коагулирование и отстаивание не обеспечили прежнего качества воды, поступающей на фильтрование. Концентрация планктона в отстоянной воде возросла более чем в 10 раз.

Столь резкое изменение качества поступающей воды не могло не сказаться на технологических параметрах работы фильтра. Во II период упала скорость фильтрования, сократилась продолжительность фильтроцикла. Основной причиной этого, несомненно, явилось увеличение в исходной воде концентрации фитопланктона. Водоросли, забивая загрузку фильтра, приводят к быстрому возрастанию потерь напора и необходимости отключения фильтра на промывку. Следствием изменения качества воды явилось также увеличение длительности промывки фильтра и расхода промывной воды.

Изменение качества поступающей воды существенно отразилось на качестве фильтрата. В I период работы мутность фильтрата была значительно ниже установленных норм, тогда как во II период качество фильтрата не удовлетворяло требованиям стандарта. Число клеток фитопланктона в фильтрате во II период работы возросло более чем в 30 раз, фильтрование не обеспечило полного изъятия организмов, видимых невооруженным глазом.

Таким образом, в I период работа фильтра по всем показателям была хорошей. Во II период качество фильтрата не соответствовало установленным нормам для питьевой воды. Можно ожидать некото-

рого снижения мутности, концентрации фитопланктона и видимых организмов на стадии обеззараживания. Однако гарантировать обеспечение необходимого качества питьевой воды нельзя при плохой работе фильтра.

Упражнение 12. Определить коли-индекс исследуемой воды. При выполнении коли-теста через мембранный фильтр пропущено 0,5 л воды, при посеве на среду Эндо выросло пять колоний, типичных для бактерий Coli.

Решение. При фильтровании на мембранном фильтре задерживаются все бактерии. Если при последующем посеве на среду Эндо выросло пять типичных колоний, это значит, что в 0,5 л воды содержится пять жизнеспособных бактерий группы Coli. Коли-индекс в этом случае будет равен 10, так как в 1 л воды содержится 10 кишечных палочек.

Упражнение 13. Определить коли-индекс, если коли-титр речной воды равен 20.

Решение. Величины коли-титра и коли-индекса связаны обратной зависимостью. Поскольку первый из них выражается как объем в миллилитрах, в котором содержится одна палочка, а второй показывает число палочек в 1 л воды, для подсчета коли-индекса необходимо 1000 : 20. Таким образом, коли-индекс этой воды равен 50.

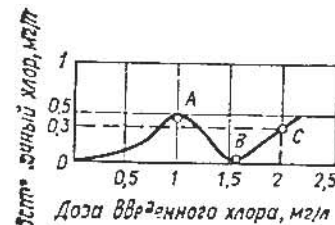
Упражнение 14. Автоматический прибор, контролирующий остаточный хлор в воде, зафиксировал его падение. Дежурный оператор увеличил дозу хлора, но концентрация остаточного хлора продолжает падать. Чем это можно объяснить?

Решение. Такое явление может быть объяснено появлением в воде солевого аммиака. В этом случае хлор связывает аммонийные соли в хлорамины. Если доза хлора оказалась несколько больше той, которая необходима для связывания всего аммиака, то начались реакции окисления хлораминов. При этом повышение дозы в некотором интервале будет сопровождаться уменьшением остаточного связанного хлора вследствие окисления хлораминов. Когда отношение молярных концентраций хлора и содержащихся в воде аммонийных солей станет равным 2, все хлорамины будут окислены и дальнейшее увеличение дозы приведет к повышению концентрации свободного остаточного хлора. Наглядное представление об изменении концентрации остаточного хлора при хлорировании воды, содержащей солевой аммиак, дает рис. 3.

Упражнение 15. Определить эффективную бактерицидную дозу хлора по кривой хлоропоглощаемости обеззараживаемой воды, представленной на рис. 3.

Решение. Такой вид кривая хлоропоглощаемости имеет в случае хлорирования с аммонизацией или присутствия в воде солевого аммиака. Оптимальную дозу хлора по этой кривой определяют из условия обеспечения в обеззараженной воде необходимой концентрации остаточного хлора. Согласно стандарту на питьевую воду концентрация остаточного свободного хлора должна быть в пределах 0,3—0,5 мг/л через 30 мин после введения хлора. Концентрация остаточного связанного хлора принимается большей (0,8—1,2 мг/л) при контакте в течение 1 ч, так как хлорамины обладают меньшим бактерицидным действием. При хлорировании дозами до точки В весь остаточный хлор оказывается связанным. Из приведенного графика видно, что обеспечить требуемую концентрацию остаточного связанного хлора невозможно из-за недостатка аммонийных ионов. Максимальная остаточная концентрация связанного хлора составляет

Рис. 3. Хлоропоглощаемость воды



0,5 мг/л (точка А). В этом случае хлорирование ведут дозами за точкой перелома, когда хлорамины полностью окислены (точка В) и дальнейшее увеличение дозы приводит к появлению свободного остаточного хлора. Приняв, что его концентрация должна быть равна 0,3 мг/л, проводим прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с участком кривой ВС. Опустив перпендикуляр из точки пересечения на ось абсцисс, получим эффективную бактерицидную дозу хлора — 2 мг/л.

Упражнение 16. Две пробы воды подвергались озонированию. Эффект обеззараживания для первой пробы составил 95%, для второй — 99,5%. Можно ли судить о глубине обеззараживания только по этим цифрам?

Решение. Сделать определенного вывода только на основании эффекта обеззараживания нельзя, так как неизвестно качество исходной воды. Предположим, что коли-индекс первой пробы равен 40, второй — 1000: Пользуясь заданной эффективностью, подсчитываем коли-индекс этих вод после озонирования (табл. 8).

Таблица 8

Проба воды	Коли-индекс исходной воды	Э, %	Коли-индекс обеззараженной воды
I	40	95	2
II	1000	99,5	5

Таким образом, несмотря на то, что эффект обеззараживания для пробы воды I ниже, качество ее значительно лучше и удовлетворяет требованиям стандарта на питьевую воду. Проба воды II не может быть использована для питьевых целей, так как ее коли-индекс более 3.

Упражнение 17. По результатам гидробиологического анализа, приведенным ниже, оценить эффективность работы отдельных сооружений по удалению из воды фитопланктона.

Концентрация клеток фитопланктона в 1 мл:	
в воде источника	985
после предварительного хлорирования в ковше	128
» микрофильтров	70
» коагулирования и отстаивания	29
» фильтрования	13
» вторичного хлорирования	9

Решение. Эффективность Э, %, изъятия фитопланктона на отдельных этапах очистки может быть подсчитана по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C_1 - C_2}{C_1} 100,$$

где C_1 и C_2 — концентрация клеток фитопланктона соответственно в воде, поступающей на сооружение и обработанной.

Например, концентрация клеток фитопланктона в воде, поступающей на микрофильтры, $C_1 = 128$, а после микрофильтрации $C_2 = 70$. В этом случае эффективность работы микрофильтров составит:

$$\mathcal{E} = \frac{(128 - 70)}{128} 100 = 45,3 \%$$

Одновременно можно оценить долю участия D , %, каждого из сооружений в общем снижении концентрации фитопланктона. Расчет в этом случае ведут по формуле

$$D = (\Delta C : C_{\text{исх}}) 100,$$

где ΔC — снижение концентрации фитопланктона в сооружении; $C_{\text{исх}}$ — концентрация фитопланктона в воде источника.

Если на стадии фильтрования задержано $29 - 13 = 16$ клеток в 1 мл, это составляет $16 : 985 \cdot 100 = 1,6\%$ концентрации фитопланктона в воде источника.

Результаты расчетов для каждой стадии обработки воды сведены в табл. 9.

Таблица 9

Показатель	Значения показателя, %, на стадии				
	предварительного хлорирования	микрофильтрования	коагулирования и отстаивания	фильтрования	вторичного хлорирования
$\mathcal{E}$, %	87,5	45,3	58,6	55,2	31
D , %	87,5	5,9	4,2	1,6	0,3

Большая часть фитопланктона задерживается на стадии предварительного хлорирования и отстаивания в ковше. В совокупности с микрофильтрованием предварительная обработка позволяет задержать $985 - 70 = 915$ кл/мл, или 92,9% всего поступающего на станцию фитопланктона. Это значительно облегчает работу основных сооружений. Доля участия каждого из последующих сооружений в общем изъятии фитопланктона постепенно уменьшается. В совокупности на стадиях коагуляции — обеззараживания снимается только 2% гидробиологических загрязнений, поступивших на станцию, но эффективность работы этой цепочки основных сооружений (по удалению фитопланктона) составляет:

$$\frac{29 - 9}{29} 100 = 69 \%$$

Фильтры не обеспечивают полного изъятия фитопланктона, и частично ликвидация остаточного числа планктонных организмов входит в задачу вторичного хлорирования, которое обеспечивает гибель только 31% клеток. Отмирающие в результате обеззараживания воды водоросли частично оседают в резервуаре чистой воды, и их

накопление может быть причиной вторичного роста некоторых видов хлорустойчивых гидробионтов.

В целом очистные сооружения обеспечивают гибель

$$\frac{985 - 9}{985} 100 = 99,1 \%$$

фитопланктона и очищенная вода содержит 9 кл/мл. Допустимое содержание фитопланктона в питьевой воде стандартом не регламентируется, поэтому формально по этому показателю нельзя судить о пригодности или непригодности воды для питьевых целей.

Глава IV

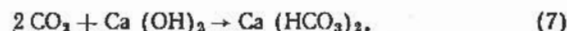
КОНТРОЛЬ ОСОБЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

§ 14. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ УМЯГЧЕНИЯ ВОДЫ

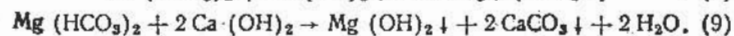
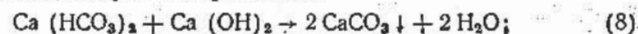
Под умягчением понимают полное или частичное удаление из воды катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , обуславливающих ее жесткость. В зависимости от качества исходной воды и требуемого эффекта снижения жесткости применяют реагентный, термохимический, ионитовый методы умягчения или различные комбинации их.

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 используется известь и сода.

При известковании воды устраняется только карбонатная жесткость и одновременно снижается щелочность воды. Добавляемая в воду известь частично расходуется на связывание растворенной в воде углекислоты

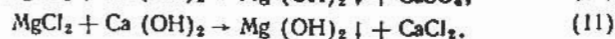


Снижение карбонатной жесткости воды происходит в результате следующих реакций:



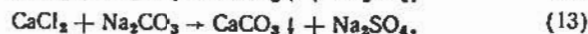
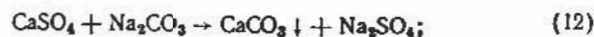
Одновременно происходит эквивалентное снижение щелочности.

Магниево-соли некарбонатной жесткости переводятся в кальциевые:



Жесткость при этом не снижается, а только переходит из магниевой в кальциевую.

Для устранения некарбонатной жесткости в воду после известкования добавляют соду, в результате чего обменные реакции приводят к выпадению в осадок солей кальция:



Глубина умягчения и скорость процесса зависят от многих факторов и в первую очередь от состава исходной воды, температуры, дозы реагента, значения pH, обеспеченности полного контакта обрабатываемой воды с ранее образовавшимся осадком. Перечисленные факторы определяют основные направления в технологическом контроле за процессом умягчения.

Повышение температуры обеспечивает более быстрое протекание химических реакций и более полное осаждение CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$, так как при повышении температуры до 35—40°C значительно уменьшается растворимость образующихся соединений.

Качество умягченной воды зависит от правильности расчета доз реагентов. Теоретически оптимальные дозы реагентов можно рассчитать по реакциям (7)—(13), зная концентрацию в исходной воде ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- и свободной углекислоты. Для обеспечения полноты осаждения соединений кальция и магния необходим некоторый избыток реагентов. Установлено, что для осаждения ионов кальция нужно увеличить дозу извести на 0,5 мг-экв/л по сравнению с расчетной, ионов Mg^{2+} — на 1 мг-экв/л. При большом избытке извести повышаются остаточная жесткость и гидратная щелочность обработанной воды.

Контроль правильности дозирования реагентов осуществляется по величине pH. Оптимальное для процесса умягчения значение pH можно определить расчетом по формуле

$$\text{pH}_{\text{опт}} = \text{pH}_s + \Delta \text{pH}, \quad (14)$$

где pH_s — значение pH, при котором достигается равновесное состояние между осадком CaCO_3 или $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и раствором; ΔpH — избыточное значение pH, необходимое для полноты осаждения катионов Ca^{2+} или Mg^{2+} и ускоряющее процесс умягчения.

Величина ΔpH обеспечивается тем избытком реагента, который вводится в обрабатываемую воду. В свою очередь, величина pH_s зависит от солевого содержания, температуры, допустимой остаточной концентрации Ca^{2+} или Mg^{2+} , щелочности воды и определяется по номограммам.

Наблюдение за величиной pH и поддержание ее на заданном уровне является одним из методов оперативного технологического контроля за процессом умягчения.

Контроль за процессом реагентного умягчения можно осуществить и по величине гидратной щелочности, так как в процессе обработки щелочность исходной воды уменьшается и изменяется соотношение между отдельными ее компонентами.

Щелочность природной воды при $\text{pH} < 8,4$ обусловлена в основном бикарбонатами, но после обработки известью, согласно реакциям (8) и (9), бикарбонаты переходят в карбонаты и выпадают в осадок, что приводит к снижению бикарбонатной щелочности воды. Одновременно возрастает величина гидратной щелочности, главным образом за счет избытка добавляемой извести. Так как для осаждения обоих катионов жесткости требуется больший избыток извести, чем при осаждении одного Ca^{2+} , то и гидратная щелочность в этом случае оказывается выше.

При контроле за процессом умягчения по величине гидратной щелочности рекомендуется этот показатель поддерживать в пределах 0,1—0,2 мг-экв/л при осаждении Ca^{2+} и 0,3—0,5 мг-экв/л при осаждении Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Процесс осаждения образовавшихся при умягчении воды CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$ интенсифицируют добавкой коагулянтов. Так как при умягчении воды значения pH поддерживают в пределах 9,5—10,9, соли алюминия неприменимы и в качестве коагулянтов используют FeSO_4 и FeCl_3 . Дозы коагулянтов, так же как и дозы извести и соды, рассчитывают в соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.02-84.

Контроль за процессами коагуляции и отстаивания осуществляется по аналогии с контролем за этими процессами на станциях осветления и обезжелезивания воды.

Важным эксплуатационным показателем правильности подбора доз и окончания процесса умягчения

служит стабильность умягченной воды. Нестабильность воды проявляется в отложении CaCO_3 при прохождении умягченной воды после отстаивания по трубопроводам и через фильтры. Этот процесс сопровождается соответствующим уменьшением щелочности. Для расчета показателя неустойчивости $\Delta\text{Щ}$ определяют щелочность воды после отстаивания Щ_1 и фильтрования Щ_2 . Тогда $\Delta\text{Щ}$ определится как разность этих величин, т. е.

$$\Delta\text{Щ} = \text{Щ}_1 - \text{Щ}_2.$$

Допустимое в эксплуатации значение показателя неустойчивости зависит от температуры и принимается при температуре воды, °С, не более:

10	0,25
10—20	0,15
30—40	0,1

Для всех случаев применения процессов реагентного умягчения воды составить единый график проведения анализов не представляется возможным, так как частота отбора проб и набор контролируемых показателей зависят от постоянства качества исходной воды, допустимых отклонений в составе обработанной воды как по содержанию катионов жесткости, так и по другим показателям.

По этим причинам ниже приводятся лишь те показатели, определение которых в исходной и умягченной воде обязательно. Исходная вода анализируется 1 раз в смену или в сутки на содержание свободной углекислоты, общей щелочности, ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} ; кроме того, определяются рН и общая жесткость воды. Периодически определяются сульфаты, хлориды, плотный остаток. В умягченной воде обязательно определяются общая жесткость, щелочность по фенолфталеину и метилоранжу, величина рН. Последние три показателя дают возможность рассчитывать компоненты общей щелочности. Умягченная вода контролируется также по плотному остатку, содержанию сульфатов и хлоридов.

Применение реагентных методов теоретически позволяет снизить жесткость воды до пределов, определяемых растворимостью CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$. На практике из-за необходимости вводить некоторый избыток извести и легкости образования пересыщенных растворов

образующимися соединениями удается получить воду с остаточной жесткостью 0,5—1 мг-экв/л.

Умягчение воды катионитами. Умягчение воды методом ионного обмена может быть осуществлено Na-катионированием, параллельным или последовательным H—Na-катионированием.

Сущность процессов катионирования состоит в обмене катионов жесткости на катионы Na^+ или H^+ при фильтровании воды через слой катионита.

Na-катионирование применяют для умягчения воды до значения остаточной жесткости 0,03—0,05 мг-экв/л при одноступенчатой обработке и до 0,01 мг-экв/л при двухступенчатой обработке. В воде после Na-катионирования несколько увеличивается плотный остаток, щелочность остается неизменной.

Если одновременно с умягчением требуется снизить щелочность воды, применяют H—Na-катионирование. Этот метод позволяет снизить жесткость до 0,01 мг-экв/л при одновременном снижении щелочности до 0,4—0,7 мг-экв/л.

Главной задачей технологического контроля за работой ионообменных установок является обеспечение необходимого качества воды. На качество умягченной воды оказывают влияние предварительная подготовка ионообменного материала, качество регенерационного раствора, скорость фильтрования, частота регенерации ионитовых фильтров, качество исходной воды.

Скорость фильтрования зависит от жесткости исходной воды и при изменении жесткости от 5 до 15 мг-экв/л снижается с 25 до 10 м/ч.

Регенерационный раствор не должен содержать катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , так как эффективность регенерации в их присутствии снижается. Недопустимо присутствие в регенерационном растворе нерастворимых примесей, так как частицы малого размера, фильтруясь через ионообменный материал, образуют в нем каналы, что снижает эффективность процесса.

Одним из основных направлений в технологическом контроле ионитовых фильтров является контроль за допустимой продолжительностью работы фильтра между двумя регенерациями. Для Na-катионитовых фильтров при условии постоянства расхода и состава воды регенерацию назначают через строго определенные промежутки времени. При достаточно постоянном

составе исходной воды, но изменяющемся расходе перед предполагаемым концом рабочего периода каждые 10—15 мин определяют жесткость воды. Процесс фильтрования прекращают, когда жесткость достигнет допустимой величины.

Для Н-катионитовых фильтров контроль можно осуществлять по кислотности умягченной воды, так как при истощении Н-катионита кислотность фильтрата падает. Такой контроль возможен при условии постоянства в исходной воде концентрации анионов сильных кислот. Если же их концентрация изменяется, анализы выполняют для исходной воды и фильтрата.

Большое значение придается качеству исходной воды. Так как значительное содержание взвешенных веществ отрицательно сказывается на работе фильтров, этот показатель в исходной воде не должен превышать 5—8 мг/л. Ухудшают работу фильтров и органические соединения, поэтому верхний предел цветности обрабатываемой воды ограничен 30 град.

Объем анализа, выполняемого для умягченной воды, зависит от принятой схемы умягчения и требований потребителя к качеству воды. Основными показателями, постоянно контролируруемыми в процессе очистки, являются жесткость и щелочность.

§ 15. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА И МАРГАНЦА

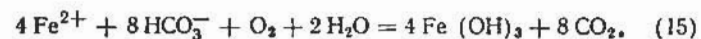
В поверхностных водах железо находится в основном в виде комплексных органических соединений и гидроксида. Марганец также образует органические комплексы. Все эти соединения хорошо удаляются в процессе коагуляции при условии предварительного разрушения органических комплексов окислителями. Таким образом, изъятие из поверхностных вод соединений железа и марганца осуществляется одновременно с осветлением и обесцвечиванием воды. Контроль в этом случае дополняется определением железа и марганца на всех стадиях обработки воды, во всех пробах, отбираемых для краткого анализа.

Наиболее часто обезжелезивание применяют при водоснабжении из подземных источников. В подземных водах железо присутствует в растворенном состоянии, в основном в виде бикарбоната двухвалентного железа. Железо в виде органических комплексов появ-

ляется в подземных водах, если водоносный пласт имеет гидравлическую связь с поверхностными водоемами.

Железо из подземных вод удаляют фильтрованием в сочетании с предварительной обработкой, в задачу которой входит перевод Fe^{2+} в форму Fe^{3+} . Процесс окисления может быть осуществлен кислородом воздуха, хлором, перманганатом калия. Выбор метода предварительной обработки зависит от концентрации и формы, в которой железо присутствует в воде, наличия сопутствующих примесей, требуемой эффективности очистки и производится на основании результатов пробного обезжелезивания.

Образовавшееся в результате окисления трехвалентное железо гидролизуетсся с образованием гидроксида, удаляемого из воды в процессе фильтрования:



Скорость процесса зависит от наличия достаточного количества O_2 и возрастает при увеличении значения рН.

Технологический контроль за процессом должен быть направлен на поддержание оптимальных условий для окисления железа. Контролируют расход воздуха и концентрацию кислорода в воде или дозу окислителя, а также качество воды до и после обработки.

Если концентрация железа в воде не превышает 10 мг/л, $pH \geq 6,8$, щелочность $Щ \geq (1 + Fe^{2+}/28)$ и содержание сероводорода не более 2 мг/л, 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 фильтровании 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+} .

Особое внимание при эксплуатации установки обращают на своевременность промывки фильтрующей загрузки, так как накопление осадка на ее поверхности

ухудшает режим работы. Фильтры промывают очищенной водой в течение 6—7 мин при интенсивности подачи воды 14—18 л/с на 1 м² поверхности и не реже 1—2 раз в сутки.

Промывные воды с содержанием железа 100—120 мг/л отстаивают в течение 3 ч и повторно используют, добавляя их к исходной воде в количестве 10%. Контроль за процессом отстаивания осуществляют аналогично контролю за процессом, происходящим в отстойниках на очистных станциях: замеряют слой накопившегося осадка, определяют его влажность, обеспечивают своевременную выгрузку осадка на площадки для подсушки. Влажность выгруженного осадка составляет обычно 92—94%.

В процессе эксплуатации обезжелезивающих установок отбирают пробы исходной и очищенной воды. Полный санитарно-химический анализ выполняется 1 раз в месяц. Ежедневно контролируется качество воды исходной и отобранной с поверхности фильтра на содержание общего и окисленного железа, растворенного О₂ и свободной углекислоты. Общее железо в очищенной воде определяется каждые 4 ч, содержание его в очищенной воде не должно превышать 0,3 мг/л.

Необходимость обеззараживания воды после удаления из нее железа определяется в зависимости от местных условий и согласовывается с органами санитарно-эпидемиологической службы.

Контроль обеззараживания осуществляется по общепринятым методикам, изложенным в § 12.

В подземных водах марганец находится в виде хорошо растворимых солей двухвалентного марганца. Перевод их в малорастворимое состояние осуществляется окислением Mn^{2+} в Mn^{3+} и Mn^{4+} , гидролиз которых приводит к образованию $Mn(OH)_3$ и $Mn(OH)_4$, выпадающих в осадок. $Mn(OH)_4$, оседающий на зернистой загрузке фильтра, катализирует процесс окисления Mn^{2+} растворенным О₂. Для эффективного окисления необходимо поддерживать значение pH на уровне 8,5, поэтому часто требуется подщелачивание воды.

Контроль за этим процессом осуществляется аналогично контролю за процессом обезжелезивания. В исходной и обработанной воде обязательно определяют концентрацию Mn^{2+} .

§ 16. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ СЕРОВОДОРОДА

Сероводород придает воде неприятные привкус и запахи и сообщает ей коррозионные свойства. При содержании H₂S не более 2—3 мг/л и pH < 7,2 сероводород удаляют аэрацией воды с последующим окислением остаточного сероводорода хлором. Хлорированием достигается окисление сероводорода до серы (если доза хлора составляет 2,1 мг на 1 мг соединений сероводорода) или до сульфатов (при дозе хлора 8,4 мг на 1 мг соединений сероводорода). В первом случае процесс заканчивается коагулированием образующейся коллоидной серы и фильтрованием воды.

При высоком содержании H₂S целесообразнее проводить процесс аэрации при pH < 5,5, когда большая часть соединений сероводорода находится в воде в виде молекулярно растворенного H₂S. Подкисление осуществляется соляной или серной кислотой. Остаточный сероводород удаляется хлорированием, при этом доза хлора принимается равной 4—5 мг/л. Коллоидная сера удаляется в процессе коагулирования и фильтрования воды. Контроль за процессами состоит в поддержании оптимальной нагрузки на дегазатор и регулировании расхода воздуха. Контролируются также доза хлора и величина pH. На всех этапах очистки в воде определяется содержание соединений сероводорода. Процессы очистки воды от образующейся при окислении сероводорода коллоидной серы контролируются аналогично процессам, описанным в § 9 и 11.

§ 17. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ КОРРЕКТИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ФТОРА В ВОДЕ

Содержание фтор-ионов в природных водах колеблется от 0,01 до 12 мг/л. Подземные воды обычно богаче фтором. Оптимальная концентрация фтора в питьевой воде установлена ГОСТ 2874—82 на уровне 0,7—1,5 мг/л, в связи с чем в ряде случаев возникает необходимость фторирования воды или удаления избытка фтора.

Фторирование воды осуществляется кремнефтористыми солями $Na^+ NH_4^+$ или фтористым натрием, подаваемыми в обрабатываемую воду в виде растворов определенной концентрации.

За процессом фторирования требуется постоянный строгий контроль. Прежде всего контролируется качество фторсодержащих реагентов. Из каждой партии реагента отбирается средняя проба, в которой определяют содержание чистого продукта, влажность, свободную кислоту, нерастворимые примеси.

Место введения реагента зависит от качества воды и принятой схемы очистки. Натриевые фторсодержащие реагенты можно вводить в воду до или после обеззараживания. Если на станции предусмотрена преаммонизация, то кремнефтористый аммоний вводят до хлорирования. Во всех других случаях его подают после обеззараживания, так как при добавлении иона F^- в количестве 0,8—1,2 мг/л содержание в воде аммонийного азота увеличивается на 0,3—0,45 мг/л и образующиеся хлорамины снижают эффективность обеззараживания.

Вследствие токсичности иона фтора и низкого значения pH растворы фторсодержащих реагентов обладают бактерицидными свойствами, что и делает возможным подачу их после обеззараживания. Но для того чтобы бактерицидное действие фтора проявилось в полной мере, растворы реагентов перед использованием выдерживают в течение определенного времени.

Одним из важнейших направлений в технологическом контроле за процессом фторирования является контроль за точностью дозировки реагента с целью предотвращения поступления в питьевую воду избытка фтора. Контроль осуществляется по концентрации и расходу фторсодержащих реагентов и по концентрации фтора в обработанной воде.

Установки для фторирования должны быть оборудованы водомерами, а дозатор реагента должен легко регулироваться и контролироваться с тем, чтобы отклонения фактической дозы реагента от расчетной не превышали $\pm 5\%$. Производительность дозирующих устройств и расход обрабатываемой воды контролируют каждый час, результаты замеров заносят в журнал. Регистрируется также время начала и конца использования раствора в рабочем баке. Одновременно отбираются пробы рабочего раствора, в которых определяется концентрация фтора.

В обработанной воде через каждые 2 ч определяют содержание фтор-иона. Разовые отклонения концентрации фтора от заданного значения не должны превышать

$\pm 0,1$ мг/л при среднемесячном допустимом отклонении 0,05 мг/л. В число контрольных определений входит анализ исходной воды на содержание фтора. Анализ выполняется 1 раз в смену и назначается более часто при колебаниях концентрации фтора.

Вода из распределительной сети подвергается анализу 2—4 раза в сутки. Пробы отбираются в разных местах, в разное время суток. Обязательным условием является смена точек отбора и анализ хотя бы одной пробы, отобранной в утренние часы.

Текущий санитарный надзор за фторированием помимо перечисленных мероприятий включает строгий контроль за хранением и расходом фторсодержащих реагентов, контроль за осуществлением мероприятий по охране труда лиц, соприкасающихся с этими веществами.

Обесфторивание воды производится при содержании иона $[F^-] > 1,5$ мг/л, если невозможна замена источника водоснабжения.

Обесфторивание воды осуществляется методом ионного обмена или сорбцией фтор-иона свежесажеными гидроксидами алюминия или магния. Для обесфторивания воды по первому методу применяют активированный оксид алюминия (АОА), заряженный ионами SO_4^{2-} и способный избирательно поглощать из воды ионы фтора.

В процессе эксплуатации установки контролируется качество АОА, качество исходной и обработанной воды, скорость фильтрования. АОА не должен содержать примесей, ухудшающих качество воды. Мутность исходной воды должна быть меньше 8 мг/л, так как при большем количестве взвешенных веществ сокращается время фильтроцикла.

Воду после обработки обязательно анализируют на содержание фтора. Если в результате обесфторивания концентрация фтора в воде окажется ниже оптимальной, то ее повышают путем добавления соответствующего количества необработанной воды.

Частоту отбора проб и набор показателей, по которым осуществляется контроль качества воды, устанавливает санитарный врач с учетом местных условий.

Скорость фильтрования поддерживают на уровне 6 м/ч, при этом выключение фильтра на регенерацию

производят тогда, когда концентрация фтора в фильтрате достигнет 1,5 мг/л.

Для обесфторивания воды поверхностных источников применяют метод сорбции иона фтора гидроксидом алюминия. Процесс осуществляют одновременно с осветлением и обесцвечиванием воды. Однако процесс обесфторивания требует значительно больших доз коагулянта, а полнота осаждения фтора достигается лишь при $pH=5...5,5$, вследствие чего возникает необходимость подкисления воды.

Контроль за работой очистных сооружений в этом случае осуществляется обычным путем, но во всех пробах, отбираемых для анализа на мутность и цветность, обязательно определяют концентрацию фтора.

§ 18. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОПРЕСНЕНИЯ И ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

Для удаления из воды солей применяют вымораживание, дистилляцию, ионный обмен, электродиализ, гиперфильтрацию. Методы опреснения и обессоливания выбираются в зависимости от общего солевого содержания воды и требований, предъявляемых к ее качеству потребителем.

Опреснение и обессоливание воды методом ионного обмена применяется при содержании солей в исходной воде до 2000 мг/л. Для опреснения воды до остаточного солевого содержания 20 мг/л применяют одноступенчатую схему с последовательным фильтрованием воды через Н-катионит и ОН-анионит.

Обессоливание воды достигается применением двух- и трехступенчатых ионообменных установок, позволяющих получить воду с содержанием солей соответственно $<0,5$ и $<0,1$ мг/л.

Эксплуатационный контроль за работой установок осуществляется в соответствии с общими правилами контроля ионитовых фильтров. Частота контрольных определений качества исходной воды зависит от того, насколько постоянен состав обрабатываемой воды. Набор показателей, по которым контролируется качество опресненной воды, определяется в каждом конкретном случае в зависимости от требований, предъявляемых к воде потребителем.

Опреснение воды методом электродиализа примени-

мо для вод с исходным солевым содержанием 1 500—7 000 мг/л для получения воды с содержанием солей не ниже 500 мг/л.

Сущность метода состоит в том, что при пропуске постоянного тока через воду на пути направленного движения ионов ставят ионитовые мембраны, обладающие селективной способностью пропускать ионы с определенным знаком заряда. В результате этого в одной части ячеек, образованных мембранами, происходит опреснение воды, а в другой — концентрирование солей.

Для успешной работы электродиализных установок необходимо, чтобы содержание взвешенных веществ в исходной воде не превышало 1,5 мг/л, цветность составляла не выше 20 град, окисляемость — не более 5 мг/л. Кроме того, лимитируется содержание железа, марганца, боратов. Поэтому для опреснения воды методом электродиализа требуется предварительная подготовка воды, если ее качество не соответствует указанным нормам, и постоянный контроль исходной воды по перечисленным показателям.

Особого контроля требуют ионитовые мембраны. Некоторые мембраны способны выделять в воду токсичные вещества, поэтому при опреснении воды для питьевых целей допускается применение мембран, прошедших гигиеническую апробацию.

В воде после электродиализных установок возможно ухудшение органолептических свойств, поэтому обработанная вода постоянно контролируется по показателям «привкус» и «запах». Для улучшения органолептических показателей опресненную воду фильтруют через активированный уголь.

Для вод с солевым содержанием более 10 000 мг/л опреснение осуществляется методом дистилляции. Этот метод основан на выпаривании воды с последующей конденсацией. При конденсации пара получается вода с низкой минерализацией. Так как ГОСТ 2874—82 не регламентирует нижний предел солевого содержания, то формально вода может считаться хорошей. Однако установлено, что длительное употребление дистиллята приводит к нарушению солевого обмена. Вода после дистилляции, как правило, обладает плохими органолептическими свойствами в результате изменения ионного и газового состава и в связи с попаданием в нее летучих

органических веществ, освобождающихся при термической обработке.

Недостаток ионов Ca^{2+} и HCO_3^- и наличие органических примесей придают воде неприятный привкус. Добиться оптимального соотношения между отдельными ионами путем уменьшения кратности выпаривания практически невозможно, так как в процессе дистилляции концентрация большинства ионов уменьшается пропорционально снижению общего солесодержания.

Все сказанное говорит о необходимости дополнительной обработки опресненной воды с целью улучшения органолептических свойств и корректирования ионного состава.

Корректировать состав опресненной воды можно фильтрованием ее через слой карбонатсодержащих зеренных материалов с предварительным насыщением воды углекислотой. Органические вещества удаляют фильтрацией воды через активированный уголь. Процесс контролируется по содержанию в исходной воде CO_2 , которое поддерживается на уровне 25 мг/л. Кроме того, контролируется качество загрузки фильтров и качество обработанной воды, в которой определяются органолептические показатели, плотный остаток, Ca^{2+} , HCO_3^- .

Кондиционирование ионного состава воды возможно смешением опресненных вод с артезианскими минерализованными водами. Простым смешением трудно добиться оптимального соотношения ионов, поэтому чаще всего прибегают к раздельной подготовке каждой воды с последующим смешением потоков. Дистиллят хлорируют, пропускают через активированный уголь, обогащают Ca^{2+} и HCO_3^- фильтрованием через мраморную крошку. Смесь двух вод фторируют и обеззараживают. Контроль каждого из этапов очистки осуществляется аналогично контролю соответствующих методов.

Для обеспечения благоприятных органолептических свойств воды необходимо присутствие в ней следующих концентраций, мг/л, ионов: $[\text{Ca}^{2+}]$ —55, $[\text{Mg}^{2+}]$ —8, $[\text{Na}^+]$ —90, $[\text{HCO}_3^-]$ —146, $[\text{Cl}^-]$ —100, $[\text{SO}_4^{2-}]$ —100, $[\text{Fe}^-]$ —0,75.

Воду, подаваемую в распределительную сеть, контролируют по органолептическим и бактериологическим показателям, при этом в число обязательных входит определение привкуса и запаха, плотного остатка, Ca^{2+} .

HCO_3^- , pH, Cl^- , SO_4^{2-} , F^- , общего числа бактерий и коли-индекса. Порядок и частота отбора проб устанавливаются местными органами санитарно-эпидемиологической службы.

§ 19. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ ВОДЫ

Выбор метода обескремнивания определяется требованиями, которые предъявляет к качеству воды потребитель.

Для уменьшения содержания SiO_3^{2-} до 3—5 мг/л применяют метод сорбции кремниевой кислоты гидроксидами алюминия и железа. Доза коагулянта принимается из расчета 15 мг на 1 мг удаляемой SiO_3^{2-} . Процессы коагуляции и сорбции SiO_3^{2-} наиболее интенсивно протекают при pH=7,8...8,3, поэтому воду подщелачивают известью. Технологический контроль обескремнивания не отличается от контроля процесса коагуляции.

Обработка воды каустическим магнезитом при подогреве до 35°C применяется для снижения содержания SiO_3^{2-} до 1—1,5 мг/л. Если одновременно требуется умягчение, в воду добавляют известь.

Выделение из воды гидроксидов с сорбированной SiO_3^{2-} осуществляют в осветлителях со взвешенным слоем осадка. В случае осаждения кремниевой кислоты гидроксидами Al^{3+} и Fe^{3+} скорость восходящего потока в зоне осветления поддерживают равной 0,9—1 мм/с. При обработке воды каустическим магнезитом скорость должна быть 0,7—0,8 мм/с. Строго контролируется температура воды, так как резкие ее изменения приводят к возникновению конвективных токов и выносу осадка из осветлителя.

Более глубокое обескремнивание воды до остаточного содержания SiO_3^{2-} , равного 0,1—0,3 мг/л, достигается фильтрованием ее через слой магнезильного сорбента, рецептура которого разработана во ВНИИ ВОДГЕО. Высокая пористость сорбента увеличивает его кремнеемкость.

Скорость фильтрования поддерживается равной 10 м/ч. При подаче воды на фильтры контролируют ее качество. Вода не должна содержать свободной и связанной углекислоты, так как в ее присутствии сорбент постепенно растворяется, обогащая воду солями жест-

кости. В процессе обработки постоянно контролируют температуру воды, которая не должна быть ниже 40°C на выходе из фильтра. Технологический контроль процесса состоит в поддержании всех перечисленных параметров на должном уровне и систематической проверке качества обработанной воды. В число обязательных показателей, которые должны определяться в фильтрате, входят SiO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , pH.

Метод ионного обмена для обескремнивания применяют при необходимости одновременного глубокого обессоливания воды. Применение двух- и трехступенчатой очистки позволяет снизить содержание кремниевой кислоты соответственно до 0,1 и 0,05 мг/л. Удалить кремниевую кислоту удается только с помощью сильноосновных анионитов при условии, что предварительно удалены все катионы, все анионы сильных кислот и CO_2 .

Контроль работы ионитовых фильтров подчиняется общим правилам эксплуатации ионообменных установок.

Порядок контроля и набор показателей, по которым контролируется процесс обескремнивания, зависит от применяемого метода и требований, предъявляемых к воде потребителем, и поэтому в каждом случае решается с учетом местных условий. Общим контрольным показателем для всех методов является определение SiO_3^{2-} в исходной и обработанной воде. Этот анализ позволяет оценить эффективность процесса.

§ 20. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА СТАБИЛИЗАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ВОДЫ

Сущность стабилизационной обработки заключается в том, чтобы привести различные формы угольной кислоты к такому соотношению, при котором не происходит ни растворения карбонатов, ни их выпадения в осадок, в результате чего вода не оказывает коррозирующего действия на трубопроводы и не вызывает их зарастания карбонатом кальция.

В начальный период эксплуатации водопроводных систем по трубопроводам транспортируют воду, пересыщенную карбонатом кальция. В результате отложения CaCO_3 на внутренней поверхности труб образуется защитная пленка, препятствующая непосредственному контакту воды с металлом. Для сохранения сфор-

мировавшегося защитного слоя вода, транспортируемая по трубам, должна быть стабильна.

Оценку стабильности воды производят не менее 4 раз в год (по 1 разу в сезон). Вода может оказаться нестабильной после обработки ее минеральными коагулянтами в процессе обезжелезивания и умягчения. При положительном индексе насыщения воду обрабатывают кислотой, гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия. При индексе насыщения $+0,5$ обработку производят в течение 8—10 мес в году. При отрицательном индексе насыщения производят подщелачивание воды известью. Обработку производят в течение 8 мес в году.

Технологический контроль за процессом стабилизации заключается в обеспечении правильности дозировки реагентов, периодической проверке стабильности воды и в определении в обработанной воде остаточных концентраций реагентов, если обработка производилась гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия.

§ 21. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 18. Определить оптимальное значение pH процесса декарбонизации для снижения кальциевой жесткости до 0,5 мг-экв/л, если умягчение осуществлялось при температуре 40°C и обработанная вода должна иметь соленосодержание 200 мг/л и щелочность 1,5 мг-экв/л.

Решение. Выразим концентрацию кальция в мг/л: $0,5 \cdot 20,04 = 10$ мг/л и воспользуемся номограммой на рис. 1 прил. 5 СНиП 2.04.02-84 для определения величины pH, при которой достигается равновесное насыщение воды CaCO_3 . Значение $\text{pH}_s = 8,3$. Все величины при определении pH_s рассчитываются по показателям качества умягченной воды. Оптимальное значение pH определится как сумма pH_s и ΔpH — избыточной величины, обеспечивающей полноту осаждения CaCO_3 . Значение ΔpH для осаждения ионов кальция составляет 0,5, тогда $\text{pH}_{\text{опт}} = 8,3 + 0,5 = 8,8$.

Упражнение 19. Определить, будет ли стабильной вода после ее обработки глиноземом с дозой 20 мг/л, если щелочность воды 2 мг-экв/л, содержание свободной угольной кислоты 4 мг/л, температура 10°C . Общее соленосодержание обработанной воды 150 мг/л, а концентрация ионов кальция составляет 80 мг/л.

Решение. В процессе коагуляции в результате реакции (2) и (3) щелочность исходной воды уменьшается на величину D_k : 57 [где D_k — доза коагулянта, мг/л; 57 — эквивалентная масса $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$]. Поскольку в ходе реакции выделяется CO_2 , общая концентрация свободной угольной кислоты в воде увеличивается, а значение pH снижается.

Для подсчета щелочности $Ш$, CO_2 , pH и pH_s после коагулирования воспользуемся материалами, изложенными в прил. 5 СНиП 2.04.02-84. $Ш = 2 - (20 : 57) = 1,65$ мг-экв/л. $\text{CO}_2 = 4 + 44(20 : 57) = 19,4$ мг/л. Значение pH определяем по номограмме, приведен-

ной на рис. 2 (см. прил. 5 СНиП), по известным температуре, содержанию воды и рассчитанным значениям щелочности и концентрации свободной углекислоты, тогда $pH=6,8$. Воспользовавшись номограммой на рис. 1 (см. СНиП) и данными из условия задачи, определим значение pH_s , необходимое для оценки стабильности воды, $pH_s=2,35-1,9-1,2+8,75=8$. Индекс насыщения воды карбонатом кальция I рассчитывается как разность величин pH и pH_s : $I=6,8-8=-1,2$. Отрицательное значение индекса насыщения показывает, что вода нестабильна, обладает коррозионными свойствами и требует дополнительной обработки подщелачиванием.

Упражнение 20. Вода, поступающая на обезжелезивание, имеет $t=20^\circ C$, $pH=7$, $Fe^{2+}=8$ мг/л, $CO_2 \text{ своб}=30$ мг/л, щелочность 3 мг-экв/л и плотный остаток 200 мг/л. Оценить, какие изменения произойдут в составе воды при полном удалении железа?

Решение. При гидролизе и окислении Fe^{2+} по реакции (15) на 1 мг железа выделяется 1,57 мг CO_2 , в результате чего общее содержание углекислоты в воде возрастает. В результате гидролиза и окисления 8 мг/л железа содержание CO_2 увеличивается на $1,57 \cdot 8 = 12,56$ мг/л и ее концентрация окажется равной $30+12,56 = 42,56$ мг/л. Одновременно понизится щелочность воды. Количество ее изменение можно подсчитать по уравнению той же реакции (15). Гидролиз и окисление 1 мг Fe^{2+} приводит к снижению щелочности на 0,036 мг-экв/л. Если в реакции участвовало 8 мг Fe^{2+} , то щелочность снизится на $0,036 \cdot 8 = 0,29$ мг-экв/л и окажется равной $3 - 0,29 = 2,71$ мг-экв/л. Снижение щелочности и выделение CO_2 приводят к снижению величины pH . Таким образом, в результате обезжелезивания в воде увеличивается содержание свободного CO_2 , снижается щелочность и pH .

Снижение pH приводит к замедлению процессов гидролиза и окисления Fe^{2+} , поэтому из воды удаляют некоторое количество углекислоты для поддержания pH на уровне 7,5, при котором окисление Fe^{2+} происходит достаточно быстро. Для определения допустимого содержания CO_2 в воде воспользуемся номограммой, приведенной на рис. 4. Определение по номограмме показывает, что при щелочности 2,71 мг-экв/л, $t=20^\circ C$ и $pH_{доп}=7,5$ в воде может находиться 10 мг/л свободной углекислоты. Следовательно, из воды должно быть удалено $(42,56 - 10) = 32,56$ мг/л CO_2 . Обычно это достигается в результате аэрации воды.

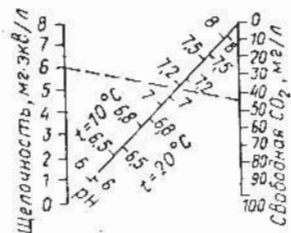


Рис. 4. Номограмма для определения допустимого содержания CO_2 в воде

Раздел второй СТОЧНЫЕ ВОДЫ И ИХ ОБРАБОТКА

Глава V СОСТАВ СТОЧНЫХ ВОД

§ 22. КЛАССИФИКАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Сточной водой, или сточной жидкостью, называется вода, использованная на бытовые или производственные нужды и получившая при этом загрязнения, которые изменяют ее первоначальный химический состав или физические свойства. К сточным водам относят также загрязненные воды атмосферных осадков, воду от поливки улиц и мытья машин автотранспорта.

В высокоразвитых в индустриальном отношении странах количество производственных сточных вод значительно больше, чем бытовых. Если сумму водопотребления на бытовые и производственные нужды принять за 100%, то на долю водопотребления в промышленности в СССР приходится более 85%. Однако далеко не вся вода производственных предприятий попадает в системы городских канализаций. Так называемая условно чистая вода (от охлаждения аппаратуры, а также малозагрязненная в процессе производства) часто удаляется самостоятельной сетью непосредственно в водоем или возвращается для повторного использования. Поэтому в общем количестве сточных вод, попадающих на очистные сооружения, производственные воды составляют уже значительно меньший процент. В частности, в Москве, производственные стоки составляют не более 30—50% общего количества сточных вод.

Состав бытовых сточных вод достаточно однотипен и устойчив вследствие относительного однообразия хозяйственной деятельности человека. Состав же производственных сточных вод весьма разнообразен и зависит не только от вида производства, но и от принятого технологического процесса. Что касается атмосферных осадков, то для них характерны эпизодичность образования (и поступления в канализационную сеть) и резкая неравномерность по расходу и качеству воды.

Наиболее загрязненными оказываются первые порции дождевых вод.

В систему дождевой канализации попадает большое количество воды от мытья машин автотранспорта. Эти воды сильно загрязнены, они содержат примеси горючих и смазочных веществ, с большим трудом поддающихся биохимическому окислению в водоеме. Спуск таких вод без предварительной их очистки резко ухудшает состояние водоема.

В специальной литературе часто используется термин «городские сточные воды». Так обычно называют смесь бытовых, производственных и атмосферных вод при общесплавной системе канализации или только бытовых и производственных вод при раздельной системе.

В настоящее время бытовые воды в чистом виде практически не встречаются, за исключением случаев канализования небольших объектов — санаториев, домов отдыха, пионерских лагерей и т. п. Уже при канализовании сельских населенных мест общей системой отводятся воды как от жилых домов, так и от предприятий коммунальной и местной промышленности (бань, прачечных, различных мастерских, хлебопекарен, молочных и консервных заводов, животноводческих комплексов и т. д.).

§ 23. ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

Сточные воды представляют собой сложные гетерогенные системы, загрязненные веществами, которые могут находиться во всех состояниях — растворенном, коллоидном и нерастворенном. Коллоидные и нерастворенные вещества образуют грубо- и тонкодисперсные суспензии, эмульсии, пену. В сточных водах всегда присутствуют как органические, так и неорганические компоненты загрязнений. Органические вещества в бытовых стоках находятся в виде белков, углеводов, жиров, продуктов физиологической переработки. Кроме того, бытовые сточные воды содержат крупные примеси — тряпье, бумагу, отбросы растительного происхождения, а также синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). Из неорганических компонентов в этой категории сточных вод всегда присутствуют в виде ионов калий, натрий, кальций, магний, хлор, карбо-

наты, сульфаты. Таким образом, для бытовых стоков характерно наличие в них всех основных органических элементов: C, N, P, S, K.

Бытовые сточные воды, кроме того, обязательно имеют в своем составе биологические загрязнения, которые представлены бактериями, в основном выделенными из кишечника человека, яйцами гельминтов, дрожжевыми и плесневыми грибами, мелкими водорослями, вирусами, в связи с чем эти стоки представляют существенную эпидемиологическую опасность для человека, животного и растительного миров.

Состав сточных вод промышленных предприятий весьма разнообразен и индивидуален, однако в огромном большинстве случаев в этих водах отсутствуют некоторые из органических элементов (P, N) и обычно они не загрязнены патогенной микрофлорой.

§ 24. ПОНЯТИЕ О САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Как и при определении качества природных вод, для характеристики состава сточных вод требуется большое число разнотипных анализов — химических, физико-химических, санитарно-бактериологических.

Для характеристики бытовых и городских сточных вод выполняются полный и сокращенный санитарно-химический анализы. Название «полный» санитарно-химический анализ условно, поскольку набор даже нескольких десятков определений не может дать исчерпывающего представления о всех многочисленных компонентах сточной воды. Заметим, что абсолютной полноты характеристики состава получить практически невозможно и стремиться к этому не следует. Обязательными можно считать такие характеристики, которые несут «технологическую информацию», т. е. дают возможность проектировать очистные сооружения, контролировать процессы очистки и управлять ими, судить о санитарно-эпидемиологическом состоянии воды.

На действующих очистных станциях принято выполнять полный санитарно-химический анализ 1 раз в декаду для воды, поступившей на очистку, и по стадиям очистки — для воды, прошедшей группы сооружений механической и биологической очистки, глубокой доочистки и дезинфекции. По результатам декадных определений подсчитывают затем средние данные за

месяц, а по 12 последним — средние за год. Достоверное суждение о работе сооружений очистной станции можно дать только путем анализа и оценки отчетных данных за ряд лет эксплуатации. Один раз в квартал (реже — 1 раз в месяц) полный санитарно-химический анализ проводят для пробы речной воды, взятой ниже места выпуска стоков очистной станции.

Сокращенный анализ, дающий частичную характеристику сточных вод, выполняют в промежутках между полными анализами. Необходимость в них возникает либо в период наладки и пуска вновь построенных сооружений, либо при поступлении необычных загрязнений. В последнем случае при выявлении серьезных отклонений в составе сточных вод удастся заблаговременно принять возможные меры по защите сооружений.

Для характеристики производственных сточных вод помимо перечисленных выше анализов определяют специфические виды примесей. Так, например, в сточных водах нефтехимических производств определяют содержание нефтепродуктов; в стоках производств с применением процессов электролиза и гальванизации — содержание металлов, шламов и т. д.

Кроме показателей общего содержания органических веществ, таких, как ХПК, БПК, нефтепродукты, для оценки состава производственных сточных вод часто возникает необходимость определить концентрацию индивидуальных примесей, если эти примеси отрицательно влияют на процесс очистки. Задача эта очень сложна. Трудности определения индивидуальных веществ обусловлены непостоянством состава стоков, малыми концентрациями компонентов, одновременным присутствием многих разнохарактерных веществ, взаимно влияющих и затрудняющих избирательное определение. Для решения этой сложной задачи широко используются современные физико-химические методы исследования — фотоколориметрия, газожидкостная хроматография, осциллополюрография, люминесцентный анализ в сочетании с экстракцией, отгонкой и хроматографическим разделением в тонком слое.

При характеристике состава производственных сточных вод место отбора проб назначают лишь после детального ознакомления с технологическим циклом производства, системой потребления и отвода воды для каждой отдельной операции. Принципы же конт-

роля качества воды в процессе ее очистки на локальных сооружениях во многом подобны принципам контроля аналогичных процессов на городских очистных станциях.

§ 25. ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ САНИТАРНО-ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Для характеристики работы и для расчета при проектировании сооружений механической очистки и, в частности первичных отстойников, наибольшее значение имеют два показателя — содержание взвешенных и оседающих веществ. Количество взвешенных веществ определяет наличие в воде загрязнений в нерастворенном виде. Количество оседающих веществ представляет собой часть взвешенных веществ, которые выделяются в осадок за 2 ч отстаивания в состоянии покоя в лабораторном цилиндре. Таким образом, количество оседающих веществ, выраженное в процентах от количества взвешенных веществ, представляет собой теоретически возможный предел эффективности отстаивания нерастворенных примесей в условиях покоя.

Длительность отстаивания, равная 2 ч, определена на основании экспериментальных наблюдений, которые показали, что дальнейшее увеличение продолжительности процесса практически не изменяет результата, достигнутого за это время.

Условия осаждения взвешенных веществ в отстойниках в движущемся потоке отличаются от условий осаждения в состоянии покоя. Чтобы максимально моделировать натурные условия в лабораторных исследованиях, следует определение оседающих веществ и изучение кинетики выпадения взвешенных веществ выполнять по специально разработанной методике технологического моделирования процесса отстаивания. В частности, этой методикой предусматривается проводить определение не в цилиндрах Лисенко, а в сосудах высотой не менее 500 мм диаметром не менее 100 мм.

По количеству взвешенных веществ, выделяемых в отстойниках, определяют объем сырого осадка, а по общему количеству взвешенных веществ, увеличенному в 1,25 — 1,35 раза, — объем всех осадков, которые будут получены в процессе очистки воды. Повышающий коэффициент учитывает тяжелую фракцию взвешенных веществ, передвигающуюся в потоке в донных слоях и

не учитываемую при обычных условиях взятия проб, а также часть биомассы, которая образуется при переработке растворенных примесей.

На процесс осаждения влияет температура сточной воды: чем выше температура, тем меньше вязкость воды и тем больше скорость осаждения взвешенных веществ. Неблагоприятное влияние на отстаивание взвешенных веществ оказывает присутствие в воде СПАВ при их концентрации более 50 мг/л, что, однако, в условиях работы городских очистных станций встречается крайне редко.

Для оценки работы и проектирования сооружений биологической очистки основное значение имеют показатели содержания органических примесей и их качества, наличия биогенных элементов и возможных ингибиторов процесса, реакции среды, температуры. Комплексное содержание органических веществ в воде оценивается величинами ХПК, БПК, перманганатной окисляемости.

Указанные три показателя являются кислородными эквивалентами содержания органических веществ. Они выражают не количество органического вещества, а количество кислорода, потребляемое на окисление этих веществ: химическим путем в жестких условиях окисления (ХПК), химическим путем в мягких условиях (перманганатная окисляемость) и биологическим путем (БПК). При оценке состава сточных вод, как правило, пренебрегают содержанием окисляемых неорганических веществ, в большинстве случаев очень малым.

Под жесткими условиями окисления подразумевают проведение реакции в течение нескольких часов в сильно кислой кипящей среде с использованием сильных окислителей $K_2Cr_2O_7$ или KIO_3 . В этих условиях окисляются очень многие органические вещества с переводом углерода C в CO_2 , водорода H в H_2O , азота N в NH_3 , фосфора P в P_2O_5 , серы S в SO_2 , металлов — в их окислы. Однако и в столь жестких условиях окисление проходит не до конца, т. е. не до образования указанных выше продуктов полного окисления.

Мягкими условиями окисления предусматривается использование слабого окислителя, каким является $KMnO_4$, при этом действие окислителя продолжается

10—20 мин при слабом нагревании. В мягких условиях окисляются лишь легко химически окисляемые вещества, и, как правило, окисление проходит не до конца.

При биохимическом окислении роль окислителя выполняют бактерии, которые используют органические вещества сточных вод в качестве источников питания. Органические вещества перерабатываются бактериями в процессах обмена (т. е. окисляются ими с использованием кислорода или минерализуются), при этом часть веществ окисляется до конца (используемая на энергетические потребности клетки), а часть — не до конца (используемая на прирост биомассы). Из сказанного следует, что для большинства индивидуальных органических веществ ХПК больше БПК (за любой срок инкубации) и больше (очень редко равна) окисляемости перманганатной. Соотношение между БПК и перманганатной окисляемостью может быть различным.

Для сточных вод эти соотношения сохраняются, однако от характера примесей зависит, насколько $ХПК > БПК$. Считается, что при $БПК/ХПК \geq 0,5$ сточные воды целесообразно очищать биологическим путем. Если же $БПК/ХПК < 0,5$, то эффективнее применять физико-химическую обработку. Однако в любом случае окончательное решение принимается на основании технико-экономического сравнения возможных вариантов очистки стоков. Для сточных вод, из которых большая часть трудноокисляемых веществ удалена (например, отстаиванием выделены взвешенные вещества), соотношение $БПК/ХПК$ численно увеличивается. В процессе биологической очистки соотношение $БПК/ХПК$ заметно изменяется: оно уменьшается тем значительно, чем «глубже» очищена вода.

Если известен химический состав примесей, то ХПК можно подсчитать, написав для этого стехиометрические уравнения окисления. Расчетная ХПК может оказаться больше определяемой экспериментом в связи с неполным окислением примесей в условиях проведения реакции. Значения БПК и перманганатной окисляемости, строго говоря, расчетом установить нельзя, так как заранее неизвестно, какое взаимное влияние окажут присутствующие примеси одна на другую, неизвестны также состав продуктов окисления и количество веществ, используемых на конструктивный и энергетический обмен, и т. п. Для биологического окисления

необходимо присутствие биогенных элементов, из которых особое внимание уделяется азоту аммонийных солей и фосфору в виде фосфатов. Согласно рекомендациям СНиП 2.04.03-85, содержание азота и фосфора должно удовлетворять соотношению

$$\text{БПК} : \text{N} : \text{P} = 100 : 5 : 1.$$

Если азота и фосфора меньше, чем указано в рекомендациях, то их добавляют в виде хлористого аммония и фосфатов.

Для биологических процессов необходимо поддержание реакции среды в пределах 6—8,5, в связи с чем в воде обязательно контролируют величину pH. Температура воды — также один из важных параметров процесса, поскольку она влияет на растворимость кислорода в воде, а также на скорость биохимических реакций (аналогично влиянию температуры на скорость химических реакций).

На жизнедеятельность микроорганизмов заметное отрицательное влияние оказывают некоторые элементы и вещества, которые в связи с этим отнесены в группу токсичных веществ. Контроль содержания этих веществ ведется с целью определить, не окажется ли их концентрация выше величины предельно допустимой концентрации (ПДК). К группе токсичных веществ относятся ртуть, свинец, кадмий, медь, сульфиды, цианиды, ряд красителей, многие СПАВ и ряд других веществ.

При оценке качества сточной воды выполняется анализ на содержание окисленных форм азота — нитритов и нитратов. Следует указать, что в городских сточных водах до их очистки можно найти лишь две формы азота — белковый и аммонийный. Азот в окисленных формах в виде нитритов и нитратов обычно отсутствует; окисленные формы отсутствуют даже в том случае, если какие-либо производственные стоки при сбросе их в общую канализацию имели в своем составе нитриты и нитраты. Исчезновение нитритов и нитратов объясняется тем, что группа факультативных анаэробов-денитрификаторов использует связанный кислород этих соединений на энергетические потребности. Процесс разложения нитритов и нитратов протекает довольно энергично, и поэтому в условиях анаэробного окисления формы азота быстро исчезают, а в результате разложения либо выделяется молекуляр-

ный азот, либо появляются аммонийные соли. Нитриты и нитраты могут появляться в городских сточных водах лишь после очистки этих вод в биоокислителях — биофильтрах или аэротенках. Наличие окисленных форм азота является свидетельством глубоко прошедшего процесса, так как нитрификация аммонийного азота начинается после окисления углеродсодержащих соединений, т. е. после практически полного снижения БПК.

При характеристике сточных вод такие показатели, как прозрачность, окраска, запах, определяются для быстрого получения общей оценки поступающего стока. При резком повышении этих показателей (по сравнению с наблюдаемыми обычно) необходимо принимать меры по защите сооружений, так как чаще всего такие отклонения свидетельствуют о залповых сбросах производственных сточных вод.

Показатели «сухой и плотный остаток» прямого технологического назначения при обработке городских сточных вод не имеют. Они дают возможность оценить общее количество примесей соответственно в натуральной и отфильтрованной пробах.

Содержание сульфатов и хлоридов — показатель, не изменяющийся в процессах механической и биологической обработки воды. Их постоянство может служить своеобразным контролем степени точности выполненных анализов. При анаэробной обработке осадков сульфаты восстанавливаются до сульфидов. Хлориды при концентрации их более 200 мг/л учитываются при анализе воды на ХПК.

При характеристике очищенных сточных вод наряду с такими показателями, как БПК, ХПК, количество взвешенных веществ, регистрируется концентрация растворенного кислорода. Спуск сточных вод не должен нарушать кислородного режима в водоеме, и поэтому контролю наличия кислорода в требуемой концентрации придается очень большое значение (см. «Правила охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами»).

Определение биологических загрязнений позволяет дать оценку санитарного состояния сточной воды. Воду характеризуют присутствием в ней бактерий — сапрофитов, бактерий кишечной палочки и яиц гельминтов.

Как уже говорилось выше, перечисленный набор

определений достаточен лишь для характеристики качества городских сточных вод. При анализе производственных сточных вод наряду с указанными определениями выполняют ряд специфических определений, отражающих характер каждого отдельного производства.

§ 26. ОТБОР, КОНСЕРВАЦИЯ И ХРАНЕНИЕ ПРОБ СТОЧНЫХ ВОД

Для характеристики сточных вод и их осадков большое значение имеет правильность отбора проб, и этому вопросу уделяется особое внимание.

В связи с большой неравномерностью состава и расхода городских сточных вод в течение суток общепринятым для их характеристики является метод отбора среднесуточных проб. Для этого в течение суток отбирают 24 разовых пробы (через каждый час) в отдельные склянки. При наличии каких-либо заметных отклонений в разовых пробах от обычного вида сточной воды об этом делают специальную запись в журнале. Так, отмечают особую окраску и ее интенсивность, наличие запаха, большого количества осадка или плавающих примесей и т. п. Среднесуточную пробу получают смешением либо равных, либо пропорциональных расходов воды объемов отобранных разовых проб. 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°C в холодильнике, чтобы устранить возможность протекания окислительных процессов.

Допускается консервирование проб. Наиболее часто консервацию выполняют путем прибавления к 1 л 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 л сточной воды).

§ 27. НОРМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЙ.

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ СОСТАВА СТОЧНЫХ ВОД

В канализационной технике широко пользуются понятием суточной нормы загрязнений на жителя, введенным проф. С. Н. Строгановым (1923 г.). Им было установлено, что количество аммонийного азота в сточных водах в расчете на одного жителя колеблется в очень узких пределах — от 6 до 8 г; это отвечает нормальной суточной норме усвояемого белка. С. Н. Строганов указывал, что «ни климат, ни бытовые условия, ни культурность населения не влияют на эту устойчивую норму». Установлено также, что нормальное потребление поваренной соли дает в сточных водах содержание хлоридов от 8 до 9 г на одного человека. Для фосфатов получена норма 1,5—1,8 г/сут на одного человека. Все эти результаты дали возможность рекомендовать нормы для расчета состава загрязнений бытовых сточных вод на одного жителя в сутки. В табл. 10 показаны нормы загрязнений, введенные в СНиП 2.04.03-85, а также определенные ранее С. Н. Строгановым.

Сравнение норм, предложенных более 50 лет назад и используемых в современной практике проектирования,

Таблица 10

Ингредиент	Масса загрязнений, г	
	по нормам	по С. Н. Строганову
Взвешенные вещества	65	35—60
БПК ₅ жидкости:		
неосветленной	54	—
осветленной	35	35
БПК _{полн} жидкости:		
неосветленной	75	—
осветленной	40	40—50
Азот аммонийных солей (в пересчете на N)	8	7—8
Фосфаты (в пересчете на P ₂ O ₅)	3,3	1,5—1,8
В том числе от моющих средств	1,6	—
Калий (в пересчете на K ₂ O)	—	3
Хлориды	9	8,5—9
Перманганатная окисляемость	—	5—7
СПАВ	2,5	—

показывает, что по ряду показателей, отражающих загрязнение воды физиологическими выделениями человека, их численные значения изменений не претерпели. К таким показателям относятся: азот аммонийных солей, хлориды пищевые, фосфаты (за вычетом фосфатов синтетических моющих средств). Появились новые виды загрязнений, в частности СПАВ, которых еще не было в 20-х годах нашего столетия. Существенно изменены нормы по взвешенным веществам и БПК, отражающие резкое повышение благосостояния и санитарной культуры человека.

По нормам на жителя рассчитывают концентрацию загрязнений C , мг/л, в сточной воде по отдельным показателям

$$C = \frac{a \cdot 1000}{q}, \quad (16)$$

где a — норма загрязнений на одного человека в сутки, г; 1000 — число миллиграммов в 1 г; q — норма водоотведения на одного человека в сутки, л.

Рассчитываемые по формуле (16) концентрации характеризуют среднесуточную пробу бытовых сточных вод.

В связи с определенным жизненным укладом (циклом) человека концентрация загрязнений в бытовых водах изменяется в течение суток. Изменения по сезонам и даже по годам отражают влияния климата и связанных с ним норм водопотребления, культурных навыков, характера питания и т. п. Эти изменения состава бытовой компоненты стока находят четкое отражение в характере общего стока городских канализаций. Для примера на рис. 5 показаны данные состава сточной воды Курьяновской станции аэрации (КСА, Москва) по часам суток. Как видно, колебания расхода воды и концентрации загрязнений имеют в целом очень сходный характер. Максимум нагрузки по расходу и по концентрации, а следовательно, и по общему количеству загрязнений приходится на 10—16 ч, минимум — на 2—6 ч. Перегрузка и недогрузка по количеству загрязнений по отношению к средним значениям весьма существенна и обязательно должна быть принята во внимание как при проектировании сооружений, так и при оценке результатов их работы. Данные, иллюстрирующие сказанное, приведены в табл. 11.

Таблица 11

Показатель	Значения показателя			Значение коэффициента часовой неравномерности K			
	среднесуточное	максимальное	минимальное	компонента		количества загрязнений	
				максимальное	минимальное	максимальное	минимальное
Приток воды, тыс. м ³ /ч	48,5	64,1	31,8	1,32	0,66	—	—
Взвешенные вещества, мг/л	139	209	68	1,5	0,49	1,98	0,32
БПК ₅ , мг/л	134	219	58	1,63	0,43	2,15	0,29
ХПК, мг/л	263	385	161	1,46	0,61	1,92	0,4

Примечание. Коэффициенты часовой неравномерности количества загрязнений подсчитываются путем умножения коэффициента неравномерности притока и компонента. Например, для взвешенных веществ $K_{\max} = 1,32 \cdot 1,5 = 1,98$ и $K_{\min} = 0,66 \cdot 0,49 = 0,32$.

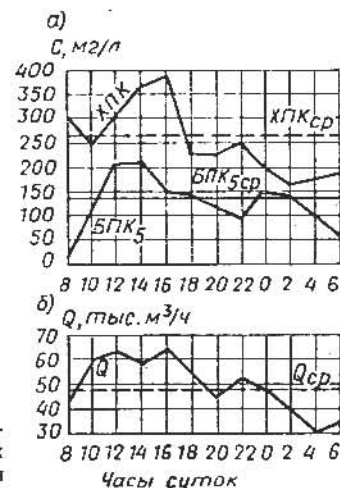


Рис. 5. Характер изменения количества (а) и качества (б) сточных вод по часам суток (Курьяновская станция аэрации, Москва)

Из табл. 11 видно, что максимальная нагрузка на сооружения практически в 2 раза превышает среднесуточную, а минимальная составляет от нее 30—40%. Очевидно, что и качество очистки воды в условиях столь резко изменяющихся нагрузок не может быть постоянным. В очищенной воде также отчетливо прослеживаются колебания концентрации остаточных за-

грязнений, при этом соответствующие пики сдвинуты по времени (по отношению к поступающей воде).

§ 28. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 21. Определить концентрации загрязнений в бытовых сточных водах при норме водоотведения на одного человека в сутки 250 л.

Решение. Расчеты проводятся в соответствии с рекомендациями СНиП 2.04.03-85, для чего в формулу (16) поочередно следует подставить значения норм загрязнений по каждому показателю.

Получим следующие значения концентраций загрязнений, мг/л:

взвешенные вещества	260
БПК _{полн}	300
азот аммонийных солей	32
фосфаты (в пересчете на P ₂ O ₅)	13
хлориды	36
синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ)	1

Сточная вода с концентрацией взвешенных веществ и БПК_{полн} более 250 мг/л может быть отнесена к разряду концентрированных сточных вод.

Упражнение 22. Как изменяется концентрация загрязнений в бытовых водах в зависимости от нормы водоотведения?

Решение. Из анализа формулы (16) следует, что концентрация загрязнений по любому компоненту тем ниже, чем выше норма водоотведения.

Упражнение 23. Определить, требуется ли добавка биогенных элементов для обработки бытовых сточных вод биологическим путем.

Решение. Требуемое минимальное количество биогенных элементов определяется соотношением, указанным в табл. 25 СНиП 2.04.03-85, т. е. БПК_{полн}:N:P=100:5:1.

В бытовых сточных водах соотношение этих величин может быть подсчитано из норм загрязнений на одного жителя. При этом следует учесть, что на сооружения биологической очистки сточная вода, как правило, поступает после прохождения сооружений механической очистки, в результате чего концентрация фосфатов понижается примерно на 20–30%. При расчете следует принимать наибольшую эффективность отстаивания, чтобы обеспечить гарантированную работу последующих сооружений в любой период эксплуатации.

БПК_{полн} осветленной воды определяется из нормы 40 г/сут на одного жителя.

При подсчете концентрации фосфора учитывается эффективность отстаивания в первичных отстойниках и, кроме того, делается пересчет с выражения концентрации в единицах P₂O₅ на P, т. е. $3,3 \cdot 0,7 \times 0,437 = 1,01$ г/сут на одного жителя [где 0,437 — отношение двух атомных масс фосфора (62) к молекулярной массе фосфорного ангидрида (142)].

Таким образом, в бытовой сточной воде, поступающей на биохимическую очистку, будем иметь: БПК_{полн}:N:P=40:8:0,01 или, принимая БПК_{полн} за 100, получим соотношение: БПК_{полн}:N:P=100:20:2,5.

На каждые 100 мг/л БПК_{полн} в воде будет 20 мг/л аммонийного азота и 2,5 мг/л фосфора. Это больше, чем минимально допустимые количества, и поэтому добавка биогенных элементов в бытовые сточные воды не требуется. Результат расчета справедлив при любой норме водопотребления.

Поскольку бытовые сточные воды имеют достаточно большой запас биогенных элементов, то в ряде случаев оказывается возможной и целесообразной совместная очистка бытовых и производственных сточных вод, если последние не содержат азота и фосфора.

Упражнение 24. Смешиваются сточные воды с расходом 2, 10 и 100 тыс. м³/сут и концентрациями по БПК_{полн} соответственно 500, 380 и 220 мг/л, или 0,5; 0,38; 0,22 г/м³. Определить БПК_{полн} смеси и отметить условия, при которых задача может быть решена.

Решение. Подсчеты средней концентрации загрязнений могут быть сделаны только в том случае, если при смешении в сточных водах не происходит никаких химических изменений и компоненты не оказывают взаимного токсичного или стимулирующего действия при определении БПК. В противном случае определение БПК смеси возможно только экспериментальным путем. БПК_{полн} смеси может быть подсчитана по формуле

$$C_{\text{БПК}_{\text{полн}}} = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} = \frac{2 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,38 + 100 \cdot 0,22}{2 + 10 + 100} = 0,2366 \text{ т/тыс. м}^3, \text{ или } 237 \text{ мг/л},$$

где $C_{\text{БПК}_{\text{полн}}}$ — концентрация смеси по БПК_{полн}; C_i — концентрация загрязнений в сточной воде; Q_i — расход сточных вод.

Упражнение 25. Подсчитать БПК₅ и ХПК раствора этилового спирта с концентрацией 200 мг/л, если константа k процесса окисления (при определении БПК) равна 0,2 сут⁻¹. Удельная БПК_{полн} спирта 1,82 мг О₂/мг.

Решение. Нетрудно видеть, что БПК_{полн} раствора спирта составляет БПК_{полн}=1,82·200=364 мг/л.

Найдем БПК₅ раствора из соотношения БПК₅=БПК_{полн}(1–10^{-0,2·5})=364·0,9=326 мг/л.

Подсчитаем удельную ХПК этилового спирта, для чего следует написать стехиометрическое уравнение окисления спирта до СО₂ и Н₂О, т. е. C₂H₅ОН+3О₂=2СО₂+3Н₂О. Тогда

$$\text{ХПК}_{\text{уд}} = \frac{6 \cdot 16}{12 \cdot 2 + 1 \cdot 6 + 16 \cdot 1} = \frac{96}{46} = 2,08 \text{ мг/мг.}$$

Следовательно, ХПК раствора будет равна: 2,08·200=416 мг/л. Заметим, что при отношении БПК_{полн}/ХПК=0,88 этиловый спирт может быть отнесен к легко биохимически окисляемым веществам, что и подтверждено экспериментальным путем.

Упражнение 26. Найти среднюю статистическую формулу беззольного вещества и удельную ХПК ила, если анализом по методу сжигания пробы активного ила найдено, что беззольное вещество имеет следующий состав: 49% С, 8% Н, 10% N, 33% О.

Решение. Для определения формулы состава ила значение процентного содержания каждого элемента нужно разделить на его атомную массу: $C=49:12=4,08$; $H=8:1=8$; $N=10:14=0,71$; $O=33:16=2,06$.

Следовательно, на каждые 4,08 атома углерода приходится 8 атомов водорода, 0,71 атома азота и 2,06 атома кислорода. Поскольку число атомов любого элемента в любом веществе не может быть меньше единицы, то сделаем перерасчет относительного числа атомов каждого элемента, приняв, что число атомов азота будет равно единице. Для этого все результаты следует умножить на отношение $1:0,71=1,41$. Получим $C_{5,76}H_{11,2}N_1O_{2,9}$. Дробные числа, которые получаются при таком подсчете, являются следствием некоторой неточности анализа и возможного недоучета присутствия других, неопределявшихся элементов.

Для получения окончательного результата дробные числа округляют до целых. Следовательно, состав ила будет $C_6H_{11}NO_3$.

Подсчитаем удельную ХПК ила, для чего следует написать стехиометрическое уравнение окисления $C_6H_{11}NO_3 + 13O = 6CO_2 + NH_3 + 4H_2O$. Тогда

$$ХПК_{уд} = \frac{13 \cdot 16}{6 \cdot 12 + 11 \cdot 1 + 1 \cdot 14 + 3 \cdot 16} = 1,43 \text{ мг/мг.}$$

Упражнение 27. Подсчитать БПК_{полн} и константу скорости окисления, если БПК_з=100 мг/л и БПК_б=150 мг/л.

Решение. Расчет ведут по формулам кратных сроков:

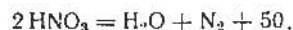
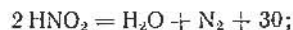
$$k = \frac{1}{t} \lg \frac{БПК_z}{БПК_b - БПК_z} = \frac{1}{3} \lg \frac{100}{150 - 100} = 0,1 \text{ сут}^{-1};$$

$$БПК_{полн} = \frac{БПК_z^2}{2 БПК_z - БПК_b} = \frac{100^2}{2 \cdot 100 - 150} = 200 \text{ мг/л.}$$

При выполнении подобных подсчетов следует делать оговорку о том, что описание закономерности процесса окисления принимается подчиняющимся кинетическому уравнению реакции первого порядка.

Упражнение 28. В биохимически очищенной воде найдено 1,5 мг/л азота нитритов и 10 мг/л нитратов. Определить запас химически связанного кислорода, обеспечивающего компенсацию остаточной БПК воды, а следовательно стабильность очищенной воды.

Решение. Подсчитаем количество кислорода, которое выделяется в результате денитрификации нитритного и нитратного азотов:



На 1 атом азота нитритов приходится 1,5 атома выделяющегося кислорода, или 1,71 мг O_2 на 1 мг N, а на 1 атом азота нитратов — 2,5 атома кислорода, или 2,86 мг O_2 на 1 мг N. Следовательно, запас связанного кислорода в очищенной воде составляет $1,71 \cdot 1,5 + 2,86 \cdot 10 = 31,2$ мг/л.

Вода с таким содержанием нитритов и нитратов весьма стабильна, так как в ней очень высок запас связанного кислорода.

Упражнение 29. Рассчитать константу скорости окисления, если экспериментально определено, что БПК_{полн} наблюдается на 13-е сутки инкубации пробы. Какую долю от БПК_{полн} в этом случае составляет БПК_з?

Решение. Константу скорости окисления подсчитаем из соотношения $k=2:t=2:13=0,15 \text{ сут}^{-1}$.

Для ответа на второй вопрос определим отношение

$$БПК_z/БПК_{полн} = 1 - 10^{-kt} = 1 - 10^{-0,15 \cdot 13} = 0,822.$$

Полученный результат означает, что БПК_з составляет 82,2% от БПК_{полн}.

Упражнение 30. Анализом найдено, что сточные воды различных коллекторов имеют показатели загрязнений, приведенные в табл. 12.

Таблица 12

Проба сточной воды	Концентрация загрязнений, мг/л		
	взвешенные вещества	БПК _{полн}	ХПК
I	180	215	260
II	200	250	200
III	30	0	850

Следует оценить результаты и определить, для каких видов сточных вод характерны приведенные показатели?

Решение. Проба I может быть бытовой сточной водой. В самом деле, если концентрация по взвешенным веществам равна 180 мг/л, то норма водоотведения по формуле (16) составит 360 л/сут на одного человека. При такой норме водоотведения ожидаемая БПК_{полн} составит 208 мг/л, что очень близко к цифре, полученной анализом. Для бытовых сточных вод соотношение величин БПК и ХПК может быть таким, как найдено анализом.

Анализ пробы сточной воды II следует повторить, так как БПК, за очень редким исключением, не может быть больше ХПК. Наиболее вероятно предположить, что в анализе допущена ошибка.

Проба сточной воды III, несомненно, производственного происхождения. Вода сильно загрязнена органическими примесями, находящимися в основном в растворенном и коллоидном состояниях. Это утверждение следует из того, что значение ХПК высоко, а концентрация взвешенных веществ мала. Поскольку БПК_{полн} равна нулю, эту воду не следует пытаться очищать биохимическим путем. Более перспективными могут оказаться коагуляционные или сорбционные методы очистки.

Упражнение 31. Оценить результаты анализов, если при экспериментальном определении БПК_з проб сточных вод получены следующие данные: БПК_{з(1:50)}}=220 мг/л и БПК_{з(1:500)}}=500 мг/л.

Решение. При оценке данных анализа сомнение вызывает второй результат. В самом деле, по условиям проведения анализа минимально допустимое потребление кислорода за срок инкубации

составляет около 3 мг/л. При окончательном подсчете должно быть учтено потребление кислорода в разбавляющей воде, которое не должно превышать 0,5 мг/л, а обычно составляет 0,1—0,2 мг/л. Таким образом, из минимально допустимого количества потребляемого кислорода, равного

$$3 \cdot 500 = 1500 \text{ мг/л,}$$

нужно вычесть максимально допустимое потребление кислорода в разбавляющей воде, т. е.

$$0,5 \cdot 500 = 250 \text{ мг/л,}$$

в результате чего наименьшая БПК₅ пробы, разведенной в 500 раз, должна быть не ниже 1250 мг/л.

Анализ второй пробы следует повторить, уменьшив при этом степень разведения.

Глава VI

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

§ 29. КОНТРОЛЬ РАБОТЫ РЕШЕТОК, ДРОБИЛОК, РЕШЕТОК-ДРОБИЛОК

Решетки. Технологическая характеристика работы решеток дается на основе оценки количества и качества задерживаемых отбросов. Определение количества отбросов с решеток и анализ их качественного состава на стабильно работающих станциях выполняются 1 раз в квартал (реже 1 раз в месяц).

Количество снятых отбросов учитывается путем сбора их в контейнер определенного объема. Одновременно фиксируется количество прошедших через решетки сточных вод. В отчетных данных показывают количество отбросов в литрах на 1000 м³ сточной воды.

На очень крупных станциях (пропускной способностью 500 тыс. м³ и более) количество снимаемых с решеток отбросов обычно находится в пределах 10—16 л на 1000 м³, на станциях средней и малой пропускной способности количество отбросов может доходить до 50 л и более на 1000 м³ сточных вод.

В характеристике снятых с решеток загрязнений указывается влажность удаляемой массы (70—80%), зольность (5—7%) и содержание тряпья и бумаги. Анализ отбросов выполняют путем их ручной сортировки, высушивания выделенных фракций загрязнений на водяной бане и взвешивания на технических весах. Количество тряпья и бумаги составляет обычно около 80% общей массы снимаемых с решеток отбросов. Плотность отбросов меняется в зависимости от состава в незначительных пределах и для расчетов принимается равной 750 кг/м³. Количество и состав отбросов с решеток и осадка из песколовков в определенной мере характеризуют культурный уровень населения, пользующегося канализацией, технический уровень системы и качество ее эксплуатации.

Отметим, что после прохождения решеток санитарно-химические характеристики сточных вод не изменяются.

Дробилки устанавливают на станциях, если количество отбросов, снимаемых с решеток, превышает 0,1 м³/сут. Обычно используют дробилки молоткового типа, в которых измельчение происходит с добавлением воды. Расход воды на дробилку определяют из расчета 40 м³ на 1 т отбросов. На современных станциях в качестве рабочей воды для дробилки иногда используют избыточный активный ил с последующей передачей раздробленной массы в систему удаления и обработки осадка.

Молотковые дробилки обеспечивают эффективное измельчение отбросов до фракций наибольшей крупностью 7—8 мм. Крупность измельчения отбросов определяется с помощью калиброванных сит. Определяют всего две фракции — крупностью менее 1 мм и 1 мм и более. Для удовлетворительно работающих дробилок количество крупных и мелких фракций примерно одинаково, но со значительными колебаниями в отдельных пробах — от 30 до 70%. При резком возрастании удельной доли крупной фракции дробилку останавливают на ремонт.

Решетки-дробилки, устанавливаемые в потоке сточной воды, измельчают отбросы, задерживаемые на решетке барабана, по принципу резания без извлечения их из воды. Примеси, не поддающиеся измельчению,

скапливаются в приемке перед решеткой (барабаном), откуда периодически удаляются.

Какого-либо специального лабораторного контроля качества работы решеток-дробилок проводить не требуется. В процессе эксплуатации этих механизмов фиксируют перепад уровней воды до и после решетки-дробилки. Чрезмерное повышение перепада сигнализирует о засорении барабана решетки.

Можно отметить, что технологический контроль работы решеток, дробилок и решеток-дробилок осуществляется относительно просто. Эксплуатация же этих устройств, работающих в тяжелых условиях, напротив, очень сложна, так как связана с необходимостью частого ремонта механизмов и практически постоянного наблюдения за их работой.

§ 30. КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ПЕСКОЛОВОК

Назначение песколовков — выделить из сточной воды песок и другие тяжелые минеральные примеси, которые могут затруднить перекачку осадков и обработку их в предназначенных для этого сооружениях. Песколовки устраиваются практически на всех станциях в обязательном порядке при количестве сточных вод более 100 м³/сут.

Крупность фракций песка, находящегося в сточных водах, в основном колеблется в пределах 0,05—0,5 мм. Однако установлено, что не обязательно выделять весь песок, для гарантированной и безопасной работы последующих сооружений достаточно выделить лишь песок крупностью 0,2—0,25 мм и более. Песок более мелких фракций не мешает работе систем по перекачке осадков и улавливается только в первичных отстойниках.

Технологический контроль за работой песколовков сводится к определению количества и качества задерживаемого песка. Необходимые замеры и анализы выполняются 1 раз в месяц.

Количество песка обычно определяется объемным способом, для чего песок гидроэлеватором перекачивают в измерительный лоток; результат измерения выражают в литрах песка, выделенного с 1000 м³ сточной воды. На крупных очистных станциях песколовками улавливается от 10 до 30 л песка с 1000 м³ сточной

воды, причем это значение колеблется главным образом в зависимости от нормы водоотведения, состояния и уровня эксплуатации городских канализационных сетей и сооружений. На средних и малых станциях при меньших нормах водоотведения на одного жителя количество песка, задерживаемого песколовками, достигает 30—50 л с 1000 м³ сточной воды.

Плотность песка при расчетах по СНиП 2.04.03-85 принимают равной 1,5 т/м³. Фактически, по результатам экспериментальных измерений, плотность задерживаемого песколовками песка колеблется от 1,3 до 2 т/м³, что близко к значениям, принятым в нормах проектирования.

Качество песка оценивают значениями зольности, содержания «чистого» песка и фракционным составом. Все качественные показатели определяют из средней пробы песка, отбираемой из измерительного лотка. Для определения зольности высушенную пробу прокалывают при температуре 600—700°C. Содержание чистого песка определяют путем многократной отмывки водой исследуемой пробы. Отмытый песок осаждается на дно сосуда, а вода со взмученными в ней загрязнениями сливается. Затем оставшийся чистый песок высушивают и взвешивают. Масса высушенного чистого песка, отнесенная к массе первоначально взятой пробы, выраженная в процентах, и определяет содержание песка.

Два показателя — зольность и содержание песка — обычно очень близки и отличаются не более чем на 5—7%. Всегда выше значение зольности, поскольку, помимо содержания песка, этим показателем учитывается минеральная часть крупных примесей. Чем ближе значения зольности и содержания песка, тем лучше качество песка; большая разница между значениями зольности и содержания песка показывает, что песколовка задерживает крупные отбросы. Если песок из песколовки очень засорен посторонними включениями, то следует решать вопрос об отмывке песка от органических примесей (изменением режима работы песколовки, включением в схему специальных устройств по отмывке).

В удовлетворительно работающих сооружениях зольность песка достигает 85—95%.

Фракционный состав песка определяется рассеиванием высушенной и прокаленной пробы через калибро-

ванные сита с диаметром отверстий 0,5; 0,25; 0,2; 0,15 и 0,1 мм. В осадке из песколовок преобладает песок фракций 0,25 мм и более (75—95%), поскольку эти сооружения и рассчитаны на задержание песка фракций не менее 0,2 мм. Вынос крупного песка из песколовок обычно незначителен.

Практика эксплуатации показывает, что общая эффективность песколовок по задержанию песка не превышает 60—70% общего его количества, содержащегося в поступающей на станцию воде.

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 других взвешенных веществ удаляется до 10—25% количества яиц гельминтов. Так как удаляемый песок в санитарном отношении небезопасен, дальнейшее использование его возможно только после обезвреживания, которое происходит под действием солнечных лучей в течение определенного периода.

§ 31. КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ПЕРВИЧНЫХ ОТСТОЙНИКОВ

Комплекс сооружений механической очистки заканчивается первичными отстойниками, назначение которых выделить из воды загрязнения, находящиеся во взвешенном состоянии. Процесс очистки основан на седиментации взвешенных веществ. Продолжительность пребывания воды в первичных отстойниках может колебаться в широких пределах — от 0,5 до 2,5 ч, но чаще всего составляет 1,5—2 ч.

Технологический контроль работы первичных отстойников имеет целью оценить изменения в составе воды, происходящие в результате осаждения, а также определить количество и качество образующегося осадка.

В отстойниках выделяются из воды наиболее тяжелые и крупные частицы взвешенных веществ. Вместе со взвешенными веществами в осадок попадают вынесенный из песколовок песок, раздробленные отбросы, крупные примеси, не уловленные решетками.

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. Влажность осадка колеблется в пределах 91,5—96%, зольность — 25—35%, содержание песка в осадке обычно составляет не более 5—8%.

Контроль качества осадка по влажности в зависимости от условий работы станции может выполняться по разным графикам — ежедневно (из разовых или средних проб), 1—2 раза в неделю или в 10 дней. Необходимо соблюдение лишь одного требования — количество анализов должно быть достаточным для объективного суждения о качестве удаляемого осадка (о содержании в нем сухого вещества). В этом случае полностью оправдано правило: чем стабильнее работают сооружения, тем реже можно их контролировать.

Зольность осадка определяют не реже 1 раза в месяц (максимум — 1 раз в декаду) из средних проб высушенного осадка.

Одновременно определяют содержание песка в осадке. Это определение делается по аналогии с анализом осадка из песколовок путем многократной (длительной) отмывки песка, задерживаемого в отстойниках.

Эффективность задержания взвешенных веществ первичными отстойниками изменяется в зависимости от ряда факторов — времени отстаивания, исходной концентрации взвешенных веществ, температуры сточных вод и конструктивных особенностей сооружения. В среднем отстойниками задерживается 40—50% взвешенных веществ (или 55—75% оседающих веществ). Таким образом, за расчетное время в отстойниках не выпадает до 45—25% начального содержания оседающих веществ (т. е. веществ, выделяемых за то же время при отстаивании в состоянии покоя в цилиндрах).

Данные по эффективности отстаивания взвешенных веществ получают из результатов общего санитарно-химического анализа воды, выполняемого, как указывалось выше, 1 раз в декаду.

В процессе отстаивания сточной воды в результате сорбции и соосаждения происходит снижение БПК и ХПК примерно на 10—25%, фосфатов — на 20—30%, азота общего — на 20—30%, биологических загрязнений — до 50% (см. также § 36).

§ 32. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 32. Определить ожидаемое количество отбросов, которое будет задержано решетками, в расчете на 1000 м³ сточных вод, исходя из нормы загрязнений на одного жителя согласно данным СНиП 2.04.03-85.

Решение. По табл. 23 СНиП 2.04.03-85 при ширине прозоров решетки 16 мм количество отбросов, снимаемых с них, в расчете на одного жителя принимается равным 8 л/год, или 0,022 л/сут. Чтобы рассчитать количество отбросов на 1000 м³ сточной воды, необходимо знать норму водоотведения. Решим эту задачу из условия, что канализован район, застроенный зданиями с внутренним водопроводом, канализацией и системой централизованного горячего водоснабжения. Для такого района нормы водоотведения на одного человека могут изменяться в пределах 230—350 л/сут (см. табл. 1 СНиП 2.04.02-84).

Ожидаемое количество отбросов с 250 л сточной воды, прошедшей решетки, составят 0,022 л, а с 1000 м³ воды

$$\frac{0,022 \cdot 1000}{250} = 0,088 \text{ м}^3, \text{ или } 88 \text{ л.}$$

Если сравнить этот результат с теми данными, которые были приведены выше для крупных действующих станций (10—16 л на 1000 м³), то нетрудно заметить очень большую разницу между расчетным количеством отбросов и наблюдаемым в эксплуатации. Эта разница может быть следствием ряда следующих обстоятельств.

1. В крупных промышленных городах норма расхода воды на одного жителя с учетом воды, потребляемой предприятиями, может почти в 2 раза превышать норму водопотребления для коммунального водопровода. Поскольку в производственных сточных водах крупные загрязнения, задерживаемые решетками, могут отсутствовать, то и количество отбросов, рассчитываемое на 1000 м³ воды, будет в 2 раза меньше, чем это следует из норм проектирования.

2. Сточная вода подается на очистную станцию системой насосных станций, оборудованных решетками, на которых часть отбросов задерживается.

3. Решетки очистной станции не обеспечивают ожидаемой эффективности по количеству задерживаемых отбросов, и значительная часть их проходит в следующие по ходу сооружения, способствуя тем самым сильному загрязнению осадка первичных отстойников.

4. Принятая норма отбросов на одного жителя может быть сильно завышенной.

Поскольку все названные причины могут иметь место, то для решения вопроса о достоверности указанной нормы отбросов необходимо серьезное обобщение данных эксплуатации большого числа очистных станций различной пропускной способности при разных нормах водоотведения.

Упражнение 33. Определить ожидаемое количество задерживаемого песколовками песка в расчете на 1000 м³ воды исходя из нормы загрязнений на одного жителя, согласно данным СНиП 2.04.03-85.

Решение. Аналогично задаче 32 решение может быть дано при известной норме водоотведения, например 250 л/сут на одного жителя.

По СНиП 2.04.03-85 норма задерживаемого песка на одного жителя в сутки составляет 0,02 л. Если это количество песка выделяется с 250 л сточной воды, то с 1000 м³ будет выделено

$$\frac{0,02 \cdot 1000}{250} = 0,08 \text{ м}^3, \text{ или } 80 \text{ л.}$$

Сравнивая эти результаты с данными эксплуатации, приведенными в § 30, убеждаемся в том, что и количество песка, рассчитанное по СНиП 2.04.03-85, заметно выше реально наблюдаемых значений. Здесь, как и в первом случае, причинами расхождения результатов могут быть: большая доля производственных сточных вод или завышенная норма песка по СНиП 2.04.03-85.

Упражнение 34. Определить, какой процент от объема сточных вод составляет объем осадка из первичных отстойников.

Решение. Количество осадка, задерживаемого первичными отстойниками, подсчитывается по норме загрязнений на одного жителя по взвешенным веществам и ожидаемой эффективности работы первичных отстойников. Для нормально работающих сооружений можно принять среднюю эффективность задержания взвешенных веществ равной 40%.

При подсчете количества осевших веществ нужно учесть крупную фракцию загрязнений, не входящую в состав взвешенных веществ, но также оседающую в отстойниках (раздробленные, а также не задержанные решетками отбросы). Увеличение количества осадка за счет этой фракции составляет 10—20% количества оседающих взвешенных веществ. Таким образом, по массе $M_{\text{сух}}$ в отстойниках образуется осадка в расчете на одного жителя

$$M_{\text{сух}} = 65 \cdot 0,4 \cdot 1,2 = 31,2 \text{ г/сут.}$$

Примем, что влажность откачиваемого осадка составляет 93%. Следовательно, в 1 л осадка содержание сухого вещества составляет 70 г, плотность осадка для расчета может быть принята равной 1 кг/л.

Объем осадка $V_{\text{ос}}$ при 93%-ной влажности в расчете на одного жителя составит:

$$V_{\text{ос}} = \frac{31,2}{70 \cdot 1} = 0,45 \text{ л/сут.}$$

Для определения процентного соотношения образующегося осадка к очищаемой сточной воде необходимо знать норму водоотведения. Решим задачу при условии, что норма водоотведения на одного жителя равна 250 л/сут. Тогда объем осадка 0,45 л/сут составит от объема воды 250 л/сут

$$\frac{0,45 \cdot 100}{250} = 0,18 \text{ \%}.$$

Количество осадка из первичных отстойников, выраженное в процентах от объема обрабатываемой сточной воды, составляющее в нашем случае 0,18%, на практике может быть и больше (до 1%) и меньше этого значения, в зависимости от исходной концентрации взвешенных веществ, эффективности их задержания, влажности осадка, количества крупных загрязнений.

Упражнение 35. Рассчитать концентрацию песка в сточной воде, поступающей на очистную станцию, и эффективность работы песколовков, если задерживается песка 15 л на 1000 м³, содержание песка в осадке первичных отстойников 6% (по массе), количество этого осадка составляет 0,25% по объему от расхода обрабатываемой воды, влажность осадка 93%.

Показатель	Значения показателя песколовки	
	№ 1	№ 2
Нагрузка по воде	Проектная	
Задержанный песок, л, на 1000 м ³ сточной воды	35	36
Плотность песка, кг/л	1,3	1,7
Содержание песка, %	65	80
Зольность осадка, %	75	88
Крупность песка, %:		
менее 0,25 мм	25	20
0,25 мм и более	75	80

тый песок с заметно меньшей примесью органических загрязнений, о чем однозначно свидетельствуют большая плотность и более высокие значения содержания песка и зольности.

Обе песколовки задерживают песок расчетных фракций; более мелкий песок присутствует в относительно небольших количествах.

Данные по объему задерживаемого песка в обоих случаях практически одинаковы, но на основе этих цифр достоверных выводов об эффективности работы песколовки сделать нельзя, поскольку неизвестно, было ли обеспечено равномерное распределение поступающего песка между этими песколовками.

Упражнение 38. 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/л, а в осадке влажностью 92,5% — 75 г/л. Чтобы получить 1 л осадка с концентрацией сухого вещества 75 г, нужно взять жидкого осадка $75:60=1,25$ л. Следовательно, объем осадка уменьшится с 1,25 до 1 л, или в 1,25 раза. (Объемная масса осадка принимается равной 1 кг/л).

Упражнение 39. Дать технологическую оценку следующих эксплуатационных данных работы радиальных первичных отстойников диаметром 40 м.

Продолжительность отстаивания, ч	1,9
Содержание, мг/л, взвешенных веществ в воде:	
поступающей	220
осветленной	115
Содержание, мг/л, оседающих веществ в воде:	
поступающей	180
осветленной	54
БПК ₅ , мг/л, в воде:	
поступающей	200
осветленной	150
Влажность осадка, %	92,6
Зольность осадка, %	30,4

Решение. Общее количество песка определяется как сумма песка, задерживаемого песколовками и первичными отстойниками.

Рассчитаем часть песка, улавливаемого песколовками, при этом все расчеты приведем к 1 л сточной воды, как и принято для выражения концентрации по любому виду загрязнений.

Из условия задачи следует, что в песколовках на 1 л сточной воды задерживается 0,015 м³ песка по объему. Плотность песка при расчетах принимаем равной 1,5 т/м³, или 1,5 г/мл.

Следовательно, в песколовках улавливается песка (по массе)

$$0,015 \cdot 1,5 = 0,0225 \text{ г/л} = 22,5 \text{ мг/л.}$$

Далее определим часть песка, удаляемого с осадком первичных отстойников. По условию с 1 л обрабатываемой воды образуется осадка 0,25%, или 2,5 мл/л. По массе при влажности осадка 93% (и объемной массе 1 г/мл) сухого вещества осадка на 1 л воды будет

$$2,5 \cdot 1 \cdot 0,07 = 0,175 \text{ г/л, или } 175 \text{ мг/л.}$$

Так как количество песка составляет 6% по массе по отношению к сухому веществу осадка, то масса песка в осадке будет

$$175 \cdot 0,06 = 10,5 \text{ мг/л.}$$

Таким образом, в исходной сточной воде общее содержание песка составило $22,5 + 10,5 = 33$ мг/л. Из этого количества песколовками задержано 22,5 мг/л, или 68,2% песка.

Упражнение 36. Дать технологическую оценку эксплуатационных данных, характеризующих работу механизированных решеток и дробилок, приведенных в табл. 13.

Таблица 13

Период работы	Количество отбросов, л на 1000 м ³ сточной воды	Характеристика отбросов, %					Крупность дробления отбросов, %	
		влажность	зольность	текстиль	бумага	прочие примеси	менее 1 мм	1 мм и более
I	14	76	4	56	25	19	42	58
II	12	80	5	65	19	16	46	54
III	18	87	4	36	12	52	38	62

Решение. Различия в показателях двух первых (I и II) периодов работы механизмов по количеству, качеству и крупности дробления отбросов незначительны. Оба периода работы с точки зрения технологической эффективности равноценны. Дробилки обеспечивают требуемую степень измельчения отбросов. В III периоде работы изменился качественный состав задержанных отбросов — на прочие примеси пришлось 52% общего количества. Можно предположить, что на очистную станцию поступили залповые загрязнения, не свойственные составу воды при нормальной работе.

Упражнение 37. Дать сравнительную оценку эксплуатационных данных работы двух песколовки (табл. 14).

Решение. Правоммерно сравнить только качество песка, задерживаемого песколовками. В песколовке № 2 задерживается более чис-

Решение. Определим эффективность снижения концентрации загрязнений в сточной воде в результате отстаивания. Она оказывается равной: по взвешенным веществам 47,7%, по оседающим веществам 70% и по БПК₅ 25%. Эти показатели характерны для удовлетворительно работающих сооружений при очистке городских сточных вод.

Если определить расчетом необходимую продолжительность отстаивания (по рекомендациям СНиП 2.04.03-85) для обеспечения эффективности снижения концентрации взвешенных веществ на 47—50%, то для отстойников диаметром 40 м она окажется равной 1,6—1,7 ч, что меньше потребовавшейся на практике примерно на 10%.

Можно убедиться в том, что при отстаивании из воды удаляются не все взвешенные вещества, которые оседают в цилиндрах в состоянии покоя. — в осветленной воде осталось еще 54 мг/л оседающих веществ. О том, что эффект отстаивания сточной воды в сооружении ниже, чем в состоянии покоя, можно судить еще и на основании сравнения следующих данных: процент оседающих веществ в исходной воде по отношению к общему количеству взвешенных составляет $180 : 220 = 0,82$, или 82%, а эффективность снижения оседающих веществ — только 70%.

Из отстойников удаляется осадок достаточно низкой влажности (92,6%), что следует расценивать как положительный результат. Зольность осадка находится в пределах обычной нормы хорошо работающих сооружений.

Упражнение 40. Дать технологическую оценку изменений в составе сточных вод в результате отстаивания (табл. 15).

Таблица 15

Показатель	Значения показателей, мг/л, сточных вод	
	до отстойников	после отстойников
pH	7,7	7,7
Осадок по объему	5	2
Взвешенные вещества	220	110
БПК ₅ натуральной пробы	180	150
Хлориды	115	114
Азот аммонийный	20	19
Фосфаты	3,5	3,1
Число колоний бактерий Coli	100	40

Примечание. Число колоний бактерий Coli дано в тыс. мл.

Решение. В процессе отстаивания из сточной воды выделилось 50% взвешенных веществ, что соответствует снижению на 60% оседающих веществ по объему. Со взвешенными веществами из сточной воды удалено 60% бактериальных загрязнений. Эти результаты свидетельствуют о высокой эффективности работы отстойников.

При отстаивании из воды не удаляются хлориды и аммонийные соли, что закономерно, поскольку эти примеси присутствуют в сточных водах в виде хорошо растворимых соединений. Незначительно снижается величина БПК₅ (на 17%). Это означает, что большая часть

органических веществ, окисляемых биохимически, находится в воде в виде истинно и коллоидно-растворенных веществ. Некоторые компоненты взвешенных веществ тоже подвергаются биохимическому окислению в условиях определения БПК₅, но эта часть невелика — при снижении концентрации взвешенных веществ на 110 мг/л соответственное снижение БПК₅ составляет всего 30 мг/л.

Снижение фосфатов незначительно (примерно на 11%). В сточных водах фосфатные соли находятся в основном в виде хорошо растворимых соединений и лишь небольшая их часть — в виде малорастворимых полифосфатов, которые и удаляются частично в процессе отстаивания вместе со взвешенными веществами.

При отстаивании не изменяется реакция среды, так как при простом отстаивании в воде не происходит химических реакций.

В целом приведенные результаты лабораторного контроля работы отстойников закономерны и сомнений не вызывают.

Глава VII

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В АЭРОБНЫХ УСЛОВИЯХ

§ 33. ПРОЦЕССЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Сооружениям биологической очистки отводится главенствующая роль в общем комплексе сооружений канализационной очистной станции. В результате процессов биологической очистки сточная вода может быть очищена от многих органических и некоторых неорганических примесей. Процесс очистки осуществляет сложное сообщество микроорганизмов — бактерий, простейших, ряда высших организмов — в условиях аэробноза, т. е. наличия в очищаемой воде растворенного кислорода. Загрязнения сточных вод являются для многих микроорганизмов источником питания, при использовании которого они получают все необходимое для их жизни — энергию и материал для конструктивного обмена (восстановления распадающихся веществ клетки, прироста биомассы). Изымая из воды питательные вещества (загрязнения), микроорганизмы очищают от них сточную воду, но одновременно они вносят в нее новые вещества — продукты обмена, выделяемые во внешнюю среду.

Для городских сточных вод в нашей стране и за рубежом наибольшее распространение получила очистка в искусственных условиях; при этом для обработки

больших количеств воды преимущественное применение имеют аэротенки, а для обработки средних и малых количеств — аэротенки, биофильтры и другие биоокислители.

Технологический контроль за процессами биологической очистки заключается в оценке изменений в составе воды после очистки, а также количественного и качественных изменений активного ила или биопленки. Сопоставление результатов указанных определений и замеров и их комплексная оценка позволяют осуществлять управление процессом очистки путем регулирования количества подаваемого воздуха, соотношения количеств воды и ила, степени разбавления исходной сточной воды очищенной (или илом) и т. д.

При проведении исследовательских работ в зависимости от решаемых вопросов контроль процессов заметно осложняется. Так, более полно, часто с применением современных инструментальных методов, исследуется химический состав исходных загрязнений, расшифровывается состав метаболитов, проводятся сложные определения биохимической активности различных ферментных систем клетки, прослеживается путь превращения веществ в процессе окисления и многое другое.

В комплексе сооружений биологической очистки находятся вторичные отстойники, в которых очищенная вода отделяется от ила (или биопленки). Контроль и оценка работы этих сооружений осуществляются в неразрывной связи с контролем работы основного биоокислительного сооружения.

§ 34. КОНТРОЛЬ РАБОТЫ АЭРОТЕНКОВ

При проектировании аэрационных сооружений можно предусмотреть различную степень очистки сточных вод: неполную с БПК_{полн} обработавшей воды более 20 мг/л, полную с БПК_{полн} менее 20 мг/л и полную с нитрификацией аммонийного азота.

Добиться той или иной требуемой степени очистки воды и минерализации ила можно путем изменения соотношения количеств подаваемых загрязнений и работающего в системе ила. Количественно указанное соотношение описывается величиной нагрузки на ил — массы подаваемых за сутки загрязнений, определяемых

значением БПК, на 1 г сухого или беззольного вещества ила.

Исследованиями установлено, что в зависимости от нагрузки на ил, или от так называемого трофического уровня (уровня питания), в активном иле можно наблюдать постепенную смену микрофлоры и микрофауны и изменение характера отношений между микроорганизмами ила. Когда на единицу массы микроорганизмов приходится большое количество загрязнений — более 300 мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества в сутки, что соответствует первому трофическому уровню, то в иле конкурируют гетеротрофные бактерии и сапрозойные простейшие, которые усваивают лишь растворенные примеси. Свободно плавающих ресничных очень мало. Разнообразие видов простейших мало, и при этом наблюдается количественное преобладание какого-либо одного из них. При меньшем количестве питания или втором трофическом уровне (100—300 мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества в сутки) отношения между микроорганизмами носят характер «хищник—жертва». «Хищниками» в этом сообществе являются голозойные ресничные простейшие, а «жертвой» — гетеротрофные бактерии. В таком иле отмечается большое разнообразие видов простейших без преобладания какого-либо одного вида; ил хорошо флокулирует и оседает. При третьем трофическом уровне — с наименьшим количеством питания (менее 100 мг БПК_{полн} на 1 г беззольного вещества в сутки) — имеют место отношения метабиоза между гетеротрофными и нитрифицирующими бактериями. Так, например, нитрифицирующие бактерии окисляют азот аммиака, который появляется в больших количествах вследствие аммонификации белковых соединений, проводимой гетеротрофными бактериями. Из простейших в таком иле максимальное развитие получают «хищники» и прикрепленные инфузории, коловратки, черви, использующие в качестве питания бактерии, голозойные инфузории, иловые частицы.

Очевидно, что изменение нагрузки на ил в широких пределах в работающем сооружении невозможно. Количество загрязнений в сточной воде — величина неуправляемая и изменена быть не может. Можно менять лишь концентрацию ила (называемую иначе дозой ила) в относительно небольших пределах. Численные значения

допустимых концентраций ила в большой степени зависят от типа аэрационного сооружения, однако для каждого типа аэротенка оптимум лежит в узких пределах.

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 1—2 мг/л, дозы ила и его гидробиологического состава. Определения выполняются для каждого работающего сооружения (раздельно для собственно аэротенка и регенератора) 1—3 раза в неделю. Зольность ила определяют 1 раз в декаду из средней пробы высушенного ила, а все подсчеты обычно ведут по отношению к 1 г беззольного вещества. Зольность ила обычно лежит в пределах 25—35% при собственной зольности клеточного вещества ила около 5—7%. Очевидно, что в иле присутствует большое количество посторонних минеральных примесей, а потому органическая (беззольная) часть точнее характеризует количество биомассы. Однако отметим, что при одинаковой биомассе активный ил может иметь резко различные количества бактериальных клеток и простейших и их биохимическую активность.

Количество бактерий в иле колеблется от 10^8 до 10^{12} на 1 мг беззольного вещества, большинство из которых принадлежит родам *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Bacterium* и др. Лабораторные микробиологические исследования ила с количественной и качественной бактериальной оценкой выполняются редко. Анализы эти трудоемки, требуют применения сложной техники пересевов, многих разнообразных питательных сред и могут быть выполнены лишь в современных хорошо оснащенных исследовательских лабораториях.

Микроскопическое же исследование ила доступно любой лаборатории. Микроскопическая оценка ила выполняется по тому же графику, что и определение дозы ила. Фиксируют наличие и количество зооглейных скоплений бактерий, различных видов простейших, высших организмов, нитчатых бактерий, грибов, посторонних включений. Результаты выражают в тысячах особей на 1 мл смеси. Ориентировочно можно считать, что при удовлетворительном развитии вида количество его особей колеблется в пределах 10—100 тыс. в 1 мл; если

число особей менее 10 тыс., то говорят о недостаточном развитии вида, а при числе особей более 100 тыс. — о преобладании данного вида.

Седиментационные свойства ила оценивают величиной, называемой индексом ила. Индекс ила — это объем в миллилитрах. Объем должен быть отнесен к 1 г сухого вещества ила. Этот индекс изменяется в зависимости от концентрации ила в смеси, поэтому определение принято вести при дозе ила 3 г/л. Если определяют индекс ила, взятого из собственно аэротенка, где доза ила менее 3 г/л, то его предварительно сгущают до нужной концентрации отстаиванием. Если анализируется ил из регенератора, то его разбавляют до нужного предела водопроводной (или очищенной) водой. Индекс ила определяют не реже 1 раза в декаду.

Ил с индексом 80—100 мл/г хорошо оседает и не образует мелкой мути в отстоянной воде. При индексе ила более 150 мл/г говорят о «вспухании» ила. Вспухший ил, обладая развитой поверхностью, хорошо очищает воду, но с большим трудом отделяется от нее, что вызывает осложнения в работе вторичных отстойников. Повышенный вынос ила ухудшает общее качество выпускаемой в водоем воды и ведет к потере ила. Причинами вспухания ила могут быть многие резкие изменения условий работы аэротенка.

Ил аэротенка длительной аэрации может иметь индекс менее 80 мл/г, поскольку из-за минерализации клеточного вещества повышается доля зольных, более тяжелых элементов.

Полный санитарно-химический анализ воды проводят 1 раз в 10 дней до и после ее обработки. Запись замеров количеств поступающей воды и подаваемого на очистку воздуха производится непрерывно с помощью автоматических измерителей расхода.

К технологическим параметрам, характеризующим работу аэротенка, кроме уже упомянутых относятся окислительная мощность аэротенка и ила, возраст ила, расход воздуха на 1 м³ очищенной воды и на 1 кг снятой БПК₅, прирост ила, затраты электроэнергии.

Если величина нагрузки N характеризует количество поданных загрязнений, то окислительной мощностью OM оценивается количество снятых переработанных загрязнений:

$$OM = H \varepsilon_{\text{БПК}} \quad (17)$$

где $\varepsilon_{\text{БПК}}$ — эффективность очистки воды по БПК в долях единицы; единицы измерений у этих двух величин одинаковые: мг БПК на 1 г беззольного вещества в сутки или г БПК/(м³·сут).

Окислительная мощность, отнесенная к 1 ч, есть средняя скорость окисления ρ загрязнений активным илом. Эта величина — основная расчетная характеристика аэротенка. Она зависит от вида обрабатываемых сточных вод, концентрации загрязнений в исходной воде, требуемого качества очищенной воды, температуры, концентрации ила и других факторов.

Возраст ила — это среднее время его пребывания в системе аэрационных сооружений, определяемое как частное от деления общей массы ила в аэрационной системе (включая каналы и вторичные отстойники) на суточный прирост ила. Возраст ила измеряется в сутках. Оценка по этому показателю аналогична оценке по величине нагрузки или окислительной мощности.

Прирост ила Pr , мг/л, — количество вновь образующегося ила (за счет изъятия и усвоения загрязнений воды), определяемое при проектировании систем по формуле

$$Pr = 0,8B + 0,3L_a \quad (18)$$

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

При эксплуатации прирост ила подсчитывается путем суммирования масс ила, удаляемого из системы выносом с очищенной водой и перекачиванием на илоуплотнители или в другие сооружения. Иногда прирост ила оценивают не в мг/л, а в тоннах на 100 тыс. м³ очищенной воды.

Расход воздуха при пневматической системе аэрации подсчитывают по отношению к 1 м³ очищенной воды и 1 кг снятой БПК₅. Для городских сточных вод при мелкопузырчатой системе аэрации на 1 м³ воды расходуется 5—10 м³ воздуха, или 40—60 м³ на 1 кг снятой БПК₅. При механической системе аэрации подобных расчетов по воздуху сделать невозможно. В этом случае оценивается лишь затрата электроэнергии, как и при пневматической системе, из расчета на 1 м³ воды или на 1 кг снятой БПК₅.

Для оценки биохимической активности ила разработан метод определения его дегидрогеназной активнос-

ти. Процесс биохимического окисления при очистке сточных вод начинается с дегидрирования органических веществ с передачей водорода по дыхательной цепи ферментов, включающей дегидрогеназы и цитохромную систему. Количественное определение дегидрогеназ позволяет судить о напряженности окислительного процесса. Введение в практику технологического контроля этого показателя полезно в особенности потому, что дает возможность получить быструю, менее чем за 1 ч, характеристику состояния ила.

§ 35. КОНТРОЛЬ РАБОТЫ БИОФИЛЬТРОВ

Контроль работы биофильтров имеет много общего с контролем работы аэротенков, поскольку в обоих типах сооружений происходят принципиально сходные процессы. Существенным отличием в контроле работы этих двух видов биоокислителей является отсутствие необходимости в частом анализе количества биопленки. Биопленка прочно прикреплена к материалу загрузки биофильтра, а очищаемой водой смывается лишь отмершая, отработавшая ее часть. Общая масса прироста биопленки за год эксплуатации биофильтра примерно равна массе взвешенных веществ, поступивших за этот же период на биофильтр. Смыв биопленки происходит неравномерно. Периодически она отмывается очень интенсивно, и в эти периоды возрастает нагрузка по взвешенным веществам на вторичные отстойники.

Микроскопирование биопленки производят 1—2 раза в неделю. Отмечено, что при очистке одной и той же сточной воды в аэротенке и биофильтре микронаселение ила и пленки весьма сходно, но в составе пленки в отличие от ила в значительном количестве присутствует анаэробная микрофлора.

Качество сточной воды до и после биофильтра анализируется (как и для аэротенков) 1 раз в 10 дней; количества воды и подаваемого воздуха фиксируются непрерывно.

Если исходная сточная вода слишком загрязнена, о чем свидетельствует частое заиливание поверхности биофильтра, то применяют прием возврата части уже очищенной воды для разбавления вновь поступающей. Количество и качество рециркуляционной воды учитывается так же, как и исходной, а все расчетные величины,

характеризующие работу биофильтра, определяют как с учетом, так и без учета рециркуляционного расхода и количества внесенных с ним загрязнений. Если этот прием все еще не обеспечивает должного эффекта, необходимо рыхление поверхности загрузки, промывка ее под напором, хлорирование.

Основными характеристиками работы биофильтра являются нагрузки по воде и по загрязнениям. Нагрузка по воде — это количество воды, м³, приходящееся на 1 м³ загрузочного материала или на 1 м² площади поверхности биофильтра за сутки; нагрузка по загрязнениям — количество загрязнений (по БПК, взвешенным веществам, ХПК, г), подаваемое за сутки в расчете на 1 м³ объема или 1 м² площади поверхности.

Любой биофильтр может обеспечить очень высокую степень очистки воды при условии соблюдения определенной нагрузки. Допустимые пределы колебаний нагрузок для биофильтров разных типов, обеспечивающие полную биологическую очистку воды, показаны в табл. 16.

Таблица 16

Биофильтр	Высота, м. биофильтра	Нагрузка	
		по воде, м ³ /(м ² ·сут)	по БПК _{полн} г/(м ² ·сут)
Капсельный	2	1—3	100—300
Высоконагружаемый	4	10—30	500—1500
Башенный	8	30—50	800—1400
С пластмассовой загрузкой	4	30—45	1600—2200

Как следует из табл. 16, наиболее производительным из биофильтров с насыпной загрузкой является башенный, крупность загрузочного материала у которого наибольшая (составляет 60—100 мм). Несложные расчеты показывают, что при шарообразной форме материала загрузки (вне зависимости от диаметра шара) объем, занимаемый материалом, а следовательно, объем свободного пространства постоянны. На загрузку приходится около 60% объема биофильтра, а на свободное пространство, которое может быть занято воздухом и водой, — 40%.

Из этого следует, что все насыпные биофильтры могли бы иметь одинаковую окислительную мощность. Однако практика показывает, что окислительная мощ-

ность тем выше, чем крупнее материал загрузки. Следовательно, кроме объема свободного пространства большое значение имеет соотношение линейных размеров между диаметром материала загрузки и расстоянием между шарами. С уменьшением диаметра шаров происходит пропорциональное уменьшение расстояния между ними, а вследствие этого резко ухудшаются условия отвода воды, смыва биопленки и вентиляции биофильтра.

При использовании несортированного материала для загрузки биофильтра упаковка становится наиболее плотной, а работа биофильтра практически неудовлетворительной. Поэтому считается, что в материале загрузки не должно быть более 5% примесей меньшего размера. Из этих соображений важное значение в эксплуатации биофильтров придается не столько химическому составу материала загрузки, сколько тщательной его сортировке по размеру. По химическому составу требования к материалу загрузки сводятся к тому, чтобы он был устойчив к периодическим перепадам температур (по сезонам года), не корродировал от соприкосновения со сточной водой и кислородом, был механически устойчив. При испытании материал загрузки подвергают давлению около 0,1 МПа (1 кгс/см²), кипятят в соляной кислоте, пропитывают несколько раз насыщенным раствором Na₂SO₄, промораживают. Если после всех этих испытаний потеря по массе не превышает 10%, материал признается пригодным в качестве загрузки.

Пропускная способность биофильтров с плоскостной загрузкой выше, чем биофильтров с насыпным материалом, поэтому они могут составить серьезную конкуренцию традиционным биофильтрам при условии, что пластмассы будут широко доступны и дешевы. Интересно еще отметить, что в последнее время предложены новые виды насыпных загрузок, например небольшие полые цилиндры. В такой конструкции как бы совмещаются условия работы биофильтра с объемным и плоскостным материалом загрузки.

§ 36. КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ВТОРИЧНЫХ ОТСТОЙНИКОВ И ИЛОУПЛОТНИТЕЛЕЙ.

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ПРЕАЭРАЦИИ И БИОКОАГУЛЯЦИИ

Назначение вторичных отстойников — отделить активный ил или биопленку от очищенной воды.

Работу вторичных отстойников контролируют во многом так же, как и работу первичных отстойников. В частности, фиксируется продолжительность отстаивания смеси и вынос ила с очищенной водой, количество и качество откачиваемого ила (по концентрации сухого вещества). Однако в характере процессов отстаивания в первичных и вторичных отстойниках имеются отличия, которые обусловлены, во-первых, концентрацией взвешенных частиц в отстаиваемой смеси и, во-вторых, химическим составом этих частиц и их разной способностью к флокуляции и седиментации.

В первичных отстойниках при повышенной концентрации взвешенных веществ в исходной воде вынос их с осветленной водой увеличивается. Концентрация взвешенных веществ в городских сточных водах обычно не превышает 300—350 мг/л; при этом эффективность отстаивания составляет максимально 50—55%.

Во вторичные отстойники поступает смесь с концентрацией ила не менее 1000 мг/л; в зависимости от режима работы и типа биоокислителя концентрация ила может доходить до 2,5—5 г/л. Если обеспечивается полная биологическая очистка, то при достаточной продолжительности отстаивания (около 2 ч) вынос ила с очищенной водой составляет всего 10—25 мг/л (в среднесуточных пробах) независимо от исходной дозы ила. Эффективность отстаивания в этом случае составляет 98—99%.

Найдена корреляционная связь между степенью очистки воды по БПК и выносом ила с очищенной водой. При заданной продолжительности отстаивания чем глубже очищена сточная вода, т. е. чем ниже БПК_{полн} очищенной воды, тем меньше вынос ила. В то же время при определенной степени очистки воды по БПК вынос ила тем больше, чем меньше продолжительность пребывания воды во вторичных отстойниках.

Степень уплотнения осевших взвешенных частиц в первичных и вторичных отстойниках различна. Взвешенные вещества сточных вод более тяжелы и менее гидрофильны, чем активный ил или биопленка, чем и обусловлена более низкая влажность осадка из первичных отстойников (91—94%). Максимальная концентрация биопленки после отделения ее от воды во вторичных отстойниках составляет 40—60 г/л, что соответствует влажно-

сти 96—94%. Активный ил откачивается из вторичных отстойников с концентрацией 4—8 г/л, т. е. с влажностью 99,6—99,2%. Максимальная достигаемая концентрация ила после отстаивания составляет около 25—30 г/л (как в илоуплотнителях), однако в таком режиме отстойники никогда не работают. Длительное пребывание ила в условиях отсутствия растворенного кислорода может повлечь глубокие и необратимые изменения биохимической активности ила. Кроме того, в аэрационных сооружениях при пневматической системе аэрации невозможно обеспечить подачу и растворение кислорода со скоростью, равной или превышающей скорость потребления кислорода илом столь высокой концентрации.

Необходимость дальнейшей интенсификации процессов биологической очистки привела к созданию новой схемы сооружений — аэротенков с механическими аэраторами (обеспечивающими снабжение кислородом смеси высокой концентрации — до 10—20 г/л) в совокупности с флотаторами взамен вторичных отстойников, где седиментация ила происходит в условиях полной обеспеченности кислородом. Такая схема сооружений предложена для обработки производственных сточных вод и только в качестве первой ступени. Флотаторы взамен вторичных отстойников для окончательной очистки сточных вод не применяются из-за повышенного выноса ила.

При характеристике работы вторичных отстойников указываются количество и качество (по концентрации сухого вещества) возвратного и избыточного илов. Указывается, кроме того, в какие сооружения распределяется избыточный ил.

Илоуплотнители предназначены для уменьшения объема избыточного активного ила, направляемого на дальнейшую обработку. Оценка работы этих сооружений аналогична технологической оценке работы вторичных отстойников. Фиксируется количество и качество подаваемого ила, уплотненного ила и иловой воды. На городских станциях часто используют илоуплотнители радиального типа, обеспечивающие снижение объема ила в 5—15 раз (или изменение по влажности с 99,2—99,9 до 96,5—98,5%) за время пребывания, равное 9—15 ч.

На илоуплотнители подают ил как из вторичных отстойников с концентрацией сухого вещества 4—8 г/л,

так и из аэротенков с концентрацией 1—2 г/л. 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 величины нагрузки по сухому веществу (1 г сухого вещества на 1 м³/сут). По этой же величине можно сравнивать производительность различных видов уплотнителей или уплотнителя одного вида, но разных диаметров.

Важно учитывать качество иловой воды (по взвешенным веществам, БПК), поскольку передача этой воды на повторную очистку увеличивает нагрузку на очистные сооружения. Обычно количество взвешенных веществ и БПК₅ иловой воды колеблется от 20 до 100 мг/л.

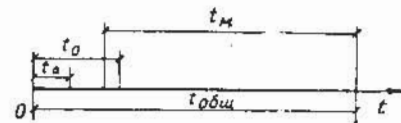
Часть избыточного ила иногда направляют в первичные отстойники с целью интенсифицировать процессы отстаивания. Рекомендуется передавать в первичные отстойники до 50% прироста ила. Расход воздуха на перемешивание воды и ила составляет около 0,5 м³/м³, продолжительность контакта в преаэраторах — 10—20 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 при эксплуатации отстойников, то при характеристике их работы обязательно принимается во внимание изменение состава воды после смешения ее с избыточным илом.

§ 37. КОНТРОЛЬ РАБОТЫ ПРОЧИХ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ

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.

Минерализация ила, или биологическое его окисле-

Рис. 6. Схема процессов биологической очистки воды и минерализации ила



ние, — это процесс окисления клеточного вещества, который происходит в той стадии развития популяции микроорганизмов, когда первоначальные органические загрязнения в сточной воде уже отсутствуют и дальнейшее существование сообщества микроорганизмов обеспечивается окислением внутреннего запаса питательных веществ клеток, внутривидовой борьбой за существование среди бактерий, развитием автотрофных культур нитрификаторов и т. п. (см. § 34).

Процессы полной очистки сточной воды и глубокого окисления ила происходят в основном последовательно и для случая обработки городских стоков приблизительно могут происходить по схеме, приведенной на рис. 6.

При смешении сточной воды с активным илом происходит достаточно быстрое изъятие из воды содержащихся в ней органических загрязнений за время t_0 , что и является собственно очисткой сточной воды. Изъятие загрязнений — комплексный процесс. Сюда входят быстрое усвоение растворенных веществ, усвоение после предварительного гидролитического расщепления сложных соединений и захватывание поверхностью зооглей и иловых частичек нерастворенных примесей и др. Процессы внутриклеточной переработки полученного питания, иначе процессы регенерации клетки или окисления вещества, начинающиеся, естественно, сразу же после того, как только загрязнения поглощены клеткой, длятся дольше (время t_0), чем изъятие загрязнений из воды. За время минерализации ила t_m весьма условно можно принять длительный отрезок времени с началом где-то в стадии внутриклеточной переработки веществ. Процесс этот длится в течение нескольких суток и оканчивается в той стадии, когда развивающиеся вслед за гетеротрофными бактериями бактерии нитрификаторы также проходят пик своего максимального развития. Общее время глубокой очистки воды и минерализации ила $t_{общ}$, составляющее несколько суток, включает в себе все указанные стадии процесса.

При минерализации ила уменьшается масса беззоль-

ного вещества, а следовательно, и масса сухого вещества, что обуславливает увеличение зольности ила. Максимально достигаемые величины зольности ила колеблются в пределах 45—55%. Более глубокого окисления ила получить не удастся, поскольку в его составе преобладающей становится биохимически не усвояемая органическая материя.

Аэробно минерализованный ил не загнивает на воздухе, так как все доступное окислению уже переработано в условиях интенсивного снабжения кислородом воздуха, легко отдает влагу, не обладает неприятными запахами. Такой ил после подсушки и дополнительного обеззараживания может быть передан для использования в сельском хозяйстве.

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 нитратов 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 м³/(м³·ч) вме-

сто 1 м³/(м³·ч) для одного ила. Степень окисления смеси осадка и ила может достигать 30—40%, (по беззольному веществу), а одного ила — 20—30%.

Поля орошения и поля фильтрации — сооружения для очистки сточных вод в естественных условиях, где основным агентом очистки является почва.

Почва заселена огромным числом микроорганизмов, которое в поверхностном слое составляет от 1 до 115 млн. на 1 г. Чем глубже слой, тем меньше в нем микронаселение. Процесс минерализации загрязнений проходит наиболее интенсивно в поверхностных слоях (при благоприятных условиях — до нитрификации), менее напряженно нитрификация продолжается в более глубоких слоях, а в самых глубинных слоях проходят процессы биологической денитрификации и даже десульфатации. Самым активным слоем почвы является верхний толщиной 25—30 см.

Очищенная почвенным методом вода отличается высокой прозрачностью, бесцветностью, отсутствием запаха, низкой БПК, очень малым содержанием бактериальных загрязнений, большой концентрацией нитратов и низкой — азота аммонийных солей. На полях орошения из сточной воды растениями усваивается также часть калия. При любом типе полей в воде после фильтрации не остается фосфатов.

Естественно, что высокое качество очистки обеспечивается при условии соблюдения оптимальных режимов эксплуатации полей по нагрузке и обработке почвы, а также при своевременном ремонте распределительных и отводных систем и т. д. Нагрузка на поля определяется в зависимости от вида почвы, уровня залегания грунтовых вод, географического расположения полей и др. и может изменяться в пределах 50—200 м³/(га·сут). Немаловажное значение имеют климатические условия, которые в отдельные годы могут резко отклоняться от тех средних условий, на которые рассчитаны.

Технологический контроль за процессами естественной очистки сводится к контролю за работой сооружений предварительной механической очистки и собственно полей. Последние характеризуются качеством очищенной воды, для чего полный санитарно-химический анализ воды до и после очистки выполняется обычно 1 раз в 10 дней.

Биологические пруды. Очистка сточных вод в специально устраиваемых прудах — едва ли не самый ранний прием интенсификации естественных процессов самоочищения водоемов. За длительное время развития техники очистки пруды использовались для очистки как исходной сточной воды, так и сточной воды, предварительно осветленной. Пруды применялись для очистки как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Однако в настоящее время рекомендуется использовать пруды лишь для доочистки биологически очищенной сточной воды, при этом может быть применена искусственная аэрация (преимущественно с помощью механических аэраторов).

Сточная вода в прудах проходит очистку в течение нескольких дней, ее продолжительность изменяется в широких пределах в зависимости от климатических условий. Качество очистки в прудах может быть высоким при условии соблюдения оптимальных нагрузок по массе поступающих загрязнений. Контроль качества очищенной воды в прудах осуществляется так же, как и при других типах очистных сооружений. Периодически регистрируется уровень концентрации в воде растворенного кислорода и контролируется состав гидробионтов.

§ 38. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 41. Определить процент циркуляционного (возвратного) ила, если его доза в аэротенке $a_a = 1,6$ г/л, доза возвратного ила $a_n = 5,4$ г/л и прирост ила $Pr = 120$ мг/л.

Решение. Процент возвратного ила α — количество ила Q_n , перекачиваемое в аэротенк из вторичного отстойника, выраженное в процентах по отношению к количеству обрабатываемой воды Q_b , составляет

$$\alpha = (Q_n / Q_b) 100.$$

Для решения задачи составим уравнение баланса массы активного ила в аэротенке. В аэротенк поступают возвратный ил с общей массой $Q_n a_n$ и сточная вода, очистка которой обусловит образование ила в количестве $Q_b Pr$. Следовательно, $Q_n a_n + Q_b Pr = (Q_n + Q_b) a_a$, откуда

$$\alpha = \frac{Q_n}{Q_b} 100 = \frac{a_a - Pr}{a_n - a_a} 100.$$

После подстановки в полученное уравнение заданных величин получим

$$\alpha = \frac{1,6 - 0,12}{5,4 - 1,6} 100 = 39 \, \%.$$

В ряде случаев при технологической оценке работы сооружений величиной прироста или в расчетах можно пренебречь, если она мала по сравнению с дозами ила.

Если анализируется работа аэротенка с регенератором, то вместо величины a_n в уравнении баланса фигурирует величина a_p — доза ила в регенераторе, так как $a_p = a_n$.

Уравнение баланса ила можно переписать относительно любой входящей в него величины x , таким образом, подсчитывать ту из них, значение которой, полученное путем замера или лабораторного анализа, вызывает у технолога сомнение: количество обрабатываемой воды или перекачиваемого ила, прирост ила.

Наиболее надежными, как правило, можно считать данные лабораторного анализа по определению доз ила, поскольку в подсчетах обычно используются средние значения из нескольких разовых определений.

Упражнение 42*. Подсчитать, как изменится нагрузка H на ил, если изменить процент регенерации с 25 на 50% при продолжительности аэрации $t = 6,8$ ч, дозе ила в собственно аэротенке $a_a = 1,4$ г/л, в регенераторе $a_p = 5,6$ г/л, зольности ила $Z_l = 28\%$. БПК₅ воды, поступающей в аэротенк, равна 120 мг/л.

Решение. Нагрузка на ил равна массе загрязнений (учитываемых в данном примере величиной БПК₅), приходящихся за сутки на 1 г беззольного вещества ила.

Масса подаваемых за сутки загрязнений равна $Q_b \text{ БПК}_5$.

Количество беззольного вещества ила в аэрационной системе аэротенка с регенератором составляет

$$W a_{cp} (1 - 3 \alpha),$$

где W — объем системы; a_{cp} — средняя доза ила в системе.

Следовательно, нагрузка H на ил будет

$$H = \frac{Q_b \text{ БПК}_5}{W a_{cp} (1 - 3 \alpha)} = \frac{24 \text{ БПК}_5}{a_{cp} (1 - 3 \alpha) t}.$$

Подсчитаем величину a_{cp} для системы с 25%-ной регенерацией. Нетрудно видеть, что

$$a_{cp} = a_a \cdot 0,75 + a_p \cdot 0,25 = 1,4 \cdot 0,75 + 5,6 \cdot 0,25 = 2,45 \text{ г/л.}$$

Для случая с 50%-ной регенерацией величина a_{cp} составит:

$$a_{cp} = 1,4 \cdot 0,5 + 5,6 \cdot 0,5 = 3,5 \text{ г/л.}$$

Поскольку количество ила возрастает, то при прочих условиях, остающихся постоянными, нагрузка на ил уменьшится во столько раз, во сколько увеличилась средняя доза ила.

Нагрузка на ил в миллиграммах БПК₅ на 1 г беззольного вещества в сутки для аэротенка с 25%-ной регенерацией составляет

$$H = \frac{24 \cdot 120}{6,8 \cdot 2,45 (1 - 0,28)} = 240,$$

а для аэротенка с 50%-ной регенерацией

$$H = \frac{24 \cdot 120}{6,8 \cdot 3,5 (1 - 0,28)} = 167.$$

* Здесь и в остальных упражнениях используются те же буквенные (условные) обозначения, что и в упражнении 41.

ного вещества, а следовательно, и масса сухого вещества, что обуславливает увеличение зольности ила. Максимально достигаемые величины зольности ила колеблются в пределах 45—55%. Более глубокого окисления ила получить не удастся, поскольку в его составе преобладающей становится биохимически не усвояемая органическая материя.

Аэробно минерализованный ил не загнивает на воздухе, так как все доступное окислению уже переработано в условиях интенсивного снабжения кислородом воздуха, легко отдает влагу, не обладает неприятными запахами. Такой ил после подсушки и дополнительного обеззараживания может быть передан для использования в сельском хозяйстве.

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 нитратов 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 м³/(м³·ч) вме-

сто 1 м³/(м³·ч) для одного ила. Степень окисления смеси осадка и ила может достигать 30—40%, (по беззольному веществу), а одного ила — 20—30%.

Поля орошения и поля фильтрации — сооружения для очистки сточных вод в естественных условиях, где основным агентом очистки является почва.

Почва заселена огромным числом микроорганизмов, которое в поверхностном слое составляет от 1 до 115 млн. на 1 г. Чем глубже слой, тем меньше в нем микронаселение. Процесс минерализации загрязнений проходит наиболее интенсивно в поверхностных слоях (при благоприятных условиях — до нитрификации), менее напряженно нитрификация продолжается в более глубоких слоях, а в самых глубинных слоях проходят процессы биологической денитрификации и даже десульфатации. Самым активным слоем почвы является верхний толщиной 25—30 см.

Очищенная почвенным методом вода отличается высокой прозрачностью, бесцветностью, отсутствием запаха, низкой БПК, очень малым содержанием бактериальных загрязнений, большой концентрацией нитратов и низкой — азота аммонийных солей. На полях орошения из сточной воды растениями усваивается также часть калия. При любом типе полей в воде после фильтрации не остается фосфатов.

Естественно, что высокое качество очистки обеспечивается при условии соблюдения оптимальных режимов эксплуатации полей по нагрузке и обработке почвы, а также при своевременном ремонте распределительных и отводных систем и т. д. Нагрузка на поля определяется в зависимости от вида почвы, уровня залегания грунтовых вод, географического расположения полей и др. и может изменяться в пределах 50—200 м³/(га·сут). Немаловажное значение имеют климатические условия, которые в отдельные годы могут резко отклоняться от тех средних условий, на которые рассчитаны.

Технологический контроль за процессами естественной очистки сводится к контролю за работой сооружений предварительной механической очистки и собственно полей. Последние характеризуются качеством очищенной воды, для чего полный санитарно-химический анализ воды до и после очистки выполняется обычно 1 раз в 10 дней.

Биологические пруды. Очистка сточных вод в специально устраиваемых прудах — едва ли не самый ранний прием интенсификации естественных процессов самоочищения водоемов. За длительное время развития техники очистки пруды использовались для очистки как исходной сточной воды, так и сточной воды, предварительно осветленной. Пруды применялись для очистки как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Однако в настоящее время рекомендуется использовать пруды лишь для доочистки биологически очищенной сточной воды, при этом может быть применена искусственная аэрация (преимущественно с помощью механических аэраторов).

Сточная вода в прудах проходит очистку в течение нескольких дней, ее продолжительность изменяется в широких пределах в зависимости от климатических условий. Качество очистки в прудах может быть высоким при условии соблюдения оптимальных нагрузок по массе поступающих загрязнений. Контроль качества очищенной воды в прудах осуществляется так же, как и при других типах очистных сооружений. Периодически регистрируется уровень концентрации в воде растворенного кислорода и контролируется состав гидробионтов.

§ 38. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 41. Определить процент циркуляционного (возвратного) ила, если его доза в аэротенке $a_a = 1,6$ г/л, доза возвратного ила $a_v = 5,4$ г/л и прирост ила $Pr = 120$ мг/л.

Решение. Процент возвратного ила α — количество ила Q_n , перекачиваемое в аэротенк из вторичного отстойника, выраженное в процентах по отношению к количеству обрабатываемой воды Q_w , составляет

$$\alpha = (Q_n / Q_w) 100.$$

Для решения задачи составим уравнение баланса массы активного ила в аэротенке. В аэротенк поступают возвратный ил с общей массой $Q_n a_v$ и сточная вода, очистка которой обусловит образование ила в количестве $Q_w Pr$. Следовательно, $Q_n a_v + Q_w Pr = (Q_n + Q_v) a_a$, откуда

$$\alpha = \frac{Q_n}{Q_w} 100 = \frac{a_a - Pr}{a_v - a_a} 100.$$

После подстановки в полученное уравнение заданных величин получим

$$\alpha = \frac{1,6 - 0,12}{5,4 - 1,6} 100 = 39 \, \%.$$

В ряде случаев при технологической оценке работы сооружений величинной прироста ила в расчетах можно пренебречь, если она мала по сравнению с дозами ила.

Если анализируется работа аэротенка с регенератором, то вместо величины a_v в уравнении баланса фигурирует величина a_p — доза ила в регенераторе, так как $a_p = a_v$.

Уравнение баланса ила можно переписать относительно любой входящей в него величины n , таким образом, подсчитывать ту из них, значение которой, полученное путем замера или лабораторного анализа, вызывает у технолога сомнение: количество обрабатываемой воды или перекачиваемого ила, прирост ила.

Наиболее надежными, как правило, можно считать данные лабораторного анализа по определению доз ила, поскольку в подсчетах обычно используются средние значения из нескольких разовых определений.

Упражнение 42*. Подсчитать, как изменится нагрузка H на ил, если изменить процент регенерации с 25 на 50% при продолжительности аэрации $t = 6,8$ ч, дозе ила в собственно аэротенке $a_a = 1,4$ г/л, в регенераторе $a_p = 5,6$ г/л, зольности ила $Z_l = 28\%$. БПК₅ воды, поступающей в аэротенк, равна 120 мг/л.

Решение. Нагрузка на ил равна массе загрязнений (учитываемых в данном примере величиной БПК₅), приходящихся за сутки на 1 г беззольного вещества ила.

Масса подаваемых за сутки загрязнений равна $Q_w \text{БПК}_5$.

Количество беззольного вещества ила в аэрационной системе аэротенка с регенератором составляет

$$W a_{cp} (1 - 3 \alpha),$$

где W — объем системы; a_{cp} — средняя доза ила в системе.

Следовательно, нагрузка H на ил будет

$$H = \frac{Q_w \text{БПК}_5}{W a_{cp} (1 - 3 \alpha)} = \frac{24 \text{ БПК}_5}{a_{cp} (1 - 3 \alpha) t}.$$

Подсчитаем величину a_{cp} для системы с 25%-ной регенерацией. Нетрудно видеть, что

$$a_{cp} = a_a \cdot 0,75 + a_p \cdot 0,25 = 1,4 \cdot 0,75 + 5,6 \cdot 0,25 = 2,45 \text{ г/л}.$$

Для случая с 50%-ной регенерацией величина a_{cp} составит:

$$a_{cp} = 1,4 \cdot 0,5 + 5,6 \cdot 0,5 = 3,5 \text{ г/л}.$$

Поскольку количество ила возрастает, то при прочих условиях, остающихся постоянными, нагрузка на ил уменьшится во столько раз, во сколько увеличилась средняя доза ила.

Нагрузка на ил в миллиграммах БПК₅ на 1 г беззольного вещества в сутки для аэротенка с 25%-ной регенерацией составляет

$$H = \frac{24 \cdot 120}{6,8 \cdot 2,45 (1 - 0,28)} = 240,$$

а для аэротенка с 50%-ной регенерацией

$$H = \frac{24 \cdot 120}{6,8 \cdot 3,5 (1 - 0,28)} = 167.$$

* Здесь и в остальных упражнениях используются те же буквенные (условные) обозначения, что и в упражнении 41.

Уменьшение нагрузки в данном примере в 1,4 раза весьма существенно и должно привести либо к увеличению степени очистки сточной воды, если она еще не была достаточно глубокой, либо к некоторому уменьшению прироста ила за счет развития процессов его минерализации, что можно зафиксировать появлением в очищенной сточной воде окисленных форм азота — нитритов и нитратов. Для прохождения процессов нитрификации необходимо, однако, чтобы в воде не присутствовали примеси, являющиеся токсичными именно для бактерий-нитрификаторов.

При оценке работы аэрационных сооружений полезно пользоваться также понятием нагрузки на аэротенк N_W , измеряемой в граммах БПК₅ или в граммах БПК_{полн}, приходящейся на 1 м³ объема сооружения за сутки. Нагрузка на единицу объема аэротенка может быть подсчитана следующим образом:

$$N_W = Q_B \text{ БПК} / W = 24 \text{ БПК} / t.$$

В этом примере нагрузка на аэротенк одинакова для обоих вариантов технологической схемы и составляет 424 г БПК₅/(м³·сут).

Упражнение 43. Определить скорость окисления ρ , если в аэротенк с 33%-ной регенерацией поступает сточная вода с БПК₅, равной 150 мг/л, а выходит с БПК₅ = 12 мг/л. Продолжительность аэрации $t = 4,3$ ч; $a_x = 1,4$ г/л; $a_p = 6,2$ г/л; $Зл = 25\%$.

Решение. Подсчитаем нагрузку на единицу объема аэротенка:

$$N_W = 24 \text{ БПК}_5 / t = 24 \cdot 150 / 4,3 = 837 \text{ г БПК}_5 / (\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Определим величину a_{cp} в системе аэротенка с 33%-ной регенерацией:

$$a_{cp} = a_x \cdot 0,667 + a_p \cdot 0,333 = 1,4 \cdot 0,667 + 6,2 \cdot 0,333 = 3 \text{ г/л}.$$

Нагрузка на ил (на 1 г беззольного вещества) в сутки

$$H = \frac{N_W}{a_{cp} (1 - Зл)} = \frac{837 \cdot 1000}{3000 (1 - 0,25)} = 372 \text{ мг БПК}_5.$$

Эффективность очистки по БПК₅

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{БПК}_5} &= (\text{БПК}_{5 \text{ пост}} - \text{БПК}_{5 \text{ вых}}) / \text{БПК}_{5 \text{ пост}} = (150 - 12) / 150 = \\ &= 0,92, \text{ или } 92 \%. \end{aligned}$$

Следовательно, окислительная мощность ила OM 1 г беззольного вещества в сутки составит

$$OM = H \varepsilon_{\text{БПК}_5} = 372 \cdot 0,92 = 342 \text{ мг}.$$

и, наконец, скорость окисления будет

$$\rho = OM / 24 = 342 / 24 = 14,2 \text{ мг БПК}_5 / \text{ч}.$$

Упражнение 44. Определить возраст ила B , если прирост ила $Pr = 200$ мг/л, средняя его доза $a_{cp} = 2,4$ г/л, продолжительность аэрации $t = 5$ ч.

Решение. За сутки нарастает масса ила, равная $Q_B Pr$. В аэротенке находится масса ила $a_{cp} W$. Полная ее смена произойдет за время

$$B = a_{cp} W / Q_B Pr = a_{cp} t / Pr \cdot 24 = 2,4 \cdot 5 / 0,2 \cdot 24 = 2,5 \text{ сут}.$$

Для оценки работы аэротенка недостаточно установить только

возраст ила. Необходимо также знать нагрузку на ил, эффективность очистки и т. п. Однако нетрудно видеть, что при увеличении продолжительности очистки возраст ила также увеличивается. Ориентировочно можно принять, что ил при неполной очистке сточных вод имеет возраст менее 2 сут. Возраст ила при полной биологической очистке колеблется от 2 до 8 сут, а при возрасте ила более 8 сут в аэротенке обеспечивается одновременно аэробная минерализация органического вещества ила.

Упражнение 45. Подсчитать технологические показатели работы аэротенков и дать оценку полученным результатам.

Приняты трехкоридорные аэротенки с 33%-ной регенерацией. Размеры аэротенка: ширина коридора $b = 6$ м, рабочая глубина $h = 4,4$ м, длина $l = 54$ м.

Установлено, что за отчетный период (30 дней) в среднем за сутки работало 5,7 аэротенка. Очищено сточной воды за месяц $Q_{\text{общ}} = 2340$ тыс. м³ с начальной БПК₅ = 214 мг/л, ХПК = 283 мг/л, концентрацией взвешенных веществ $C_{\text{зв}} = 190$ мг/л. Окисленные формы азота отсутствовали. Температура воды 20°C.

В результате очистки получена сточная вода с БПК₅ = 13 мг/л, ХПК = 96 мг/л, концентрацией вынесенного ила 18 мг/л и азота нитритов 3,9 мг/л.

Дозы ила в среднем за отчетный период составляли: $a_x = 1,8$ г/л, $a_p = 5,9$ г/л. Индекс ила равен 96 мл/г, зольность ила составляла 29%. На очистку затрачено воздуха 21 294 тыс. м³ в месяц. Температура воздуха 20°C. Концентрации, мг/л, растворенного кислорода: в собственно аэротенке 7,2, в очищенной сточной воде 5,7 и регенераторе 1,6.

На подачу воздуха затрачено 548 тыс. кВт·ч в месяц электроэнергии. Перекачано циркуляционного ила 936 тыс. м³. Прирост ила 17,8 т на 100 тыс. м³ обработанной воды.

Решение. В условии задачи показаны средние отчетные данные о работе аэротенков за один месяц их эксплуатации. По характеристикам качества очищенной сточной воды можно видеть, что была обеспечена высокая степень очистки, при этом достаточно глубоко проходили и процессы нитрификации аммонийного азота.

Проанализировать данные о работе сооружения — значит показать соответствие (или несоответствие) всех технологических параметров, характеризующих проходящие в нем процессы. Поэтому вначале по основным отчетным данным следует провести ряд расчетов и на основе отчетных и расчетных параметров дать комплексную оценку работы сооружения.

Определим расчетом основные технологические показатели работы аэрационной системы.

1. Определим среднюю продолжительность аэрации

Объем W одного аэротенка

$$W = (b h l) 3 = (6 \cdot 4,4 \cdot 54) 3 = 4276,8 \approx 4277 \text{ м}^3.$$

Общий объем всех ежесуточно работающих аэротенков

$$W_{\text{общ}} = W \cdot 5,7 = 4277 \cdot 5,7 = 24 379 \text{ м}^3.$$

Среднечасовой приток воды Q_B в аэротенки определяют путем деления общего количества обработанной сточной воды на число часов в отчетном периоде:

$$Q_B = Q_{\text{общ}} / 30 \cdot 24 = 2 \cdot 340 000 / 720 = 3250 \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Средняя продолжительность аэрации

$$t = W_{\text{общ}}/Q_{\text{в}} = 24379/3250 = 7,5 \text{ ч.}$$

2. Подсчитаем время пребывания воды в собственно аэротенке t_a путем деления объема W_a на сумму часовых притоков воды и циркуляционного ила.

Объем собственно аэротенка при 33%-ной регенерации

$$W_a = W_{\text{общ}} \cdot 0,67 = 24379 \cdot 0,67 = 16344 \text{ м}^3.$$

Часовой расход циркуляционного ила

$$Q_{\text{и}} = 936000 : 720 = 1300 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Наконец, время пребывания смеси в аэротенке

$$t_a = W_a / (Q_{\text{в}} + Q_{\text{и}}) = 16344 / (3250 + 1300) = 3,6 \text{ ч.}$$

3. Время пребывания t_p циркуляционного ила в регенераторе объемом W_p

$$t_p = W_p / Q_{\text{и}} = 0,33 W_{\text{общ}} / Q_{\text{и}} = 0,33 \cdot 24379 / 1300 = 6,2 \text{ ч.}$$

4. Общее время окисления снятых загрязнений

$$t_0 = t_a + t_p = 3,6 + 6,2 = 9,8 \text{ ч.}$$

5. Нагрузка на единицу объема аэротенка по БПК₅

$$N_W = Q_{\text{в}} \cdot 24 \text{ БПК}_5 / W_{\text{общ}} = 24 \text{ БПК}_5 / t = 24 \cdot 214 / 7,5 = 685 \text{ г БПК}_5 / (\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

6. Средняя доза ила в системе

$$a_{\text{ср}} = a_a \cdot 0,67 + a_p \cdot 0,33 = 1,8 \cdot 0,67 + 5,9 \cdot 0,33 = 3,15 \text{ г/л.}$$

7. Нагрузка на 1 г беззольного вещества ила по БПК₅

$$N = \frac{N_W}{a_{\text{ср}} (1 - \beta)} = \frac{685 \cdot 1000}{3150 (1 - 0,29)} = 306 \text{ мг БПК}_5,$$

8. Эффективность очистки воды по БПК₅

$$\varepsilon_{\text{БПК}_5} = (214 - 13) / 214 = 0,94, \text{ или } 94 \%.$$

9. Окислительная мощность OM 1 г беззольного вещества ила по БПК₅

$$OM = N \varepsilon_{\text{БПК}_5} = 306 \cdot 0,94 = 288 \text{ мг.}$$

10. Скорость окисления 1 г беззольного вещества ила

$$\rho = OM : 24 = 288 : 24 = 12 \text{ мг/(г} \cdot \text{ч).}$$

1. Расход воздуха D на очистку 1 м³ воды

$$D = 21294 : 2340 = 9,1 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

12. Расход воздуха на 1 кг снятой БПК₅

$$D_{\text{БПК}} = D / (\text{БПК}_{5 \text{ пост}} - \text{БПК}_{5 \text{ очисл}}) = 9,1 / (0,214 - 0,013) = 45,2 \text{ м}^3/\text{кг.}$$

13. Интенсивность аэрации

$$I = D h / t = 9,1 \cdot 4,4 / 7,5 = 5,3 \text{ м}^3 / (\text{м}^3 \cdot \text{ч}).$$

14. Определим процент использования кислорода воздуха — отношение количества потребленного кислорода к количеству поданного, принимаемому за 100%.

Подсчитаем сначала количество использованного кислорода. Кислород был использован на снижение БПК, нитрификацию аммонийного азота и насыщение воды растворенным кислородом. При учете количества кислорода на окисление органических загрязнений, т. е. на снижение БПК, правильнее пользоваться величиной БПК_{полн.}. При отсутствии специальных экспериментальных данных можно воспользоваться следующими коэффициентами пересчета (для городских сточных вод): для поступающей воды 1,16 и для очищенной 1,67. Следовательно, в данном примере поступающая вода имела БПК_{полн.} равную: $214 \cdot 1,16 = 248 \text{ мг/л}$, а очищенная — $13 \cdot 1,67 = 21,7 \approx 22 \text{ мг/л}$. Снижение БПК_{полн.} таким образом, составило:

$$248 - 22 = 226 \text{ г/л.}$$

На нитрификацию 1 мг азота до нитритов затрачивается 2,29 мг О₂, а до нитратов — 3,4 мг О₂. На процесс нитрификации затрачено

$$2,29 \cdot 0,8 + 3,4 \cdot 3,9 = 14,3 \text{ мг О}_2/\text{л.}$$

В целом при очистке воды с учетом растворенного кислорода в очищенной воде 5,7 мг/л было использовано кислорода

$$226 + 14,3 + 5,7 = 246 \text{ мг/л, или } 246 \text{ г/м}^3.$$

Подсчитаем количество поданного кислорода. На 1 м³ воды подавалось 9,1 м³ воздуха, или 10966 г (при 20°C плотность воздуха равна 1,205 г/л). Кислорода в составе воздуха было 23,1% по массе, следовательно, на 1 м³ обрабатываемой воды было подано кислорода

$$10966 \cdot 0,231 = 2534 \text{ г/м}^3.$$

Если подано 2534 г О₂/м³, а потреблено 246 г О₂/м³, то использование кислорода воздуха составляет:

$$(246/2534) \cdot 100 = 9,7 \%.$$

15. Затрата электроэнергии на 1 кг снятой БПК₅

$$\frac{548000}{2350 (214 - 13)} = 1,17 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг.}$$

Для составления более полной оценки работы сооружения иногда полезно сопоставить полученные отчетные данные с расчетными параметрами сооружения. Для этого произведем некоторые проверочные расчеты с использованием рекомендаций для проектирования по СНиП 2.04.03-85.

16. Уточним количество перекачиваемого циркуляционного ила:

$$Q_{\text{и}} = \alpha Q_{\text{в}} = 0,4 \cdot 2340 = 936 \text{ тыс. м}^3/\text{мес.}$$

при $\alpha = (a_a - \beta \rho) / (a_p - a_a) = (1,8 - 0,178) / (5,9 - 1,8) = 0,4$.

17. Подсчитаем необходимую продолжительность обработки воды по формулам, рекомендуемым СНиП 2.04.03-85, приняв фактические дозы ила при работе аэротенка. Значения БПК₅ должны быть переведены в БПК_{полн.}, а скорость окисления определена по формуле (49) СНиП 2.04.03-85. Тогда

$$t_a = \frac{2,5}{\alpha_a^{0,5}} \lg \frac{L_a}{L_t} = \frac{2,5}{1,8^{0,5}} \lg \frac{248}{22} = 2 \text{ ч};$$

$$t_0 = \frac{L_a - L_t}{\alpha \alpha_p (1 - 3,4) \rho} = \frac{248 - 22}{0,4 \cdot 5,9 (1 - 0,29) 21,4} = 6,2 \text{ ч};$$

$$t_p = t_0 - t_a = 6,2 - 2 = 4,2 \text{ ч};$$

$$t = t_a (1 + \alpha) + t_p \alpha = 2 \cdot 1,4 + 4,2 \cdot 0,4 = 4,5 \text{ ч}.$$

18. Определим максимальный прирост ила:

$$P_p = 0,8 C_{\text{взв}} + 0,3 L_a = 0,8 \cdot 190 + 0,3 \cdot 248 = 226 \text{ мг/л, или } 22,6 \text{ т на } 100 \text{ тыс. м}^3 \text{ сточной воды.}$$

19. Рассчитаем расход воздуха по СНиП 2.04.03-85:

$$D = \frac{Z (L_a - L_t)}{K_1 K_2 n_1 n_2 (C_p - C)} = \frac{1,1 (248 - 22)}{1,47 \cdot 2,68 \cdot 1 \cdot 0,85 (11,1 - 2)} = 8,2 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

После выполнения расчетов можно дать оценку эффективности работы сооружения.

На очистку поступала вода со средней концентрацией загрязнений. Из общей суммы органических веществ, учтенных величиной ХПК, биохимически окисляемые составляют большой процент (более 75%), что является предпосылкой возможности глубокой очистки сточной воды. Обращает, однако, внимание, что концентрация взвешенных веществ, равная 190 мг/л, выше норм, рекомендуемых СНиП для аэротенков. Повышенная концентрация взвешенных веществ может быть результатом недостаточной эффективности работы первичных отстойников.

Аэротенки работают в условиях относительно низких нагрузок на ил (306 мг БПК₅ на 1 г беззольного вещества в сутки) и имеют весьма удовлетворительный кислородный режим, о чем свидетельствуют данные по концентрации растворенного кислорода в системе. Даже в регенераторе при высокой дозе в нем ила, равной 5,9 г/л, удается поддерживать концентрацию кислорода на уровне 1,6 мг/л, что вполне достаточно для соблюдения условий аэробноз.

Условия работы аэротенков — благоприятный характер загрязнений, низкие нагрузки на ил, удовлетворительный кислородный режим, высокая температура воды и воздуха, достаточная интенсивность перемешивания смеси, соответствующая высокой интенсивности продувки воздуха [$I=5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$] обеспечили не только глубокую очистку воды по БПК₅, но и развитие процессов нитрификации. Учитывая последнее обстоятельство — наличие в очищенной воде нитритов и нитратов, можно с уверенностью говорить о высоком качестве воды в аэрационных сооружениях.

Интересно отметить, что в очищенной воде резко изменилось соотношение БПК и ХПК. Оно составило 14% вместо 75% в поступающей сточной воде. Это говорит о том, что в сточной воде остались в основном лишь биохимически неокисляемые примеси.

Несколько велик вынос ила — 18 мг/л. Поскольку седиментационные свойства ила удовлетворительны, о чем свидетельствует низкий индекс ила, равный 96 мг/л, то полученный результат предпо-

жительно может быть объяснен неудовлетворительной эксплуатацией вторичных отстойников.

Если сравнить время обработки воды по эксплуатационным данным с рекомендуемым СНиП 2.04.03-85 на те же конкретные условия, можно видеть, что собственно очистка воды продолжалась дольше, чем планируется нормами, — 3,6 ч вместо 2 ч; окисление загрязнений продолжалось также дольше — 9,8 ч вместо 6,2 и общее расчетное время процесса могло бы быть всего 4,5 ч вместо 6,2 ч. Следствием увеличения длительности процесса и низких нагрузок на ил при прочих благоприятных условиях является тот факт, что кроме окисления углеродсодержащих веществ происходят и процессы нитрификации. Можно ожидать, что прирост ила будет меньше, чем при очистке без нитрификации. В самом деле, подсчитанный по рекомендациям СНиП 2.04.03-85 ожидаемый прирост ила составляет 226 мг/л, а в натуральных условиях — 178 мг/л. Очевидно, что в системе кроме очистки сточной воды происходят процессы минерализации ила, и ориентировочная степень окисления ила составляет:

$$\frac{226 - 178}{226} 100 = 21 \text{ \%}.$$

В полном соответствии с приведенными выше соображениями по времени процесса и нагрузке расход воздуха несколько выше, чем следует из расчета по нормам, но степень использования кислорода (около 10%) очень высока для системы с фильтросными пластинами, что следует расценивать как положительный результат. Заметим, что при учете процента использования кислорода не принято во внимание то количество кислорода, которое пошло на предполагаемое окисление активного ила. Можно подсчитать, что на окисление 48 мг/л ила теоретически могло быть затрачено кислорода

$$1,4 \cdot 48 (1 - 0,29) = 48 \text{ мг О}_2/\text{л},$$

где 1,4 — теоретическая удельная ХПК ила.

Оценивая полученные результаты в целом, можно сделать следующие выводы:

1) система обеспечивает глубокую очистку воды и частичное окисление ила;

2) затраты электроэнергии на очистку воды находятся в пределах обычной нормы (0,9—1,4 кВт·ч/кг БПК₅);

3) система имеет определенный запас по производительности, который можно использовать путем снижения процессов минерализации и нитрификации;

4) необходим анализ работы системы по процессу отстаивания.

Упражнение 46. Определить необходимый процент рециркуляции очищенной воды, имеющей БПК₅ = 18 мг/л, для снижения БПК₅ поступающей воды на биофильтр с 375 до 150 мг/л.

Решение. По определению процентом рециркуляции n называется отношение расхода очищенной воды q , взятой для разбавления, к расходу поступающей воды Q , т. е. $n = q/Q$.

Смешиваются загрязнения поступающей сточной воды в количестве $Q \cdot 375$ и разбавляющей в количестве $q \cdot 18$. В смеси двух потоков воды $(Q+q)$ масса загрязнений по условию задачи должна составлять $(Q+q) 150$. Следовательно, имеем:

$$Q \cdot 375 + q \cdot 18 = (Q + q) 150,$$

откуда определяем

$$n = \frac{375 - 150}{150 - 18} = 1,7.$$

Если, например, на очистку поступает 20 тыс. м³/сут сточной воды, то рециркуляционный расход очищенной воды составит 34 тыс. м³/сут, а всего на биофильтры будет поступать сточной воды 54 тыс. м³/сут, что в 2,7 раза увеличит гидравлическую нагрузку по воде, т. е. скорость фильтрования. В то же время нагрузка по загрязнению увеличивается незначительно. В данном примере в поступающей сточной воде масса загрязнений составляет

$$375 \cdot 20 = 7500 \text{ кг/сут (по БПК}_5\text{)},$$

а в рециркуляционном расходе всего

$$18 \cdot 34 = 612 \text{ кг/сут,}$$

что менее 10% первоначального количества.

Таким образом, всего на биофильтр будет поступать загрязнений по БПК₅ = 8112 кг/сут при концентрации 150 мг/л.

Упражнение 47. Подсчитать объем свободного пространства, приняв материал загрузки биофильтра в виде шара крупностью d .

Решение. Представим себе компактную упаковку шаров (рис. 7). Как следует из этого рисунка, в объеме очерченного параллелепипеда (на плоскостном рисунке показана одна грань этой фигуры — прямоугольник) полностью уместятся два шара — один в центре и по углам — 8 частей (по 1/8 объема шара). Объем одного шара $V_1 = \frac{4}{3}\pi d^3/6$, а двух шаров $V_2 = \pi d^3/3$.

Объем параллелепипеда $W = AD \cdot DC^2$. Высота AD может быть выражена через диаметр шара

$$AD = \sqrt{DB^2 - AB^2} = \sqrt{(2d)^2 - d^2} = d\sqrt{3}.$$

Поскольку $DC = d$, то $W = d^3\sqrt{3}$.

Из общего объема сооружения W на материал загрузки приходится объем V_2 , а на свободное пространство — $W - V_2$, или

$$\frac{W - V_2}{W} 100 = \frac{d^3\sqrt{3} - (\pi d^3/3)}{d^3\sqrt{3}} 100 = 39,6\%.$$

Из полученного результата следует, что независимо от крупности загрузки на свободное пространство приходится около 40% объема биофильтра.

Упражнение 48. Сравнить окислительную мощность капельного и высоконагружаемого биофильтров, если у капельного она составляет 230 г БПК₅/(м³·сут), а у высоконагружаемого — 2640 г БПК₅/(м³·сут). Высота первого фильтра 3 м, а второго 4 м.

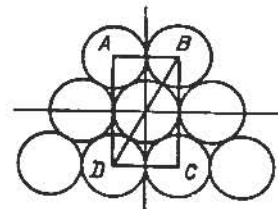
Решение. Для сравнения работоспособности двух биофильтров окислительную мощность OM нужно выразить в одинаковых единицах измерения.

Чтобы привести величину OM капельного биофильтра к 1 м² площади поверхности, следует мощность, отнесенную к 1 м³ объема, умножить на высоту сооружения:

$$230 \cdot 3 = 690 \text{ г БПК}_5\text{/(м}^2\text{·сут)}.$$

Второй вариант получения сравнимых величин заключается в приведении величины окислительной мощности OM высоконагружаемого биофильтра к 1 м³ его объема:

Рис. 7. Упаковка материала загрузки в биофильтре



$$2640 : 4 = 660 \text{ г БПК}_5\text{/(м}^3\text{·сут)}.$$

Любой из этих вариантов убеждает нас в том, что OM высоконагружаемого биофильтра почти в 3 раза выше, чем капельного.

Однако из сравнения только этих параметров делать вывод о бесспорном преимуществе высоконагружаемого биофильтра нельзя. Для составления объективного заключения нужно учесть все условия работы сооружений — характеристику загрязнений, глубину очистки воды, температуру воды, соблюдение технических требований эксплуатации и т. п.

Упражнение 49. Как изменится работоспособность и качество очистки сточной воды на высоконагружаемом биофильтре, если при прочих равных условиях увеличить количество подаваемого воздуха с 8 до 12 м³/м³.

Решение. Ответ на поставленный вопрос достаточно просто найти, если проанализировать табл. 38 СНиП 2.04.03-85. Допустим, имеется биофильтр высотой 4 м, работающий при температуре воды 12°C с начальной БПК_{полн} = 150 мг/л. При нагрузке по воде (гидравлической нагрузке) 20 м³/(м²·ч) и количестве подаваемого воздуха 8 м³/м³ этот биофильтр обеспечит качество очистки воды до БПК_{полн}:

$$150 : 7,54 = 19,8 \approx 20 \text{ мг/л.}$$

Если при тех же условиях увеличить количество воздуха до 12 м³/м³, эффективность очистки заметно возрастет. БПК_{полн} очищенной воды будет

$$150 : 10,4 = 14,3 \approx 14 \text{ мг/л.}$$

Если по условиям работы биофильтра не требуется увеличения глубины очистки воды, то можно, обеспечивая прежнее качество (20 мг/л), почти в 1,5 раза увеличить количество очищаемой сточной воды. В самом деле, при гидравлической нагрузке 30 м³/(м²·ч) биофильтр обеспечит очистку до БПК_{полн}: $150 : 7,69 = 19,5 \sim 20$ мг/л. Изменение эффективности работы биофильтра при других исходных условиях может оказаться иным, но во всех случаях увеличение подачи воздуха (до 12 м³/м³) позволяет либо повысить качество очищенной воды, либо увеличить производительность биофильтра.

Упражнение 50. Сравнить продолжительность отстаивания в радиальных отстойниках ($D = 18$ м, $h = 3,1$ м), используемых в качестве вторичных отстойников и илоуплотнителей, при гидравлической нагрузке q_0 на вторичные отстойники, равной 1,8 м³/(м²·ч).

Определить, как изменится объем избыточного ила после уплотнения, если он подается с концентрацией 5,2 г/л, а удаляется с влажностью 97,4%.

Решение. Продолжительность пребывания смеси в отстойнике может быть подсчитана делением высоты сооружения на гидравлическую нагрузку.

Поэтому продолжительность отстаивания $t_{отст}$ составит

$$t_{отст} = h : q_0 = 3,1 : 1,8 = 1,72 \text{ ч.}$$

а продолжительность уплотнения $t_{упл}$ ила

$$t_{упл} = 3,1 : 0,25 = 12,4 \text{ ч.}$$

Объем ила после уплотнения уменьшится в число раз, равное отношению концентрации уплотненного ила к концентрации поступающего, т. е. $26 : 5,2 = 5$ раз.

Упражнение 51. Определить, какой процент избыточный ил $Q_{изб}$ составляет от объема поступающей воды $Q_в$. Приrost ила составляет 200 мг/л, влажность уплотненного ила 97%.

Решение. Из общего объема прироста ила часть его удаляется из сооружений с очищенной сточной водой. При полной биологической очистке вынос ила из вторичных отстойников можно принять равным 20 мг/л. Таким образом, в виде избыточного ила остается 180 мг/л. Если пренебречь потерей ила со сливной водой из флокулянтелей, то оставшиеся 180 мг/л после уплотнения до концентрации 30 г/л (что соответствует влажности 97%) будут иметь объем

$$0,18 : 30 = 0,006 \text{ л/л,}$$

т. е. с каждого литра очищаемой воды будет получено 0,006 л, или 0,6% ила. В данном примере $Q_{изб} = 0,006 Q_в$.

Глава VIII

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ДООЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

§ 39. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ДООЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Термин «доочистка» применяется для обозначения самых разнообразных методов дополнительной (после биологической) очистки сточной воды с целью как повышения ее качества по основным показателям (БПК, взвешенным веществам), так и извлечения таких примесей, которые полностью не удаляются биохимическим путем.

Методы доочистки воды могут быть физико-химическими, химическими и биохимическими. В качестве примеров методов первой группы могут быть названы фильтрование, коагуляция, сорбция; второй — озонирование, хлорирование; третьей — биохимическая денитрификация.

Наиболее широко принята классификация методов

доочистки, основанная на указании вида удаляемых загрязнений. Ниже рассматриваются вопросы технологического контроля ряда методов доочистки, наиболее часто используемых в практике обработки сточных вод.

Удаление взвешенных веществ и снижение БПК. В Советском Союзе доочистка сточной воды от остаточных взвешенных веществ в крупном промышленном масштабе впервые осуществлена на Зеленоградской станции аэрации. Доочистка сточной воды производится фильтрованием на фильтрах с двухслойной загрузкой из песка и антрацита. До фильтров вода проходит систему барабанных сеток с ячейками размером $0,5 \times 0,5$ мм, где задерживаются крупные плавающие примеси — пух, перья, листья, полиэтиленовые пленки и т. п., а также часть взвешенных веществ, если их концентрация высокая (более 15—20 мг/л).

При фильтровании на материале загрузки задерживается активный ил, вынесенный с очищенной водой из вторичных отстойников. Поскольку сам активный ил может окисляться биохимическим путем, то он, как и другие органические вещества, может быть охарактеризован величиной БПК. Иными словами, остаточная БПК очищенной воды, взятой из вторичных отстойников, отражает не только наличие недоокисленных загрязнений, но и присутствие в ней частичек ила. Если эту воду полностью отфильтровать от ила (на бумажном фильтре), то величина БПК фильтрата покажет наличие в воде остаточных растворенных примесей, а разница величин БПК воды с илом и фильтрата — величину БПК, носителем которой является ил. По ряду эксплуатационных наблюдений удельная БПК 1 мг активного ила колеблется от 0,5 до 0,9 мг/мг, причем это значение тем меньше, чем глубже очищена сточная вода и минерализован ил.

Таким образом, очевидно, что при удалении путем фильтрования частиц активного ила одновременно обязательно снижается БПК воды. Но, кроме того, незначительное дополнительное снижение БПК возможно также за счет процессов жизнедеятельности ила в загрузке фильтра, о которых свидетельствует неперемное падение концентрации растворенного кислорода в воде.

Если материал загрузки интенсивно отмывать от ила,

усиливая этот процесс хлорированием, что ведет к гибели живых клеток, то качество фильтрата, естественно, станет хуже, но возрастет скорость фильтрования.

Технологический контроль работы фильтров доочистки основан на тех же принципах, что и контроль работы водопроводных фильтров. Так, учитываются скорость фильтрования и продолжительность фильтроцикла, определяемая по достижении заданного значения 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. Однако нет смысла дважды определять те показатели, которые не изменяются при фильтровании, в частности, растворенные минеральные примеси — хлориды, сульфаты и т. п.

Иногда, как уже упоминалось в § 37, для удаления взвешенных веществ и снижения БПК применяют биологические методы.

Насыщение очищенной воды растворенным кислородом. В ряде случаев очищенная вода, выходящая из вторичных отстойников и тем более профильтрованная дополнительно на фильтрах, содержит растворенного кислорода меньше, чем требуется санитарными нормами при спуске сточных вод в водоем. Для насыщения воды кислородом предусматриваются разнообразные приемы аэрации (аэраторами, на водосливах).

При наличии на очистных станциях устройств для насыщения воды кислородом контролируется уровень концентрации кислорода в сточной воде после ее обработки.

Удаление биогенных элементов. 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. Подсчитано, что 1 мг азота продуцирует 10 мг водной растительности, а 1 мг фосфора — 115 мг.

Для удаления азота могут быть применены физико-химические и биохимические методы. Один из физико-

химических методов заключается в повышении значения pH воды до 10—11 путем известкования, в результате чего образуется NH_4OH , с последующей отдувкой аммиака воздухом в градирнях. Соли аммония можно удалить и путем ионного обмена.

Удаление азота биохимическим путем осуществляется в две ступени. На первой ступени в аэротенке длительной аэрации в отсутствие углеродсодержащих загрязнений (удаленных в обычном аэротенке) интенсивно происходят процессы нитрификации. На второй ступени применяется денитрификатор — сооружение, изолированное от доступа воздуха. В анаэробных условиях бактерии денитрификаторы используют для своей жизнедеятельности химически связанный кислород нитритов и нитратов и разрушают, таким образом, эти соединения, в результате чего выделяется молекулярный азот. Бактерии денитрификаторы в отличие от нитрификаторов — гетеротрофы, а потому в качестве источника углерода они нуждаются в органических веществах. Предложена схема, в которой источником органических веществ служит исходная сточная вода. По этой схеме около $\frac{2}{3}$ общего расхода воды проходит всю систему сооружений: обычные аэротенки, аэротенки-нитрификаторы и денитрификаторы, а $\frac{1}{3}$ расхода поступает сразу в денитрификатор. Последовательное применение нитрификации и денитрификации позволяет удалить из воды более 70% азота.

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.

Фосфаты удаляются химическим осаждением солями железа, алюминия, известью. Реагенты подают в сточную воду перед первичными отстойниками, в очищенный сток — перед вторичными отстойниками или в аэротенк. Наиболее эффективным является последний вариант. Оптимальная доза сульфата алюминия определяется из соотношения количества алюминия и фосфора от 1:1 до 1,5:1. Эффект удаления фосфатов достигает 80%. После добавки реагентов зольность ила повышается до 45%; при этом ил приобретает хорошие седиментационные свойства. В пределах требуемых доз ре-

агента соли алюминия не влияют на ход биологического процесса в аэротенках.

При использовании реagentного 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.

Удаление трудноокисляемых веществ, фиксируемых величиной ХПК биологически очищенных вод, принципиально возможно методом сорбции (например, углем) и химическим окислением (например, путем озонирования). В промышленном масштабе в Советском Союзе эти методы для обработки городских сточных вод пока применения не нашли из-за их слишком высокой стоимости. Однако эти методы достаточно широко используются при обработке производственных сточных вод. О методах контроля этих процессов см. далее в § 49.

Снижение концентрации солей в сточной воде возможно методами обессоливания, применяемыми в практике водоснабжения. Приемы контроля этих методов аналогичны описанным ранее.

§ 49. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД

Из ряда известных методов обеззараживания наибольшее применение для обработки городских сточных вод получил метод хлорирования. Хлорирование может быть осуществлено хлором, гипохлоритами, а также соединениями хлора, получаемыми в результате электролиза раствора солей хлора.

При обеззараживании воды любым способом хлорирования основное технологическое требование сводится к тому, чтобы в обеззараживаемой воде оставалось хлора не менее чем 1,5 мг/л. При столь высокой остаточной дозе санитарный эффект обеззараживания составляет практически всегда 100%. Оценку степени санитарной обработки сточной воды производят по коли-индексу. Кроме того, в практике очистки сточных вод принято определять и общее число бактерий сапрофитов.

Чтобы в обработанной воде оставалось 1,5 мг/л неиспользованного хлора, по СНиП 2.04.03-85 расчетную дозу активного хлора рекомендуется принимать для сточной воды: прошедшей только механическую очистку, — 10 мг/л, после неполной биологической очистки — 5 мг/л, после полной биологической очистки — 3 мг/л. Нетрудно видеть, что расчетная доза хлора тем выше, чем ниже качество воды, что связано с использованием части вводимого реагента на окисление органических примесей сточных вод. В практике эксплуатации дозу хлора устанавливают экспериментально, что и позволяет наиболее точно учесть присутствие в воде примесей, вступающих в реакции с хлором. Обычно доза, определенная экспериментом, оказывается несколько ниже расчетной.

Объектом технологического контроля при хлорировании являются контактные резервуары или другие заменяющие их емкости. Установлено, что время контакта для полноты действия введенного в воду хлора должно быть не менее 30 мин. Поэтому регистрируются время пребывания воды в контактном резервуаре и изменения ее качества вследствие действия хлора и дополнительного удаления осаждающихся частиц активного ила. Количество выпадающего в контактных резервуарах ила оценивается для последующего учета его в тех сооружениях, в которые он передается на обработку.

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

Кроме хлорирования для обеззараживания сточных вод в последние годы все более широко рекомендуется метод озонирования, однако его применение в крупных масштабах все еще лимитируется высокой стоимостью получения озона и малой производительностью озонаторов. При снижении затрат на получение озона этот метод составит серьезную конкуренцию многим другим методам доочистки, поскольку при очень длительном озонировании теоретически можно получить воду, в которой органические вещества будут окислены полностью, азот аммонийных солей переведен в нитратную форму с санитарным эффектом по коли-индексу, рав-

В настоящее время метод озонирования применяется для обработки производственных сточных вод.

Упражнение 32. Сравнить грязеемкость* однослойного и двух-
слойного фильтров доочистки, если высота первого равна 1,3 м, а
второго — 1,1 м; скорость фильтрования на однослойном фильтре
6,5 м/ч, на двухслойном — 7,7 м/ч; очистка сточных вод производят-
ся по взвешенным веществам в первом случае с 15 до 5 мг/л, а во
втором — с 15 до 7 мг/л.

Решение. Подсчитаем, какое количество загрязнений снимается с 1 м³ однослойного фильтра. Если скорость фильтрования равна 6,5 м/ч, что соответствует гидравлической нагрузке на фильтр 6,5 м³/(м²·ч), то при высоте фильтра 1,3 м на 1 м³ объема сооружения подается сточной воды: за 1 ч — $6,5 : 1,3 = 5$ м³/(м²·ч), а за сутки — $5 \cdot 24 = 120$ м³.

При количестве взвешенных веществ, удаляемых из 1 м³ обработанной воды, равном 10 г, общее количество загрязнений, задерживаемых в 1 м³ объема фильтра за сутки, составит: $10 \cdot 120 = 1200 \text{ г/м}^3$.

Аналогичные подсчеты для двухслойного фильтра дают результаты:

по гидравлической нагрузке $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, или $144 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$;
по грязеемкости флягра — $1152 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут})$.

Таким образом, оба фильтра в данном примере имеют приблизительно одинаковую грязеемкость с разницей значений всего 4%. Двухслойный фильтр при несколько большей скорости фильтрования дает более низкое качество фильтрата. Точного суждения о явном преимуществе одного из типов фильтров на основании только указанных в примере данных составить нельзя.

Упражнение 53. Выявить оптимальный режим эксплуатации песчаных фильтров ($h=1,2$ м), если в процессе осваивания и наладки их работы получены данные, приведенные в табл. 17.

Решение. При налаживании работы фильтров скорость фильтрования постепенно увеличивалась с 3,6 до 9 м/ч. Длительность фильтроцикла при этом изменялась в небольших пределах (от 14 до 16 ч), что, по-видимому, говорит об отсутствии взаимосвязи ее со скоростью фильтрования и грязеемкостью фильтра.

Грязеёмкость фильтров, подсчитанная, как показано в предыдущем упражнении, постоянно возрастала от периода к периоду. Грязеёмкость, г/(м³·сут), по взвешенным веществам составила: в I периоде — 460, во II — 972, в III — 1554 и в IV периоде — 2084, а по БПК₅ — соответственно 266; 513; 715 и 990. В III и IV периодах достигнуто очень высокое качество очистки воды по взвешенным веществам и БПК₅ при наибольшей грязеёмкости фильтров.

С достаточным основанием для данных фильтров наиболее эффективным можно считать IV период, когда при высокой скорости фильтрации получена очень высокая степень очистки воды. Однако эксплуатационных данных, приведенных в табл. 17, недостаточ-

* Грязеемкость фильтра — количество загрязнений в граммах, снимаемое с 1 м³ загрузочного материала за сутки.

Период рабо-	Скорость фильтрава- ния, м/ч	Фильтро- цикл, ч	Взвешенные вещества			ВПК			О ₂ , мг/л		потери
			в поступа- ющей во- де, мг/л	в выхода- щей воде, мг/л	эффект снижения, %	в поступа- ющей во- де, мг/л	в выхода- щей воде, мг/л	эффект снижения, %			
									в поступа- ющей во- де, мг/л	в выхода- щей воде, мг/л	
I	3,6	14	9,1	2,7	70,3	6,6	2,9	56,1	9	6,4	2,6
II	5,7	15	11,2	2,7	75,9	6	1,7	71,7	9,2	6,9	2,3
III	6,6	16	13,1	1,2	90,8	7,1	1,7	76,1	9,2	6,5	2,7
IV	9	14	12,9	1,3	90	7,4	1,9	74,3	9	6	3

Примечание. Приведенные данные получены на действующей станции аэрации.

но, чтобы считать этот период оптимальным. Здесь не отражены такие периоды работы сооружений, в которых при дальнейшем увеличении скорости фильтрования было бы зафиксировано явное ухудшение качества очистки, снижение продолжительности фильтроцикла. Иными словами, нельзя утверждать, что скорость фильтрования не может быть еще увеличена.

Из данных табл. 17 видно, что при фильтровании всегда происходит некоторая потеря растворенного кислорода — от 2 до 3 мг/л, или от 25 до 35%. Этот кислород, как уже указывалось, потребляется активным илом, задержанным в фильтре.

Результатами эксплуатации интересно также воспользоваться для подсчета удельной БПК активного ила. Так, по данным I периода можно видеть, что на 6,4 мг/л отфильтрованного активного ила приходится 3,7 мг/л снятой БПК₅ или 0,58 мг БПК₅/мг. Аналогично имеем удельную БПК₅ активного ила, мг/мг, по результатам: II периода — 0,51, III периода — 0,45 и IV периода — 0,48. Такие низкие значения удельной БПК₅ ила позволяют предположить, что в биокислителях этой станции процессы окисления загрязнений происходят достаточно глубоко.

Упражнение 54. Рассчитать коли-индекс очищенной сточной воды, если эффект обеззараживания составляет 99,8%. Число бактерий кишечной палочки в городской сточной воде, поступающей на очистку, равно 80 тыс. колоний на 1 мл.

Решение. Коли-индекс поступающей воды равен 80 000 000 колоний на 1 л. Если после очистки в воде остается 0,2% начального количества, то это соответствует коли-индексу: $80\,000\,000 \cdot 0,002 = 160\,000$ кол./л.

Заметим, что показатель в «чистом виде» обычно не используется при характеристике сточных вод, поскольку значения индекса слишком велики.

При оценке качества сточных вод по бактериальным загрязнениям применяют показатель «коли-индекс», но выраженный числом колоний в 1 мл воды. Так, для очищенной воды по условиям этого упражнения было бы показано значение 160 кол./мл.

Глава IX

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ОСАДКОВ

§ 42. НАЗНАЧЕНИЕ СООРУЖЕНИЙ ПО ОБРАБОТКЕ ОСАДКОВ

При полной биологической очистке из сточной воды извлекается до 90—95% первоначального содержания загрязнений, оцениваемого количеством взвешенных веществ и величиной БПК, а при наличии фильтров до очистки — до 98—99%. Эти загрязнения, частью в своем первоначальном виде (осадок первичных отстойников), частью преобразованные в активный ил или биопленку, аккумулируются в виде осадков, общий объем которых составляет не более 0,5—1,5% объема обработанной во-

ды. Таким образом, решение проблемы обработки большого количества воды с относительно низкой концентрацией загрязнений влечет за собой необходимость решения новой проблемы — обработки относительно небольшого количества концентрированных осадков.

Обработка осадков сточных вод преследует прежде всего санитарные цели. Сухое вещество осадков состоит на 65—75% из органических веществ, способных гнить с выделением крайне неприятных запахов. Если учесть при этом высокую степень инвазионности (зараженности) осадков болезнетворными бактериями и яйцами глистов, то становится очевидным, что обезвреживание (обеззараживание) является обязательной стадией обработки осадков.

Разложение органических веществ осадков может быть осуществлено биохимическим путем как в аэробных, так и в анаэробных условиях. Первый вариант окисления уже был рассмотрен в гл. VII. Второй вариант — анаэробное биохимическое окисление — широко применяется в нашей стране при обработке осадков городских сточных вод. На станциях малой пропускной способности для этой цели применяются двухъярусные отстойники, осветлители-перегниватели, а на станциях большой пропускной способности — метантенки. При сбраживании осадков эффект обеззараживания по бактериальным загрязнениям может быть очень высоким, особенно в условиях термофильных температур.

В осадках при высокой концентрации в них сухого вещества все еще содержится 92—98% воды. Транспортирование лишней воды, например при использовании осадков в качестве удобрений, нерентабельно. Поэтому важной задачей в общей системе обработки осадков является удаление лишней влаги. Современными техническими средствами можно добиться любой степени уменьшения влажности. Процессы снижения влаги до 70—80% принято называть обезвоживанием, а с 70—80% до 5—40% — сушкой осадков. Разные названия двух степеней удаления влаги носят условный характер, но они могут быть до некоторой степени оправданы тем, что каждая степень соответствует разрушению определенного вида связи воды в осадке. Поскольку сушка осуществляется в аппаратах при высокой температуре, то одновременно с интенсивным испарением влаги происходит полная дезинфекция осадка.

Кроме перечисленных выше приемов обработки осадков применяется и способ уничтожения их путем сжигания (в тех случаях, когда полезное использование осадков затруднительно и неэкономично).

Компоновка системы полной обработки осадка может быть самой разнообразной, в особенности на станциях малой и средней пропускной способности. Так, стадия сбраживания осадка может вообще отсутствовать. В этом варианте обезвреживаются сырые осадки, после чего они подвергаются дезинфекции (компостированием, облучением, прогреванием и т. п.) либо сжигаются. На станциях большой пропускной способности, как правило, устраиваются метантенки с последующим обезвреживанием и сушкой сброженного осадка в естественных или искусственных условиях.

§ 43. ПРОЦЕССЫ МЕТАНОВОГО БРОЖЕНИЯ И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА

Для описания процессов распада органических веществ при сбраживании осадков широко пользуются схемой, предложенной Баркером. По этой схеме процесс брожения состоит из двух фаз — кислой и метановой, последовательно сменяющих одна другую и протекающих с одинаковыми скоростями. Первую фазу брожения называют кислой потому, что основным конечным продуктом распада органических веществ являются низшие органические кислоты ряда предельных углеводов, называемые низшими жирными кислотами (НЖК). К ним относятся кислоты: муравьиная, уксусная, пропионовая, масляная и другие с содержанием до пяти-шести атомов углерода.

Присутствие кислот в среде обуславливает ее кислую реакцию. Кроме НЖК продуктами распада первой фазы являются низшие жирные спирты, аминокислоты, некоторые альдегиды и кетоны, глицерин, а также углекислота, водород, сероводород, аммиак и некоторые другие соединения. Осуществляют эту фазу процесса бактерии, относящиеся к факультативным анаэробам (молочно-кислые бактерии, уксусно-кислые, пропионово-кислые и т. п.) и к облигатным анаэробам (масляно-кислые бактерии, целлюлозные, ацетобутиловые и др.).

Вторую фазу процесса называют щелочной, или метановой. Реакция среды в этой фазе щелочная ($pH =$

$= 7,6...8$). Продукты распада первой фазы перерабатываются бактериями второй фазы брожения с образованием в основном углекислоты и метана. Бактерии этой фазы — облигатные анаэробы. Выделено сравнительно немного чистых культур метанообразующих бактерий. В основном они относятся к трем родам — метанобактериям, метаносарцинам и метанококкам.

Поскольку скорости процессов в обеих фазах одинаковы, то в сбраживаемой массе не происходит накопления продуктов первой фазы и они обнаруживаются лишь в небольшом количестве. Однако, если имеются какие-либо нарушения технологического режима, то среда становится кислой, поскольку в первую очередь гибнут наиболее чувствительные ко всякого рода нежелательным изменениям бактерии метановой фазы процесса. Осадок в этом случае приобретает крайне неприятный запах, обусловленный наличием кислот, спиртов, производных сероводорода и меркаптанов. Происходит «закисание» метантенка.

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 D , %. 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 m^3 осадка, приходящегося на $1 m^3$ объема за сутки. Например, если доза $D = 8\%$, то второй вариант выражения этой величины — $0,08 m^3 / (m^3 \times \text{сут})$.

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 D , %, нетрудно подсчитать дозу загрузки метантенка по беззольному веществу $D_{бз}$. Эта

величина, измеряемая в килограммах беззольного вещества, приходящегося на 1 м³ 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 D_{63} колеблется в широких пределах: для мезофильного режима сбраживания от 2 до 4 кг/(м³·сут), а для термофильного — от 4 до 8 кг/(м³·сут).

В процессе сбраживания от 35 до 55% органического вещества распадается с выделением продуктов в газ и иловую воду. По современным представлениям, газы брожения продуцируют только жиро-, белково- и углеводоподобные соединения. При распаде остальных органических компонентов осадков продукты распада переходят в растворенную фазу, т. е. в иловую воду. В результате процессов брожения увеличивается влажность и зольность осадков.

Исследованиями установлено, что больше всего газа образуется при сбраживании жироподобных веществ, меньше всего — при распаде белковоподобных. Количественная оценка по выходу газа получена из следующих соображений. При сбраживании, например, жироподобных соединений $\bar{ж}$ выделяется 1250 мл газов с 1 г распавшихся веществ. В составе газов находится 68% метана и 32% углекислоты. Плотность газа указанного состава составляет 1,05 г/л. Следовательно, при распаде 1 г жироподобных веществ выделяется газов (по массе): $1,25 \cdot 1,05 = 1,31$ г/г. Превышение массы образовавшихся газов над массой исходного вещества объясняется участием воды в реакциях брожения. Далее было установлено, что биохимическим путем жироподобные вещества не могут быть сброжены полностью (на 100%). Существует своеобразный предел сбраживания, по достижении которого дальнейший распад вещества, если он и имеет место, не сопровождается выходом газа. Для жироподобных соединений этот предел принимается равным 70%. Таким образом, при распаде 1 г загружаемых в метантенк жироподобных веществ максимально может образоваться газов $1,31 \cdot 0,7 = 0,92$ г/г. Для углеводоподобных веществ $\bar{у}$ найдено, что с 1 г может быть получено 790 мл газов. Состав газов: 50% CH_4 и 50% CO_2 с плотностью этой смеси 1,25 г/л. Найдено, что предел сбраживания углеводоподобных веществ составляет 62,5%, а следовательно, при распаде 1 г этих веществ может образоваться

0,62 г газов. При сбраживании белковоподобных веществ $\bar{б}$ выход газов составляет 704 мл/г. Состав газов: 71% CH_4 и 29% CO_2 с плотностью этой смеси 1,01 г/л. Предел сбраживания составляет 48%. Из этих данных следует, что с 1 г загруженных белковоподобных веществ может быть получено 0,34 г газов.

Поскольку никакие другие органические компоненты газов не образуют, то, зная содержание газообразующих компонентов, нетрудно подсчитать теоретически ожидаемый максимально возможный выход газа, или предел сбраживания

$$a = 0,92 \bar{ж} + 0,62 \bar{у} + 0,34 \bar{б},$$

где $\bar{ж}$, $\bar{у}$ и $\bar{б}$ даны в граммах на 1 г массы загружаемого осадка.

При эксплуатации метантенков химический анализ осадков на содержание газообразующих компонентов, а также фосфатов, СПАВ, азота общего выполняют обычно 1 раз в квартал (реже 1 раз в месяц). Анализ делают из средних проб, набираемых за период исследования. Используют высушенные осадки, остающиеся после определения влажности.

Учет количества газов брожения производится непрерывно с использованием приборов автоматической регистрации. Химический анализ состава газов выполняют 1 раз в декаду или в месяц. Определяют CH_4 , H_2 , CO_2 , N_2 , O_2 и др. 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 «закисания» метантенка, что обязательно отразится и на химическом составе иловой воды. В ней в большом количестве появятся продукты кислой фазы, в частности НЖК, при одновременном снижении щелочности иловой воды, определяемой, кроме НЖК,

содержанием карбонатных и гидрокарбонатных соединений.

При устойчивом режиме брожения содержание НЖК в иловой воде находится на уровне 5—15 мг·экв/л, а щелочность — 70—90 мг·экв/л. 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/л.

По данным анализов и замеров делают ряд расчетов, в результате которых определяют D и D_{63} , процент распада беззольного вещества осадков P_{63} (учтенный по изменению влажности и зольности), а также по выходу газа P_g — выход газа с 1 кг загруженного сухого вещества и 1 кг сброженного беззольного вещества и расход пара на 1 м³ осадка.

§ 44. КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ СУШКИ И ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ОСАДКОВ

В зависимости от схемы и состава сооружений очистной станции на обезвоживание и сушку могут быть поданы осадок из первичных отстойников и активный ил — раздельно или в смеси, сырыми или сброженными. Все указанные разновидности осадков резко отличаются друг от друга по качеству — содержанию воды, химическому составу, физическим свойствам.

В процессе обезвоживания и сушки удаление влаги происходит в результате последовательного разрушения связей воды с твердой фазой с последующим механическим разделением двух фаз — твердой и жидкой. Всю содержащуюся в осадках влагу подразделяют (по классификации П. А. Ребиндера) на следующие категории в зависимости от форм и энергии связей двух фаз: избыточная, осмотическая, вода макропор (удельное сопротивление $r > 10^{-5}$ см), иммобилизованная (захваченная) структурой, вода микропор ($r \leq 10^{-5}$ см), адсорбционная.

При уплотнении в обычных уплотнителях (под действием сил гравитации) из осадков может быть удалена только избыточная влага. Количество избыточной влаги,

например в активном иле, составляет до 3% и удаление этой влаги соответствует изменению влажности от 99,5 до 96,5%. Путем вакуум-фильтрования кроме избыточной удаляется осмотическая вода и вода макропор. После вакуум-фильтрования осадки имеют влажность от 75 до 85%, и, следовательно, в осадках находится воды осмотической и воды макропор примерно от 10 до 20%. Центрифугированием с помощью мощных центрифуг с большим числом оборотов можно удалить дополнительную воду, иммобилизованную структурой. Воды этого вида в осадках немного (около 1—2%). Термической сушкой в условиях высоких температур может быть удалена практически вся остальная влага.

Количественное соотношение воды различных форм связи в осадках разных видов неодинаково, а потому и неодинаков тот результат, который достигается применением одного и того же способа обработки для разных осадков. Характеристика количественного распределения воды разных форм связи может быть получена путем специального исследования при сушке образца осадка в изотермическом режиме.

Термографическое исследование образцов пока еще не вышло из стадии научного эксперимента, но именно этот метод наиболее перспективен для характеристики гидродинамических и физико-химических свойств осадков, что необходимо для дальнейшего развития теории процессов обезвоживания и сушки.

В настоящее время в качестве одной из основных характеристик способности осадков отдавать влагу принимают удельное сопротивление фильтрования. Эта величина представляет собой гидродинамическое сопротивление, которое оказывает потоку фильтрата равномерный слой осадка с массой, равной единице, на площади фильтра, также равной единице. Величина эта измеряется в см/г. Фильтрование в этом случае должно проходить под вакуумом строго заданной величины.

Чем выше удельное сопротивление, тем труднее осадки отдают влагу и тем хуже обезвоживаются как в естественных условиях, так и в различных аппаратах.

Фильтруемость осадков можно улучшить путем промывки очищенной водой, реагентной и тепловой обработкой или промораживанием.

Сушка в естественных условиях применяется для осадков всех видов и может быть осуществлена на илс-

вых площадках с естественным основанием, на площадках с поверхностным отводом воды и на площадках-уплотнителях.

Первый вариант площадок принимается при хорошо фильтрующих грунтах и при глубоком залегании грунтовой воды. Профильтрованная через слой почвы иловая вода попадает в поток грунтовых вод. Отфильтровывается вода избыточная, а если осадок подвергался промораживанию или длительному воздействию солнечных лучей, то удаляется некоторая часть более прочно связанной воды. Основная же часть влаги на таких площадках удаляется из осадка путем испарения.

Осадки, высушенные в естественных условиях, могут иметь влажность 70—80%. Продолжительность сушки зависит от вида обрабатываемого осадка, гидрогеологических и климатических условий, выполнения эксплуатационных требований и т. п. и колеблется от 1 года до 5 лет.

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 канализования.

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

Обезвоживание на вакуум-фильтрах включает кроме основной операции ряд предварительных: промывку осадков очищенной водой (для сброженных осадков), уплотнение в отстойниках, смешение с реагентами. Контролируются как основная, так и все дополнительные операции.

Количество промывной воды, в качестве которой используют очищенную воду из вторичных отстойников,

назначают исходя из значения удельного сопротивления (по рекомендациям СНиП 2.04.03-85). Если удельное сопротивление не измеряют, то соотношение количеств промывной воды и осадка принимают от 2:1 до 4:1. После интенсивного перемешивания, в результате чего из осадка в воду переходят растворенные и коллоидные вещества, а также мелкие взвешенные вещества, смесь промывной воды с осадком подается в уплотнитель. Отмытый осадок после уплотнения в течение 12—18 ч имеет влажность 94—96%; сливная вода с концентрацией взвешенных веществ 1—1,5 г/л и БПК_{полн.} равной 0,6—0,9 г/л, перекачивается в систему сооружений по очистке сточной воды. Оценка качества сливной воды производится по набору показателей и по графику проведения анализов, аналогичным указанным выше для сточной воды, поступающей на очистную станцию с объекта канализования. Определение влажности уплотненного осадка проводится 1—3 раза в сутки с целью более точного дозирования реагентов.

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.

Работа вакуум-фильтра оценивается производительностью аппарата — количеством осадка по сухому веществу, снятым с 1 м² 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 фильтрат передают для интенсификации процессов уплотнения сброженного осадка. Периодически и при необходимости выполняют санитарно-бактериологический анализ сброженных осадков.

В технологическом отчете о работе вакуум-фильтров указывают также основные технические данные по каждому фильтру: частоту вращения барабана, величину вакуума, вид и периодичность обработки ткани и др.

Обезвоживание осадков на центрифугах применяется на станциях малой и средней пропускной способности.

Характеристика работы этого аппарата включает оценку его производительности по объему переработан-

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

Кроме технологических характеристик в отчете о работе центрифуг обязательно указывают технические данные аппарата — частоту вращения, диаметр входного и сливного патрубков и т. п.

Термическая сушка осадков. 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 определяется по массе испаряемой влаги в единицу времени из расчета на единицу объема аппарата. Чтобы рассчитать производительность, необходимо измерять влажность осадков до и после сушки, что и выполняется не менее 1 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 учитывается обязательно.

§ 45. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 55. Сравнить условия работы двух метантенков объемом 1000 м³ каждый по дозам загрузки, если в один метантенк подается осадок из первичных отстойников в количестве 60 м³/сут, а во второй — уплотненный активный ил в количестве 120 м³/сут. Влажность осадка 93%, активного ила 97%; зольность осадка 30%, активного ила 26%.

Решение. Следует сравнить дозы загрузки по объему $D, \%$ и по беззольному веществу D_{63} . Из условия задачи очевидно, что доза загрузки по объему $D, \%$ метантенка, работающего на иле, в 2 раза выше, чем метантенка, загружаемого осадком.

Нетрудно подсчитать, что доза D метантенка, в которой подается осадок, равна 6%, а доза D метантенка, работающего на иле, — 12%. Это означает, что длительность пребывания двух видов осадков Π в метантенках также отличается в 2 раза. Осадок сбражива-

ется в течение 16,7 сут, а активный ил — в течение 8,3 сут ($\Pi = 100/D, \%$).

Подсчитаем значения D_{63} . В метантенк, загружаемый осадком, подается за сутки 0,06 м³ осадка на 1 м³ объема сооружения. При влажности осадка 93% содержание сухого вещества в нем составляет 70 кг/м³ (при плотности осадка, равной 1 кг/л), а беззольного вещества — 70% массы сухого вещества, или 49 кг/м³. Следовательно, в метантенк загружается беззольного вещества.

$$D_{63} = 0,06 \cdot 49 = 2,94 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Аналогичные рассуждения для второго случая дают результат.

$$D_{63} = 0,12 \cdot 30 \cdot 0,74 = 2,66 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Из полученных результатов видно, что метантенки работают в различных условиях как по продолжительности пребывания в них осадков, так и по нагрузке беззольного вещества D_{63} на единицу объема метантенка.

Чтобы определить, к какому результату приведут столь различные условия работы метантенков, следует воспользоваться уравнениями А. А. Карпинского, по которым можно подсчитать ожидаемые процент распада беззольного вещества P_{63} и выход газа Γ_{63} .

При сбраживании осадка из первичных отстойников в мезофильных условиях уравнения имеют вид:

$$P_{63} = 66,7 D_{63}^{-0,27} \text{ и } \Gamma_{63} = 582 D_{63}^{-0,27}.$$

Для активного ила соответственно имеем:

$$P_{63} = 40,4 D_{63}^{-0,39} \text{ и } \Gamma_{63} = 365 D_{63}^{-0,39}.$$

Подставив в эти уравнения найденные значения D_{63} , получаем, что ожидаемый распад осадка составит 50% с выходом газа 436 л с 1 кг загружаемого беззольного вещества, а ожидаемый распад ила — 27,5% с выходом газа 241 л с 1 кг загрузки, или соответственно 872 и 878 л/кг распавшегося беззольного вещества.

Таким образом, можно видеть, что результаты работы метантенков различны по глубине сбраживания двух видов осадков, но почти одинаковы по выходу газа с 1 кг распавшегося беззольного вещества.

Упражнение 56. Подсчитать теоретически возможный выход газа при сбраживании осадка из первичных отстойников и активного

Таблица 18

Компоненты	Концентрация, %, в пересчете на беззольное вещество	
	осадка из первичных отстойников	активного ила
Жироподобные вещества	35,6	32,3
Азот общий	4,9	7,9
Углеводы:		
альфа	10,2	1,5
геми	6,6	5

ила, если анализом определен состав компонентов, приведенный в табл. 18.

Решение. Теоретически возможный выход газа можно подсчитать, если известно содержание в осадках жиро-, углеводо- и белковоподобных веществ. В прямом выражении здесь показано только содержание жироподобных веществ $ж$. Для подсчета белковоподобных веществ исходят из предположения, что в них общий азот составляет 16% по массе. Поскольку в других группах веществ содержание азота мало, то для подсчета количества белковоподобных веществ нужно умножить концентрацию азота на 6,25 ($100:16=6,25$). Таким образом, величина $б$ для осадка составляет $4,9 \cdot 6,25 = 30,6\%$.

В составе углеводов показано наличие легкогидролизуемой фракции (гемии-углеводов) и трудногидролизуемой (альфа-углеводов). В реакциях брожения участвуют обе фракции, а поэтому при подсчете величины $у$ наличие углеводов учитывается суммой обеих фракций. В осадке содержание углеводоподобных равно 16,8%, а в иле — 6,5%.

При подсчете теоретически возможного выхода газа (или предела сбраживания) величины $ж$, $б$ и $у$ следует выразить в граммах на 1 г беззольного вещества осадков. Таким образом, для осадка из первичных отстойников имеем:

$$a = 0,92 \cdot 0,356 + 0,62 \cdot 0,168 + 0,34 \cdot 0,306 = 0,536 \text{ г/г,}$$

а для активного ила

$$a = 0,92 \cdot 0,323 + 0,62 \cdot 0,065 + 0,34 \cdot 0,494 = 0,505 \text{ г/г.}$$

Оценивая данные анализа и результаты подсчета, можно видеть, что химический состав осадка из первичных отстойников заметно отличается от состава активного ила меньшим содержанием белковоподобных веществ и большим — углеводоподобных. Это закономерно, так как в иле находится огромное количество микроорганизмов, обуславливающих повышенное содержание в нем белковоподобных веществ, а углеводоподобные (растительные остатки, бумага, раздробленное тряпье и т. п.) в значительной мере улавливаются в первичных отстойниках.

Можно также отметить, что в беззольном веществе осадка содержание газообразующих компонентов (т. е. сумма $ж+б+у$) составляет 83%, а ила — 88,2%. Следовательно, в первом случае на лигнинно-гумусовый комплекс вещества, не образующих газа при брожении, приходится 17%, а во втором — 11,8%.

Упражнение 57. Сравнить полученные результаты, если предел сбраживания по данным химического анализа осадка из первичных отстойников определен равным 58%, а для ила — 46%.

В первом метантенке сбраживается только осадок из первичных отстойников, а во втором — смесь осадка и ила в соотношении по беззольному веществу 0,5:1. Распад беззольного вещества, подсчитанный по выходу газа, в первом метантенке составляет 44%, а во втором — 36%.

Решение. Сравнить результаты применительно к условиям данной задачи — это значит определить глубину или степень сбраживания осадков в двух метантенках аналогично тому, как оценивается, например, степень очистки сточной воды, т. е. в процентах по отношению к начальному (или максимально возможному) количеству.

В первом метантенке, где сбраживается только осадок, полученная степень его обработки, равная 75% теоретически возможной:

$$(44 : 58) 100 = 75 \%$$

Во втором метантенке сбраживается смесь осадка и ила. Предел сбраживания смеси $a_{см}$ определяется как среднеарифметическое:

$$a_{см} = \frac{58 \cdot 0,5 + 46 \cdot 1}{0,5 + 1} = 48 \%$$

Степень обработки смеси (или глубина сбраживания) равна также $(36:48)100=75\%$.

Таким образом, оба метантенка обеспечивают одинаковую степень обработки осадков, хотя количество газов, образующихся в двух сооружениях, может оказаться заметно различным.

Упражнение 58. Подсчитать распад по газу P_r и по беззольному веществу $P_{бз}$, если загружаемый осадок имеет влажность 96% и зольность 25%, а сброженный — соответственно 97,5 и 38%. Удельный выход газа составил $12 \text{ м}^3/\text{м}^3$; плотность газа, определенная по его химическому составу, равна $1,02 \text{ кг/м}^3$.

Определить также, какая часть распавшегося вещества переходит в газ и какая — в иловую воду.

Решение. Подсчитаем распад по беззольному веществу исходя из данных изменения влажности и зольности осадков в процессе брожения. Для подсчетов плотность осадков принимаем равной 1 кг/л . В исходном осадке сухого вещества было 40 кг/м^3 , а беззольного — 75% от массы сухого, т. е. $40 \cdot 0,75 = 30 \text{ кг/м}^3$. В сброженном осадке осталось сухого вещества 25 кг/м^3 , а беззольного — $25 \cdot 0,62 = 15,5 \text{ кг/м}^3$. Поскольку в процессе брожения объем осадка не изменяется, то количество распавшегося беззольного вещества можно определить по разнице: $30 - 15,5 = 14,5 \text{ кг/м}^3$, или $P_{бз} = (14,5:30)100 = 48,3\%$.

Подсчитаем теперь величину распада по газу. В процессе сбраживания выделилось 12 м^3 газов с 1 м^3 загружаемого осадка. Масса выделившегося газа при его плотности, равной $1,02 \text{ кг/м}^3$, составляет: $12 \cdot 1,02 = 12,2 \text{ кг/м}^3$.

Распад по газу (т. е. отношение массы выделившегося газа к массе загруженного беззольного вещества) равен:

$$P_r = (12,2 : 30) 100 = 40 \%$$

Поскольку распалось с 1 м^3 загружаемого осадка $14,5 \text{ кг}$ беззольного вещества, а в виде газа получено $12,2 \text{ кг}$, то $2,3 \text{ кг}$ распавшихся веществ перешло в иловую воду, что составляет соответственно 83 и 17%.

Соотношение $P_{бз} > P_r$ соответствует глубоко прошедшему процессу брожения, когда после выделения основной массы газов дальнейшее брожение сопровождается выделением продуктов распада практически только в иловую воду.

Упражнение 59. Оценить работу метантенков, если анализ иловой жидкости дал в первом метантенке результаты по содержанию жирных кислот 33 мг-экв/л и щелочности 42 мг-экв/л , а во втором — соответственно 8 и 92 мг-экв/л . 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% CO_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 одно-

начию 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.

Упражнение 60. Оценить эксплуатационные данные о работе метантенков, если доза загрузки $D = 11\%$, влажность загружаемой смеси осадка и ила $95,5\%$, зольность 28% , влажность сброженного осадка $97,1\%$ и зольность 42% . Температура брожения $51,5^\circ\text{C}$. Соотношение загружаемого осадка и ила по беззольному веществу составляет $1:1$. Химический состав загружаемых осадков соответствует указанному в упражнении 56. В составе газов брожения 65% метана, 34% углекислоты и 1% азота. Выход газа $13,3 \text{ м}^3/\text{м}^3$. В иловой жидкости среднее содержание НЖК равно $7,5 \text{ мг-экв/л}$, щелочности 91 мг-экв/л и азота аммонийных солей 845 мг/л .

Решение. Метантенки работают в термофильном режиме сбраживания при температуре бродающей массы $51,5^\circ\text{C}$, весьма близкой к оптимальной (53°C). Термофильно сброженные осадки практически полностью обезврежены в санитарном отношении.

Сооружения эксплуатировались в условиях доз загрузки, очень низких для термофильного режима. Они составляли всего 11% , тогда как по нормам СНиП 2.04.03-85 при исходной влажности осадка $95,5\%$ дозы загрузки могли быть приняты равными $17,5\%$.

Определим глубину процесса распада органического вещества, для чего выполним ряд предварительных расчетов (объяснения к этим расчетам даны в упражнениях 55—59).

Доза загрузки по беззольному веществу

$$D_{63} = 0,11 \cdot 45 \cdot 0,72 = 3,56 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

В сброженном осадке осталось беззольного вещества

$$0,11 \cdot 29 \cdot 0,58 = 1,85 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Распад по беззольному веществу

$$P_{63} = \frac{3,56 - 1,85}{3,56} \cdot 100 = 48,1\%.$$

Найдем величину распада по выходу газа. Плотность газов, найденная по справочнику и подсчитанная как среднеарифметическая величина, составляет $1,15 \text{ кг/м}^3$. При выходе газов 13 м^3 на 1 м^3 загружаемого осадка их масса составит

$$13 \cdot 1,15 = 15,3 \text{ кг/м}^3,$$

или в пересчете на 1 м^3 объема метантенка (что необходимо для получения сравнимых величин)

$$15,3 \cdot 0,11 = 1,68 \text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{сут}).$$

Распад по газу

$$P_G = (1,68 : 3,56) \cdot 100 = 47,2\%.$$

Предел сбраживания загружаемой смеси (учитывается по выходу газов) при соотношении осадка и ила по беззольному веществу $1:1$ составляет

$$a_{\text{см}} = \frac{53,6 \cdot 1 + 50,5 \cdot 1}{2} = 52,1\%.$$

Степень (или глубина) сбраживания осадков, учтенная по выходу газов: $(47,2 : 52,1) \cdot 100 = 91\%$.

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы. Метантенки работали с низкими дозами загрузки как по объему, так и по беззольному веществу. Вследствие этого были получены высокие результаты по степени обработки осадков. Распад по беззольному веществу P_{63} несколько превышает величину P_G , что позволяет говорить о практически закончившемся выделении газа. Глубина сбраживания осадка составляет 91% , т. е. до теоретически возможного выхода осталось недополученным лишь 9% количества газа.

Состав газов брожения и иловой воды свидетельствует о стабильно идущем процессе брожения.

Интересно сравнить также результаты, полученные при эксплуатации, с рекомендациями СНиП 2.04.03-85. При проектировании метантенков при влажности сырых осадков $95,5\%$ ожидаемый распад беззольного вещества, учитываемый по выходу газа, составил бы

$$y = P_G = a_{\text{см}} - n D = 52,1 - 0,28 \cdot 17,5 = 47,2\%.$$

В данном случае в натуре величина P_G получена также равной $47,2\%$, т. е. имеем тот же результат, который по требованиям СНиП 2.04.03-85 следовало бы получить при дозе $D = 17,5\%$. Это означает, что при той же степени сбраживания метантенки могли бы обрабатывать осадка на 59% больше, чем было обработано, т. е. метантенки были заметно недогружены.

Упражнение 61. Определить удельный расход промывной воды q , если удельное сопротивление r подаваемого на вакуум-фильтрацию сброженного осадка составляет $2 \cdot 10^{14} \text{ см}^2/\text{г}$, а сброженной смеси ила и осадка — $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^2/\text{г}$.

Решение. Удельный расход промывной воды для осадка

$$q = \lg(r \cdot 10^{-10}) = \lg(2 \cdot 10^{14} \cdot 10^{-10}) - 1,8 = 2,5 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

а для смеси ила и осадка

$$q = \lg(3 \cdot 10^{16} \cdot 10^{-10}) - 1,8 = 4,5 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Упражнение 62. Рассчитать, какое количество реагентов требуется для обработки осадков способом вакуум-фильтрации. Для этой цели используют FeCl_3 и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с активностью этих веществ соответственно 95 и 40% . Установлено, что необходимая доза Fe_2O_3 составляет $3,5\%$ и CaO — 12% .

Решение. Задача заключается в том, чтобы пересчитать дозу с Fe_2O_3 на FeCl_3 и с CaO на $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Определим необходимую дозу FeCl_3 . В молекуле Fe_2O_3 имеются два атома железа, на долю которых приходится 70% молекулярного веса Fe_2O_3 . Если доза $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 3,5\%$, то на долю железа приходится $3,5 \cdot 0,7 = 2,45\%$.

В FeCl_3 на 56 г железа приходится $162,5 \text{ г}$ соли или на 1 массовую часть железа $2,9$ массовых частей соли. При потребности в железе $2,45\%$ потребность в соли составит $2,45 \cdot 2,9 = 7,1\%$.

Поскольку исследуемое вещество имеет активность 95% , то для обеспечения нужного количества активного реагента потребуется соли $7,1 : 0,95 = 7,5\%$.

Определим необходимую дозу $\text{Ca}(\text{OH})_2$. В составе этого вещества на долю CaO приходится по массе $73,7\%$, или, что то же, на 1 массовую часть CaO требуется $1,36$ массовой части $\text{Ca}(\text{OH})_2$. При

дозе CaO , равной 12%, потребная доза $\text{Ca}(\text{OH})_2$, следовательно, составит: $12 \cdot 1,36 = 16,3\%$.

Активность извести составляет всего 40%, поэтому для обеспечения достаточной дозы по активному продукту необходимая доза $\text{Ca}(\text{OH})_2$ будет равна: $16,3 : 0,4 = 40,8\%$.

Окончательно получим, что для обработки 1 кг сухого вещества осадков нужно взять 75 г хлорного железа и 408 г гашеной извести.

Упражнение 63. Проанализировать данные о работе вакуум-фильтра БОУ-40, если за 2500 ч его эксплуатации на промывку было подано $80\,000 \text{ м}^3$ осадков влажностью 96,8%. Получено после промывки $42\,000 \text{ м}^3$ осадков влажностью 95%; обезвоженного осадка $12\,650 \text{ м}^3$ влажностью 80%. Использованы реагенты: хлорное железо с дозой 4% и гашеная известь с дозой 25% по товарным продуктам. Удельный расход промывной воды составляет $3 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Решение. Подано на промывку сухого вещества $(80\,000 \cdot 32) : 1000 = 2560 \text{ т}$.

Получено сухого вещества после промывки и уплотнения $(42\,000 \cdot 50) : 1000 = 2100 \text{ т}$.

Потеря сухого вещества осадка со сливной водой $2560 - 2100 = 460 \text{ т}$.

В уплотнитель было подано смеси по объему (при удельном расходе промывной воды $3 \text{ м}^3/\text{м}^3$) $80\,000 \cdot 4 = 320\,000 \text{ м}^3$.

Если удалено в виде осадка $42\,000 \text{ м}^3$, то объем сливной воды составит $320\,000 - 42\,000 = 278\,000 \text{ м}^3$.

Концентрация взвешенных веществ в сливной воде $(460 \cdot 1000) : 278\,000 = 1,654 \text{ т/тыс.м}^3$, или 1654 мг/л .

Подано реагентов по сухому веществу:

хлорного железа	$2100 \cdot 0,04 = 84 \text{ т}$
гашеной извести	$2100 \cdot 0,25 = 525 \text{ т}$
всего	$84 + 525 = 609 \text{ т}$

Значительная часть добавляемых реагентов оказывается в воде в нерастворенном виде. Это — образующийся гидроксид железа, практически нерастворимый в воде, до 80% добавляемой извести в связи с малой растворимостью и до 5—10% инородных веществ. Учет всех этих компонентов прямым способом может быть выполнен лишь ориентировочно, но такой подсчет показывает, что 70—80% массы реагентов добавляется к сухому веществу осадков. Более определенный ответ на этот вопрос можно получить иным путем при условии достаточно точно налаженного учета объемов осадков и проведения лабораторного контроля за их качеством. Осадок влажностью 80% еще не рассыпается, он имеет полугустую консистенцию; для такого осадка можно рассчитать количество сухого вещества исходя из данных по объему и влажности осадка.

Получено сухого вещества после фильтрования $(12650 \cdot 200) : 1000 = 2530 \text{ т}$.

Поскольку в осадке сухого вещества было 2100 т, то дополнительные 430 т могут составить реагенты. К сожалению, в отчетных данных не приведены показатели зольности осадков до и после фильтрования. Столь значительная добавка реагентов должна была повысить зольность осадка на 3—8%.

Производительность вакуум-фильтра по сухому веществу при площади поверхности фильтра 40 м^2 с учетом реагентов составит $(2530 \cdot 1000) : (2500 \cdot 40) = 25,3 \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2)$, а без учета реагентов — $21 \text{ кг/(ч} \cdot \text{м}^2)$.

Оценивая полученные результаты, можно отметить, что при вакуум-фильтровании получен осадок удовлетворительного качества по влажности. Производительность аппарата находится в пределах рекомендуемых норм. На обработку осадков затрачено большое количество реагентов, в общей сложности около 30% по массе от массы сухого вещества осадков.

Наблюдается большая потеря сухого вещества осадков (до 20%) при их промывке и уплотнении. Сливная вода из уплотнителя имеет очень высокую концентрацию загрязнений и должна быть в связи с этим дополнительно обработана. Добавка этой воды в первичные отстойники заметно отражается на работе последних.

При фильтровании образуется большой объем фильтрата. В данном примере объем фильтрата составляет более 31 тыс. м^3 с учетом воды растворов реагентов. Поскольку фильтрат направляется в уплотнитель, то общее количество сливной воды будет больше, чем это определено первичным расчетом.

При фильтровании изменяются физико-химические свойства осадков, в них заметно увеличивается доля зольных щелочных элементов.

Упражнение 64. 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 взвешенных веществ 28%.

Решение. В 1 м^3 исходного ила было 32 кг сухого вещества. В виде обезвоженного ила получено сухого вещества $32 \cdot 0,28 = 8,96 \text{ кг/м}^3$.

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 $0,0448 \text{ м}^3$ обезвоженного продукта, то фугата получится $0,9552 \text{ м}^3/\text{м}^3$, 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 $23,04 : 0,9552 = 24,1 \text{ кг/м}^3$, или $24,1 \text{ г/л}$.

При концентрации сухого вещества в фугате $24,1 \text{ г/л}$ его влажность составляет 97,6%.

В результате центрифугирования получилось более 95% фугата от объема обработанного ила с качеством, практически близким к качеству исходного ила. Влажность фугата всего на 0,8% выше влажности ила, поданного на центрифугирование.

В схеме сооружений должна быть предусмотрена система обработки или использования фугата.

Упражнение 65. 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 взвешенных веществ в ней 1 г/л .

Решение. Расчет следует выполнить применительно к 1 л осадка. При влажности 97,4% содержание сухого вещества составляет 26 г/л . После удаления отстаившейся воды объем осадка уменьшился в 2 раза, т. е. стал равным $0,5 \text{ л}$. Удалено иловой воды также $0,5 \text{ л}$ с содержанием в ней сухого вещества $0,5 \text{ г}$. Следовательно, в $0,5 \text{ л}$ осадка осталось сухого вещества $25,5 \text{ г}$, а в пересчете на 1 л — 51 г/л . При концентрации сухого вещества 51 г/л влажность осадка составит 94,9%.

Глава X

КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

§ 46. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

В технической литературе методы обработки и очистки производственных сточных вод принято подразделять на механические, химические, физико-химические и биологические. Указанными методами сточную воду либо кондиционируют для последующей очистки, либо очищают от примесей, при этом очистка может быть осуществлена как с выделением примесей в газообразную, твердую или жидкую фазы, так и с разрушением их. Поэтому целесообразно все многообразие приемов и методов очистки производственных сточных вод рассмотреть с точки зрения их назначения и способов удаления загрязнений и разделить их на методы подготовительной обработки, извлечения примесей и деструктивной очистки.

Задачей подготовительной обработки является кондиционирование сточных вод для обеспечения возможности их транспортирования и дальнейшей очистки. Сюда можно отнести такие методы, как нейтрализация кислых или щелочных вод, удаление взрывоопасных газов, смешение цеховых стоков в целях усреднения состава и сглаживания пиковых концентраций примесей, а также усреднения по расходу и т. п.

К методам извлечения примесей относятся: седиментация, флотация (как разновидность седиментации), побудительная седиментация под действием центробежных сил или с использованием коагулянтов и флокулянтов, отдувка газов, экстракция, эвапорация, сорбция, фильтрование и ряд других. Частным случаем методов извлечения являются такие, при которых фаза сконцентрированных в малом объеме примесей возвращается в производство как ценный продукт. Эти методы извлечения могут быть названы регенеративными. Из всех методов очистки регенеративный метод наиболее целесообразен, поскольку приводит к снижению общих затрат на стоимость продукции и обработку сточных вод.

Деструктивной очисткой воды называют такие способы, при которых происходит разрушение первоначальных загрязнений окислением или восстановлением с последу-

ющим удалением части продуктов реакции в виде осадков или газов. К деструктивным методам можно отнести: хлорирование, озонирование, обесцвечивание окрашенных растворов водородом, окисление под давлением, биохимическое окисление в аэробных и анаэробных условиях.

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 закономерностями, учитываемыми, однако, специфику обрабатываемых сточных вод. Контроль и управление процессами очистки осуществляются по одним и тем же принципам. В связи с этим в данной главе будут рассмотрены только такие методы, которые, как правило, для обработки городских сточных вод не применяются.

§ 47. ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СТОЧНЫХ ВОД И КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ

Усреднение сточных вод — метод, используемый для выравнивания концентраций загрязнений и реакции среды при спуске кислых и щелочных сточных вод, а также для выравнивания расходов удаляемых сточных вод. 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 $2—5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$.

Повседневный контроль за работой усреднителя обеспечивается определением одного-двух показателей, например pH среды, перманганатной окисляемости, вида специфического загрязнения. Целесообразно использование экспресс-методов. Наиболее надежно контроль 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.

В качестве примера сточных вод, перед очисткой которых необходимо усреднение, могут служить сточные воды шерстомойной фабрики. В этих сточных водах в

течение суток концентрация взвешенных веществ колеблется от 1 до 10 г/л, ХПК — от 10 до 50 г/л, БПК_{полн} — от 3 до 22 г/л, количество шерстного жира — от 1,5 до 6 г/л. Шерстомойные сточные воды подвергаются реагентной обработке, и очевидно, что точное дозирование реагентов в техническом отношении было бы крайне затруднительным в условиях резкого колебания уровня загрязнений.

Нейтрализация сточных вод осуществляется чаще всего известковым молоком, если воды кислые, и раствором соляной кислоты, если воды щелочные. В качестве нейтрализующих агентов могут быть использованы и многие другие химические вещества. Наиболее удачными являются решения, предусматривающие использование в качестве реагентов отходов производства, а также взаимную нейтрализацию кислых и щелочных сточных вод отдельных цехов производства.

Процесс нейтрализации контролируют путем регистрации значения pH среды на выходе из нейтрализатора. Системы автоматизации позволяют связать регистрацию значений pH с работой дозирующих устройств, чем обеспечивается стабильность операции.

В нейтрализаторах не должен выпадать осадок, поэтому сооружения оборудуются мешалками или системой аэрации. Однако количество образующихся осадков вследствие реакций нейтрализации обязательно должно быть учтено, при этом системой сооружений должна быть обеспечена дальнейшая обработка этих осадков.

§ 48. МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД И КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССОВ

Седиментация, седиментация с последующей сорбцией. Удаление масел, нефтепродуктов и примесей, плотность которых меньше, чем у воды, чаще всего осуществляется путем седиментации, а также седиментации с последующей сорбцией. Легкие примеси седиментируют вверх и удаляются из сооружения специальными сборными устройствами, например подвижными желобами.

Улавливание нефти может быть отнесено к методам регенеративным, поскольку собранная в нефтеловушках масса направляется в общий сборник нефти. Контроль за работой нефтеловушки включает учет количества обработанной воды, количества уловленной нефти, образу-

ющегося осадка, эффекта работы сооружения по результатам санитарно-химического анализа воды, расхода электроэнергии.

Эффект работы нефтеловушки достаточно высок: за 2 ч удаляется до 97—99% нефтепродуктов.

Флотация — метод побудительной седиментации, применяемый для удаления примесей с плотностью, меньшей, чем у воды, преимущественно таких, которые легко образуют устойчивую пену с пузырьками воздуха. Этот метод широко применяется на предприятиях нефтехимической, химической и легкой промышленности.

Особенно эффективным оказывается применение метода флотации тогда, когда в обрабатываемой воде уже присутствуют пенообразующие СПАВ. Например, при использовании этого метода для очистки шерстомойных сточных вод, в которых концентрация пенообразующих жирных кислот мыла доходит до 4 г/л, очистка по БПК, ХПК и взвешенным веществам происходит на 30—35%, а выделение шерстного жира — на 70—80%.

Контроль за процессами флотации аналогичен контролю за процессами седиментации, но включает определение параметров, специфичных для этого метода. Так, фиксируется 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 СПАВ. Общий анализ воды проводится 1—2 раза в 10 дней.

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 вводится в очищаемую сточную воду; после определенного времени контакта смесь отстаивается. Второй вариант предусматривает фильтрование обрабатываемой сточной воды через слой сорбента.

Основной технологической характеристикой процесса сорбции является сорбционная способность, определяемая количеством загрязнений, снимаемых 1 м³ или 1 кг сорбента. Эта величина обуславливает общий расход сор-

бента, а следовательно, одну из основных статей расхода на очистку сточных вод. Отнесенная ко времени процесса сорбционная способность позволяет определить объем сорбционных колонн.

Наиболее сложной частью сорбционного процесса является регенерация сорбента. Иногда затраты на регенерацию оказываются настолько высокими, что исключают возможность применения сорбционного метода очистки. Сорбционными методами эффективно могут быть удалены многие виды СПАВ, сложные органические вещества, красители, многие металлы.

Реагентная обработка с последующей седиментацией — один из наиболее широко применяемых методов очистки. Этот метод можно рассматривать как одну из разновидностей сорбционной очистки. В качестве реагентов чаще всего применяют соли трехвалентных железа и алюминия, известь, полимерные флокулянты. Реагентную очистку используют при обработке сточных вод производства абразивных материалов, предприятий текстильной промышленности, черной и цветной металлургии и многих других.

При контроле за процессом особое внимание уделяется соблюдению оптимальных условий коагуляции и флокуляции, а также введению минимально возможных доз коагулянтов в целях снижения стоимости очистки стоков. В ряде случаев наибольшая эффективность реагентной очистки может быть обеспечена лишь в условиях довольно узкого интервала значений pH. Поэтому наряду с контролем подачи основных реагентов регистрируется и автоматически поддерживается требуемая реакция среды путем введения дополнительного реагента.

Седиментация под действием центробежных сил — один из видов побудительной седиментации. Очистка в этом случае осуществляется в гидроциклонах (открытых или напорных) для выделения взвешенных веществ плотностью более 1 г/см^3 .

Этот метод рекомендуется для очистки сточных вод производства проката, полихлорвиниловых смол, строительных материалов.

Аэрация — метод десорбции газов из жидкости при продувке ее воздухом. При продувке воды происходит выделение в газовую фазу веществ с низким парциальным давлением, а также химическое окисление некоторых примесей. Путем аэрации из воды можно удалить серо-

водород, сероуглерод, аммиак, угольную кислоту, сернистый газ, органические легкокипящие вещества.

Примером эффективного применения метода аэрации является очистка стоков химических производств от сероводорода и сероуглерода. При интенсивности подачи воздуха $120 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ уже через 10 мин концентрация сероуглерода со 100 мг/л снижается до 10 мг/л , а сероводорода — с 20 до 2 мг/л . Если продолжительность продувки увеличить до 30 мин, то остаточная концентрация сероуглерода снизится до 5 мг/л , а сероводорода — до следовых количеств.

При применении этого метода следует иметь в виду, что загрязненный извлеченными веществами воздух в свою очередь требует очистки, поэтому проблема очистки воды должна рассматриваться в комплексе с проблемой очистки использованного воздуха.

Эвапорация — метод десорбции газов и летучих веществ из сточной воды и переход их во вводимый в воду острый пар. Этот метод эффективен, в частности, для извлечения фенолов. Контроль метода в основном осуществляют по концентрациям остаточных загрязнений.

§ 49. ДЕСТРУКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

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.

Считается установленным тот факт, что многие производственные сточные воды обрабатываются гораздо легче и эффективнее, если их очистка осуществляется совместно с бытовыми сточными водами. Вот почему наиболее часто встречающаяся схема очистки сточных вод включает локальную очистку производственных сточных вод с последующей доочисткой их совместно с бытовыми водами на общегородских канализационных очистных сооружениях. Однако не исключаются случаи полной биологической очистки на локальных сооружениях, если очищенные сточные воды используются повторно или сбрасываются в водоем.

Для сточных вод с высокой концентрацией по БПК нашли применение двухступенчатые системы. Первая ступень процесса — анаэробное сбраживание в метан-

тенках, а вторая — аэробное окисление в аэротенках. В частности, такое решение рекомендовано для очистки сточных вод производства антибиотиков и фабрик перьевой обработки шерсти.

В целях интенсификации процессов биохимического окисления разрабатываются способы окисления в аэротенках, снабжаемых чистым кислородом или воздухом, обогащенным кислородом. По данным исследований, процесс в таких сооружениях (окситенках) протекает в 3—4 раза быстрее, чем в аэротенках.

В настоящее время предложены конструкции, в которых можно поддерживать более высокую концентрацию ила, чем в обычных аэротенках, что и обуславливает увеличение их производительности. К таким конструкциям можно отнести аэротенки-отстойники и фильтротенки. Разработана система двухступенчатой очистки в аэротенках, где вместо отстойника первой ступени использован флотатор. Интересными 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 (или суммы веществ), то, помимо общих стандартных характеристик, периодически определяется и содержание именно этого вещества.

Методы химического окисления. При наличии в сточных водах 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 процессом и уделяется составу конечных продуктов реакции. Не исключаются случаи, когда в процессе озонирования конечные продукты реакции оказываются более токсичными для микроорганизмов водоемов, чем исходные продукты. В таком случае этот способ, безусловно, неприменим.

Озонированием удается разрушить такие трудно окисляемые 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 обуславливает 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 при гидрировании 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. Обработываемую сточную воду (или осадок сточных вод) нагревают до температуры примерно 150°C 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 сточным водам химико-фармацевтической промышленности.

Перечисленными методами не ограничивается все многообразие возможных приемов обработки сточных вод. Так, в последние годы большое число исследований было посвящено изучению методов электрохимической обработки воды, 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.

§ 50. УПРАЖНЕНИЯ

Упражнение 66. Составить заключение о работе системы сооружений по очистке сточных вод кожевенного завода по отчетным данным, представленным в табл. 19.

Таблица 19

Показатель	Значения показателя, мг/л, сточной воды			
	поступающей	после усреднителя	после флотатора	после аэротенка и вторичного отстойника
pH	10,6	8,2	8,1	7,3
Взвешенные вещества	1409	390	140	34
Окисляемость перманганатная	380	240	200	50
БПК ₅	550	360	310	25
ХПК	2000	1400	1000	60
Cr ₂ O ₃	15,7	3,1	2,4	1
СПАВ	43	40	18	9

Решение. В табл. 19 приведены показатели изменения качества воды, очищаемой после усреднения методом флотации с последующим биологическим окислением в аэротенках-смесителях. Поскольку никаких других данных, кроме состава воды, не сообщается, заключение может касаться только оценки достигнутой эффективности очистки воды, но не производительности сооружений.

Отметим особенности состава исходной воды, поступающей на очистку. Это сточные воды ярко выраженного щелочного характера с высокой концентрацией загрязнений по органическим веществам (ХПК=2000 мг/л). Обращает внимание очень низкая величина БПК₅ по сравнению с ХПК. Это говорит о том, что либо большая часть органических веществ трудно окисляется биохимическим путем, либо определение БПК дало заниженные результаты из-за присутствия хрома в очень высокой концентрации. Кроме того, сточная вода загрязнена относительно большим количеством синтетических поверхностно-активных веществ.

После усреднителя вода выходит с концентрацией загрязнений по всем показателям значительно более низкой, чем в исходной сточной воде. Из этого можно заключить, что для исходной сточной воды показаны значения максимальных (а не средних) концентраций, колебания степени загрязненности воды очень велики и метод усреднения, безусловно, целесообразен.

Поскольку концентрация СПАВ после усреднителя еще высока, можно ожидать достаточной эффективности от применения метода флотации. В самом деле, вынос взвешенных веществ в пену составил 64%, СПАВ — 55%. Одновременно происходит снижение ХПК на 28%.

БПК на 14%, хрома на 22,5%. Снижение концентрации хрома особенно важно, так как затем последует биологическая очистка сточной воды, а хром для активного ила является токсичным элементом.

Биологическая очистка сточных вод проходит достаточно глубоко. По качеству очищенная сточная вода соответствует тем требованиям, которые предъявляются к воде после полной биологической очистки. Несколько велик только вынос ила с очищенной сточной водой. Вызывает некоторое сомнение величина ХПК очищенной воды — она слишком низка по сравнению со всеми остальными показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамов Н. Н. Водоснабжение. Изд. 3-е. М.: Стройиздат, 1982.
 Яковлев С. В., Карелин Я. А., Жуков А. И., Колобанов С. К. Канализация. Изд. 5-е. М.: Стройиздат, 1976.
 Николадзе Г. И. Водоснабжение. Изд. 2-е. М.: Стройиздат, 1979.
 Николадзе Г. И. Коммунальное водоснабжение и канализация. Учебник. М.: Стройиздат, 1983.
 Яковлев С. В., Ласков Ю. М. Канализация. Изд. 6-е. М.: Стройиздат, 1978.
 Руководство по гигиене водоснабжения. Под ред. чл.-кор. АМН СССР проф. С. Н. Черкинского. М.: «Медицина», 1975.
 Карюхина Т. А., Чурбанова И. Н. Химия воды и микробиология. Изд. 2-е. М.: Стройиздат, 1983.
 Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством. ГОСТ 2874—82. М.: Изд. стандартов, 1983.
 Правила технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест. М.: Стройиздат, 1979.
 Методика технологического контроля работы очистных сооружений городских канализаций. Изд. 3-е. М.: Стройиздат, 1977.
 СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1985.
 СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. М.: Стройиздат, 1986.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Раздел первый. Природные воды и их обработка	5
Глава I. Состав и характеристика природных вод	5
§ 1. Примеси и оценка качества природных вод	5
§ 2. Требования, предъявляемые к источникам водоснабжения. Нормирование качества питьевой воды	10
§ 3. Упражнения	13
Глава II. Контроль источников водоснабжения	15
§ 4. Контроль подземных источников водоснабжения	15
§ 5. Контроль поверхностных источников водоснабжения	18
§ 6. Упражнения	22
Глава III. Контроль процессов обработки природных вод	25
§ 7. Организация контроля качества воды	25
§ 8. Контроль процессов предварительной обработки воды	28
§ 9. Контроль процесса коагулирования воды	32
§ 10. Контроль процесса отстаивания воды	36
§ 11. Контроль процесса фильтрования воды	38
§ 12. Контроль процессов обеззараживания воды	41
§ 13. Упражнения	46
Глава IV. Контроль особых методов обработки воды	53
§ 14. Контроль процессов умягчения воды	53
§ 15. Контроль процессов очистки воды от соединений железа и марганца	58
§ 16. Контроль процессов очистки воды от сероводорода	61
§ 17. Контроль процессов корректирования содержания фтора в воде	61
§ 18. Контроль процессов опреснения и обессоливания воды	64
§ 19. Контроль процесса обескремнивания воды	67
§ 20. Контроль процесса стабилизационной обработки воды	68
§ 21. Упражнения	69
Раздел второй. Сточные воды и их обработка	71
Глава V. Состав сточных вод	71
§ 22. Классификация сточных вод	71
§ 23. Виды загрязнений	72
§ 24. Понятие о санитарно-химическом анализе	73
§ 25. Основные показатели санитарно-химического анализа и их технологическая оценка	75
§ 26. Отбор, консервация и хранение проб сточных вод	80
§ 27. Нормы загрязнений. Неравномерность состава сточных вод	81
§ 28. Упражнения	84
Глава VI. Контроль процессов механической очистки сточных вод	88
§ 29. Контроль работы решеток, дробилок, решеток-дробилок	88
§ 30. Контроль работы песколовок	90
§ 31. Контроль работы первичных отстойников	92
§ 32. Упражнения	94

Глава VII. Контроль процессов биологической очистки сточных вод в аэробных условиях	94
§ 33. Процессы биологической очистки и их технологическая оценка	94
§ 34. Контроль работы аэротенков	100
§ 35. Контроль работы биофильтров	105
§ 36. Контроль работы вторичных отстойников и уплотнителей. Контроль процессов преаэрации и биокоагуляции	107
§ 37. Контроль работы прочих сооружений биологической очистки	110
§ 38. Упражнения	114
Глава VIII. Контроль процессов доочистки и обеззараживания сточных вод	124
§ 39. Контроль процессов доочистки сточных вод	124
§ 40. Контроль процессов обеззараживания сточных вод	128
§ 41. Упражнения	130
Глава IX. Контроль процессов обработки осадков	132
§ 42. Назначение сооружений по обработке осадков	132
§ 43. Процессы метанового брожения и их технологическая оценка	134
§ 44. Контроль процессов сушки и обезвоживания осадков	138
§ 45. Упражнения	142
Глава X. Контроль процессов обработки производственных сточных вод	150
§ 46. Методы обработки производственных сточных вод	150
§ 47. Подготовительная обработка сточных вод и контроль процессов	151
§ 48. Методы извлечения загрязнений из сточных вод и контроль процессов	152
§ 49. Деструктивные методы очистки сточных вод	155
§ 50. Упражнения	158
Список литературы	159