

В.Ф. Кожин

Очистка питьевой и технической воды

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 504
ББК 20.1
В11

В11 **В.Ф. Кожин**
Очистка питьевой и технической воды / В.Ф. Кожин – М.: Книга по Требованию, 2024. – 303 с.

ISBN 978-5-458-39060-6

ISBN 978-5-458-39060-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

водник, искажает магнитное поле, и ей нужно придать свойства изолятора. Но этому требованию обычная дистиллированная вода не отвечает; даже двойная и тройная дистилляция в данном случае недостаточна. Для подготовки «сверхдистиллированной» воды создан специальный завод, откуда целая река такой воды подается насосами по трубопроводам, имеющим общую длину, которая измеряется сотнями километров.

В рассмотренном выше случае вода служит охлаждающим агентом для потребностей предприятий ядерной физики. В свою очередь ядерные установки также могут быть использованы для опреснения соленых вод, если применяется способ выпаривания последней с последующей конденсацией пара. Для выпаривания воды требуются большие затраты тепла, мощным источником которого являются ядерные реакторы атомной электростанции. Если применить установку с реактором на быстрых нейтронах тепловой мощностью 2,2 млн. кВт с шестью турбогенераторами, то при расходе пара 480 т/ч турбина развивает мощность 85 тыс. кВт, а суммарная мощность шести турбин составит 510 тыс. кВт. Пар, получаемый на выходе из турбин с общим расходом 2150 т/ч, направляется на опреснительную установку. Такая комплексная схема обеспечивает годовую выработку электроэнергии, равную $3,5 \cdot 10^9$ кВт·ч, и одновременное опреснение 180 тыс. м³ соленой воды в сутки¹.

Пресная вода, получаемая на установках, которые используют тепло ядерного реактора, не содержит радиоактивных веществ, так как в процессе опреснения она совершенно не соприкасается с активной зоной реактора.

Из изложенного выше следует, что за последние годы произошли значительные качественные изменения в области очистки воды.

В декабре 1970 г. Верховным Советом СССР утверждены «Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик», устанавливающие порядок водопользования, охраны вод и предупреждения их вредного воздействия, государственного учета и планирования использования вод, а также ответственности за нарушение водного законодательства.

Это вызвало необходимость изменения норм и технических условий проектирования водоочистных сооружений.

В Строительных нормах и правилах СНиП II-Г.3-62 «Водоснабжение. Нормы проектирования» имеется раздел «Очистка воды и водоподготовка». В настоящее время эти нормы пересматриваются с учетом отражения результатов ряда научных исследований, уже проверенных практикой, а также обобщения опыта проектирования, строительства и эксплуатации водоочистных сооружений.

В Директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. указано на необходимость:

¹ Е. Д. Мадьяев, Опреснение соленых вод. Атомиздат, 1965.

завершить в основном обеспечение городского населения централизованным водоснабжением, построить за пятилетие водопроводы в 700 городах и рабочих поселках;

усилить работы по улучшению санитарного состояния населенных пунктов и окружающей среды;

продолжить работы по рациональному использованию и усилению охраны водных ресурсов страны; обеспечить ввод в действие водохозяйственных объектов, имея в виду улучшить водообеспечение городов, рабочих поселков и промышленных предприятий.

Изложенное выше побудило автора при выпуске 3-го издания книги «Очистка питьевой и технической воды» внести необходимые коррективы и дополнения.

Материал предлагаемой книги отражает современные научно-технические достижения в области очистки воды и дает возможность правильно выполнять гидравлические расчеты всех основных сооружений водоочистных станций. При конструировании установок и сооружений водоочистных станций следует пользоваться типовыми проектами, утвержденными Госстроем СССР. Размеры зданий следует назначать в соответствии с величиной шага между колоннами и осями стен согласно действующим правилам по унификации производственных зданий.

Автор выражает искреннюю благодарность рецензенту — кафедре водоснабжения и канализации Горьковского инженерно-строительного института им. В. П. Чкалова за ценные предложения, сделанные при рецензировании рукописи, а также канд. техн. наук И. В. Кожинovu, написавшему § 40 и главу X настоящей книги.

Отзывы и предложения по данному учебному пособию следует направлять по адресу: Москва, К-31, Кузнецкий мост, 9, Стройиздат.

ГЛАВА I

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КАЧЕСТВУ ПИТЬЕВОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ, И ЕЕ АНАЛИЗЫ

§ 1. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КАЧЕСТВУ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Требования к качеству питьевой воды и ее санитарно-бактериологический анализ являются основными исходными данными для проектирования очистных сооружений.

Качество питьевой воды должно удовлетворять ГОСТ 2874—54 «Вода питьевая» (табл. I).

Кроме качественных показателей, перечисленных в ГОСТе, имеет значение окисляемость, которая характеризует содержание в воде органических веществ и легко окисляющихся неорганических примесей. Окисляемость воды определяется путем добавки в нее марганцевокислого калия KMnO_4 , расход которого, требуемый для окисления содержащихся в воде органических веществ, пропорционален их содержанию. Повышенная окисляемость воды (более 10 мг KMnO_4 на 1 л воды) часто свидетельствует о загрязнении ее сточными водами. Окисляемость, равная 0,253 мг/л KMnO_4 , соответствует 1 мг/л O_2 .

Азотсодержащие вещества — аммиак NH_3 , ангидриды кислот азотной N_2O_3 и азотистой N_2O_5 — образуются в воде преимущественно в результате разложения белковых соединений, попадающих в нее со сточными водами. Иногда аммиак, встречающийся в воде, может иметь неорганическое происхождение вследствие его образования в результате восстановления нитратов и нитритов гуминовыми веществами, сероводородом, закисным железом и т. д.

Поэтому такие показатели качества воды, как присутствие аммиака, нитритов и нитратов и окисляемость воды, нужно сопоставлять с бактериологическими анализами воды и санитарно-гигиенической характеристикой района водоприемных сооружений.

Отсутствие в воде аммиака с одновременным присутствием нитритов и, особенно, нитратов, т. е. соединений азотной кислоты, показывает, что загрязнение водоема произошло давно и вода подверглась самоочищению. Наличие в воде аммиака и отсутствие

Основные требования к качеству хозяйственно-питьевой воды
(по ГОСТ 2874—54)

Качественные показатели	Условия определения	Допускаемая величина	Методы испытаний по ГОСТ	Примечание
Мутность	По мутномеру	Не более 2 мг/л	3351—46	В исключительных случаях по согласованию с органами Государственного санитарного надзора до 3 мг/л
Прозрачность	По шрифту Снеллена	Не менее 30 см	3351—46	—
Цветность	По платино-кобальтовой шкале	Не более 20°	3351—46	В исключительных случаях по согласованию с органами Государственного санитарного надзора не выше 35°
Запах	По пятибалльной шкале при температуре воды 20°C	Не более 2 баллов	3351—46	—
Привкус	То же	То же	3351—46	—
Общая жесткость	—	Не более 7 мг-экв/л	4151—48	В исключительных случаях по согласованию с органами Государственного санитарного надзора не более 14 мг-экв/л
Активная реакция pH	При осветлении или умягчении воды	6,5—9,5	4011—48	—
Содержание железа суммарное	При обезжелезивании воды	Не более 0,3 мг/л	4011—48	—
Свинец	—	Не более 0,1 мг/л	4614—49	—
Мышьяк	—	Не более 0,05 мг/л	4152—48	—

Продолжение табл. 1

Качественные показатели	Условия определения	Допускаемая величина	Методы испытаний по ГОСТ	Примечание
Фтор	—	Не более 1,5 мг/л	4386—48	—
Медь	—	Не более 3 мг/л	4388—48	—
Цинк	—	Не более 5 мг/л	4387—48	—
Общее число бактерий	При посеве в 1 мл неразбавленной воды, определяемое числом колоний, после 24-часового выращивания при температуре 37°C	Не более 100	5216—50	—
Коли-индекс = $\frac{\text{колин-титр}}{1000}$	Количество кишечных палочек в 1 л воды, определяемое числом колоний на фульсин-сульфитном агаре, с применением концентрации бактерий на мембранных фильтрах	Не более 3	5216—50	Не более трех кишечных палочек в 1 л воды
Коли-титр = $\frac{\text{колин-индекс}}{1000}$	—	Не менее 300	5216—50	Одна кишечная палочка в объеме воды более 300 см³
Остаточный активный хлор	В водопроводной воде населенного пункта в ближайшей точке к насосной станции	Не менее 0,3 мг/л и не более 0,5 мг/л	4245—48	—
Хлорфенольные запахи	При хлорировании воды	Отсутствие	3351—46	—

нитратов указывает на недавнее загрязнение воды органическими веществами. Из сказанного выше следует, что в питьевой воде не должно быть аммиака (возможно только наличие его следов) и допускаются только слабые следы соединений азотистой кислоты (нитритов), а лучше их полное отсутствие.

Содержание нитратов (соединений азотной кислоты) в питьевой воде не должно быть выше 15—40 мг/л. По данным австрийских гигиенистов, повышенное содержание нитратов (более 50 мг/л) в воде, постоянно используемой для питья, приводит к нарушению окислительной функции крови — метгемоглобинемии.

Существенное значение имеет общая сумма растворенных в воде веществ, так называемый сухой остаток (или плотный остаток) в мг/л. Для его определения выпаривают известное количество предварительно профильтрованной воды, затем остаток высушивают при температуре 105—120°C, взвешивают и пересчитывают на 1 л воды.

Величина общего солесодержания обычно определяется суммированием веса всех содержащихся в воде катионов и анионов, обнаруженных химическими анализами.

В питьевой воде содержание хлоридов не должно превышать 30—50 мг/л, а содержание сульфатов — 60 мг/л. Однако это не всегда достижимо в некоторых южных маловодных районах нашей страны (Туркмения, Казахстан и др.), где местные водоемные источники сильно минерализованы.

Согласно санитарно-гигиеническим исследованиям последнего времени полагают, что содержание в питьевой воде хлор- и сульфат-ионов должно быть не более 300—400 мг/л каждого, натрия — не более 200 мг/л, кальция и магния — не более 100—200 мг/л каждого. Следовательно, общая сумма твердых минеральных примесей в питьевой воде не должна превышать 1000—1500 мг/л. При больших общей минерализации и содержании отдельных ионов наблюдается гиперминерализация организма человека, что вызывает различные функциональные заболевания.

Эти выводы совпадают с известным заключением Д. И. Менделеева о том, что «содержание 1 г в 1 л каких бы то ни было веществ уже делает воду мало пригодной и даже вредной для питья». Согласно ГОСТ 2761—57 величина сухого остатка воды источника централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения допускается не более 1000 мг/л.

Необходимо отметить значение наличия в питьевой воде йода, отсутствие или недостаточное содержание которого может вызвать распространение тяжелого заболевания — эндемического зоба. Установлено, что для предотвращения этой болезни содержание в питьевой воде йода должно быть не менее 10^{-8} мг/л. Однако добавка йода в питьевую воду как мера борьбы с эндемическим зобом не нашла практического применения. Одна из причин этого заключается в неблагоприятном действии содержащей йод воды на отдельных лиц.

Продолжительное потребление питьевой воды с избытком фтора (выше 1,5 мг/л) ведет к почернению и разрушению эмали зубов. Недостаток в воде фтора (менее 0,5 мг/л) усиливает кариес зубов. Наличие в воде фтора более 1,5 мг/л при одновременном малом содержании в воде йода может вызвать заболевание щитовидной железы, так как фтор вытесняет йод из тканей. Поэтому полагают, что фтор в питьевой воде должен содержаться в количестве не более 1,5 мг/л (ГОСТ 2874—54), но и не менее 0,7—0,8 мг/л.

В воде природных источников обычно содержатся растворенные газы — углекислота, кислород и сероводород. В зависимости от величины рН воды углекислота может встречаться в свободном состоянии — в виде углекислого газа CO_2 , полусвязанной углекислоты (бикарбонатные ионы HCO_3^-) и связанной углекислоты (карбонатные ионы CO_3^{2-}). При значениях $\text{pH} < 4,5$ все углекислые соединения присутствуют только в виде свободной углекислоты¹. При величине $\text{pH} = 8,4$ углекислота находится в воде в полусвязанной форме, а при значениях $\text{pH} > 10,5$ — только в связанной форме.

Находящиеся в воде ионы HCO_3^- , CO_3^{2-} и углекислый газ CO_2 связаны так называемым углекислотным равновесием. Часть свободной углекислоты, находящаяся в равновесии с бикарбонатами, имеет название равновесной и не вступает в химические реакции.

Избыточная свободная (или агрессивная) углекислота в отличие от равновесной является весьма активной. Наличие ее в воде вызывает коррозию бетонных сооружений и водопроводных труб.

В водах открытых водоемов (реки, водохранилища, озера) присутствие агрессивной углекислоты является мало вероятным вследствие низкого содержания CO_2 в атмосферном воздухе. Однако в подземных водах содержание агрессивной углекислоты может быть значительным и составлять несколько десятков мг/л.

Количество кислорода, растворенного в воде, зависит от температуры воды и от парциального давления². При парциальном давлении кислорода в атмосферном воздухе, равном 0,21 ат, т. е. в условиях контакта воды с воздухом при атмосферном давлении, предельное содержание растворенного кислорода отвечает данным, приведенным в табл. 2.

Понижение концентрации кислорода по сравнению с этими величинами характеризует загрязнение воды. В реках, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, содержание растворенного кислорода не должно быть менее 4 мг/л. При концентрации кислорода ниже 1—1,5 мг/л погибает рыба.

Сероводород в водах поверхностных источников почти не встречается, так как легко окисляется. В подземных водах присутствие сероводорода объясняется процессами восстановления и разложе-

¹ Содержание свободной углекислоты в воде при $t = 10^\circ\text{C}$ и $\text{pH} = 6 \div 8,5$ приведено в табл. 69.

² Парциальное давление — часть общего давления в газовой смеси, обусловленного наличием данного газа.

ния некоторых минеральных солей (гипса, серного колчедана и др.). Наличие сероводорода иногда до 20—40 мг/л придает воде неприятный запах, вызывает коррозию труб и может способствовать зарастанию трубопроводов вследствие развития серобактерий.

Таблица 2

Содержание растворенного в воде кислорода при давлении 760 мм рт. ст.
и разных температурах воды

Температура воды в °С	Содержание кислорода		Температура воды в °С	Содержание кислорода	
	в см ³ /л	в мг/л		в см ³ /л	в мг/л
0	10,19	14,56	16	6,89	9,85
1	9,91	14,16	17	6,75	9,65
2	9,64	13,78	18	6,61	9,45
4	9,14	13,06	19	6,48	9,26
5	8,91	12,73	20	6,36	9,09
6	8,68	12,41	21	6,23	8,9
7	8,47	12,11	22	6,11	8,73
8	8,2	11,81	23	6	8,58
9	8,06	11,56	24	5,89	8,42
10	7,87	11,25	25	5,78	8,26
11	7,69	10,99	26	5,67	8,11
12	7,52	10,75	27	5,56	7,95
13	7,35	10,5	28	5,46	7,81
14	7,19	10,28	29	5,36	7,67
15	7,04	10,06	30	5,26	7,52

Вода, подаваемая в хозяйственно-питьевой водопровод, должна быть полностью освобождена от болезнетворных бактерий на водосчетных сооружениях. Число видов болезнетворных (патогенных) бактерий, встречающихся в воде, сравнительно невелико. Однако к их числу принадлежат опасные бактерии, вызывающие брюшной тиф, паратиф, холеру, острый гастроэнтерит, дизинтерию, инфекционную желтуху, полиомиелит, сибирскую язву, туляремию, бруцеллез и др.

Присутствие в водопроводной воде болезнетворных бактерий является недопустимым. Показателем бактериального загрязнения могут служить кишечные палочки (бактерии коли), которые сравнительно легко обнаружить при анализе и которые попадают в воду тем или иным путем из кишечника животных и людей.

Тот наименьший объем воды в кубических сантиметрах, в котором содержится одна кишечная палочка, называется *коли-титром*. Согласно ГОСТ 2874—54 для питьевой воды титр кишечной палочки (*коли-титр*) должен быть не менее 300 (т. е. одна кишечная палочка на 300 см³ питьевой воды). Существует также термин *коли-индекс*, который соответствует 1000/коли-титр; следовательно-

но, коли-индекс питьевой воды должен быть не выше 3, т. е. не более трех кишечных палочек в 1 л воды.

Бактериальным свойствам воды должно быть уделено серьезное внимание уже на стадии выбора источника питьевого водоснабжения. Согласно ГОСТ 2761—57 источник считается пригодным, если среднее количество кишечных палочек (коли-индекс) на протяжении цикла исследований составляет: а) для источников, намечаемых к использованию только с хлорированием воды, — не более 1000 на 1 л воды; б) для источников, намечаемых к использованию с полной очисткой и хлорированием воды, — не более 10 000 на 1 л воды. Показатели пригодности воды природных источников, намечаемых к использованию, и воды после очистки и хлорирования приведены в табл. 3.

Таблица 3

Показатели пригодности воды		
Условия использования воды	Коли-титр	Коли-индекс
Вода, намечаемая к использованию		
Вода природных источников: при условии полной очистки и хлорирования (ГОСТ 2761—57)	0,1	10 000
	0,15	6670
	0,2	5000
	0,3	3330
	0,4	2500
	0,5	2000
	0,6	1670
	0,7	1430
	0,8	1250
	0,9	1100
при условии только хлорирования	1	1000
Вода, подаваемая после очистки и хлорирования		
Вода питьевая по стандарту:		
США	100	10
ГОСТ 2874—54	300	3
Московского водопровода	500	2

В водохранилищах и других открытых водоемах распространены мелкие формы водорослей (фитопланктон) и простейшие животные организмы (зоопланктон). В питьевой воде не допускается наличия ни планктонных организмов, ни продуктов распада их клеток и т. п. Следовательно, очистные сооружения должны обеспечивать полное задержание всех видов планктона.

§ 2. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КАЧЕСТВУ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ

На промышленных предприятиях вода расходуется на самые различные нужды, но преимущественно ее используют для следующих основных целей.

1. Для охлаждения действующих агрегатов, например конденсаторов паровых турбин тепловых электростанций, холодильников доменных и мартеновских печей и т. д. Эта вода должна быть освобождена от избытка взвешенных веществ, которые, осаждаясь, засоряют охлаждающие устройства. Охлаждающая вода не должна содержать сероводорода и железа и иметь карбонатную жесткость не выше 2—7 мг-экв/л, в зависимости от температуры нагрева воды и от содержания в ней свободной углекислоты (табл. 4).

Таблица 4

Требования к качеству воды, применяемой для охлаждения агрегатов промышленных предприятий

Показатели качества воды	Допустимое содержание в охлаждающей воде в мг/л	Примечание
Мутность	50—200	В зависимости от типа холодильников
Сероводород	0,5	—
Железо	0,1	—
Гипс (CaSO_4)	1500—2000	В зависимости от общего содержания в воде сульфатов MgSO_4 и Na_2SO_4
Карбонатная жесткость в мг-экв/л	2—7	При температуре нагрева охлаждающей воды 20—50°C и содержания в ней свободной CO_2 от 10 до 100 мг/л

Содержание взвеси в воде, направляемой в холодильники, применяемые на металлургических заводах, должно отвечать более строгим требованиям, которые дифференцируются в зависимости от типа холодильника (табл. 5).

Таблица 5

Требования к качеству воды, направляемой в холодильники металлургических заводов

Холодильники	Предельно допустимое содержание взвеси в воде в мг/л	
	круглогодичное	в половодье
Коробчатого типа:		
фуры	15	30
прочие	30	60
Трубчатого типа:		
фуры, шлаковые и чугунные летки	50	100
прочие	100	200

2. Для питания котлов вода должна быть в большей или меньшей степени освобождена от взвеси (в зависимости от типа котлов), солей жесткости и растворенного кислорода. Питательная вода для современных котлов высокого давления (барабанных и прямоточных) должна быть полностью умягчена, обескремнена,