

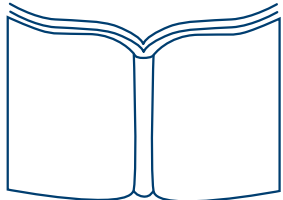
**Справочник** для профессионалов

# ВОДОПОДГОТОВКА

[www.aqua-therm.ru](http://www.aqua-therm.ru)



БИБЛИОТЕКА



АКВАТЕРМ

**Справочник для профессионалов**

# **ВОДОПОДГОТОВКА**

[www.aqua-therm.ru](http://www.aqua-therm.ru)

Под редакцией  
доктора технических наук,  
действительного члена Академии  
промышленной экологии  
С.Е. Беликова



Москва  
2007

**УДК 628.1:628.54; 621.182.12 (035.5)**

**Водоподготовка:** Справочник. /Под ред. д.т.н., действительного члена Академии промышленной экологии С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

В издании описаны свойства природной воды, представлены нормы и нормативные документы по качеству воды потребителей – промышленных, энергетических, бытовых.

Изложены современные методы технологии водоподготовки (кроме методов так называемой предочистки и некоторых других).

Даны сведения о материалах, реагентах и оборудовании, о технологических расчетах.

Для специалистов в области водоподготовки, инженеров других специальностей, желающих познакомиться с этой отраслью техники.

Книга может быть полезной студентам высших и средних учебных заведений.

*Авторы-составители: Хохрякова Е.А., Резник Я. Е.*

**ISBN 5-902561-09-4 (978-5-902561-09-5)**

# Оглавление

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	10
<b>ЧАСТЬ ПЕРВАЯ</b>	
1. Природные воды. Примеси. Качество .....	13
1.1. Свойства воды.....	13
1.1.1. Химически чистая вода .....	13
1.1.2. Строение молекул и ассоциатов природной воды.....	13
1.1.3. Состав природной воды. Изотопы.....	14
1.1.4. Физические свойства воды.....	14
1.2. Классификация природных вод.....	15
1.2.1. Дисперсные системы.....	15
1.2.2. Системы классификации.....	15
Классификация С.А. Шукарева .....	16
Классификация Л.А. Кульского .....	16
Классификация фирмы Rohm & Haas (США).....	17
Классификация О.А. Алёкина.....	17
Классификация А.И. Перельмана .....	17
1.3. Физико-химические показатели качества природных вод.....	18
1.3.1. Взвешенные примеси .....	18
1.3.2. Мутность и прозрачность .....	18
1.3.3. Запах .....	19
1.3.4. Вкус и привкус.....	20
1.3.5. Цветность.....	20
1.3.6. Минерализация .....	20
1.3.7. Электропроводимость .....	21
1.3.8. Жесткость .....	22
1.3.9. Щелочность .....	22
1.3.10. Органические вещества.....	22
Окисляемость перманганатная .....	23
Окисляемость бихроматная.....	23
Биохимическая потребность в кислороде .....	23
Общий органический углерод.....	24
1.3.11. Растворенный кислород.....	24
1.3.12. Водородный показатель (рН).....	24
1.3.13. Тяжелые металлы .....	24
1.4. Интегральные показатели качества вод – индексы качества.....	25
1.4.1. Гидробиологический показатель качества воды – индекс сапробности .....	25
1.4.2. Гидрохимический индекс загрязнения воды .....	26
1.4.3. Окислительно-восстановительный потенциал (Редокс-потенциал).....	27

2. Нормативы качества воды.....	28
2.1. Нормативы качества воды для систем хозяйственно-питьевого, коммунально-бытового и промышленного водоснабжения и воды водоемов и водотоков. Основы водного законодательства. Термины. Перечень документов.....	36
2.2. Сопоставление норм качества питьевой воды России, Европейского Союза (ЕС), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), национальных норм США и некоторых европейских стран. Объем сопоставлений. Источники данных.....	37
2.2.1. Характеристика нормативов США .....	37
2.2.2. Нормативы ВОЗ .....	37
2.2.3. О нижней границе ПДК веществ в питьевой воде.....	38
2.2.4. Сопоставление норм качества питьевой воды.....	38
2.2.5. О воде, расфасованной в емкости (в том числе – бутылированной): потребление, классификация.....	44
2.2.6. Сопоставление норм качества питьевой воды, расфасованной в емкости .....	45
2.3. Нормативы качества воды для систем теплоснабжения, горячего водоснабжения, паровых и водогрейных котлов. Требования к устройству и эксплуатации теплогенераторов и теплоиспользующих аппаратов в связи с водно-химическим режимом. Перечень документов. ....	49
2.4. Сопоставление норм качества питательной воды стационарных паровых котлов давлением до 3,9 МПа по нормативным документам Госгортехнадзора России, ГОСТ 20995-75**** и рекомендациям изготовителей котлов. ....	52
2.5. Сопоставление норм качества воды для подпитки тепловых сетей по нормативным документам Госгортехнадзора России, РД 24.031.120-91 (п.9) и Правилам по п.13 .....	55
2.6. О качестве воды централизованного горячего водоснабжения по нормативам Минздрава РФ .....	58
2.7. Нормы качества воды тепловых сетей некоторых европейских стран.....	58
2.8. Требования к качеству питательной воды паровых электрических котлов с абсолютным давлением до 0,17 МПа по Правилам Госгортехнадзора России.....	61
2.9. Требования к качеству подпиточной и сетевой воды водогрейных электрических котлов с температурой нагрева воды до 115 и 150°С по Правилам Госгортехнадзора России.....	61
2.10. Нормы качества питательной и подпиточной воды паровых котлов низкого давления пара и водогрейных котлов с низкой температурой нагрева воды по Правилам б. Минстроя РФ .....	62
2.11. Об организации нормирования качества воды и противоречиях в нормах .....	62
2.12. Нормативы качества воды паровых и водогрейных котлов импортного производства по требованиям заводов-изготовителей.....	63
3. Анализы качества воды .....	64
3.1. Контроль качества воды. Перечень нормативных документов .....	64
3.2. Влияние некоторых примесей исходной воды на работу энергетических объектов .....	72
3.2.1. Органические вещества .....	72
3.2.2. Сухой и прокаленный остаток.....	73
3.2.3. Аммоний.....	73
3.3. Рекомендуемый состав прописи анализов воды .....	73
3.4. Обеспечение правильности анализов.....	74
3.5. Водородный показатель (рН) .....	74
3.6. Проверка правильности анализов воды .....	74
4. Методы водоподготовки .....	76
4.1. Выбор методов .....	76
4.2. Осветление воды фильтрованием через слои зернистого насыпного материала .....	76
4.2.1. Классификация фильтров с зернистой загрузкой .....	76
4.2.2. Технология фильтрования .....	76
4.2.3. Скорость фильтрования .....	77
4.2.4. Условия применения .....	77
4.3. Натрий-катионирование .....	80
4.3.1. Сущность метода .....	80

4.3.2. Особенности натрий-катионирования и регенерации катионита .....	81
4.3.3. Критерии применимости метода .....	82
4.3.4. Допустимое качество исходной воды .....	85
4.3.5. Жесткость воды после натрий-катионирования .....	85
4.3.6. Объем катионита в фильтре .....	86
4.3.7. Расход хлорида натрия для регенерации катионита .....	86
4.3.8. Качество воды после натрий-катионирования .....	86
4.3.9. Объем умягченной воды .....	87
4.4. Натрий-хлор-ионирование .....	87
4.4.1. Сущность метода .....	87
4.4.2. Пределы применения метода .....	87
4.4.3. Качество воды после натрий-хлор-ионирования .....	87
4.4.4. Обменная емкость ионита и расход регенеранта .....	87
4.5. Водород-натрий-катионирование .....	87
4.5.1. Сущность метода .....	88
4.5.2. Условия применения метода .....	88
4.5.3. Условия применения водород-катионирования с «голодной» регенерацией .....	89
4.5.4. Водород-катионирование с «голодной» регенерацией карбоксильных катионитов .....	89
4.5.5. Фильтрующие материалы и регенеранты .....	90
4.5.6. Качество воды после водород-натрий-катионирования .....	90
4.6. Аммоний-натрий-катионирование .....	91
4.6.1. Основы метода .....	91
4.6.2. Условия применения метода .....	91
4.6.3. Обменная емкость катионита и расход регенеранта .....	91
4.7. Анионирование .....	91
4.7.1. Сущность метода .....	91
4.7.2. Особенности процесса .....	92
4.7.3. Варианты схем .....	92
4.8. Декарбонизация воды .....	92
4.8.1. Применение метода .....	92
4.8.2. Расчетные параметры .....	93
4.9. Деминерализация воды ионированием .....	94
4.9.1. Условия применения метода .....	95
4.9.2. Фильтры смешанного действия .....	95
4.9.3. Особенности ионообменной технологии .....	95
4.9.4. Противоточное фильтрование .....	96
Технология Швебебет .....	96
Технология Лифтбет .....	97
Технология Ринзebet .....	97
Технология Мультистеп .....	97
Технология Амберпак .....	97
Технология UFD .....	98
Технология по системе с противодавлением .....	98
Технология АПКОРЕ .....	98
4.9.5. Сравнительная характеристика противоточной и параллельноточной технологий .....	99
4.10. Баромембранные методы водоподготовки .....	100
4.10.1. Состав группы методов .....	100
4.10.2. Обратный осмос .....	100
4.10.3. Ультрафильтрация .....	103
4.10.4. Мембраны .....	103
4.10.5. Мембранные аппараты и установки .....	104
4.10.6. Концентрационная поляризация .....	106
4.10.7. Причины изменения характеристик мембран в процессе их эксплуатации .....	106
Физико-механическое воздействие на мембраны .....	106
Химическая и биологическая деструкция мембран .....	107

Загрязнение мембран при их эксплуатации.....	107
Природа и химический состав загрязнений.....	108
Влияние гидродинамических условий в обратноосмотических аппаратах на загрязнение поверхности мембран.....	108
4.10.8. Способы предотвращения загрязнения мембран.....	108
4.10.9. Восстановление характеристик мембран.....	109
Химические методы.....	109
Физико-химические методы.....	109
4.10.10. Оценка осветления воды.....	110
4.10.11. Условия применения обратного осмоса.....	111
4.10.12. Сравнение методов обессоливания воды (ионный обмен и обратный осмос).....	111
4.11. Обезжелезивание воды.....	112
4.11.1. Химизм процессов в воде с участием железа.....	112
4.11.2. Методы обезжелезивания воды.....	113
Упрощенная аэрация.....	113
Аэрация в специальных устройствах.....	113
Метод «сухого» фильтрования.....	114
Коагулирование, осветление, флокулирование.....	115
Введение реагентов-окислителей. Обработка воды хлором и его производными.....	115
Обработка воды перманганатом калия.....	116
Обработка воды озоном.....	116
Фильтрование с применением каталитических загрузок.....	116
Обезжелезивание воды катионированием.....	117
4.12. Деманганация воды.....	118
4.12.1. Химизм процесса деманганации.....	118
4.12.2. Методы деманганации.....	118
Глубокая аэрация с последующим фильтрованием.....	118
Деманганация перманганатом калия.....	118
Каталитическое окисление марганца.....	118
Фильтрование через модифицированную загрузку.....	119
Введение реагентов-окислителей.....	119
Удаление марганца методом ионного обмена.....	119
4.13. Озонирование воды.....	119
4.13.1. Принцип получения озона.....	120
4.13.2. Обеззараживающее действие озона.....	120
4.13.3. Обесцвечивание воды.....	121
4.13.4. Удаление из воды железа и марганца.....	121
4.13.5. Устранение привкусов и запахов воды.....	121
4.13.6. Особенности озонирования.....	122
4.14. Ультрафиолетовое обеззараживание воды.....	122
4.14.1. Технология проведения.....	122
4.14.2. Условия применения метода.....	123
4.14.3. Положительные и отрицательные качества метода.....	123
4.14.4. Источник бактерицидного излучения.....	123
4.14.5. Сравнение основных методов обеззараживания воды: хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение.....	124
4.15. Электрохимические методы.....	125
4.15.1. Сущность процесса.....	125
4.15.2. Классификация электрохимических методов.....	126
Электрокоагуляция.....	126
Электрофлотация.....	126
4.15.3. Материалы и конструкции электродов.....	126
Катодные материалы.....	126
Анодные материалы.....	127
Конструкции электродов.....	127

4.15.4. Электродиализ .....	127
Методы организации процесса.....	129
Технологические особенности мембран и аппаратов .....	129
Конструкции и схемы.....	130
Условия применения метода.....	130
4.15.5. Основные технологические параметры электрохимических методов.....	131
4.15.6. Электрохимическое обеззараживание воды.....	131
4.16. Магнитная обработка.....	132
4.16.1. Гипотезы и факты .....	132
4.16.2. Технология проведения и условия применения метода .....	133
4.16.3. Технологические особенности метода .....	133
4.17. Электромагнитное воздействие на воду с переменной частотой .....	134
4.17.1. Сущность метода .....	134
4.17.2. Технология и условия применения .....	134
4.17.3. Особенности применения метода.....	134
4.18. Стабилизационная обработка воды .....	135
4.18.1. Основные проблемы, возникающие при эксплуатации водопроводных систем ....	135
4.18.2. Индексы стабильности воды.....	135
4.18.3. Влияние некоторых показателей качества воды на ее стабильность.....	137
4.18.4. Коррозия .....	138
Виды коррозии .....	138
Параметры, оказывающие основное влияние на коррозию .....	139
Ингибиторы коррозии .....	139
4.18.5. Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе стабильности .....	140
4.18.6. Стабилизационная обработка воды при положительном индексе стабильности... ..	140
Подкисление.....	140
Фосфатирование.....	141
4.18.7. Комплексоны .....	141
4.18.8. Технология проведения .....	141
4.18.9. Требования к реагентам для обработки воды тепловых сетей .....	142
4.18.10. Физические методы обработки воды .....	142

## ЧАСТЬ ВТОРАЯ

1. Фильтрующие зернистые материалы для осветления и сорбции воды .....	143
1.1. Введение .....	143
1.2. Активные угли и другие углеродные сорбенты .....	144
1.2.1. Производство активных углей (АУ) .....	144
1.2.2. Классификация АУ .....	144
1.2.3. Условия применения. Технологические свойства .....	144
1.2.4. Сравнение разных марок активных углей .....	145
1.2.5. Регенерация АУ .....	150
1.2.6. Углеродные сорбенты .....	150
1.3. О некоторых неуглеродных сорбентах.....	150
1.4. Цеолиты.....	152
1.4.1. Природные цеолиты.....	152
1.4.2. Синтетические цеолиты.....	154
Производство, строение.....	154
Молекулярные сита типа А.....	154
Молекулярные сита типа Х.....	154
Селективность.....	154
Применение .....	155
1.5. Антрациты .....	156
1.5.1. Свойства .....	156
1.5.2. Требования к качеству.....	158
1.5.3. Условия применения фильтров с антрацитом разных марок.....	158



1.6. Характеристики фильтрующих материалов .....	160
1.6.1. Фильтрующий материал марки Filter-Ag (Filter Aggregate, Фильтр-Агрегат) .....	160
1.6.2. Фильтрующий материал марки «Гарнет» .....	161
1.6.3. Фильтрующий материал марки «Графил» .....	161
1.6.4. Фильтрующий материал «Шунгизит» .....	162
1.6.5. Фильтрующий материал марки «Сополимер-8» .....	162
2. Каталитические загрузки для удаления из воды железа и марганца .....	163
2.1. Фильтрующий материал марки Manganese Green Sand (MGS, марганцевый зеленый песок) .....	163
2.2. Фильтрующий материал марки Green Sand Plus .....	164
2.3. Фильтрующий материал марки MTM .....	164
2.4. Фильтрующий материал марки «МЖФ» .....	165
2.5. Фильтрующий материал марки Birm («Бирм») .....	166
2.6. Фильтрующий материал марки Pyrolox («Пиролокс») .....	167
2.7. Фильтрующий материал марки FILOX-R («Филокс-Р») .....	167
2.8. Фильтрующий материал марки «Пиролюзит» .....	168
2.9. Фильтрующий материал марки Quantum DMI-65 .....	168
2.10. Сорбент марки «МИУ-С» .....	168
3. Фильтрующие материалы для корректировки водородного показателя (pH) среды .....	170
3.1. Фильтрующий материал марки Corosex («Коросекс») .....	170
3.2. Фильтрующий материал марки Calcite (кальцит) .....	170
4. Иониты .....	171
4.1. Неорганические иониты .....	171
4.2. Синтетические ионообменные материалы – ионообменные смолы .....	171
4.2.1. Структура .....	171
4.2.2. Полимерная основа ионитов .....	172
4.2.3. Иониты гелевые и макропористые .....	172
4.3. Свойства ионитов .....	173
4.3.1. Гранулометрический состав .....	173
4.3.2. Насыпная масса и насыпной объем .....	174
4.3.3. Механическая прочность .....	174
4.3.4. Осмотическая прочность .....	175
4.3.5. Химическая стойкость .....	175
4.3.6. Термическая стойкость .....	175
4.3.7. Ионообменные свойства .....	176
4.3.8. Селективность .....	176
4.3.9. Плотность .....	177
4.3.10. Показатели качества исходной воды, влияющие на обменную емкость ионитов .....	177
Взвешенные примеси .....	177
Железо и марганец .....	177
Алюминий .....	178
Хлор, кислород, озон .....	178
Органические вещества .....	178
Бактерии .....	181
4.4. Номенклатура ионитов .....	181
4.5. Выбор ионитов .....	186
4.6. Сульфуголь .....	186
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b>	
Приложение 1. Единицы измерения величин .....	188
П.1.1. Температура .....	188
П.1.2. Длина .....	189
П.1.3. Площадь .....	189
П.1.4. Объем, вместимость .....	189
П.1.5. Масса .....	189

П.1.6. Плотность (в т.ч. насыпная) .....	189
П.1.7. Линейная плотность .....	189
П.1.8. Поверхностная плотность .....	189
П.1.9. Удельный объем.....	190
П.1.10. Скорость (линейная).....	190
П.1.11. Ускорение .....	190
П.1.12. Массовый расход .....	190
П.1.13. Объемный расход .....	190
П.1.14. Сила, вес .....	190
П.1.15. Удельный вес .....	190
П.1.16. Давление .....	190
П.1.17. Напор воды.....	190
П.1.18. Удельный объемный расход .....	191
П.1.19. Потери давления во время фильтрования .....	191
П.1.20. Расход сорбата .....	191
П.1.21. Работа, энергия, количество теплоты.....	191
П.1.22. Мощность, тепловой поток .....	191
П.1.23. Поверхностная плотность теплового потока.....	191
П.1.24. Вязкость.....	191
П.1.25. Напряженность магнитного поля.....	191
П.1.26. Твердость .....	191
П.1.27. Радиоактивность элементов.....	192
П.1.28. Доза излучения.....	192
П.1.29. Проницаемость пористых сред (в том числе горных пород и минералов). .....	192
П.1.30. Размеры частиц, зерен (гранул) фильтрующих материалов по СИ и стандартам других стран .....	193
П.1.31. Концентрация растворов .....	193
П.1.32. Жесткость и щелочность воды.....	195
П.1.33. Удельные электропроводимость и электросопротивление .....	195
П.1.34. Содержание в воде взвешенных примесей, прозрачность и мутность воды .....	196
П.1.35. Минерализация.....	197
П.1.36. Сухой и прокаленный остаток .....	197
П.1.37. Характеристики текстильных волокон.....	197
П.1.38. Десятичные кратные и дольные единицы измерения величин .....	197
Приложение 2. Термины и определения .....	198
Приложение 3. Математические обозначения, символы и сокращения в англоязычной литературе и документации .....	202
Приложение 4. Методы определения технологических свойств материалов водоподготовки, щелочности воды, органических веществ, коллоидного индекса, взвешенных примесей и мутности воды .....	203
Приложение 5. Примеры технологических расчетов .....	207
Приложение 6. Некоторые химические свойства реагентов, применяемых при обработке воды .....	212
Приложение 7. Выбор способа обработки воды для централизованного горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения (по СП 41-101-95).....	217
Приложение 8. Нормативы качества воды для котлов импортного производства по требованиям заводов-изготовителей.....	219
Приложение 9. Основные производители ионитов .....	225
Приложение 10. Реквизиты издателей и распространителей российских государственных нормативных документов; фондов и ассоциаций; международных и иностранных национальных нормативов по качеству воды и водоподготовке .....	227
Приложение 11. Перечень изданий, публикующих материалы о воде и водоподготовке .....	230
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ И РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> (часть наименований – в основном тексте издания).....	231

# Введение

10

**Д**олгие годы и столетия водоподготовка не выделялась как отрасль техники и еще менее – как отрасль химической технологии. Использовались эмпирически найденные приемы и способы очистки воды, главным образом, противомикробные. И потому история водоподготовки – это история приспособления для подготовки и очистки воды известных химических процессов и технологий, нашедших или находящих свое применение.

Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения принципиально отличается от других областей химической технологии: процессы водоподготовки протекают в больших объемах воды и при очень малых количествах растворенных веществ. Значит, большие расходы воды требуют устройства крупногабаритного оборудования, а малое количество извлекаемых из воды веществ неизбежно влечет за собой применение «тонких» методов обработки воды.

После обработки в системах и на станциях водоподготовки требуется вода со степенью чистоты, недоступной, да чаще всего и ненужной, для большей части химических продуктов. Например, стандартное требование – предел содержания железа в питьевой воде и питательной воде энергетических объектов, равный 0,3 мг/л, означает чистоту в 0,00003%!

В настоящее время усиленно разрабатываются научные основы технологий обработки воды, учитывающие указанную специфику этой отрасли техники. И такая работа далека от завершения, если можно вообще говорить об окончательном познании воды.

Было бы громадным преувеличением утверждать, что передовые научные и конструкторские силы, лучшие машиностроительные мощности

были направлены на реализацию потребностей водоподготовки. Напротив, внимание к этой отрасли и, стало быть, финансирование проявлялись в наименьшем объеме, по остаточному принципу.

Испытания, выпавшие на долю России за последние 12–15 лет, в полной мере познала и водоподготовка. Одно из печальных следствий такого положения – отсутствие на рынке универсальных изданий по водоподготовке.

В этих условиях Издательский Дом «Аква-Терм», публикуя справочник, надеется привлечь к нему внимание как специалистов, так и людей, только начинающих свой путь в водоподготовке.

О последней группе необходимо сказать особо. И заказчики, и поставки водоподготовительного оборудования все больше, если можно так выразиться, индивидуализируются. В прошлые годы поставки были, как правило, оптовыми, а теперь, в основном, – мелкооптовые и одиночные. Не говоря о том, что совсем недавно отсутствовало российское производство бытовых фильтров и систем автономного водоснабжения, по определению поставляемых в одном или нескольких экземплярах. Да и импорт такого оборудования был весьма скуден. Значит, в водоподготовку вовлекается множество людей, ранее с ней незнакомых.

Кроме того, при малочисленности специалистов по водоподготовке водой занимаются многие инженеры, получившие образование по другим специальностям.

Поэтому текст издания содержит сведения не только справочного характера для состоявшихся специалистов, но и сведения, включаемые обычно в учебники для высших и средних учебных заведений, а также данные, позволяющие потребителю ориентироваться в обильном количестве материалов и конструкций для водоподготовки.

Вряд ли можно назвать легкой задачу удовлетворения запросов таких разнообразных групп читателей – свести воедино специальные, научно-популярные и просто популярные тексты. Вам – читателям – судить, удалось ли издательству (и в какой мере) решить эту задачу.

В соответствии с вышесказанным книга построена следующим образом.

Глава первая части первой рассказывает о воде как особом веществе, особом «рабочем теле» всех производств, о ее качестве, примесях и их влиянии на здоровье людей и работу промышленного оборудования. Представлены разные системы классификации природных вод. Глава вторая посвящена рассмотрению нормативов качества воды. Приводится наиболее полный перечень действующих нормативных документов, регламентирующих качество природных вод, используемых для подготовки питьевой воды и воды для промышленности и энергетики, а также документов, определяющих требования разных потребителей к качеству подготовленной воды. Публикуется перечень соответствующих документов. В сопоставлении с российскими рассмотрены некоторые зарубежные нормы. Сопоставлены российские и международные нормы и рекомендации, касающиеся качества питьевой воды и воды, расфасованной в емкости.

В третьей главе дан перечень нормативных документов, регламентирующих аналитические методики по качеству воды. Обращено внимание на то, что воду для энергетических потребителей нужно анализировать не только по тем показателям, которые определяются при получении питьевой воды. Необходимо также определять некоторые примеси природных вод – при нагреве воды в теплогенераторах и теплоиспользующих аппаратах эти примеси могут служить источниками коррозионных и накипных проявлений. В связи с этим предложен примерный состав прописи анализов воды для энергетических потребителей воды. Показано, как соотносятся между собой показатели качества воды, определенные разными методиками.

Глава четвертая содержит описание наиболее часто применяющихся методов водоподготовки: химическая или физическая природа процессов, лежащих в их основе, технология, материалы, конструкции, оборудование, схемы. Показаны принципы расчетов технологии и оборудования. Представлены возможности каждого метода обработки воды.

Здесь сделана попытка представить начинающим «водникам» облик, суть методов водоподготовки. Но, возможно, и опытные специалисты увидят пользу в системном описании каждого метода: в каких условиях (при каком качестве исходной

воды) может применяться конкретный метод, воду какого качества можно получить этим методом. Надеемся также, что специалисты в описаниях методов найдут некоторые новые для себя частности и детали.

Часть вторая описывает фильтрующие материалы: наполнители осветлительных фильтров, сорбенты, иониты.

В списке литературы приведены почти все основополагающие монографии, энциклопедические издания, справочники как новые, к сожалению, немногочисленные, так и ранее изданные, но сохраняющие и сегодня свою полезность. Ссылки на некоторые публикации, касающиеся частных вопросов, но безусловно необходимые, даны в тексте книги.

В Приложения вынесены справочные материалы об ионитах, о терминах водоподготовки, единицах измерения величин, встречающихся в технической литературе и документации, методах определения некоторых параметров, и даны примеры расчетов фильтров. Приведены реквизиты информационных организаций.

Расширенное детализированное оглавление, кроме своего прямого назначения, может служить в некотором роде предметным указателем.

Цель издательства состоит в том, чтобы читатель получил сведения о нормировании качества воды для разных пользователей, о современных технологиях водоподготовки. Ввиду чрезвычайной сложности этой задачи были поставлены определенные границы: здесь нет информации об отстаивании, коагулировании в осветлителях, известковании, содоизвестковании и некоторых других технологиях и конструкциях, традиционно называемых «предочисткой». Также нет данных о методах и конструкциях, нашедших применение в основном в «большой» энергетике. Рассмотрены и представлены методы, применяющиеся для подготовки воды в коммунальном водоснабжении, в котельных, оборудованных паровыми котлами с давлением пара до 3,9 МПа, водогрейными котлами с теплопроизводительностью до 209 МВт и температурой сетевой воды на выходе из котла не более 180°C, и системах теплоснабжения.

Нет сведений о термических методах водоподготовки: дегазации (деаэрации), дистилляции, даны краткие сведения о коррозии оборудования. Не затронуты обширные темы: технология, реагенты и оборудование, обеспечивающие оптимальный водно-химический режим теплоэнергетического оборудования, очистка сточных вод от оборудования и систем водоподготовки.

Публикация выписок из нормативных документов в данном издании не может служить основа-

нием для читательских ссылок в своих работах и суждениях. Здесь извлечения из официальных изданий помещены в качестве справок соответственно Закону РФ № 5352 от 9 июля 1993 г. «Об авторском праве и смежных правах», ст. 8. Тем более, что проверка правильности ссылок – вне пределов возможностей издательства.

Полные тексты нормативных документов публикуются в официальных изданиях Минздравсоцразвития (б. Минздрава РФ), Госстандарта России, Госстроя России и Госгортехнадзора России. Реквизиты издательских центров этих государственных учреждений – в Приложении 10.

# Часть первая

## 1. Природные воды. Примеси. Качество

### 1.1. Свойства воды

**В**ода – самое аномальное вещество природы. Это расхожее выражение связано с тем, что свойства воды во многом не соответствуют физическим законам, которым подчиняются другие вещества.

#### 1.1.1. Химически чистая вода

Прежде всего необходимо напомнить: когда мы говорим о природной воде, все суждения должны быть отнесены не к воде как таковой, а к водным растворам разных, фактически всех, элементов Земли.

До сих пор получить химически чистую воду не удалось. Например, в одном из опытов немецкий химик В.Ф. Кольрауш подвергал воду 42 циклам дистилляции подряд, причем вода находилась в сосуде, с которым ученый работал до этого опыта в течение 10 лет. Следовательно, можно было предположить, что из стенок сосуда в выпариваемую воду ничего не перейдет. Степень чистоты воды, полученной в опыте Кольрауша и определенной по электропроводимости, оказалась в 100 раз больше, чем у монодистиллированной (один цикл дистилляции) воды.

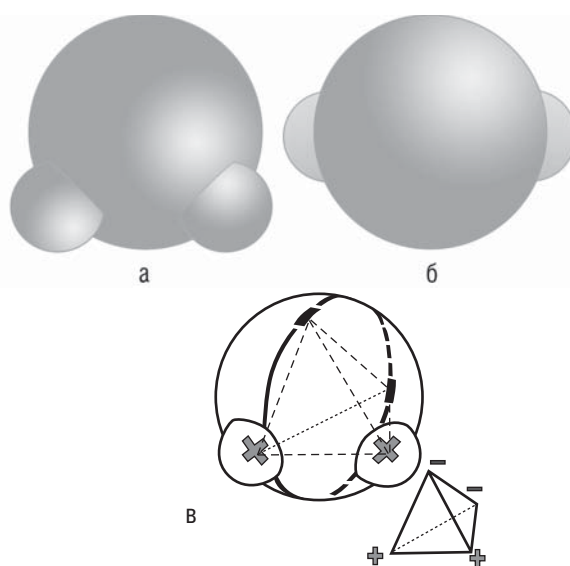
Но все-таки эту воду нельзя назвать абсолютно чистой: в дистиллированной воде сразу же раство-

ряются газы земной атмосферы и, вероятно, все-таки частицы стенок сосуда. В воде есть и «собственные» примеси: при обычной температуре из каждого миллиарда молекул воды образуется два иона –  $H^+$  и  $OH^-$ . Ион  $H^+$  немедленно присоединяется к молекуле воды, образуя ион гидроксония  $H_3O^+$ .

#### 1.1.2. Строение молекул и ассоциатов природной воды

Самая простая принятая сегодня модель молекулы воды – тетраэдр (рис. 1.1, 1.2). В действительности одиночные молекулы воды при нормальных температуре и давлении не существуют. Есть не-

13



**Рис 1.1. Тетраэдр (модель):**

а – вид на молекулу воды со стороны атомов водорода;  
б – вид на молекулу воды со стороны атома кислорода;  
в – заряды (электроны, расположенные в молекуле воды в виде тетраэдра)



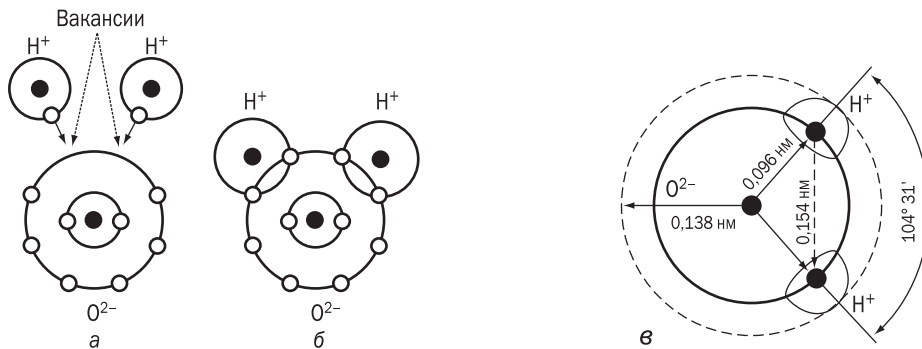
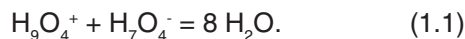


Рис. 1.2. Схема процесса образования из одного атома кислорода и двух атомов водорода (а) молекулы воды (б); в – молекула воды и ее размеры

сколько гипотез, описывающих строение и свойства ассоциатов воды. Однако единое понимание пока не достигнуто.

Существует и вполне обоснованное мнение о том, что в воде, кроме ионов  $H^+$ ,  $H_3O^+$  и  $OH^-$  (отвлекаясь от инородных примесей), содержатся и другие ионы:  $H_9O_4^+$  и  $H_7O_4^-$ . По этой гипотезе в воде идет реакция:



Не лишено основания предположение ряда ученых-физиков: из-за асимметричного расположения электрических зарядов в молекуле воды все молекулы связаны друг с другом – каждый из ионов водорода одной молекулы притягивает к себе электроны атомов кислорода в соседних молекулах. И можно сказать: все молекулы воды связаны в одну пространственную сетку, то есть океан – одна гигантская молекула. Но составные части этой макромолекулы находятся в постоянных изменениях в зависимости от внешних условий (температуры и др.).

### 1.1.3. Состав природной воды. Изотопы

Вследствие существования изотопов водорода и кислорода молекулярная масса воды может отличаться от 18. В природной воде найдены три изотопа водорода и три изотопа кислорода. Искусственно созданы два изотопа водорода и пять изотопов кислорода. Теоретически сегодня можно говорить о 135 различных видах воды. Но только девять из них устойчивые.

Соотношение этих стабильных изотопов в природной воде, % мол.:

$^1H_2^{16}O$  – 99,73;  $^1H_2^{18}O$  – 0,20;  $^1H_2^{17}O$  – 0,04;  $^1H^2H^{16}O$  ~0,03%. Другие изотопы присутствуют в ничтожном количестве.

### 1.1.4. Физические свойства воды

Полярная асимметричная структура воды и разнообразие ее ассоциатов обуславливают удивительные аномальные физические свойства воды.

Вода достигает наибольшей плотности при плюсовой температуре, у нее аномально высокие теплота испарения и теплота плавления, удельная теплоемкость, температура кипения и замерзания. Например, можно сравнить воду с аналогичными водородными соединениями подгруппы кислорода периодической системы элементов Д.И. Менделеева (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Зависимость температур замерзания и кипения некоторых соединений водорода от молекулярной массы

Соединения элементов подгруппы кислорода с водородом	Молекулярная масса	Температура, °С	
		замерзания	кипения
$H_2Te$	130	-51	-4
$H_2Se$	81	-64	-42
$H_2S$	34	-82	-61
$H_2O$	18	0	+100

Исходя из температур кипения и замерзания гидридов серы  $H_2S$ , селена  $H_2Se$  и теллура  $H_2Te$ , вода (гидрид кислорода) должна была бы кипеть при температуре минус 80°С и замерзать при минус 100°С. В действительности вода кипит при +100°С и замерзает при 0°С.

Наибольшая плотность воды при температуре +4°С обеспечивает жизнь в воде зимой. Плотность чистой воды, свободной от воздуха, при атмосферном давлении 0,1 МПа равна 1,00000 г/мл. При любых других температурах плотность меньше.

Большая удельная теплоемкость – 4,1855 Дж/(г · °С) при 15°С – способствует регулированию температуры на Земле из-за медленного нагревания и остывания масс воды. У ртути, к примеру, удельная теплоемкость при 20°С – только 0,1394 Дж/(г · °С). Вообще теплоемкость воды более чем вдвое превышает теплоемкость любого другого химического соединения. Этим можно объяснить выбор воды в качестве рабочего тела в энергетике.

Аномальное свойство воды – *расширение объема на 10% при замерзании* обеспечивает плавание льда, то есть опять сохраняет жизнь подо льдом.

Еще одно чрезвычайно важное свойство воды – исключительно большое *поверхностное натяжение*. Молекулы на поверхности воды испытывают действие межмолекулярного притяжения с одной стороны. Так как у воды силы межмолекулярного взаимодействия аномально велики, то каждая «плавающая» на поверхности воды молекула как бы втягивается внутрь слоя воды. У воды поверхностное натяжение равно 72 мН/м при 25°С. В частности, этим свойством объясняется шаровая форма воды в условиях невесомости, поднятие воды в почве и в капиллярных сосудах деревьев, растений и т.д. Для сравнения: у этилового спирта при этой же температуре поверхностное натяжение в 3,5 раза меньше.

## 1.2. Классификация природных вод

### 1.2.1. Дисперсные системы

*Природная вода* – сложная дисперсная система, содержащая множество разнообразных минеральных и органических примесей.

Дисперсная система состоит из мелких частиц вещества, распределенного в другом веществе (среде). Система называется *гомогенной*, если внутри нее нет поверхностей раздела, отделяющих друг от друга части системы, различающиеся по свойствам. *Гетерогенные* системы – системы, внутри которых есть такие поверхности раздела. Гомогенная система – однофазная, гетерогенная – состоит из не менее двух фаз.

При размере частиц примесей воды меньше  $10^{-3}$  мкм – это гомогенная система (однофазная из двух или более индивидуальных веществ). Если размер частиц  $\geq 10^{-3}$  мкм, то примеси образуют с водой гетерогенную (неоднородную многофазную) систему.

Истинные растворы, где примеси находятся в молекулярно-растворенном виде или в виде ионов, – это гомогенные системы. Гетерогенные системы – коллоиды (размер частиц:  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  мкм) или суспензии (частицы  $>10^{-1}$  мкм). Суспензии могут быть представлены взвесями, эмульсиями, пенами (частный случай эмульсий).

### 1.2.2. Системы классификации

Вода – один из лучших растворителей. Изначально в Мировом океане были – в той или иной степени – растворены все вещества Земли. И это растворение продолжается: количество поровых вод илов и горных пород составляет около 19% всей гидросферы.

Уже несколько столетий разрабатываются системы классификации природных вод и способы как можно более краткой характеристики качества воды (индекс качества воды). Выделено 625 и даже более классов, групп, типов и разновидностей вод. В.И. Вернадский считал, что число видов природных вод больше 1500 единиц.

Однако чем более детально разрабатывалась классификация вод, тем больше исследователи удалялись от желаемой краткости и ясности в определении качества воды. Оказалось невозможным оценить пригодность воды для питьевых, технических, других целей только на основе предложенных универсальных индексов воды. По-прежнему качество воды, пригодность ее для использования оценивается по комплексу показателей, и нужно признать, что такой подход дает лишь приблизительное знание о качестве воды. Этим, в частности, можно объяснить большое (до нескольких десятков) количество нормируемых показателей для каждого из возможных применений. Говорить о качестве воды имеет смысл лишь в связи с конкретной областью ее дальнейшего использования.

К настоящему времени создано несколько десятков классификационных систем, рассматривающих большей частью подземные воды и служащих основой для понимания взглядов авторов на генезис подземных вод, на то, какие составляющие подземных вод и вообще природных вод главные или более важные. Почти все они создавались гидрогеологами и отражают их пристрастия.

Для водоподготовки эти системы имеют опосредованное значение – для сравнительного анализа разных вод в основном в учебных и статистических целях.

Сегодня наиболее употребительны классификационные системы С.А. Щукарева, О.А. Алёкина и Л.А. Кульского. Ниже рассмотрены также системы А.И. Перельмана и фирмы Rohm & Haas («Ром и Хаас», США).



### Классификация С.А. Щукарева

Классификация основана на принципе преобладания одного или нескольких из трех главных катионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) и трех главных анионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ). Вода относится к тому или другому классу в зависимости от содержания упомянутых ионов в количестве, превышающем 25%-экв. (суммы процент-эквивалентов анионов и катионов в отдельности принимают за 100). Комбинируя типы вод по содержанию катионов, получают 49 классов вод. Например, вода может называться гидрокарбонатной натриево-кальциевой или сульфатно-гидрокарбонатной кальциевой.

По общей минерализации каждый класс разделен на группы: А – менее 1,5 г/л; В – от 1,5 до 10 г/л; С – от 10 до 40 г/л и D – более 40 г/л.

Классификация Щукарева очень проста и удобна для сопоставления различных по химическому составу вод, но громоздка (49 классов, 4 группы). Кроме того, деление на классы носит формальный характер, вследствие чего часть классов – не реальная.

### Классификация Л.А. Кульского

Практический интерес представляет фазово-дисперсная классификация примесей воды, разработанная Л.А. Кульским (табл. 1.2). Для задач, связанных с очисткой воды, эта классификация полезна тем, что, определив фазово-дисперсное состояние примесей в воде и установив ее принадлежность к какой-то группе, можно предварительно выбрать комплекс методов и стадий очистки воды. При этом фазово-дисперсное состояние примесей должно устанавливаться после каждой стадии обработки воды и учитываться при проектировании всей схемы водоподготовки.

Методы обработки воды, определенные Л.А. Кульским на основе фазово-дисперсного анализа примесей воды, описаны ниже (предложения Кульского дополнены А. Ашировым – V и VI группы).

Часть перечисленных методов применяется в специальных промышленных системах и не применяется в коммунальном и энергетическом водоснабжении.

*Группа I.* Воздействие на взвеси (например, седиментация, осветление во взвешенном слое, осадительное центрифугирование, центробежная сепарация в гидроциклонах, флотация, фильтрование на медленных фильтрах и на скорых фильтрах по безнапорной схеме и др.).

*Группа II.* Воздействие на коллоидные примеси, в том числе высокомолекулярные соединения и вирусы: коагуляция, флокуляция, электрокоагуляция, электроискровой (разрядный) метод, биохимический распад, адсорбция на высокодисперсных материалах, в том числе глинистых минералах, ионитах, окисление (хлорирование, озонирование), воздействие ультрафиолетовым,  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучением, потоками нейтронов и др., ультразвуковая обработка, обработка ионами тяжелых металлов (меди, серебра и др.).

*Группа III.* Воздействие на растворенные органические вещества и газы: десорбция газов и легколетучих органических соединений путем аэрирования, термической и вакуумной отгонки, адсорбция на активных углях, природных и синтетических ионитах и других высокопористых материалах, экстракция не смешивающимися с водой органическими растворителями, эвапорация (азеотропная отгонка, пароциркуляция), пенная флотация, ректификация, окисление (жидкофазное, радиационное, электрохимическое, биологическое, парофазное, хлором, озоном, диоксидом хлора и др.).

Таблица 1.2

Классификация вод по фазово-дисперсному состоянию примесей

Группа	Наименование примесей	Размер частиц, мкм	Характеристика примесей
Гетерогенная система			
I	Взвеси	$>10^{-1}$	Суспензии и эмульсии, обуславливающие мутность воды; микроорганизмы и планктон
II	Коллоидно-растворенные вещества	$10^{-1}-10^{-2}$	Коллоиды и высокомолекулярные соединения, обуславливающие окисляемость и цветность воды; вирусы
Гомогенная система			
III	Молекулярно-растворенные вещества	$10^{-2}-10^{-3}$	Газы, растворимые в воде; органические вещества, придающие воде запах и привкус
IV	Вещества, диссоциированные на ионы (электролиты)	$<10^{-3}$	Соли, кислоты, основания, придающие воде жесткость, щелочность и минерализованность

**Группа IV.** Воздействие на примеси ионогенных неорганических веществ: ионный обмен, электро-диализ, реагентная обработка, кристаллизация.

**Группа V.** Воздействие на воду: дистилляция, вымораживание, экстракция кристаллогидратами или смешивающимися с водой органическими растворителями, магнитная обработка, обратный осмос, напорная фильтрация.

**Группа VI.** Воздействие на водную систему в целом: закачка в подземные горизонты, в глубины морей, захоронение, сжигание. Эти методы применяются только в том случае, если методы первых пяти групп экономически неприемлемы.

#### **Классификация фирмы Rohm & Haas («Ром и Хаас»), США**

Классификация вод по материалам фирмы Rohm & Haas подобна классификации Кульского, но дополнительно содержит полезные сведения – табл. 1.3. (Цит. по: В.А. Кишнеvский).

#### **Классификация О.А. Алёкина**

Классификация О.А. Алёкина с поправкой Е.В. Посохова и Ж.С. Сыдыкова сочетает принципы деления вод по преобладающим ионам и по соотношению между ними. Все воды делятся на три класса по преобладающему аниону: гидрокарбонатные (карбонатные), сульфатные и хлоридные. Внутри каждого класса выделяют три группы по преобладанию одного из катионов: кальций, магний, натрий (или натрий + калий).

#### **Классификация А.И. Перельмана**

Определенный интерес представляет классификация А.И. Перельмана, выделившего шесть главных таксонов, каждый из которых определяется на основе особого критерия:

группа – температура;

тип – окислительно-восстановительные условия;

класс – щелочно-кислотные условия;

**Таблица 1.3**

Классификация примесей вод по силам, удерживающим их в воде, и методы их удаления

Фазовая характеристика	Гетерогенные системы		Гомогенные системы	
	I	II	III	IV
Физико-химическая характеристика	Грубодисперсные примеси: суспензии, эмульсии, планктон, патогенные микроорганизмы	Примеси коллоидной степени дисперсности: органические и неорганические вещества, вирусы, бактерии	Примеси молекулярной степени дисперсности: газы, органические вещества, соли, кислоты, щелочи, не перешедшие в ионное состояние	Примеси ионной степени дисперсности: соли, кислоты, основания
Поперечный размер частички, мкм	$>10^{-1}$	$10^{-1}-10^{-2}$	$10^{-2}-10^{-3}$	$<10^{-3}$
Методы удаления примесей из воды	Фильтрация (механическое удаление)	Ультрафильтрация	Обратный осмос, нанофильтрация	
		Коагуляция	Десорбция газов и веществ, эвапорация трудно-летучих веществ	Перевод ионов в малорастворимые соединения
		Окисление хлором, озоном, перманганатом		
		Адсорбция на гидроксидах и дисперсных минералах	Адсорбция на активных углях и других материалах	Фиксация на твердой фазе ионитов
	Агрегация при помощи флокулянтов (анионных и катионных)		Ассоциация молекул	Моляризация и комплексообразование
	Флотация	Электро-форетические методы	Экстракция органическими растворителями	Сепарация ионов при различном фазовом состоянии воды
	Электролиз синезеленых водорослей			
Бактерицидное воздействие	Вирулицидное воздействие	Биохимический распад	Использование подвижности ионов в электрическом поле	
Силы, удерживающие примеси в воде	Гидродинамические	Электростатические	Вандерваальсовы	Ионные силы растворов

семейство – общая минерализация;  
 род – растворенное органическое вещество;  
 вид – ведущие катионы и анионы (кроме  $H^+$  и  $OH^-$ ).

В этой классификации, в отличие от многих других, в том числе описанных классификаций Щукарева и Алёкина, учитываются температура, органические вещества, газы. А.И. Перельман предложил также изображать воду в виде шести-значного числа – по количеству таксонов и разновидностей, которых в каждом таксоне – не более девяти.

### 1.3. Физико-химические показатели качества природных вод

Под качеством природной воды в целом понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая ее пригодность для конкретных видов водопользования (ГОСТ 17.1.1.01–77), при этом критерии качества представляют собой признаки, по которым производится оценка качества воды.

#### 1.3.1. Взвешенные примеси

*Взвешенные твердые примеси*, присутствующие в природных водах, состоят из частиц глины, песка, ила, суспендированных органических и неорганических веществ, планктона и различных микроорганизмов. Взвешенные частицы влияют на прозрачность воды.

Содержание в воде взвешенных примесей, измеряемое в мг/л, дает представление о загрязненности воды частицами в основном условным диаметром более  $1 \cdot 10^{-4}$  мм – табл. 1.4.

При содержании в воде взвешенных веществ менее 2–3 мг/л или больше указанных значений, но условный диаметр частиц меньше  $1 \cdot 10^{-4}$  мм, определение загрязненности воды производят косвенно по мутности воды.

#### 1.3.2. Мутность и прозрачность

*Мутность* воды вызвана присутствием тонкодисперсных примесей, обусловленных нерастворимыми или коллоидными неорганическими и органическими веществами различного происхождения. Качественное определение проводят описательно: мутность не заметна (отсутствует), слабая опалесценция, опалесценция, слабомутная, мутная и сильная муть.

В России мутность чаще всего измеряют в нефелометрических единицах мутности НЕФ (NTU) для небольших значений в пределах 0–40 НЕФ (NTU), например для питьевой воды. В условиях большой мутности обычно применяется измерение единиц мутности по формазину (ЕМФ). Пределы измерений – 40–400 ЕМФ.

Индикатор по НЕФ (NTU) – рассеивание излучения, по ЕМФ – ослабление потока излучения. Соотношение различных единиц измерения в П.1.3.4.

Наряду с мутностью, особенно в случаях, когда вода имеет незначительные окраску и мутность, и их определение затруднительно, пользуются показателем «прозрачность».

Мера прозрачности – высота столба воды, при которой можно наблюдать опускаемую в воду белую пластину определенных размеров (диск Секки) или различать на белой бумаге шрифт определенного размера и типа (шрифт Снеллена). Результаты выражаются в сантиметрах (табл. 1.5).

Дополнительно см. П.1.34.

Таблица 1.4

Характеристика вод по содержанию взвешенных примесей

Размер частиц (приблизительный), мм	Гидравлическая крупность (скорость осаждения в лабораторном цилиндре в течение 2 ч), мм/с	Примесь (условно)	Время осаждения частиц на 1 м
1,0	100	Крупный песок	10 с
0,5	53	Средний песок	20 с
0,1	6,9	Мелкий песок	2,5 мин
0,050–0,027	1,7–0,5	Крупный ил	10–30 мин
0,010–0,005	0,070–0,017	Мелкий ил	4–18 ч
0,0027	0,005	Крупная глина	2 сут
0,0010–0,0005	0,00070–0,00017	Тонкая глина	0,5–2 мес
0,0002–0,000001	0,000007	Коллоидные частицы	4 года

Таблица 1.5

Характеристика вод по прозрачности

Прозрачность	Единица измерения, см
Прозрачная	Более 30
Маломутная	Более 25 до 30
Средней мутности	Более 20 до 25
Мутная	Более 10 до 20
Очень мутная	Менее 10

### 1.3.3. Запах

Характер и интенсивность запаха природной воды определяют органолептически. По характеру запахи делят на две группы:

естественного происхождения (живущие и отмершие в воде организмы, загнивающие растительные остатки и др.) – табл.1.6;

искусственного происхождения (примеси промышленных и сельскохозяйственных сточных вод).

Интенсивность запаха по ГОСТ 3351-74\* оценивают в шестибальной шкале – табл. 1.7.

Запахи второй группы (искусственного происхождения) называют по определяющим запах веществам: хлорный, бензиновый и т.д.

Таблица 1.6

Запахи естественного происхождения

Обозначение запаха	Характер запаха	Примерный род запаха
А	Ароматический	Огуречный, цветочный
Б	Болотный	Илистый, тинистый
Г	Гнилостный	Фекальный, сточный
Д	Древесный	Запах морской щепы, древесной коры
З	Землистый	Прельный, запах свежеспаханной земли, глинистый
П	Плесневый	Затхлый, застойный
Р	Рыбный	Запах рыбьего жира, рыбы
С	Сероводородный	Запах тухлых яиц
Т	Травянистый	Запах скошенной травы, сена
Н	Неопределенный	Запахи естественного происхождения, не подходящие под предыдущие определения

Таблица 1.7

Характеристика вод по интенсивности запаха

Интенсивность запаха, баллы	Характеристика	Описательные определения
0	Запаха нет	Отсутствие ощутимого запаха
1	Очень слабый	Запах, не замечаемый потребителем, но обнаруживаемый опытным исследователем
2	Слабый	Запах, не привлекающий внимания потребителя, но обнаруживаемый им, если указать на него
3	Заметный	Запах, легко обнаруживаемый и могущий дать повод относиться к воде с неодобрением
4	Отчетливый	Запах, обращающий на себя внимание и делающий воду неприятной для питья
5	Очень сильный	Запах сильный настолько, что делает воду непригодной для питья

### 1.3.4. Вкус и привкус

Интенсивность *вкуса* и *привкуса* в соответствии с ГОСТ 3351-74\* определяется также по шестибальной шкале – табл. 1.8.

Различают четыре вида вкусов: соленый, горький, сладкий, кислый.

Качественную характеристику оттенков вкусовых ощущений – привкуса – выражают описательно: хлорный, рыбный, горьковатый и так далее. Наиболее распространенный соленый вкус воды чаще всего обусловлен растворенным в воде хлоридом натрия, горький – сульфатом магния, кислый – избытком свободного диоксида углерода и т.д. Порог вкусового восприятия соленых растворов характеризуется такими концентрациями (в дистиллированной воде), мг/л: NaCl – 165; CaCl<sub>2</sub> – 470; MgCl<sub>2</sub> – 135; MnCl<sub>2</sub> – 1,8; FeCl<sub>2</sub> – 0,35; MgSO<sub>4</sub> – 250; CaSO<sub>4</sub> – 70; MnSO<sub>4</sub> – 15,7; FeSO<sub>4</sub> – 1,6; NaHCO<sub>3</sub> – 450. По силе воздействия на органы вкуса ионы некоторых металлов выстраиваются в следующие ряды:

катионы: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> > Na<sup>+</sup> > K<sup>+</sup>; Fe<sup>2+</sup> > Mn<sup>2+</sup> > Mg<sup>2+</sup> > Ca<sup>2+</sup>;  
анионы: OH<sup>-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > Cl<sup>-</sup> > HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

### 1.3.5. Цветность

Показатель качества воды, характеризующий интенсивность окраски воды и обусловленный содержанием окрашенных соединений, выражается в градусах платино-кобальтовой шкалы и определяется путем сравнения окраски испытуемой воды с эталонами.

*Цветность* природных вод обусловлена главным образом присутствием гумусовых веществ и соединений трехвалентного железа, колеблется от единиц до тысяч градусов – табл. 1.9.

### 1.3.6. Минерализация

*Минерализация* – суммарное содержание всех найденных при химическом анализе воды минеральных веществ. Минерализация природных вод, определяющая их удельную электропроводность,

Таблица 1.9

Характеристика вод по цветности

Цветность	Единицы измерения, градус платино-кобальтовой шкалы
Очень малая	До 25
Малая	Более 25 до 50
Средняя	Более 50 до 80
Высокая	Более 80 до 120
Очень высокая	Более 120

изменяется в широких пределах. Большинство рек имеет минерализацию от нескольких десятков миллиграммов в литре до нескольких сотен. Их удельная электропроводимость варьирует от 30 до 1500 мкСм/см. Минерализация подземных вод и соленых озер изменяется в интервале от 40–50 мг/л до сотен г/л (плотность в этом случае уже значительно отличается от единицы). Удельная электропроводимость атмосферных осадков с минерализацией от 3 до 60 мг/л составляет значения 10–120 мкСм/см.

Согласно ГОСТ 17403-72 природные воды по минерализации разделены на группы (табл. 1.10).

Предел пресных вод – 1 г/кг – установлен в связи с тем, что при минерализации более этого значения вкус воды неприятен – соленый или горько-соленый.

Таблица 1.10

Характеристика вод по минерализации

Группа воды	Единицы измерения, г/кг
Пресные	До 1
Солоноватые	Более 1 до 25
Соленые	Более 25 до 50
Рассолы	Более 50 г/кг

Таблица 1.8

Характеристика вод по интенсивности вкуса

Оценка вкуса и привкуса, баллы	Интенсивность вкуса и привкуса	Характер проявления вкуса и привкуса
0	Нет	Вкус и привкус не ощущаются
1	Очень слабая	Вкус и привкус сразу не ощущаются потребителем, но обнаруживаются при тщательном тестировании
2	Слабая	Вкус и привкус замечаются, если обратить на это внимание
3	Заметная	Вкус и привкус легко замечаются и вызывают неодобрительный отзыв о воде
4	Отчетливая	Вкус и привкус обращают на себя внимание и заставляют воздержаться от питья
5	Очень сильная	Вкус и привкус настолько сильны, что делают воду непригодной к употреблению

Таблица 1.11

Характеристика вод по общей минерализации (наиболее распространенная градация)

Наименование воды	Общая минерализация, г/л
Ультрапресная	До 0,1
Пресная	Более 0,1 до 1,0
Слабопресная	Более 1,0 до 3,0
Соленая	Более 3,0 до 10,0
Сильносоленая	Более 10,0 до 50,0
Рассол	Более 50,0 до 300,0
Ультрарассол	Более 300,0

Граница между солоноватыми и солеными водами принята на том основании, что при минерализации около 25 г/кг температура замерзания воды и температура наибольшей плотности морской воды совпадают, и при этом меняются некоторые свойства воды.

Граница 50 г/кг между солеными водами и рассолами обусловлена тем, что соленость больше этого значения не бывает в морях; такая соленость характерна только для соленых озер и некоторых подземных вод.

### 1.3.7. Электропроводимость

*Электропроводимость* – это численное выражение способности водного раствора проводить электрический ток. Электрическая проводимость воды зависит в основном от концентрации растворенных минеральных солей и температуры. Минеральную часть воды составляют ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Этими ионами и обуславливается электропроводимость природных вод. Присутствие других ионов, например  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , не сильно влияет на электропроводимость, если эти ионы не содержатся в воде в значительных количествах (например, ниже выпусков производственных или хозяйственно-бытовых сточных вод). По значениям электропроводимости можно приблизительно судить о минерализации воды. Дополнительно см. П.1.33.

Таблица 1.12

Характеристика подземных вод по общей минерализации (детализированная)

Категория вод	Вид вод	Минерализация		Плотность, г/см <sup>3</sup>	Соленость, °Ве
		г/кг	г/л		
Пресные	Ультрапресные	До 0,1	До 0,1	1,0	–
	Пресные	0,1–0,5	0,1–0,5	1,0–1,0001	0,02
	Умеренно пресные	0,5–1,0	0,5–1,0	1,0001–1,0005	0,02–0,08
Переходные (солоноватые)	Слабосоленые	1–3	1–3	1,0005–1,0015	0,08–0,25
	Солоноватые	3–5	3–5	1,0015–1,0025	0,25–0,40
	Сильносоленые	5,0–10	5,0–10,1	1,0025–1,0055	0,4–0,8
Соленые	Слабосоленые	10–25	10,1–25,4	1,0055–1,0155	0,8–2,2
	Соленые	25–35	25,4–36,0	1,0155–1,025	2,2–3,4
Переходные	Крепкосоленые	35–50	36–52	1,025–1,035	3,4–4,8
Рассолы	Слабые	50–75	52–79	1,035–1,055	4,8–7,4
	Средние	75–135	79–150	1,055–1,105	7,4–13,4
	Крепкие	135–270	150–330	1,105–1,225	13,4–26,5
	Весьма крепкие	270–370	330–500	1,225–1,350	26,5–37,0
	Сверхкрепкие	>370	>500	>1,350	>37,0

#### Примечания к табл. 1.12

1. Н.И. Толстихин дополнительно выделяет «сверхпресные» воды с минерализацией <0,01 г/л (льды и снега Центральной Антарктиды и высокогорий), «очень пресные» воды с минерализацией 0,01–0,03 г/л (к этому виду относится, например, поставляемая в упаковке вода «Лауретина» из источника в горном заповеднике Пьемонта, Северная Италия, в этой воде минерализация – 0,014 г/л). Рассолы в классификации Толстихина делятся на семь групп – от «весьма слабых» до «сверхкрепких».

2. Рассолы с минерализацией более 500 г/л только условно можно назвать водой, так как воды в них меньше, чем солей (обнаружены в недрах Земли на глубинах более 1 км).

3. °Ве – градус Боме. Дополнительно см. П.1.35.



### 1.3.8. Жесткость

*Жесткость воды* обуславливается наличием в воде ионов кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ), стронция ( $\text{Sr}^{2+}$ ), бария ( $\text{Ba}^{2+}$ ), железа ( $\text{Fe}^{3+}$ ), марганца ( $\text{Mn}^{2+}$ ). Но общее содержание в природных водах ионов кальция и магния несравнимо больше содержания всех других перечисленных ионов – и даже их суммы. Поэтому под жесткостью понимают сумму количеств ионов кальция и магния – общая жесткость, складывающаяся из значений карбонатной (временной, устраняемой кипячением) и некарбонатной (постоянной) жесткости. Первая вызвана присутствием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, вторая наличием сульфатов, хлоридов, силикатов, нитратов и фосфатов этих металлов. Однако при значении жесткости воды более 9 ммоль/л нужно учитывать содержание в воде стронция и других щелочноземельных металлов.

По стандарту ИСО 6107-1-8:1996, включающему более 500 терминов, жесткость определяется как способность воды образовывать пену с мылом.

В России жесткость воды выражают в ммоль/л.

В жесткой воде обычное натриевое мыло превращается (в присутствии ионов кальция) в нерастворимое «кальциевое мыло», образующее бесполезные хлопья. И, пока таким способом не устранится вся кальциевая жесткость воды, образование пены не начнется. На 1 ммоль/л жесткости воды для такого умягчения воды теоретически затрачивается 305 мг мыла, практически – до 530.

Но, конечно, основные неприятности – от накипеобразования.

Международные своды нормативов качества воды не нормируют жесткость воды – только отдельно содержание в воде ионов кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ): нормы качества питьевой воды Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), такие же нормы Европейского Союза (ЕС), стандарты ИСО, а также Национальные нормы питьевой воды США.

По значению общей жесткости природные воды делят на группы – табл. 1.13.

**Таблица 1.13**

Классификация воды по жесткости

Группа воды	Единица измерения, ммоль/л
Очень мягкая	До 1,5
Мягкая	Более 1,5 до 4,0
Средней жесткости	Более 4 до 8
Жесткая	Более 8 до 12
Очень жесткая	Более 12

Дополнительно см. П.1.32.

### 1.3.9. Щелочность

*Щелочностью* воды называется суммарная концентрация содержащихся в воде анионов слабых кислот и гидроксильных ионов (выражена в ммоль/л), вступающих в реакцию при лабораторных исследованиях с соляной или серной кислотами с образованием хлористых или сернокислых солей щелочных и щелочноземельных металлов.

Различают следующие формы щелочности воды: бикарбонатная (гидрокарбонатная), карбонатная, гидратная, фосфатная, силикатная, гуматная – в зависимости от анионов слабых кислот, которыми обуславливается щелочность.

Щелочность природных вод, рН которых обычно < 8,35, зависит от присутствия в воде бикарбонатов, карбонатов, иногда и гуматов. Щелочность других форм появляется в процессах обработки воды.

Так как в природных водах почти всегда щелочность определяется бикарбонатами, то для таких вод общую щелочность принимают равной карбонатной жесткости.

Дополнительно см. П.1.32 и П.4.7.

### 1.3.10. Органические вещества

Спектр *органических примесей* очень широк:

♦ **группа растворенных примесей:**

гуминовые кислоты и их соли – гуматы натрия, калия, аммония;

некоторые примеси промышленного происхождения;

часть аминокислот и белков;

♦ **группа нерастворенных примесей:**

фульвокислоты (соли) и гуминовые кислоты и их соли – гуматы кальция, магния, железа;

жиры различного происхождения;

частицы различного происхождения, в том числе микроорганизмы.

Содержание органических веществ в воде оценивается по методикам определения окисляемости воды, содержания органического углерода, биохимической потребности в кислороде, а также поглощения в ультрафиолетовой области.

Величина, характеризующая содержание в воде органических и минеральных веществ, окисляемых одним из сильных химических окислителей при определенных условиях, называется *окисляемостью*. Существует несколько видов окисляемости воды: перманганатная, бихроматная, иодатная, цериевая (методики определения двух последних применяются редко). Окисляемость выражается в миллиграммах кислорода, эквивалентного количеству реагента, пошедшего на окисление органических веществ, содержащихся в 1 л воды.

Окислители могут действовать и на неорганические примеси, например, на ионы  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ , но соотношение между этими ионами и органическими примесями в поверхностных водах существенно сдвинуто в сторону органических примесей, то есть «органики» в решающей степени больше.

В подземных водах (артезианских) это соотношение – обратное, то есть органических примесей гораздо меньше, чем указанных ионов. Практически их совсем нет. К тому же неорганические примеси могут определяться непосредственно индивидуально.

Если содержание указанных восстановителей суммарно меньше 0,1 ммоль/л, то ими можно пренебречь, в иных случаях нужно вносить соответствующие поправки.

Для природных малозагрязненных вод рекомендовано определять перманганатную окисляемость (перманганатный индекс); в более загрязненных водах определяют, как правило, бихроматную окисляемость (ХПК).

**Окисляемость перманганатная** измеряется мгО/л, если учитывается масса иона кислорода в составе перманганата калия, пошедшего на окисление «органики», или мг  $\text{KMnO}_4$ /л, если оценивается количество перманганата калия, пошедшего на окисление «органики» – табл. 1.14.

Таблица 1.14

Характеристика вод по перманганатной окисляемости

Величина окисляемости	Единица измерения, мгО/л
Очень малая	До 4
Малая	Более 4 до 8
Средняя	Более 8 до 12
Высокая	Более 12 до 20
Очень высокая	Более 20

Дополнительно см. П.4.6.

**Окисляемость бихроматная**, мгО/л, называемая также химической потребностью в кислороде (ХПК), – показатель, дающий более правильное представление о содержании в воде органических веществ, так как при определении ХПК окисляется около 90% органических примесей, а при определении перманганатной окисляемости – 30–50%.

В англоязычной литературе ХПК обозначают термином COD (Chemical Oxygen Demand), в немецкой литературе – CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf).

При анализе ХПК наиболее надежные результаты получаются при ХПК = 300–600 мгО/л. При этом

Таблица 1.15

Характеристика вод по бихроматной окисляемости

Степень загрязнения (класс чистоты)	ХПК, мгО/л
Очень чистая	1
Чистая	2
Умеренно загрязненная	3
Загрязненная	4
Грязная	5–15
Очень грязная	Более 15

анализе окисляются ионы  $\text{Br}^-$ ,  $\text{J}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ , некоторые соединения серы и др.

Дополнительно см. П.4.6.

**Биохимическая потребность в кислороде (БПК<sub>5</sub>, БПК<sub>полн</sub>)**, мгО<sub>2</sub>/л.

Биохимическая потребность в кислороде (БПК) – показатель, определяемый при окислении «органики» природных вод не химическими веществами, а биохимическими воздействиями в аэробных условиях. Чаще определяют биохимическое потребление кислорода за пять суток – БПК<sub>5</sub>, и, как правило, этот показатель в поверхностных водах находится в пределах 0,5–4,0 мгО<sub>2</sub>/л.

При определении БПК<sub>5</sub> (температура воды 20°C, рН=6–8, обеспечен достаточный доступ кислорода к пробе воды) окисляется примерно 70% легкоокисляющихся органических веществ, за 10–20 сут – соответственно 90 и 99% (как правило, но не всегда). Поэтому, когда определяют БПК<sub>полн</sub>, имеют в виду, что процесс окисления длится 15–20, в редких случаях – до 35 сут.

Таблица 1.16

Характеристика вод по БПК<sub>5</sub>

Степень загрязнения (класс чистоты)	БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л
Очень чистая	0,5–1,0
Чистая	1,1–1,9
Умеренно загрязненная	2,0–2,9
Загрязненная	3,0–3,9
Грязная	4,0–10,0
Очень грязная	Более 10,0

Дополнительно см. П.4.6.



### Общий органический углерод

Содержание общего органического углерода (ООУ, по зарубежным источникам – ТОС, Total Organic Carbon) – достаточно надежный показатель содержания в воде органических веществ, в среднем численно равный 50% массы органических веществ. В природных поверхностных водах значения органического углерода могут колебаться от 1 до 20 и даже до нескольких сотен мг/л (в болотистых водах).

### 1.3.11. Растворенный кислород

Поступление кислорода в водоем происходит путем растворения его при контакте с воздухом (абсорбции), а также в результате фотосинтеза водными растениями. Содержание растворенного кислорода зависит от температуры, атмосферного давления, степени турбулизации воды, минерализации воды и др. В поверхностных водах содержание растворенного кислорода может колебаться от 0 до 14 мг/л. В артезианской воде кислород практически отсутствует.

### 1.3.12. Водородный показатель (рН)

Величина рН – один из важнейших показателей качества воды для определения ее стабильности, накипеобразующих и коррозионных свойств, прогнозирования химических и биологических процессов, происходящих в природных водах. Если рассматривать воду без примесей, то физическая сущность рН может быть описана следующим образом.

Вода, хотя и весьма незначительно, – приблизительно одна миллионная часть молекул – диссоциирует (распадается) на ионы водорода  $H^+$  и гидроксил-ионы  $OH^-$  по уравнению:



Но такое же количество молекул воды одновременно снова образуется. Следовательно, состав воды при определенной температуре и в отсутствие примесей не изменяется.

$$K_w = (H^+) (OH^-) = 10^{-14}. \quad (1.3)$$

Произведение концентраций этих ионов есть величина постоянная и называется ионным произведением воды –  $K_w$ . Так как распадается незначительное количество молекул воды, то концентрация ионов  $H^+$  и  $OH^-$  малы, тем более мало их произведение. При температуре  $24,8^\circ C$   $K_w = 10^{-14}$ .

Увеличение концентрации водородных ионов вызывает соответствующее уменьшение гидроксид-ионов и наоборот.

Для нейтральной среды

$$[H^+] = [OH^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ г} \cdot \text{ион/л}. \quad (1.4)$$

Для оценки кислотности и щелочности среды удобно пользоваться не концентрацией водородных ионов, а водородным показателем рН. Он равен десятичному логарифму концентраций водородных ионов, взятому с обратным знаком.

$$pH = -\lg[H^+]. \quad (1.5)$$

Если в воде растворено какое-либо вещество, которое само источник ионов  $H^+$  и  $OH^-$  (примеры: кислоты  $HCl$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$  и др.; щелочи:  $NaOH$ ,  $KaOH$ ,  $Ca(OH)_2$  и др.), то концентрации ионов  $H^+$  и  $OH^-$  не будут равны, но их произведение  $K_w$  будет постоянно.

Воду в зависимости от рН рационально делить на семь групп (табл. 1.17).

Таблица 1.17

Классификация вод по рН

Группа воды	Значение рН
Сильнокислая	До 3,0
Кислая	Более 3,0 до 5,0
Слабокислая	Более 5,0 до 6,5
Нейтральная	Более 6,5 до 7,5
Слабощелочная	Более 7,5 до 8,5
Щелочная	Более 8,5 до 9,5
Сильнощелочная	Более 9,5

### 1.3.13. Тяжелые металлы

Тяжелые металлы выделяются из общей группы металлов по специфической вредности для живых организмов.

Понятие «тяжелые металлы» не относится к строго определенным. Разные авторы в составе группы тяжелых металлов указывают разные химические элементы. В экологических публикациях в эту группу включают около 40 элементов с атомной массой более 50 атомных единиц.

Н.Ф. Реймерс относит к тяжелым металлы с плотностью более  $8 \text{ г/см}^3$ , выделяя при этом подгруппу благородных металлов. Таким образом, к собственно «тяжелым» отнесены медь, никель, кадмий, кобальт, висмут, ртуть, свинец.

Группа специалистов, работающая под патронажем Европейской экономической комиссии ООН и

занимающаяся мониторингом выбросов в окружающую природную среду тяжелых металлов, включает в эту группу также цинк, мышьяк, селен, сурьму.

Есть и другие классификации.

## 1.4. Интегральные показатели качества вод – индексы качества

Учет обобщенных показателей качества вод полезен при сравнении состояния водного объекта в разные временные периоды и при сравнении разных объектов.

### 1.4.1. Гидробиологический показатель качества воды – индекс сапробности

Все микроорганизмы, которые могут служить показателями загрязнения воды, делятся на катаробов и сапробов. *Катаробы* – микроорганизмы, населяющие чистые ключевые воды. *Сапробы* – микроорганизмы, находящиеся во всех пресных водах с разной загрязненностью.

Сапробные организмы разделяются:

на *полисапробные*, живущие в очень загрязненных водах, составляющих полисапробную зону;

*мезасапробные* ( $\alpha$  и  $\beta$ ), живущие в более чистых мезасапробных зонах водоема;

*олигосапробные*, находящиеся в наименее загрязненных водах, образующих олигосапробную зону.

В зависимости от места обитания все водные организмы делятся на две основные группы: обитающие в толще воды и на дне бассейна. Первая группа подразделяется на планктон, нектон и нейстон, вторая группа – бентос.

*Планктон истинный* – водоросли, веслоногие, ветвистоусые, ракообразные, коловратки и др.

*Планктон ложный* – мертвые организмы, древесина, уголь, обрывки тканей, кожи и др.

*Нектон* – рыбы, дельфины, головоногие моллюски и др.

*Нейстон* – жгутиковые и простейшие (живут в тонком поверхностном слое воды).

*Бентос* – разные организмы – прикрепленные, закапывающиеся, свободно лежащие на дне и др.

*Сапробность* – комплекс физиологических свойств данного организма, обуславливающий его способность развиваться в воде, загрязненной органическими веществами с некоторой степенью разложения. Индекс сапробности рассчитывают исходя из индивидуальных характеристик сапробности видов, представленных в различных водных сообществах (фитопланктоне, перифитоне):

$$S = \sum_{i=1}^n (S_i \cdot h_i) / \sum_{i=1}^n h_i, \quad (1.6)$$

где  $S$  – индекс сапробности, безразмерный;  $S_i$  – значение сапробности гидробионта, устанавливаемое по специальным таблицам;  $h_i$  – относительная встречаемость в поле микроскопа индикаторных организмов;  $n$  – число выбранных индикаторных организмов.

Каждому виду исследуемых организмов присвоено некоторое условное численное значение индивидуального индекса сапробности, отражающее совокупность его физиолого-биохимических свойств, обуславливающих способность обитать в воде с тем или иным содержанием органических веществ. Для статистической достоверности результатов необходимо, чтобы в пробе содержалось не менее 12 индикаторных организмов с общим числом особей в поле наблюдения каждого из 12 организмов не менее 30 шт.

В зависимости от значения  $S$  воды разделяют на классы чистоты (табл. 1.18).

Уровень загрязненности и класс качества водных объектов иногда устанавливают в зависимости от микробиологических показателей. Встречается и другая классификация загрязненности воды по микробиологическим показателям (табл. 1.19).

Таблица 1.18

Оценка качества вод по индексу сапробности

Значение индекса S	Номер класса чистоты воды	Характеристика класса чистоты	Наименование зоны
Менее 0,50	1	Очень чистая	Ксеносапробная
Более 0,50 до 1,50	2	Чистая	Олигосапробная
Более 1,50 до 2,50	3	Умеренно загрязненная	$\alpha$ -мезосапробная
Более 2,50 до 3,50	4	Тяжело загрязненная	$\beta$ -мезосапробная
Более 3,50 до 4,00	5	Очень загрязненная	Полисапробная
Более 4,00	6	Очень грязная	Полисапробная

Таблица 1.19

Оценка качества вод по микробиологическим показателям

Класс чистоты	Характеристика класса чистоты воды	Общее число бактерий, 10 <sup>6</sup> клеток	Число сапрофитных бактерий, 1000 клеток/мл	Отношение общего числа бактерий к числу сапрофитных бактерий
I	Очень чистая	Менее 0,5	Менее 0,5	До 1000
II	Очень чистая	От 0,5 до 1,0	От 0,5 до 5,0	Более 1000
III	Умеренно загрязненная	Более 1,0 до 3,1	Более 5,1 до 10,0	Более 1000 до 100
IV	Умеренно загрязненная	Более 3,1 до 5,0	Более 10,0 до 50,0	Менее 100
V	Грязная	Более 5,0 до 10,0	Более 50,0 до 1000	Менее 100
VI	Очень грязная	Более 10,0	Более 1000	Менее 100

### 1.4.2. Гидрохимический индекс загрязнения воды

Гидрохимический индекс загрязнения воды

$$ИЗВ = \frac{\sum_{i=1}^N (C_i / ПДК_i) / N, \quad (1.7)}$$

где  $C_i$  – фактическая средняя концентрация  $i$ -й примеси за контролируемый период, мг/л;

$ПДК_i$  – предел допустимой концентрации  $i$ -й примеси, мг/л;

$N$  – количество примесей; должны анализироваться не менее семи примесей, которые в данном водоисточнике считаются наиболее значимыми по санитарно-токсикологическому признаку.

В числе семи показателей обязательно нужно указывать: значения растворенного кислорода, pH и БПК<sub>5</sub>.

Таблица 1.20

Оценка качества воды по ИЗВ

ИЗВ	Класс качества воды	Характеристика воды
Менее или равно 0,2	I	Очень чистая
Более 0,2 до 1,0	II	Чистая
Более 1,0 до 2,0	III	Умеренно загрязненная
Более 2,0 до 4,0	IV	Загрязненная
Более 4,0 до 6,0	V	Грязная
Более 6,0 до 10,0	VI	Очень грязная
Более 10,0	VII	Чрезвычайно грязная

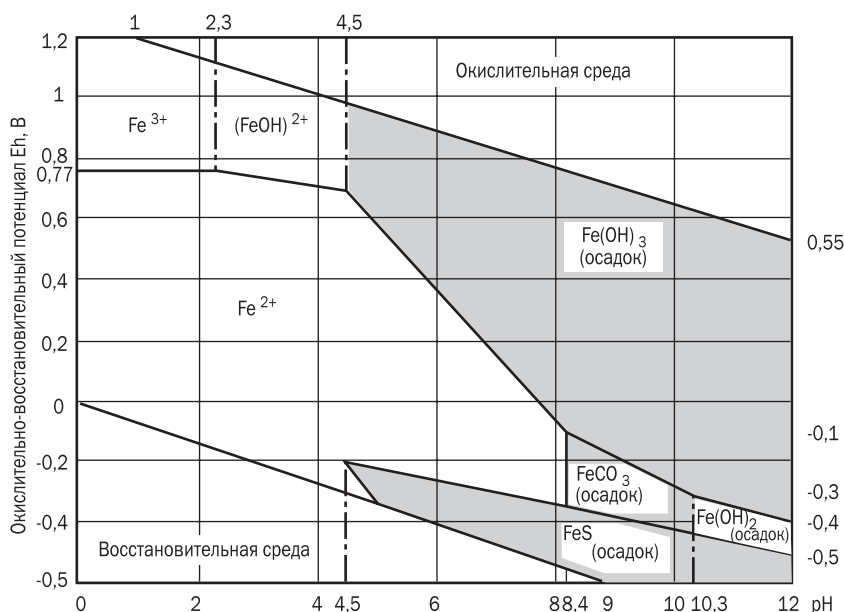


Рис. 1.3. Диаграмма Пурбэ устойчивости железа в подземных водах

### 1.4.3. Окислительно-восстановительный потенциал (Редокс-потенциал)

Окислительно-восстановительный потенциал (мера химической активности)  $E_h$  вместе с  $pH$ , температурой и содержанием солей в воде характеризует состояние стабильности воды. В частности этот потенциал необходимо учитывать при определении стабильности железа в воде.  $E_h$  в природных водах колеблется в основном от минус 0,5 до +0,7 В, но в некоторых глубоких зонах Земной коры может достигать значений минус 0,6 В (сероводородные горячие воды) и +1,2 В (перегретые воды современного вулканизма).

Подземные воды классифицируются:

$E_h > +(0,1-1,15)$  В – окислительная среда;

в воде присутствует растворенный кислород,  $Fe^{3+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Mo^{2+}$  и др.

$E_h - 0,0$  до +0,1 В – переходная окислительно-восстановительная среда, характеризуется неустойчивым геохимическим режимом и переменным содержанием кислорода и сероводорода, а также слабым окислением и слабым восстановлением разных металлов;

$E_h < 0,0$  – восстановительная среда; в воде присутствуют сероводород и металлы  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Mo^{2+}$  и др.

Зная значения  $pH$  и  $E_h$ , можно по диаграмме Пурбэ (рис. 1.3) установить условия существования соединений и элементов  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Fe(OH)_2$ ,  $Fe(OH)_3$ ,  $FeCO_3$ ,  $FeS$ ,  $(FeOH)^{2+}$ .

## 2. Нормативы качества воды

**Н**ормирование качества воды, например питьевой, становится с годами всё более скрупулезным и включает всё новые показатели. Число нормируемых химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения в 1954 г. было 6, в 1973-м – 420, в 1982 г. – 951, в 1988-м – 1345, а в настоящее время – согласно ГН 2.1.5.1315-03 и ГН 2.1.5. 1316-03 (табл. 2.1) – в питьевой воде нормируется содержание около 1500 веществ. Разрабатываются более точные методы анализов, исследователи находят новые, до сих пор неизвестные или ранее неопределяемые примеси. И увеличению количества нормируемых показателей не видно конца...

Прежде чем представить более или менее полный перечень документов, описывающих нормы качества воды для разных потребителей и нормы качества воды водоемов и водотоков, необходимо сказать следующее. К одному и тому же объекту нормирования привлечено внимание нескольких документов, составленных разными ведомствами. Нередки противоречия, позволяющие, с одной стороны, пользователям выбирать «выгодную» для себя норму, и, одновременно, с другой – затрудняющие контролирующим службам объективно оценивать работу водоочистных сооружений.

Нормы часто отменяются, корректируются, заменяются новыми. Здесь сделана попытка дать почти полный перечень государственных и ведомственных документов, регламентирующих весь комплекс нормативов качества воды и требований к потребляемой воде разных водопользователей.

В табл. 2.1 приведен перечень стандартов качества природной воды и воды для коммунально-бытовых и разных производственных потребителей. Нормативы качества воды для систем теплоснабжения, горячего водоснабжения, паровых и водогрейных котлов указаны в табл. 2.4. Этот перечень приведен с определенными ограничениями. В частности, отсутствуют сведения о требованиях таких водопользователей, как теплогенерирующие и теплоиспользующие агрегаты и аппараты: паро-

вые стационарные котлы с давлением водяного пара более 3,9 МПа и стационарные прямоточные водогрейные котлы теплопроизводительностью более 209 МВт и температурой сетевой воды на выходе из котла более 200 °С.

Государственной Думой Федерального Собрания 27 декабря 2002 г. был утвержден Федеральный Закон «О техническом регулировании» № 184-ФЗ, вступивший в силу 27 июня 2003 г.

Согласно этому Закону в исключительном ведении правительственных органов – Министерства здравоохранения и социального развития РФ, Министерства природных ресурсов РФ, Министерства промышленности и энергетики РФ – останутся, в частности, разработка и представление для законодательного закрепления норм качества питьевой воды, пищевых продуктов, воды источников водоснабжения и оборудования – в том отношении, в котором они непосредственно влияют на здоровье и безопасность людей. Эти нормы в виде обязательных технических регламентов утверждаются или Федеральным Собранием РФ, или Указом Президента РФ, или Постановлением Правительства РФ. Некоторые нормы – добровольно выполняемые национальные стандарты – принимаются органом по стандартизации Российской Федерации.

Технологическая и экономическая эффективность оборудования, его конструктивное совершенство станут заботой только производителей оборудования и производственных систем, определяясь технологическими инструкциями и рекомендациями – не ГОСТами и ОСТами или ведомственными руководящими указаниями. Такие нормы в виде стандартов организаций будут обязательны только для организаций, принявших эти стандарты.

Законом предусмотрен семилетний срок перехода от действующих нормативных документов, утвержденных Госсанэпидемнадзором России, Госгортехнадзором России, Госстроем России, к техническим регламентам (технологические инструкции и т.п.).

Госстандарту России совместно с другими уполномоченными правительственными ведомствами поручено до 2010 года разработать необходимые технические регламенты. В упомянутый переходный период будут продолжать действовать (вероятно, с изменениями и дополнениями) ранее разработанные и утвержденные нормативы.

Таблица 2.1

Перечень стандартов качества природной воды и воды для коммунально-бытовых и разных производственных потребителей (по состоянию на 31 декабря 2005 г.)

Шифр документа	Наименование	Субъект утверждения норматива, год утверждения, время начала действия норматива
1	2	3
<i>Основы водного законодательства.</i>		
<i>Термины</i>		
1. № 167-ФЗ от 16.11.1995 г. № 86-ФЗ от 30.06.2003 г.	Водный кодекс Российской Федерации	Федеральное Собрание РФ. 1995, 2003 гг.
2. № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. (вместо Закона РСФСР от 19.12.1991 и 21.02.1992 г.)	Закон РФ «Об охране окружающей среды»	Федеральное Собрание РФ. 2002 г.
3. № 52-ФЗ от 30.03.1999 г.	Закон РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»	Федеральное Собрание РФ. 1999 г.
4. № 29-ФЗ от 02.01.2000 г. № 987 от 21.12.2000 г.	Закон РФ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» Постановление «О государственном надзоре и контроле в области обеспечения качества и безопасности пищевых продуктов»	Федеральное собрание РФ. 2000 г. Правительство РФ. 2000 г.
5. ГОСТ 12.0.002-80* (вместо ГОСТа 12.0.002-74)	ССБТ (Система стандартов безопасности в технике). Термины и определения	Госстандарт СССР. 1979, 1991 гг.
6. ГОСТ 17.0.0.01-76* (СТ СЭВ 1364-78)	Система стандартов в области охраны природы и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения	Госстандарт СССР. 1978, 1979, 1987 гг.
7. ГОСТ 17403-72	Гидрохимия. Основные понятия. Термины и определения	Госстандарт СССР. 1971 г.
8. ГОСТ 19179-73	Гидрология суши. Термины и определения	Госстандарт СССР. 1973 г.
9. ГОСТ 17.1.1.01-77** (СТ СЭВ 3544-82)	Охрана природы. Гидросфера. Основные термины и определения	Госстандарт СССР. 1977, 1983, 1987 гг. С 01.07.1978 г.
10. ГОСТ 27065-86 (СТ СЭВ 5184-85)	Качество вод. Термины и определения	Госстандарт СССР. 1986 г. С 01.01.1987 г.
11. ГОСТ 25150-82 (СТ СЭВ 2085-80)	Канализация. Термины и определения	Госстандарт СССР. 1982 г. С 01.07.1983 г.
12. ГОСТ 25151-82 (СТ СЭВ 2086-80)	Водоснабжение. Термины и определения	Госстандарт СССР. 1982 г. С 01.07.1983 г.
13. ГОСТ 30813-2002	Вода и водоподготовка. Термины и определения	Госстандарт России. 2002 г. С 01.01.2004 г.
14. ГОСТ 26966-86	Установки водозаборные, водосбросные и затворы. Термины и определения	Госстандарт СССР. 1986 г.
<i>Классификация водопользования.</i>		
<i>Требования к качеству воды и охране природных вод</i>		
15. ГОСТ 17.1.1.02-77*	Охрана природы. Гидросфера. Классификация водных объектов	Госстандарт СССР. 1977, 1988 гг.
16. ГОСТ 17.1.1.03-86 (вместо ГОСТа 17.1.1.03-78)	Охрана природы. Гидросфера. Классификация водопользований	Госстандарт СССР. 1986 г.
17. ГОСТ 17.1.1.04-80	Охрана природы. Гидросфера. Классификация подземных вод по целям водопользования	Госстандарт СССР. 1980 г.
18. ОСТ 41.05-263-86	Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре	Министерство геологии СССР. 1986 г.
19. СП 3.4.1328-2003	Санитарная охрана территорий Российской Федерации	Минздрав РФ. № 108 от 30.05.2003 г.



Таблица 2.1

Продолжение

1	2	3
20. СанПиН 42-128-4690-88 (вместо № 2388-81)	Санитарные правила содержания территорий населенных мест	Минздрав России. 1988 г.
21. ГОСТ 17.1.2.04-77*	Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов	Госстандарт СССР. 1977, 1986 гг. (действует только на территории РФ)
22. СанПиН 2.1.2.1002-00 и СанПиН 2.2.1./2.1.1.1031-01 (вместо СанПиН 2.2.1./2.1.1-984-00 и СанПиН 2.2.1/2.1.1.567-96)	Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов	Минздрав России. 2000, 2001 гг.
23. СанПиН 2.1.4.1110-02 (вместо СанПиН 2.1.4.027-95)	Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения	Минздрав России. 2002 г.
24. СанПиН 2.1.4.1175-02 (вместо СанПиН 2.1.4.544-96)	Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников	Минздрав России. 2002 г.
25. ГОСТ 2761-84* (вместо ГОСТа 17.1.3.03-77)	Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора	Госстандарт СССР. 1984, 1988 г. С 01.01.1986 г.
26. ГОСТ 17.4.3.04-85	Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к контролю и охране от загрязнения	Госстандарт СССР. 1985 г. (действует только на территории РФ).
27. ГОСТ 17.1.3.13-86	Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнения	Госстандарт СССР. 1986. С 01.07.1986 г.
28. ГОСТ 17.1.3.06-82	Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране подземных вод	Госстандарт СССР. 1982 г. С 01.01.1983 г.
29. МУ 4100-86	Методические рекомендации по использованию каналов оросительно-обводнительных систем в качестве источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения	Минздрав СССР. 1986 г.
30. МУ 1974-79	Санитарные правила по устройству и эксплуатации водозаборов с системами искусственного пополнения подземных вод хозяйственно-питьевого назначения	Минздрав СССР. 1979 г.
31. МУ 3180-84	Методические указания по гигиенической оценке малых рек и санитарному контролю за мероприятиями по их охране в пунктах водопользования	Минздрав СССР. 1984 г.
32. СанПиН 2.1.5.980-00 (вместо СанПиН № 4630-88)	Гигиенические требования к охране поверхностных вод	Минздрав России. 2000 г. С 01.01.2001 г.
33. СП 2.1.5.1059-01	Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения	Минздрав России. 2001 г.
34. – (вместо Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. 1975 г.)	Правила охраны поверхностных вод (типовые положения)	Госкомприроды СССР. 1991 г.
35. –	Положение об охране подземных вод	Роскомнедра. 1994 г.
36. ГОСТ 17.1.3.04-82	Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных и подземных вод от загрязнения пестицидами	Госстандарт СССР. 1982 г.
37. ГОСТ 17.1.3.05-99 (вместо ГОСТа 17.1.3.05-82)	Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны поверхностных и подземных вод от загрязнения при хранении нефти и нефтепродуктов	Госстандарт СССР. 1999 г.

Таблица 2.1

Продолжение

1	2	3
38. ГОСТ 17.1.3.10-83	Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами при транспортировании по трубопроводу	Госстандарт СССР. 1983 г.
39. ГОСТ 17.1.3.11-84	Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны вод от загрязнения минеральными удобрениями	Госстандарт СССР. 1983 г.
40. ГОСТ 17.1.3.12-86	Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны вод от загрязнения при бурении и добыче нефти и газа на суше	Госстандарт СССР. 1985 г.
41. ГОСТ 17.1.3.02-77*	Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны от загрязнений при бурении и освоении морских скважин на нефть и газ	Госстандарт СССР. 1977 г.
42. ГОСТ 17.1.2.03-90 (СТ СЭВ 6457-88)	Охрана природы. Гидросфера. Критерии и показатели качества воды для орошения	Госстандарт СССР. 1990 г. С 01.07.1991 г.
43. ГОСТ 17.4.3.07-2001 (вместо 17.4.3.05-86; СТ СЭВ 5297-85)	Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений	Госстандарт России. 2001 г.
44. СанПин 2.1.7.573-96	Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения	Минздрав России. 1998 г.
45. ПР-152-002-95	Правила предотвращения загрязнения внутренних водных путей сточными и нефтесодержащими водами с судов	Минречфлот РСФСР. Госкомсанэпиднадзор РФ. 1995 г.
46. ГОСТ 17.1.3.01-76*	Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны водных объектов при лесосплаве	Госстандарт СССР. 1976 г.
47. –	Правила охраны от загрязнения прибрежных зон морей	Минводхоз СССР. 1987 г.
48. ГОСТ 17.1.5.02-80	Охрана природы. Гидросфера. Гигиенические требования к зонам рекреации водных объектов	Госстандарт СССР. 1979 г.
49. СанПин № 4631-88	Санитарные правила и нормы охраны прибрежных вод и морей от загрязнения в местах водопользования населения	Минздрав СССР. 1988 г. С 01.01.1989 г.
50. ГОСТ Р 17.0.0.06-2000 (вместо ГОСТа 17.0.0.04-90)	Охрана природы. Экологический паспорт природопользования. Основные положения. Типовые формы	Госстандарт России. 2000 г.
51. № 1974-79	Санитарные правила по устройству и эксплуатации водозаборов с системой искусственного пополнения подземных вод хозяйственно-питьевого назначения	
52. –	Временные рекомендации по предотвращению загрязнения вод поверхностным стоком с городской территории (дождевыми, тальми и поливочно-моечными водами)	Минводхоз СССР. 1975 г.
53. МДК 3-01.2001	Методические рекомендации по расчету количества и качества принимаемых сточных вод и загрязняющих веществ в системы канализации населенных пунктов	Госстрой России. 2001 г.
54. –	Методика расчета ПДС веществ в водные объекты со сточными водами	Госкомприроды СССР. 1990 г.
55. СП 1.1.5.1058-01	Организация и проведение производственного контроля за соблюдением санитарных правил и выполнением санитарно-противоэпидемиологических (профилактических) мероприятий	Минздрав России. 2001 г.
56. МУ 2183-80	Методические указания по применению правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами	Минздрав СССР. 1984 г.
57. СП 2.1.4.1075-01	Зоны санитарной охраны источников питьевого водоснабжения г. Москвы	Минздрав России. 2001 г. С 01.04.2002 г.



Таблица 2.1

Продолжение

1	2	3
58. ТСН 40-301-97 (ТСН ВиВ-97 МО)	Системы водоснабжения и водоотведения районов жилой малоэтажной застройки Московской области	Минстрой Московской обл. 1997 г.
59. МДС 40-1.2000 (№ 17-94 от 11.08.1995 г., № 167 от 12.02.99)	Правила пользования системами коммунального водоснабжения и канализации в Российской Федерации	Минстрой России. 1995 г. Госстрой России. 1999, 2000 г.
60. № 164 от 30.03.1977 г.	Правила технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест	Минжилкоммунхоз РСФСР. 1977 г. Минстрой СССР. 1979 г.
61. МДК 3-02.2001 (№ 168 от 30.12.1999 г.)	Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации	Госстрой России. 1999 г.
62. СанПиН 2.3.2.1078-2001 (вместо СанПиН 2.3.2.560-96)	Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности продуктов	Минздрав России. 2000 г.
63. ГОСТ 22.6.01-97; ГОСТ Р 22.6.01-95	Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита систем хозяйственно-питьевого водоснабжения. Общие требования	Госстандарт России. 1995, 1997 гг.
64. ГОСТ 22.6.02.-97; ГОСТ Р 22.6.02-95	Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мобильные средства очистки поверхностных вод. Общие технические требования	Госстандарт России. 1995, 1997 гг.
65. ВСН ВК 4-90	Инструкция о подготовке к работе систем хозяйственно-питьевого водоснабжения в чрезвычайных ситуациях	Госстрой РСФСР. 1990 г.
66. МУ 2.1.4.783-99 (№ ДК-285-111) и Перечень... № 01-19/32-11 1992 г.)	Гигиеническая оценка материалов, реагентов, оборудования, технологий, используемых в системах водоснабжения	Минздрав России. 1992, 1998 гг.
67. № 1100/1307-99-115	Перечень материалов, изделий, оборудования, разрешенных Минздравом России для контакта с пищевыми продуктами и средами	Минздрав России. 1999 г.
68. № 0015-93 от 29.07.1993 г. и 20.12.1993 г.	Перечень отечественных и зарубежных дезинфицирующих средств, разрешенных к применению на территории Российской Федерации	Госкомсанэпиднадзор России. 1993 г.
69. СанПиН 2.1.2.729-99	Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности	Минздрав России. 1999 г.
70. ГН 1.1.725-98	Перечень веществ, продуктов и производственных процессов, бытовых и природных факторов, канцерогенных для человека	Минздрав России. 1998 г.
71. СНиП 2.04.02-84* (вместо СНиП II-31-74)	Водоснабжение. Наружные сети и сооружения	Госстрой СССР. Госстрой России. 1984, 1987, 2000 гг.
72. СП 11-108-98	Изыскания источников водоснабжения на базе подземных вод	Госстрой России. 1998 г.
73. СНиП 2.04.01-85* (вместо СНиП II-30-76 и СНиП II-34-76)	Внутренний водопровод и канализация зданий	Госстрой СССР. Госстрой России. 1985, 1991, 1992, 1996, 2000 гг.
74. СНиП 3.05.04-85* вместо СНиП III-30-74)	Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации (Производство и приемка работ)	Госстрой СССР. 1985, 1990 гг.
75. СНиП 3.05.01-85 (вместо СНиП III-28-75)	Внутренние санитарно-технические системы (Производство и приемка работ)	Госстрой СССР. Госстрой России. 1985, 2000 гг.
76. МУ 2.1.5.800-99	Организация санитарного надзора за обеззараживанием сточных вод	Минздрав России. 2000 г.
77. МУ 2.1.4.719-98	Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды	Минздрав России. 1998 г.

Таблица 2.1

Продолжение

1	2	3
78. МУ 2.1.5.732-99	Санитарно-эпидемиологический надзор за обеззараживанием сточных вод ультрафиолетовым излучением	Минздрав России. 2001 г.
79. МУ 2.1.5.1183-2003	Санитарно-эпидемиологический надзор за использованием воды в системах технического водоснабжения промышленных предприятий	Минздрав России. 2003 г.
80. МУ 723а-67	Инструкция по контролю за обеззараживанием хозяйственно-питьевой воды и за дезинфекцией водопроводных сооружений хлором при централизованном и местном водоснабжении	Минздрав СССР. 1967 г.
81. –	Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения	АО НИИ КВОВ. 1995 г.
82. СанПиН 2261-80 (МУ № 2261-80 от 17.10.80)	Методические указания по санитарному контролю за применением и эксплуатацией обратноосмотических опреснительных установок	Минздрав СССР. 1980 г.
83. РД 34.37.105-89	Методические указания по проектированию электродиализных установок для обессоливания воды на тепловых электростанциях	Минэнерго СССР. 1989 г.
84. МУ 4045-85	Методические указания по санитарному надзору за применением и эксплуатацией ионообменных опреснительных установок в хозяйственно-питьевом водоснабжении	Минздрав СССР. 1985 г.
85. ГОСТ 2874-82** (вместо ГОСТа 2874-73)	Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством	Госстандарт СССР. 1982 г. Утратил силу в РФ
86. СанПиН 2.1.4.1074-01 (вместо СанПиН 2.1.4.559-96)	Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества	Минздрав России. 2001 г. С 1 января 2002 г.
87. ГН 2.1.5. 1316-03 (вместо ГН 2.1.5.690-98); СП 2.1.5.761-99 (доп. № 1 к ГН); ГН 2.1.5.963б-00 (доп. № 2 к ГН); ГН 2.1.5.1094-02 (доп. № 3 к ГН)	Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования	Минздрав России. 1998, 1999, 2000, 2002, 2003 гг.
88. ГН 2.1.5.1315-03 (вместо ГН 2.1.5.689-98); СП 2.1.5.761-99 (доп. № 1 к ГН); ГН 2.1.5.963а-00 (доп. № 2 к ГН); ГН 2.1.5.1093-02 (доп. № 3 к ГН)	Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования	Минздрав России. 1998, 1999, 2000, 2002, 2003 гг.
89. ГН 1.1.546-96	Гигиенические нормативы содержания пестицидов в объектах окружающей среды (перечень)	Минздрав России. 1996 г.
90. ГН 2.3.2.972-2000	Гигиенические нормативы. Предельно допустимые количества химических веществ, выделяющихся из материалов, контактирующих с пищевыми продуктами	Минздрав России. 2000 г.
91. МУ 2.1.4.682-97	Методические указания по внедрению и применению СанПиН 2.1.4.559-96	Минздрав России. 1997 г.
92. МДС 40-3.2000	Методические рекомендации по обеспечению выполнения требований СанПиН 2.1.4.559-96 на водопроводных станциях при очистке природных вод	Госстрой России. 2000 г.

Таблица 2.1

Продолжение

1	2	3
93. № 96 от 28.04.1999	Перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов	Госкомрыболовство. 1999 г.
94. СанПиН 2.1.2.1331-03	Гигиенические требования к устройству, оборудованию, эксплуатации и качеству воды в аквапарках	Минздрав России. 2003 г.
95. СанПиН 2.1.4.1116-02	Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества	Минздрав России. 2002 г. С 1 июля 2002 г.
96. МУ 2.1.4.1184-2003	Методические указания по внедрению и применению санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.1.4.1116-2002 «Санитарно-эпидемиологические привила и нормативы. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества»	Минздрав России. 2003 г.
97. СанПиН 2.1.2.1188-03 (вместо 2.1.2.568-96)	Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды плавательных бассейнов	Госкомсанэпиднадзор России. 2003 г.
98. МУ 1938-78	Методические указания по применению дибромантина для обеззараживания воды плавательных бассейнов	Минздрав СССР. 1978 г.
99. МУ 2.1.2.694-98	Использование ультрафиолетового излучения при обеззараживании воды плавательных бассейнов	Минздрав России. 1998 г.
100. ГОСТ 13273-88* (вместо ГОСТа 13273-73, кроме раздела 3)	Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые. Технические условия	Госстандарт СССР. 1973, 1988, 1989 гг.
101. ГОСТ 23732-79	Воды для бетонов и растворов. Технические условия	Госстандарт СССР. 1979 г.
102. ОСТ 5.95006-84	Корабельные системы пресной воды. Обеззараживание. Типовые технологические процессы	Минморфлот СССР. 1984 г.
103. ОСТ 6.18-17.04-83	Охрана природы. Гидросфера. Правила разработки, установления и контроля нормативов оборотного водоснабжения предприятий содовой промышленности	Минхимпром СССР. 1983 г.
104. ОСТ 15.313-84	Водопотребление и водоотведение в рыбном хозяйстве. Общие требования и нормы	Минрыбхоз СССР. 1984 г.
105. ОСТ 15.372-87	Вода для рыбных хозяйств. Общие требования и нормы	Минрыбхоз СССР. 1987 г.
106. ОСТ 15.282-83	Вода для прудовых форелевых и карповых хозяйств. Термины и определения	Минрыбхоз СССР. 1983 г.
107. ОСТ 11.029.003-80	Изделия электронной промышленности. Вода, применяемая в производстве. Марки. Технические требования. Методы очистки и контроля	Минэлектронмаш. 1980 г.
108. ГОСТ 9.314-90	Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования	Госстандарт СССР. 1991 г. С 01.07.1991 г.
109. ГОСТ 29183-91	Вода для хозяйственно-питьевого обеспечения судов. Требования к качеству	Госстандарт СССР. 1991 г.
110. ГОСТ 30465-97 (МЭК 734-93)	Вода жесткая, используемая для испытания бытовых электрических приборов. Общие технические требования	Госстандарт России.
111. МУ 2058-79	Методические указания по гигиеническому контролю за проектированием, строительством и эксплуатацией групповых систем сельскохозяйственного водоснабжения	Минздрав СССР. 1979 г.
112. МУ 3907-85	Санитарные правила проектирования, строительства и эксплуатации водохранилищ	Минздрав СССР. 1985 г.
113. СП 2.3.6.1079-01	Санитарные правила для организаций общественного питания	Госкомсанэпиднадзор России. 2001 г.
114. СанПиН 2.3.5.021-94 (вместо № 5781 от 04.04.1991 г.)	Санитарные правила для предприятий продовольственной торговли	Госкомсанэпиднадзор России. 1994 г.

Таблица 2.1

Продолжение

1	2	3
115. СанПиН 2.3.4.545-96	Производство хлеба, хлебобулочных и кондитерских изделий	Госкомсанэпиднадзор России. 1996 г.
116. СанПиН 2.3.4.551-96	Предприятия пищевой и перерабатывающей промышленности. (Технологические процессы. Сырье). Производство молока и молочных продуктов	Госкомсанэпиднадзор России. 1996 г.
117. СанПиН 2.3.4.704-98	Производство спирта этилового ректификованного и ликероводочных изделий	Госкомсанэпиднадзор России. 1998 г.
118. СанПиН 5179-90	Санитарные правила устройства, оборудования и эксплуатации больниц, родильных домов и других лечебных стационаров	Минздрав СССР. 1989 г.
119. № 1234-75	Санитарные правила устройства и эксплуатации отделений (кабинетов) для отпуска внутренних непитьевых бальнеологических процедур	Минздрав СССР. 1975 г.
120. № 979-72	Санитарные правила устройства, оборудования и содержания прачечных	Минздрав СССР. 1972 г.
121. № 981-72	Санитарные правила устройства, оборудования и содержания парикмахерских	Минздрав СССР. 1972 г.
122. № 982-72	Санитарные правила устройства, оборудования и содержания бань	Минздрав СССР. 1972 г.
123. № 983-72	Санитарные правила устройства, оборудования и содержания общественных уборных	Минздрав СССР. 1972 г.
124. № 1045-73	Санитарные правила устройства, оборудования и содержания экспериментально-биологических клиник (вивариев)	Минздрав СССР. 1973 г.
125. № 1163-74	Санитарные правила устройства, оборудования и содержания косметических кабинетов при учреждениях коммунального и бытового обслуживания населения	Минздрав СССР. 1974 г.
126. № 1567-76	Санитарные правила устройства, оборудования и содержания мест занятий по физической культуре и спорту	Минздрав СССР. 1976 г.
127. № 1958-78	Временные санитарные правила устройства и содержания альпинистских лагерей	Минздрав СССР. 1978 г.
128. № 2559-82	Санитарно-гигиенические требования для проектирования, строительства и эксплуатации русской бани «Суховей»	Минздрав СССР. 1982 г.
129. № 4719-88	Санитарные правила устройства, оборудования и содержания общежитий для рабочих, студентов, учащихся специальных учебных заведений и профессионально-технических училищ	Минздрав СССР. 1988 г.
130. –	Временные санитарные требования к устройству, оборудованию и содержанию педикюрных кабинетов при учреждениях бытового обслуживания	Минздрав СССР. 1974 г.
131. ГОСТ Р 51562-2000	Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Фильтры рукавные. Пылеуловители мокрые. Требования безопасности. Общие требования	Госстандарт России. 2000 г.
132. ГОСТ 25297-82	Установки компактные для очистки поверхностных вод на питьевые нужды. Типы, основные параметры и размеры	Госстандарт СССР. 1982 г.
133. ГОСТ Р 51871-2002	Устройства водоочистные. Общие требования к эффективности и методы ее определения	Госстрой России. 2002 г. С 01.07.2003 г.
134. ТСН МУ-97 МО	Правила и методика технолого-гигиенической оценки водоочистных устройств	Минздрав России. 1996 г.

Таблица 2.1

Продолжение

1	2	3
135. ТИ 10-5031536-73-90	Технологическая инструкция по водоподготовке для производства пива и безалкогольных напитков	
136. ТИ 18-6-57-84	Технологическая инструкция по обработке и розливу питьевых минеральных вод	
137. МДС 40-2.2000	Пособие по проектированию автономных инженерных систем многоквартирных и блокированных жилых домов (водоснабжение, канализация, теплоснабжение и вентиляция, газоснабжение, электроснабжение)	Минстрой России. 2000 г.

## Примечания к табл. 2.1

1. К п. 1–4. Указаны основополагающие государственные правовые акты, на основе которых разрабатываются санитарные нормы и правила, регулирующие деятельность контролирующих организаций и водоочистных станций. Законом № 52-ФЗ установлено также, что все действующие нормативные и методические материалы по качеству воды, утвержденные Минздравом СССР и Минздравом России, «обязательны для соблюдения всеми государственными и общественными органами и объединениями, предприятиями и иными хозяйствующими субъектами, организациями и учреждениями независимо от подчиненности и форм собственности, должностными лицами и гражданами». Следовательно, подзаконным актам, например СанПиНам, придан статус законов.

2. К п. 7. ГОСТ 17403-72 отменен, разрабатывается новый, однако он оставлен в общем перечне, так как в нем есть необходимые сведения. В тексте ГОСТа даются признаки (по минерализации) четырех групп природных вод. Указано, какие ионы должны считаться «главными»: кроме общепринятых, к группе главных ионов относится и калий ( $K^+$ ).

## 2.1. Нормативы качества воды для систем хозяйственно-питьевого, коммунально-бытового и промышленного водоснабжения и воды водоемов и водотоков. Основы водного законодательства. Термины. Перечень документов

Системы водопользования подразделяются на несколько категорий:

*поверхностные воды*, идущие на хозяйственно-питьевые нужды населения и водоснабжение пищевых производств; коммунально-бытовые нужды населения; нужды рыбного хозяйства; рекреационное водопользование (и водопользование в черте населенных пунктов вообще); водопользователи разных производств;

*подземные воды* – те же водопользователи, что и для поверхностных вод, исключая рыбное хозяйство, рекреационное водопользование.

Нормативные документы подразделяются по целям нормирования: первая – определяет качество воды в водоемах и водотоках (исходной воды

для разных потребителей); вторая – требования водопотребителей к качеству природной воды, подвергнутой соответствующей обработке.

Кроме государственных федеральных нормативных документов, существуют региональные и ведомственные, иногда противоречащие федеральным. Согласно закону РФ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» региональные нормативы не могут превышать уровень федеральных.

Давно разработан проект Закона РФ «О питьевой воде» (принят в первом чтении более восьми лет назад Государственной Думой Федерального Собрания РФ). На основе данного закона появятся новые нормативные документы и, может быть, установится порядок в хаосе многочисленных методик определения качества воды, которые приблизятся к рекомендациям Международной организации по стандартизации (ISO – ИСО). Конечно, этому должно способствовать оснащение лабораторий современными аналитическими приборами и обучение лаборантов.

Актуально также сближение российских норм качества питьевой воды с нормами Европейского Союза (ЕС) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ).

## 2.2. Сопоставление норм качества питьевой воды России, Европейского Союза (ЕС), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), национальных норм США и некоторых европейских стран. Объем сопоставлений. Источники данных

Представляет определенный интерес сопоставление норм качества воды России, Европейского Союза, Всемирной организации здравоохранения, Национальных норм США и некоторых европейских стран. Можно констатировать, что одни и те же показатели качества воды в разных нормативных документах существенно отличаются друг от друга (табл. 2.2. и 2.3). И одновременно в российских нормативах для некоторых показателей установлены предельно допустимые концентрации (ПДК), находящиеся либо за пределом чувствительности применяемых методик, либо за пределами возможностей технологий, применяемых для очистки воды. Во всяком случае, с анализом такой высокой точности могут справиться в России лишь немногие хорошо оснащенные лаборатории. Таково положение с бенз(а)пиреном.

Руководства ВОЗ, ЕС и Федеральные нормы США цитируются по изданиям, указанным в списке литературы [II: 13; 41].

### 2.2.1. Характеристика нормативов США

Нормативы качества питьевой воды США разделены на две группы:

Национальные первичные нормативы питьевой воды – первичные стандарты (NPDWP), обязательные для общественных водопроводных сетей на всей территории США;

Национальные вторичные нормативы питьевой воды – вторичные стандарты (NSDWP), которые не обязательны на федеральном уровне, но могут быть приняты в качестве обязательных решениями властей штата или населенного пункта. Вторичные стандарты – дополнительно к федеральным – нормируют показатели качества воды, влияющие на косметические и (или) вкусовые свойства воды.

Корпус первичных стандартов (NPDWP) подразделяется на два перечня:

MCLG, определяющий максимальный уровень загрязнения питьевой воды, при котором не встречалось бы никакого известного или неблагоприятного воздействия на здоровье людей, и учитывающий адекватный уровень безопасности. Показатели MCLG – не обязательны, но их желательно придерживаться; нормативы MCLG гаран-

тируют, что некоторое небольшое увеличение значений загрязняющих веществ сверх показателей MCL не представляет значительного риска для здоровья людей;

MCL, регламентирующий максимально допустимый уровень загрязнения питьевой воды, которая поставляется любому пользователю общественной водопроводной сети. Показатели MCL – обязательны.

Национальные вторичные стандарты питьевой воды США (NSDWP) включают ПДК, мг/л:

алюминий (Al) – 0,05–0,20;

хлориды (Cl<sup>-</sup>) – 250,0;

железо (Fe) – 0,30;

сульфаты (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) – 250,0;

медь (Cu) – 1,0;

пенообразователи – 0,50;

марганец (Mn) – 0,05;

общая минерализация – 500,0;

серебро (Ag) – 0,10;

запах – 3 балла;

цинк (Zn) – 5,0;

цветность – 15 градусов платино-кобальтовой шкалы;

фториды (F<sup>-</sup>) – 2,0;

вода не должна быть коррозионно-опасной.

В табл. 2.2 включены почти все нормируемые в США неорганические примеси (кроме волокон асбеста размером более 10 мкм – 7 млн волокон/л и таллия – 0,05 мг/л).

Из органических компонентов, которых в первичных стандартах (NPDWP) насчитывается 54 единицы, в табл. 2.2 включены лишь некоторые. Здесь дополнительно указаны ПДК:

1,1-дихлорэтилен – 0,007 мг/л;

диоксины – отсутствие (MGLG) и 0,00003 мкг/л (MCL);

стирол – 0,1 мг/л.

Под общим названием «диоксины» понимается сумма 2,3,7,8-тетрахлордибензопарадиоксин (ТХДД) и 2,3,7,8-тетрахлордибензофурана (ТХДФ).

### 2.2.2. Нормативы ВОЗ

Нормативы Всемирной организации здравоохранения распределены по группам загрязнений: примеси неорганические; компоненты радиоактивности; органолептические показатели (две подгруппы); примеси, не оказывающие влияние на здоровье людей при обычно встречающихся в воде концентрациях; примеси органических веществ (две подгруппы); пестициды; вещества, применяемые или образующиеся при дезинфекции воды.

Кроме включенных в табл. 2.2, нормируется также в ряду неорганических примесей: ПДК урана – 0,002 мг/л.



К органолептическим показателям, не вошедшим в табл. 2.2, нормами ВОЗ отнесены: ПДК сероводорода – 0,05 мг/л (обнаруживается по запаху и привкусу) и температура – вода должна иметь оптимальную температуру.

Вещества, не оказывающие влияния на здоровье людей в обычных концентрациях: асбест, серо-ребро, олово, фторантен, глифосат (гербицид).

Перечень ВОЗ органических примесей по признакам вредности – органолептический (орг.) и санитарно-токсикологический (с.-т.) – включает 42 наименования. Дополнительно к указанным в табл. 2.2 приведены еще несколько значений ПДК для веществ, мг/л:

1,2-дихлорбензол – 1,0; дихлорметан – 0,02; 1,2-дихлорэтилен – 0,05; стирол – 0,02 (с.-т.) и 0,004 – 2,60 (орг.); толуол – 0,70 (с.-т.) и 0,024 – 0,17 (орг.); ЭТДА (этилендиаминтетрауксусная кислота) – 0,60.

Группа нормативов пестицидов включает 40 наименований. В табл. 2.2 указаны только ПДК: ДДТ; 2,4-Д и линдан. Еще несколько веществ из этой группы: 1,2-дихлорпропан – до 0,040 мг/л; 1,3-дихлорпропан – до 0,020; гексахлорбензол – до 0,001 мг/л.

В группу нормативов ВОЗ по веществам, применяемым или образующимся при дезинфекции воды, включены значения ПДК для 23 веществ. В табл. 2.2 указаны значения ПДК броматов, хлороформа, хлорциана и хлора.

Дополнительно приводим данные о ПДК для веществ, мг/л: бромдихлорметан – 0,06; бромформ – 0,10; монохлорамин – 3,0; хлориты – 0,20.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что по российским нормам (СанПиН 2.1.4.1074-01)

должны контролироваться около 1500 показателей, по нормам ЕС – около 50, по нормам США – около 100, по нормам ВОЗ – около 160. Причем по зарубежным нормам для большого количества показателей не указаны значения ПДК вследствие отсутствия, по мнению составителей нормативных документов, надежных данных для установления норм.

### 2.2.3. О нижней границе ПДК веществ в питьевой воде

Все нормативные установления по качеству питьевой воды регламентируют только верхнюю границу ПДК. Однако гигиенисты давно признали: есть некая область оптимальных значений показателей, наиболее благоприятная для потребления человеком. Следовательно, давно существующие рекомендации о нижней границе ПДК некоторых растворенных в воде веществ должны быть законодательно утверждены. О неприятностях и болезнях, связанных с постоянным употреблением питьевой воды, показатели качества которой выходят за верхнюю границу утвержденной нормы или за нижнюю границу рекомендуемой нормы, напомнил Главный государственный санитарный врач РФ в Постановлении № 05 от 11 июля 2000 г.

Может быть, впервые в России интервалы значений ПДК некоторых веществ с нижней границей представлены в СанПиНах 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы», введенных в действие с 1 июля 2002 г.

### 2.2.4. Сопоставление норм качества питьевой воды

Таблица 2.2

Сопоставление норм качества питьевой воды

(если в таблице нет специальных указаний, то табличные числовые значения – наибольший предел нормы)

Наименование	СанПиН 2.1.4.1074-01 (ранее 2.1.4.559-96) и ГН 2.1.5.689-98 с доп. №1, 2, 3	Директива Совета Европейского Союза 98/83/ЕС от 03.11.1998 г. Введено в действие с 25.12.1998 г.	Федеральные нормы США. 1998 г.		ВОЗ. Руководство по контролю качества питьевой воды. 1994 г.
			MCLG	MCL	
1	2	3	4	5	6
Водородный показатель (рН)	6,0–9,0	≥ 4,5 ед. * (6,5–9,5 ед. для бутылей и контейнеров)	*** –	*** –	6,5–8,5 <sup>19</sup>
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	1000 (1500)	<sup>1</sup> Удельная электрическая проводимость * 2500 мкСм/см при 20°C (вода не должна быть агрессивной)	–	–	–

Таблица 2.2

Продолжение

1	2	3	4	5	6
Жесткость общая, ммоль/л <sup>11</sup>	7,0 (10,0) <sup>1</sup>	–	–	–	– <sup>36</sup>
Окисляемость перманганатная, мгО/л	5,0	5,0 (не измерять, если есть анализ ООУ)*	–	–	–
Нефтепродукты (суммарно), мг/л	0,10	–	–	–	–
Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные, мг/л <sup>20</sup>	0,50	–	–	–	–
Фенольный индекс, мг/л <sup>9</sup>	0,25	–	–	–	–
Фенол, мг/л <sup>10</sup>	0,01	–	–	–	–
Термотолерантные колиформные бактерии, число бактерий в 100 мл <sup>2</sup>	Отсутствие	Escherichia coli (E-coli)**; Enterococci. Отсутствие	Отсутствие	Энтеровирусы	–
Общие колиформные бактерии, число бактерий в 100 мл <sup>3</sup> <sup>2</sup>	Отсутствие	Отсутствие (для воды в емкостях – 0/250 мл)	Отсутствие <sup>17</sup>	5% <sup>17</sup>	– <sup>37</sup>
Общее микробное число, число образующих колоний бактерий в 1 мл (подсчет колоний при 22°C) <sup>3</sup> <sup>2</sup>	≤50,0	Энтерококки – отсутствие** в 100 мл Без аномальных изменений*	–	–	–
Колифаги, число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл <sup>4</sup>	Отсутствие	–	Отсутствие <sup>15</sup>	– <sup>15</sup>	–
Споры сульфатредуцирующих клостридий (Clostridium perfringens (включая споры)); число спор в 20 мл <sup>5</sup>	Отсутствие	Отсутствие в 100 мл (только для поверхностных вод)	–	–	–
Цисты лямблий, число цист в 50 л <sup>4</sup>	Отсутствие	–	Отсутствие <sup>15</sup>	99,9% убиты или инактивированы <sup>15</sup>	–
Алюминий (Al <sup>3+</sup> ), мг/л	0,50	0,20*	–	–	0,20 <sup>21</sup>
Барий (Ba <sup>2+</sup> ), мг/л	0,10	–	2,0	2,0	0,70
Бериллий (Be <sup>2+</sup> ), мг/л	0,0002	–	0,004	0,004	– <sup>22</sup>
Бор (В, суммарно), мг/л	0,50	1,0**	–	–	0,50
Железо (Fe, суммарно), мг/л	0,30 (1,0) <sup>1</sup>	0,20*	–	–	0,30 <sup>23</sup>
Кадмий (Cd, суммарно), мг/л	0,001	0,005**	0,005	0,005	0,003
Марганец (Mn, суммарно), мг/л	0,1 (0,5) <sup>1</sup>	0,05*	–	–	0,50 (0,1) <sup>24</sup>
Медь (Cu, суммарно), мг/л	1,0	2,0 (нед.):** <sup>12</sup>	1,30 <sup>14</sup>	1,30 <sup>14</sup>	2,0 (1,0) <sup>25</sup>
Молибден (Mo, суммарно), мг/л	0,25	–	–	–	0,07
Мышьяк (As, суммарно), мг/л	0,05	0,01**	– <sup>13</sup>	0,05	0,01
Никель (Ni, суммарно), мг/л	0,10	0,02 (нед.):** <sup>12</sup>	–	–	0,02
Нитраты (по NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ), мг/л	45,0	50,0**	44,3	44,3	50,0
Ртуть (Hg, суммарно), мг/л	0,0005	0,0010**	0,0020	0,0020	0,0010
Свинец (Pb, суммарно), мг/л	0,03	0,01 (нед.):** <sup>12</sup>	Отсутствие <sup>14</sup>	0,015 <sup>14</sup>	0,010 <sup>26</sup>
Селен (Se, суммарно), мг/л	0,01	0,01**	0,05	0,05	0,01
Стронций (Sr <sup>2+</sup> ), мг/л	7,0	–	–	–	–

Таблица 2.2

Продолжение

1	2	3	4	5	6
Сульфаты ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), мг/л	500,0	250,0* (вода не должна быть агрессивной)	–	–	250,0
Фториды ( $\text{F}^-$ ), мг/л, для климатических районов России: I и II III IV	1,5 1,2 0,7	1,5 **	4,0	4,0	1,5
Хлориды ( $\text{Cl}^-$ ), мг/л	350,0	250,0 (вода не должна быть агрессивной)*	–	–	250,0 <sup>27</sup>
Хром ( $\text{Cr}^{6+}$ ), мг/л ( $\text{Cr}^{3+}$ ), мг/л	0,05 0,50	0,05** –	0,10 (общий)	0,10 (общий)	0,05 (общий)
Цианиды ( $\text{CN}^-$ ), мг/л	0,035	0,05**	0,20	0,20	0,07 <sup>28</sup>
Цинк ( $\text{Zn}^{2+}$ ), мг/л	1,0 (5,0)	5,0	–	–	3,0
$\gamma$ ГХЦГ (линдан, 1,2,3, 4,5,6-гексахлорциклогексан, гексахлоран), мг/л	0,002	–	0,0002	0,0002	0,002
ДДТ (сумма изомеров), (2,2,2-трихлор-1,1'-бис- (п-хлорфенил)этан), 1,1'-(2,2,2-трихлорэтилен) бис (4-хлорбензол), мг/л	0,002 (0,1)	–	–	–	0,002
2,4-Д, (2,4-дихлорфено-ксиукусная кислота), мг/л	0,03 (0,5) <sup>1</sup>	–	0,07	0,07	0,03
Хлор, мг/л: остаточный свободный остаточный связанный	<sup>6</sup> В пределах 0,3–0,5 В пределах 0,8–1,2	– –	– –	– –	0,6–1,0 (5,0) <sup>29</sup>
Хлороформ (при хлорировании воды), (трихлорметан), мг/л	<sup>11</sup> 0,2 (0,06) <sup>1</sup>	–	–	–	0,2
Озон остаточный, мг/л	0,3	–	–	–	–
Формальдегид (при озонировании воды) (метаналь), мг/л	0,05	–	–	–	–
Полиакриламид, мг/л Акриламид, мг/л	2,0 0,01	– 0,0001**	– Отсутствие	–	– 0,0005
Активированная кремнекислота (по Si), мг/л	10,0	–	–	–	–
Полифосфаты (по $\text{PO}_4^{3-}$ ), мг/л	3,5	–	–	–	–
Остаточные количества алюминий- и железосодержащих коагулянтов, мг/л: алюминий ( $\text{Al}^{3+}$ ) железо (Fe)	0,50 0,30 (1,0) <sup>1</sup>	– –	– –	– –	– –
Запах (при 20 и 60°C), балл	2	Приемлемый* для потребителя (без аномальных изменений)	–	–	– <sup>30</sup>
Вкус и привкус, балл	2	То же*	–	–	– <sup>30</sup>
Цветность, градус платино- кобальтовой шкалы	20 (35) <sup>1</sup>	То же*	–	–	15 <sup>30</sup>

Таблица 2.2

Продолжение

1	2	3	4	5	6
Мутность, ЕМФ или мг/л (по каолину)	2,6 (3,5) 1,5 (2,0)	<sup>1</sup> <sup>1</sup> То же Не >1,0 ЕМФ (после обработки)*	–	<sup>16</sup> <sup>16</sup> 5 (ед. NTU)	<sup>31</sup> 5
Бенз(а)пирен, мг/л	0,000–0,005	0,00010**	Отсутствие	0,00020	0,00070
Аммиак (по N), мг/л	2,0	0,50 (по NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> )	–	–	1,5 (по NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) <sup>32</sup>
Натрий (Na <sup>+</sup> ), мг/л	200,0 (по ГН 2.1.5.689–98)	200,0*	–	–	200,0
ООУ (ТОС) (необязательно измерять для источников, где расход воды меньше 10 тыс. м <sup>3</sup> /сут)	–	Без аномальных изменений*	–	–	–
Пестициды (ядовитые), мг/л <sup>8</sup> То же (общее содержание), мг/л	– –	0,0001** 0,0005**	– –	– –	– –
Полициклические углеводороды (сумма концентраций установленных веществ: бенз(в)фторантрен, бенз(к)фторантрен, бенз(ghi)перилен, индено(1,2,3-cd)пирен), мг/л	0,0005 (суммарно)	0,0001 (суммарно)	–	–	–
Бензол, мг/л	0,01 (0,5) <sup>1</sup>	0,001**	Отсутствие	0,0002	0,0007
Сурьма (Sb), мг/л	0,05	0,005	0,006	0,006	0,005
Нитриты (по NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	3,0 (3,3) <sup>1</sup>	0,5 (после обработки 0,10)** (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /50 + NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /3) ≤ 1	1,0	1,0	3,0
Тетрахлорэтилен (перхлорэтилен) и трихлорэтилен (сумма концентраций установленных веществ), мг/л	–	0,010**	–	–	0,040
Тригалометаны (общее содержание установленных веществ), мг/л <sup>11</sup>	–	0,10**	–	0,10	<sup>38</sup>
Винилхлорид (хлорэтилен), мг/л	0,05	0,0005**	Отсутствие	0,0020	0,0100
1,2-дихлорэтан, мг/л	0,01	0,003**	Отсутствие	0,005	0,030
Этиленхлоргидрин 2-хлорэтанол), мг/л	0,1	–	–	–	–
Эпихлоргидрин, мг/л	0,01	0,0001**	–	–	–
Этилбензол, мг/л	0,01	–	0,7	0,7	0,0024–0,2 <sup>33</sup>
Радиоактивность: третий, Бк/л общая индикационная доза, мЗв/г.	– –	100* 0,10	– –	– 5 пКи/л (Ra 226+ Ra 228)	– –
общая α-радиоактивность, Бк/л	0,1	–	–	15 пКи/л	0,1 <sup>34</sup>
общая β-радиоактивность, Бк/л	1,0	–	–	4 мБэр/г	0,1 <sup>34</sup>
Бромат, мг/л	–	0,01**	–	–	0,025
Хлорбензол, мг/л	0,02	–	0,1	0,1	–
Четыреххлористый углерод (тетрахлорметан), мг/л	0,006	–	Отсутствие	0,005	–
Гидросульфид (сероводород), H <sub>2</sub> S, мг/л <sup>35</sup>	0,003	–	–	–	–

**Таблица 2.2**

Продолжение

1	2	3	4	5	6
Вода в бутылках и контейнерах: Escherichia coli (E-coli), число на 250 мл		Отсутствие**			
Enterococci, число на 250 мл		Отсутствие**			
Pseudomonas aeruginosa, число на 250 мл	См. табл. 2.3	Отсутствие**	См. табл. 2.3		См. табл. 2.3
подсчет колоний при 22°C, число на 1 мл		100**			
подсчет колоний при 37°C, число на 1 мл		20**			

\* Индикаторные параметры качества воды. Только в целях мониторинга государства – члены ЕС на своей территории или ее части могут устанавливать дополнительные параметры, но введение этих дополнительных параметров не должно ухудшать здоровье людей.

\*\* Обязательные параметры.

\*\*\* Здесь и далее прочерк означает, что параметры не нормируются или у составителя таблицы нет данных.

*Примечания к табл. 2.2*

1. Значение, указанное в скобках, может быть установлено по постановлению Главного государственного санитарного врача соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и с учетом применяемой технологии водоподготовки.

2. При анализах необходимо проводить трехкратное исследование по 100 мл отобранной пробы воды.

3. Превышение норматива не допускается в 95% проб, отбираемых в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной сети в течение 12 месяцев при количестве исследуемых проб не менее 100 за год.

4. Определение проводится только в системах водоснабжения из поверхностных источников перед подачей воды в распределительную сеть.

5. Определение проводится при оценке эффективности технологии обработки воды.

6. При обеззараживании воды свободным хлором время их контакта должно составлять не менее 30 мин, при обеззараживании связанным хлором – не менее 60 мин. Контроль за содержанием остаточного хлора нужно производить перед подачей воды в распределительную водопроводную сеть. При одновременном присутствии в воде свободного и связанного хлора общая его концентрация, как правило, не должна быть больше 1,2 мг/л. В отдельных случаях по согласованию с центром Госсанэпиднадзора может быть допущена повышенная концентрация хлора в питьевой воде.

7. Контроль за содержанием остаточного озона следует производить после камеры смешения при обеспечении контакта озона с водой не менее 12 мин.

8. Пестициды органические: инсектициды, гербициды, фунгициды, нематоциды, акарициды, альгициды, родентициды, симициды; родственные продукты (среди них регуляторы роста) и их метаболиты, продукты реакции и распада. Общее содержание пестицидов – это сумма пестицидов, найденных при анализах. Указаны значения применительно к каждому индивидуальному пестициду. При обнаружении олдрина, дизьдрин, гептахлора, гептахлорэпоксина предельное нормативное значение этого показателя – 0,00003 мг/л (по СанПиН 2.1.4.1074-01 норма для гептахлора – 0,05 мг/л). Вообще в мире используется примерно 550 химических соединений с сильной пестицидной активностью.

9. По нормам ИСО 6439 фенольный индекс определяет фенолы, вступающие в реакцию с 4-аминоантипирином (т.е. окси-, метокси-, карбокси- и сульфопроизводные).

10. Значение ПДК фенола (0,001 мг/л) указано для суммы летучих фенолов, придающих воде хлорфенольный запах при пробном хлорировании, и относится к водным объектам хозяйственно-питьевого водопользования при условии применения хлора для обеззараживания воды в процессе ее очистки на

водопроводных сооружениях или при определении условий сброса сточных вод, подвергающихся обеззараживанию хлором. В иных случаях допускается содержание суммы летучих фенолов в воде водных объектов в концентрациях до 0,1 мг/л.

11. К установленным веществам в данном случае отнесены: хлороформ (трихлорметан), бромформ (трибромметан), дибромхлорметан, бромдихлорметан. По российским нормативам ПДК для хлороформа – 0,06 мг/л, для бромформа – 0,1 мг/л.

В конце 2002 г. Минздрав установил для хлороформа ПДК: 0,1 мг/л, для четыреххлористого углерода – 0,002 мг/л, для хлоральдегидрата – 0,01 мг/л.

По данным ВОЗ, ориентировочные допустимые концентрации некоторых галогеносодержащих соединений, мг/л: дихлор- и трихлоруксусная кислота – 0,05 и 0,10; дихлорацетонитрил – 0,09; дибромацетонитрил – 0,10; трихлорацетонитрил – 0,001; ПДК хлорциана – 0,035 («Гигиена и санитария», 2003, № 1, с. 17–21).

12. Сокращение «нед.» (неделя) означает: указанная величина ПДК – средняя недельная доза вещества, гарантированно безвредная для человека.

13. Нормы MCLG не были установлены до 1986 г. поправками к Закону о безопасности питьевой воды. Поэтому для этого показателя нормы не установлены.

14. Содержание в воде свинца и меди должно наблюдаться при эксплуатации водопроводной сети: пробы для анализа необходимо брать на участках, где есть медные или свинцовые трубы или свинцовый припой. Меры предотвращения загрязнения воды свинцом и медью нужно предусматривать, если содержание меди > 1,3 мг/л или свинца > 0,015 мг/л более чем в 10% проб воды.

15. При дезинфекции и фильтровании *Giardia lamblia* и вирусы должны быть убиты или инактивированы на 99,9%. В этих условиях Агентство по охране окружающей среды (EPA) США считает, что и *Legionella*, ПДК для которой не установлен, также будет обезврежена.

16. Мутность не должна быть больше 5 нефелометрических единиц мутности (NTU). Система фильтрации должна обеспечивать значение мутности не более 1 NTU (0,5 NTU – для обычного или прямого фильтрования), по крайней мере, у 95% ежедневно отбираемых проб воды в течение одного месяца. При этом в 1 мл исходной воды не должно быть более 500 бактериальных колоний.

17. Нормы указаны для условий: не более 5% общего количества проб воды в течение одного месяца дают положительную реакцию на бактерии кишечной группы (для водопроводных сетей, где месячное количество проб воды меньше 40, положительная реакция – не более чем у одной пробы в месяц). Каждая проба воды, в которой обнаружено общее количество колиформных бактерий, должна анализироваться на присутствие фекальных колиформ. Любые фекальные колиформы не допускаются. Наличие фекальных колиформ и E-coli указывает на то, что возможно загрязнение исходной воды отходами жизнедеятельности человека и животных.

18. Требования Директивы 98/83/ЕС не относятся к воде как медицинскому продукту и минеральным водам. Можно исключить также из рассмотрения в пределах требований этой Директивы воду индивидуальных пользователей с общим расходом воды до 10 м<sup>3</sup>/сут или при количестве пользователей не более 50 человек. При этом не допускается попадание такой воды в коммерческую или общественную водопроводную сеть.

19. Низкое значение pH означает повышенную коррозионную опасность воды; высокое – придает воде мыльный привкус.

20. Наличие ПАВ характеризуется определенными привкусом и запахом, пенообразованием.

21. Алюминий регламентируется по органолептическому показателю: наблюдаются осадок (взвесь) и изменение цвета воды.

22. Нет надежных данных для установления норматива.

23. Железо включено в Руководство ВОЗ в качестве органолептического показателя: содержание его в воде больше ПДК вызывает окрашивание белья и посуды.

24. Значение ПДК марганца в скобках установлено по органолептическому признаку: значения больше указанного инициируют окрашивание белья и посуды.

25. Количество меди в воде больше указанного в скобках дает привкус и окрашивает белье и посуду.

26. Норматив по свинцу может не выполняться в некоторых системах, но в этих случаях следует предусматривать все меры для уменьшения риска.

27. Наличие хлоридов больше ПДК придает воде привкус и вызывает (в сочетании с некоторыми другими показателями качества воды) коррозию стали и медных сплавов.

28. Применяя Национальные стандарты, нужно учитывать местные особенности и объем потребляемой воды.



29. Значение ПДК хлора в скобках – норма для условий проведения дезинфекции воды. Значения меньше 5 мг/л определяются органолептически. Эффективное обеззараживание обеспечивается, когда концентрация остаточного свободного хлора в воде после 30 мин контакта будет не менее 0,5 мг/л при  $pH < 8$ .

30. Вода должна быть приятной по всем этим показателям.

31. При эффективном конечном обеззараживании показатель ЕМФ должен быть не более 1 ед.

32. Повышенная концентрация аммиака придает воде неприятные запах и привкус.

33. Вода с повышенным содержанием этилбензола имеет неприятные запах и привкус.

34. При повышении этих значений ПДК необходимо производить подробный радиохимический анализ. Повышенное значение не обязательно свидетельствует о непригодности воды для питья.

35. Вода должна быть из защищенных подземных источников и в специальной упаковке. В воде не допускается присутствие бактерий *Cryptosporidium*, *Giardia*, *Legionella*.

36. При небольшом значении общей жесткости увеличивается коррозионная опасность воды; при большой жесткости – опасность накипеобразования.

37. Не должны обнаруживаться в любой пробе объемом 100 мл. В крупных системах не должны обнаруживаться при постоянном контроле в 95% проб в течение года.

38. Сумма отношений концентраций отдельных веществ к соответствующим рекомендованным нормативам не должна быть больше 1.

### 2.2.5. О воде, расфасованной в емкости (в том числе – бутылированной): потребление, классификация

Разработка и утверждение санитарных норм качества воды в емкостях (бутылированная вода) характеризуют стремительный рост потребления такой воды в России за последние годы, особенно в крупных городах. В зарубежных странах пока такую воду потребляют не в пример больше. В год на одного человека приходится: в Западной Европе – 100 л, США – 43, Канаде – 20, России – менее 5 л (Зуев Е.Т., Фомин Г.С. «Питьевая вода», 2001, № 2, с. 2).

Некоторые из норм качества питьевой воды, расфасованной в емкости, в сопоставлении с аналогичными нормами Стандартов Codex Alimentarius ФАО-ВОЗ (CODEX STAN 108-1981, Rev. 1-1997 с изм. 2001 г. – Стандарт Кодекса на природные минеральные воды) и США показаны в табл. 2.3.

Согласно СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы» воду подразделяют на две группы:

очищенная или доочищенная вода из водопроводной сети;

кондиционированная вода, дополнительно обогащенная жизненно необходимыми макро- и микроэлементами.

Питьевая вода, в зависимости от вида источника, подразделяется на *подземную* – артезианскую, родниковую (ключевую), грунтовую (инфильтрационную) и *поверхностную* – речную, озерную (прудовую, из водохранилища), ледниковую.

Требования не распространяются на минеральные воды (лечебные, лечебно-столовые, столовые).

В табл. 2.3 нормативы СанПиНов разделены на две категории: *первую* (безопасную) и *высшую* (безопасную и оптимальную по качеству) – из автономных, надежно защищенных, как правило, подземных водоисточников. Предпочтение отдается родниковым или артезианским. Для воды, расфасованной в емкости, не допускается применение препаратов хлора; для обеззараживания предпочтительно применение озонирования и физических методов, в частности, ультрафиолетовое излучение. Не допускаются различные видимые невооруженным глазом включения, поверхностные пленки и осадки.

ПДК веществ, не указанных в СанПиН 2.1.4.1116-02, должны соответствовать СанПиН 2.1.4.1074-01.

Нормативы США разделены на две группы: FDA (Food and Drug Administration – Администрация по пищевым продуктам и лекарствам) – правительственная организация США (U.S. Department of Health and Human Services). IBWA – неправительственная организация США, пользующаяся поддержкой FDA. Ряд штатов принял правила IBWA в качестве законов.

В нормативы FDA, кроме указанных в табл. 2.3, включены данные о таллии (0,002 мг/л) и 15 органических веществах. В нормативах IBWA, кроме табл. 2.3, таллий (0,002 мг/л) и 45 органических веществ. Обязанность разработки нормативов качества воды возложена государством на Агентство по охране окружающей среды (EPA). FDA, как правило, принимает все нормативы EPA в качестве обязательных.

Нормы IBWA включают дополнительные требования к бутылкированной воде для больных людей, регулярно принимающих некоторые лекарства (прежде всего – против иммунодефицита) или перенесших операции на сердце и для курильщиков:

- ♦ вода должна быть из подземных источников, защищенных от поверхностных загрязнений и других влияний окружающей среды;

- ♦ при обработке воды в обратноосмотических аппаратах должна представляться гарантия отсутствия после аппаратов криптоспоридий и лямблий;

- ♦ не должно быть легионеллы, особенно для пациентов больницы, и псевдомоны в воде с питательными веществами;

- ♦ упаковка должна быть лучше обычной, гарантирующей чистоту воды при хранении и транспортировании.

## 2.2.6. Сопоставление норм качества питьевой воды, расфасованной в емкости

Таблица 2.3

Сопоставление норм качества питьевой воды, расфасованной в емкости (если в таблице нет специальных указаний, то табличные числовые значения – это наибольший предел нормы)

Наименование показателей	СанПиН 2.1.4.1116-02		Нормы ФАО-ВОЗ	Нормы США	
	1-я категория	Высшая категория		FDA	IBWA (2002 г.)
1	2	3	4	5	6
Запах при 20°C, балл	0	0	–	3 т.о.н.	3 т.о.н.
при нагревании до 60°C, балл	1	0	–	3 т.о.н.	3 т.о.н.
Привкус, балл	0	0	–	–	–
Цветность, градус платино-кобальтовой шкалы	5	5	–	5	<5
Мутность, ЕМФ	1,0	0,5	–	0,5 NTU	0,5 NTU <sup>4</sup>
Водородный показатель (рН)	6,5-8,5	6,5-8,5	–	Не нормир. (по EPA 6,5–8,5)	5,7/6,5–8,5 <sup>5</sup>
Хлориды (Cl <sup>-</sup> ), мг/л	250,0	150,0	–	250,0	250,0 <sup>5</sup>
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг/л	250,0	150,0	–	250,0	250,0 <sup>5</sup>
Фосфаты (PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг/л	3,5	3,5	–	–	–
Силикаты (по Si), мг/л	10,0	10,0	–	–	–
Нитраты (NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> ), мг/л	20,0	5,0	50,0	10,0 (по N)	10,0 (по N) <sup>5</sup>
Цианиды (CN <sup>-</sup> ), мг/л	0,035	0,035	0,07	0,10	0,1
Сероводород (H <sub>2</sub> S), мг/л	0,003	0,003	0,05	–	–
Алюминий (Al <sup>3+</sup> ), мг/л	0,2	0,1	–	0,2	0,2
Барий (Ba <sup>2+</sup> ), мг/л	0,7	0,1	0,7	1,0	1,0
Бериллий (Be <sup>2+</sup> ), мг/л	0,0002	0,0002	–	0,004	0,004
Железо (Fe, суммарно), мг/л	0,3	0,3	2,0	0,3	0,30 <sup>5</sup>
Кадмий (Cd, суммарно), мг/л	0,001	0,001	0,003	0,005	0,005
Кобальт (Co), мг/л	0,1	0,1	–	–	–
Литий (Li <sup>+</sup> ), мг/л	0,03	0,03	–	–	–
Марганец (Mn, суммарно), мг/л	0,05	0,05	0,5	0,05	0,05 <sup>5</sup>
Медь (Cu, суммарно), мг/л	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0 <sup>5</sup>
Молибден (Mo, суммарно), мг/л	0,07	0,07	–	–	–
Натрий (Na), мг/л	200,0	20,0	–	–	–
Никель (Ni, суммарно), мг/л	0,02	0,02	0,02	0,10	0,10
Ртуть (Hg, суммарно), мг/л	0,0005	0,0002	0,001	0,002	0,001
Селен (Se), мг/л	0,01	0,01	0,01	0,05	0,01

Таблица 2.3

Продолжение

1	2	3	4	5	6
Серебро (Ag <sup>+</sup> ), мг/л	0,025	0,025	–	0,10	0,025
Свинец (Pb, суммарно), мг/л	0,010	0,005	0,001	0,005	0,005
Стронций (Sr <sup>2+</sup> ), мг/л	7,0	7,0	–	–	–
Сурьма (Sb), мг/л	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006
Хром (Cr <sup>6+</sup> , суммарно), мг/л	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05
Цинк (Zn <sup>2+</sup> ), мг/л	5,0	3,0	5,0	5,0	5,0 <sup>5</sup>
Таллий (Tl <sup>3+</sup> ), мг/л	–	–	–	20 ррв	0,002
Бор (В суммарно), мг/л	0,5	0,3	5,0	–	–
Мышьяк (As, суммарно), мг/л	0,01	0,006	0,01	0,05	0,01
Озон (O <sub>3</sub> ), мг/л <sup>1</sup>	0,1	0,1	–	–	–
Бромид (Br), мг/л	0,2	0,1	–	0,01-бромат	0,01-бромат
Хлорит (ClO <sup>2-</sup> ), мг/л	–	–	–	1,0	1,0
Хлор остаточный свободный (Cl <sub>2</sub> ), мг/л	0,05	0,05	–	4,0	0,10 <sup>5</sup>
Хлор остаточный связанный (Cl <sup>-</sup> ), мг/л	0,10	0,10	–	0,8 (ClO <sub>2</sub> )	0,8 (ClO <sub>2</sub> )
Окисляемость перманганатная, мгО/л	3,0	2,0	3,0	–	–
Аммиак (NH <sub>3</sub> и NH <sub>4</sub> <sup>-</sup> , суммарно), мг/л	0,10	0,05	–	–	–
Нитриты (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ), мг/л	0,50	0,005	0,02 (кроме детей)	1,0 (по N)	1,0 (по N)
Углерод органический, мг/л	10,0	5,0	–	–	–
Поверхностно-активные вещества (ПАВ), анионоактивные, мг/л	0,05	0,05	Отсутствие	–	–
Нефтепродукты, мг/л	0,05	0,01	–	–	–
Фенолы летучие (суммарно), мкг/л	0,50	0,50	Отсутствие	–	0,001
Хлороформ, мг/л	60,0	1,0	–	6,0	6,0
Бромоформ, мг/л	20,0	1,0 <sup>7</sup>	–	6,0	6,0
Дибромхлорометан, мг/л	10,0	1,0	–	–	–
Бромдихлорметан, мг/л	10,0	1,0	–	6,0	6,0
Углерод четыреххлористый, мг/л	2,0	1,0	–	0,005	0,005
Формальдегид, мг/л	5,0	5,0	–	–	–
Бенз(а)пирен, мг/л	0,005	0,001	–	0,0002	0,0002
Ди (2-этилгексил)фталат, мг/л	6,0	0,10	–	0,07	0,07
Гексилхлорбензол, мг/л	0,20	0,20	–	–	–
γ ГХЦГ (линдан, 1,2,3,4,5,6-гексахлорциклогексан), мг/л	0,50	0,20	–	–	0,0002
2,4-Д (2,4-дихлорфеноксиуксусная кислота), мг/л	1,0	1,0	–	0,07	0,07
Гептахлор, мг/л	0,05	0,05	–	0,0004	0,0004
ДДТ (сумма изомеров), (1,1'-(2,2,2-трихлорэтилиден)), 1,1'-(2,2,2-Трихлорэтилиден) бис (4-хлорбензол), мг/л	0,50	0,50	Отсутствие всех пестицидов	–	–

**Таблица 2.3**  
Продолжение

1	2	3	4	5	6
Атразин (2-хлор-4-этиламино-6-изопропиламино-1,3,5-триазин), мг/л	0,20	0,20	–	0,003	0,003
Симазин (2-хлор-4,6 бис(этиламино)-1,3,5-триазин)), мг/л	0,20	0,20	–	4,0	0,004
Нитраты и нитриты ( $\text{NO}_3^-$ и $\text{NO}_2^-$ , суммарно), мкг/л	<0,50	<0,10	–	10,0	10,0
Тригалогенметаны (суммарно), мг/л	<0,5	<0,1	–	0,08	0,01
Хлорамин, мг/л	–	–	–	4,0	4,0
Удельная суммарная $\alpha$ -радиоактивность, Бк/л <sup>2</sup>	0,10	0,10	–	15 пКи/л	15 пКи/л <sup>6</sup>
Удельная суммарная $\beta$ -радиоактивность, Бк/л <sup>2</sup>	1,0	1,0	–	50 пКи/л	50 пКи/л <sup>6</sup>
Общее микробное число (ОМЧ): при 22°C, КОЕ/мл при 37°C, КОЕ/мл	$\leq 20$ $\leq 100$	$\leq 20$ $\leq 100$	– –	– –	– –
Количество всех колиформных бактерий, КОЕ/100 мл	Отсутствие в 300 мл	Отсутствие в 300 мл	Отсутствие в 250 мл	<9,2 в 100 мл	Отсутствие в 100 мл
Термотолерантные колиформные бактерии, «	Отсутствие в 300 мл	Отсутствие в 300 мл	Отсутствие в 250 мл или E-coli	–	–
Глюкозоположительные колиформные бактерии, «	Отсутствие в 300 мл	Отсутствие в 300 мл	–	–	–
Споры сульфатредуцирующих клостридий, «	Отсутствие в 20 мл	Отсутствие в 20 мл	Отсутствие в 150 мл	–	–
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Отсутствие в 1000 мл	Отсутствие в 1000 мл	Отсутствие в 250 мл	–	–
Колифаги, БОЕ/100 мл	Отсутствие в 1000 мл	Отсутствие в 1000 мл	–	–	–
Цисты криптоспоридий, колич./50 л	Отсутствие	Отсутствие	–	–	–
Цисты лямблий, колич./50 л	Отсутствие	Отсутствие	–	–	–
Яйца гельминтов, колич./50 л	Отсутствие	Отсутствие	–	–	–
Кислород ( $\text{O}_2$ ), мг/л	Не < 5,0	Не < 9,0	–	–	–
Общая минерализация (сухой остаток), мг/л	1000	200–500	–	500	500 <sup>5</sup>
Общая жесткость, ммоль/л	7,0	1,5–7,0	–	–	–
Общая щелочность, ммоль/л	6,5	0,5–6,5	–	–	–
Кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ ), мг/л <sup>8</sup>	130	25–80	–	–	–
Магний ( $\text{Mg}^{2+}$ ), мг/л <sup>8</sup>	65	5–50	–	–	–
Калий ( $\text{K}^+$ ), мг/л	20	2–20	–	–	–
Бикарбонаты ( $\text{HCO}_3^-$ ), мг/л	400	30–400	–	–	–
Фториды ( $\text{F}^-$ ), мг/л <sup>3</sup>	1,5	0,6–1,2	2,0; 1,0 (для детей до 7 лет)	3,0	3,0
Йодиды ( $\text{I}^-$ ), мкг/л <sup>3,9</sup>	125	40–60	–	–	–
Консерванты: <sup>3,9</sup> серебро (Ag), мг/л йод (I), « диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), %	0,0250 0,060 0,40	0,0025 0,060 0,20	– – –	– – –	– – –

*Примечания к табл. 2.3*

1. Контроль содержания озона должен производиться после камеры смешения при обеспечении времени контакта озона с водой не менее 12 мин.

2. Эффективная доза при годовом потреблении не должна быть больше 0,1 мЗв/г.

3. Для детей (грудных) при искусственном вскармливании качество воды должно соответствовать высшей категории. Кроме того, в качестве консервантов нельзя применять серебро и диоксид углерода, фториды – в пределах 0,6–0,7 мг/л, йодиты – 40–60 мкг/л.

4. Мутность измеряется в нефелометрических единицах мутности НЕФ (NTU); для небольшой мутности – в пределах 0–40 НЕФ (NTU).

5. Показатели классифицируются EPA (правительственное Агентство по охране окружающей среды США) в качестве вторичных стандартов, как показатели, влияющие только на вкусовые и косметические свойства воды, но не на здоровье людей.

6. Если  $\alpha$ -радиоактивность больше 5 пКи/л, то нужно проводить анализ на содержание  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$  – общее их содержание не должно превышать 5 пКи/л. Когда  $\beta$ -радиоактивность выше 8 пКи/л, нужно проводить анализ на содержание  $^{90}\text{Sr}$ . При  $\beta$ -радиоактивности больше 50 пКи/л нужен анализ на тритий и другие антропогенные радионуклиды.

7. Измеряется при озонировании после контакта озона с водой не менее 12 мин.

8. ПДК кальция и магния рассчитываются из следующих условий: наибольшее допускаемое значение общей жесткости – 7,0 ммоль/л; в составе общей жесткости – наименьшее значение магния при наибольшем допускаемом количестве кальция и наоборот.

9. Йодирование воды на уровне ПДК допускается при отсутствии профилактики йододефицита за счет йодированной соли при условии соблюдения допускаемой суточной дозы йода, поступающего в организм суммарно из всех объектов окружающей среды. Йодирование воды на уровне 30–60 мкг/л разрешается в качестве способа массовой профилактики йододефицита при использовании иных мер профилактики.

10. По программе разработки международных продовольственных стандартов, патронируемой Комиссией ООН по продовольствию (ФАО) и Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) – «Codex Alimentarius», создан Общий стандарт для бутылированной (упакованной) питьевой воды (отличной от минеральных вод) – CODEX STAN 227-2001 («Питьевая вода», 2002, № 6, с. 25–29).

Согласно этому стандарту ПДК химических и радиоактивных веществ должны соответствовать «Руководству по качеству питьевой воды» ВОЗ «Codex Alimentarius». Кроме того, любое добавление минеральных солей в воду перед ее упаковкой должно удовлетворять требованиям стандарта CODEX STAN 227-2001 и, где применимо, требованиям «Общего стандарта кодекса по пищевым добавкам» (STAN 192-1995, Rev. 1-1997) и (или) «Кодекса общих принципов добавления основных питательных веществ к пище» (CAC/GL 9-1987).

Кроме норм, указанных в табл. 2.3, общий стандарт включает требования полного отсутствия полихлорбифенилов, минеральных масел, полициклических ароматических углеводородов, а также ограничивает присутствие стрептококков группы Д в пределах 0,0–2,0 в 250 мл воды.

## 2.3. Нормативы качества воды для систем теплоснабжения, горячего водоснабжения, паровых и водогрейных котлов. Требования к устройству и эксплуатации теплогенераторов и теплоиспользующих аппаратов в связи с водно-химическим режимом. Перечень документов

Таблица 2.4

Перечень стандартов качества воды для систем теплоснабжения, горячего водоснабжения, паровых и водогрейных котлов (по состоянию на 31.12.2005 г.)

Шифр документа	Наименование	Субъект утверждения норматива, год утверждения, время начала действия
1	2	3
1. ОСТ 34.70-656-84	Охрана природы. Водопотребление и водоотведение в теплоэнергетике. Основные термины и определения	Минэнерго СССР. 1984 г.
2. СанПиН 4723-88 (вместо Санитарных правил... № 2270-80)	Санитарные правила устройства и эксплуатации систем централизованного горячего водоснабжения	Минздрав СССР. 1988 г.
3. СНиП 41-02-2003 (вместо СНиП 2.04.07-86*)	Тепловые сети	Госстрой России. 2003 г. С 1 марта 2003 г.
4. СНиП 3.05.03-86* (вместо СНиП 111-30-74)	Тепловые сети. (Производство и приемка работ)	Госстрой СССР. 1986 г.
5. СП 41-104-2000 (МСП 4.02-103-99)	Проектирование автономных источников теплоснабжения	Госстрой России. 2000 г.
6. СП 41-101-95 (к СНиП 2.04.07-86)	Проектирование тепловых пунктов	Госстрой России. 1995 г.
7. СНиП II-35-76** (вместо СНиП II-Г.9-65, СН 350-66) с изм. № 1	Котельные установки	Госстрой СССР, Госстрой России. 1977, 1988, 1997 гг.
8. СНиП 41-01-2003 (вместо СНиП 2.04.05-91***)	Отопление, вентиляция и кондиционирование	Госстрой России. 2003 г.
9. РД 24.031.120-91 (вместо ОСТа 108.030.47-81, РТМ 108.131.101-76 и РТМ 108.030.111-76)	Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля. Методические указания	Минтяжмаш СССР. 1991 г.
10. ПБ 10-575-03 (вместо ПБ-10-05-92)	Правила устройства и безопасной эксплуатации электрических котлов и электрокотельных	Госгортехнадзор России. 2003 г.
11. ГОСТ 10731-85* (вместо ГОСТа 10731-71) 1985, 1989, 1991 гг.	Испарители поверхностного типа для паротурбинных электростанций. Общие технические условия	Госстандарт СССР.
12. ГОСТ 25661-83* 1983, 1988 гг.	Установки для финишной очистки воды. Общие технические требования	Госстандарт СССР.
13. ГОСТ 20995-75****	Котлы паровые стационарные давлением до 3,9 МПа. Показатели качества питательной воды и пара	Госстандарт СССР. 1975, 1981, 1984, 1986, 1988 гг.
14. РТМ 108.030.114-77 1977 г.	Котлы паровые стационарные низкого и среднего давления. Организация водно-химического режима	Минэнергомаш.
15. РТМ 24.030.24-72	Котлы паровые низкого и среднего давления. Организация и методы химического контроля за водно-химическим режимом	Минтяжэнергомаш СССР. 1972 г.



**Таблица 2.4**

Продолжение

1	2	3
16. РД 24.032.01-91 (вместо ОСТов 108.034.02-79 и 108.034.03-81)	Котлы паровые стационарные – утилизаторы и энерготехнологические. Нормы качества питательной воды и пара, организация водно-химического режима и химического контроля. Методические указания	Минтяжмаш. 1991 г.
17. РД 24.031.121-91 (вместо ОСТа 108.030.04-80)	Оснащение паровых стационарных котлов устройствами для отбора проб пара и воды. Методические указания	Минтяжмаш. 1991 г.
18. РД 34.37.504-83 (вместо НР 34-70-051-83)	Нормы качества подпиточной и сетевой воды тепловых сетей	Минэнерго СССР. 1983, 1989 г. РАО «ЕЭС России». 1993 г.
19. ПБ 10-574-03 (вместо ПБИ 10-370-00)	Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов	Госгортехнадзор России. 2003 г.
20. № 205 от 28.08.1992 г.	Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 кгс/см <sup>2</sup> ), водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 338 К (115°С). С изм. № 1, 2, 3. (Под давлением пара понимается так называемое избыточное давление)	Минстрой России. 1992, 2001 гг.
21. РД 34.37.506-88 (вместо Руководящих указаний... 1973 г.)	Методические указания по водоподготовке и водно-химическому режиму водогрейного оборудования и тепловых сетей	Минэнерго СССР. 1988, 1996 гг.
22. ВСН 52-86	Установки солнечного горячего водоснабжения	Госгражданстрой СССР. 1986 г.
23. ВСН 56-87	Геотермальное теплохладоснабжение жилых и общественных зданий и сооружений. Нормы проектирования	Госгражданстрой СССР. 1987 г.
24. № 229 от 19 июня 2003 г.	Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. (Здесь – в части качества воды для тепловых сетей и испарителей)	Минэнерго РФ. 2003 г.
25. № 251 (вместо Правил..., 1971 г.)	Правила технической эксплуатации коммунальных отопительных котельных	Минстрой России. 1992 г.
26. –	Правила технической эксплуатации коммунальных тепловых сетей и тепловых пунктов	Минстрой России. 1992 г.
27. РД 34.40.503-94 (вместо ТИ 34-70-003-82)	Типовая инструкция по эксплуатации установок подогрева сетевой воды на ТЭС и КЭС	Минтопэнерго РФ. 1994 г.
28. № 115 от 24.03.2003	Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок	Минэнерго РФ. 2003 г.
29. РД 34.20.507-86*** (ТИ 34-70-045-85)	Типовая инструкция по эксплуатации тепловых сетей	Минэнерго СССР. 1986, 1987, 1991 гг.
30. МДК 4.02.2001	Типовая инструкция по технической эксплуатации тепловых сетей систем коммунального теплоснабжения (РАО «Роскоммунэнерго»)	Госстрой России. 2000 г.
31. МДК 4.04.2002	Типовая инструкция по технической эксплуатации баков-аккумуляторов горячей воды в системах коммунального теплоснабжения	Госстрой России. 2002 г.
32. ВНТП-81*. ВСН-29-81/08-10.81*	Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций и тепловых сетей	Минэнерго СССР. 1981 г. Минтопэнерго РФ. 1996 г.

**Таблица 2.4**  
Продолжение

1	2	3
33.	Правила техники безопасности при эксплуатации теплотребляющих установок и тепловых сетей потребителей	Минтопэнерго РФ. 1992 г.
34. РД 34.22.103-85 (МУ 34-70-095-85)	Методические указания по водно-химическому режиму бессточных систем охлаждения	Минэнерго СССР. 1985 г.
35. РД 34.22.506-86 (МУ 34-70-115-85)	Методические указания по эксплуатации бессточных систем охлаждения	Минэнерго СССР. 1986 г.
36. РД 34.37.307-87	Методические указания по прогнозированию химического состава и накипеобразующих свойств охлаждающей воды электростанций	Минэнерго СССР. 1989 г.
37. РД 34.26.101-87*	Методические указания по расчету предельно допустимой температуры нагреваемой воды, обеспечивающей отсутствие поверхностного кипения в водогрейных котлах	Минэнерго СССР. 1987 г. РАО «ЕЭС России». 1994 г.
38. РД 10-165-97	Методические указания по надзору за водно-химическим режимом паровых и водогрейных котлов	Госгортехнадзор России. 1997 г. С 01.08.1998 г.
39. РД 10-179-98	Методические указания по разработке инструкций и режимных карт по эксплуатации установок докотловой обработки воды и по ведению водно-химического режима паровых и водогрейных котлов	Госгортехнадзор России. 1998 г. С 01.08.1998 г.
40. СО 34.37.553-2001	Методические указания по определению марки и оптимальной концентрации антинакипина для обработки подпиточной и сетевой воды систем теплоснабжения	М.: Изд. ВТИ, 2001
41. РД 153-34.1-37-410-00	Методические указания по безреагентным способам очистки теплообменного оборудования от отложений	

*Примечание к п. 6 табл. 2.4*

РД 34.37.504-83 в настоящее время официально не считаются действующими, и собственно нормы качества воды тепловых сетей представлены в Правилах (п. 24 табл.). Однако Нормы по п. 18 полезны: есть примеры расчетов и другие сведения.

## 2.4. Сопоставление норм качества питательной воды стационарных паровых котлов давлением до 3,9 МПа по нормативным документам Госгортехнадзора России, ГОСТ 20995-75\*\*\*\* и рекомендациям изготовителей котлов

Таблица 2.5

Сопоставление норм качества питательной воды стационарных паровых котлов давлением до 3,9 МПа (если в таблице нет специальных указаний, то табличные числовые значения – наибольший предел нормы)

Типы котлов. Нормативные документы	Показатели							
	Прозрач- ность по шрифту, см	Жесткость общая, мкмоль/л	Железо (Fe), мкг/л	Медь (Cu), мкг/л	Кислород растворен- ный, мкг/л	Значение рН (при 25°С)	Нефтеп- родукты, мг/л	Окисляе- мость, мг КМnO <sub>4</sub> /л
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Котлы газотрубные с докотловой обработкой воды, работающие на: жидком топливе других видах топлива ГОСТ 20995-75****	1 ≥40 ≥ 20 2	3 30 100	–	–	3 50 100	–	–	–
2. Котлы водотрубные (с естественной циркуляцией), давление (абсолютное) пара до 1,4 МПа. ГОСТ 20995-75****	≥ 40 <sup>4</sup>	15/20	300/не норм. <sup>5</sup>	Не норм.	30/50 <sup>4</sup>	8,5–9,5 <sup>6</sup>	3,0	–
3. То же, давление пара – 2,35 МПа. ГОСТ 20995-75****	≥ 40	10/15 <sup>4</sup>	100/ 200	Не норм.	20/50 <sup>4</sup>	8,5–9,5 <sup>6</sup>	3,0	–
4. То же, давление пара – 3,9 МПа. ГОСТ 20995-75****	≥ 40	5/10	50/100	10/не норм.	20/30 <sup>4</sup>	8,5–9,5 <sup>6</sup>	0,5	–
5. Котлы газотрубные с естественной и многократной принудительной циркуляцией паропроизводительностью ≥ 0,7 т/ч, работающие на жидком топливе других видах топлива. «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов. ПБ 10-574-03» Госгортехнадзора России	4 ≥ 40 ≥ 20	30 100	– –	– –	50 100 <sup>7</sup>	– –	– –	– –
6. Котлы водотрубные с естественной циркуляцией (в том числе котлы-бойлеры), давление пара – 0,9 МПа. Правила ПБ 10-574-03 Госгортехнадзора России	≥30	30/40 <sup>8</sup>	Не норм.	Не норм.	50/100 <sup>9,10</sup>	8,5–10,5 <sup>11</sup>	5,0	–
7. То же, давление пара – 1,4 МПа. Правила ПБ 10-574-03 Госгортехнадзора России	≥40	15/20 <sup>8</sup>	300/не норм. <sup>8</sup>	Не норм.	30/50 <sup>8,10</sup>	8,5–10,5 <sup>11</sup>	3,0	–
8. То же, давление пара – 2,35 МПа. Правила ПБ 10-574-03 Госгортехнадзора России	≥40	10/15 <sup>8</sup>	100/ 200 <sup>8</sup>	Не норм.	20/50 <sup>8,10</sup>	8,5–10,5 <sup>11</sup>	3,0	–
9. То же, давление пара 3,9 МПа. Правила ПБ 10-574-03 Госгортехнадзора России	≥40	5/10 <sup>8</sup>	50/100 <sup>8</sup>	10/не норм. <sup>8</sup>	20/30 <sup>8,10</sup>	8,5–10,5 <sup>11</sup>	0,5	–
10. Котлы с естественной и принудительной циркуляцией давлением абсолютным пара не более 0,17 МПа	19 ≥30	20	300	Не норм.	50	8,5–10,5 <sup>11</sup>	–	–

**Таблица 2.5**  
Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11. Котлы жаротрубные, подпитка <sup>14,17,20</sup> умягченной водой в количестве не менее 95% питательной воды, давление $\geq 0,1$ МПа. Рекомендации TDR 611 и VdTÜV-TCh 1453 (США)	Прозрачная, бесцветная, не содержащая взвешенных примесей	15	Не норм.	Не норм.	100	>9,0	3,0	10,0
12. То же, давление > 0,1 и $\geq 2,2$ МПа	То же	10	30	5	20	>9,0	1,0	10
13. То же, давление > 2,2 и $\geq 6,6$ МПа	То же	10	30	5	20	>9,0	1,0	10
14. Котлы водотрубные, подпитка умягченной водой в количестве не менее 95% питательной воды, давление $\geq 3,5$ МПа. Рекомендации TDR 611 и VdT $\geq V$ -TCh 1453 (США)	То же	10	Не норм.	Не норм.	10	8,5–9,5	1,0	20
15. Котлы жаротрубные, водотрубные, <sup>20</sup> подпитка конденсатом или деминерализованной водой (удельная электропроводимость от 0,2 до 20 мкСм/см), давление пара $\geq 4,3$ МПа	Прозрачная, бесцветная, не содержащая взвешенных примесей	10,0	3,0	5,0	20,0	>9	1,0	5,0
16. То же, подпитка конденсатом <sup>14,20</sup> или деминерализованной водой (удельная электропроводимость не более 0,2 мкСм/см), давление пара $\geq 6,6$ МПа	То же	5,0	3,0	5,0	10,0	>9	1,0	3,0
17. Котлы водотрубные с <sup>15</sup> пароперегревателем, подпитка умягченной водой в количестве до 100% питательной воды, давление 0,0–2,07 МПа. Рекомендации DREW Industrial Division (Англия)	–	<sup>13</sup> 0,3 мг CaCO <sub>3</sub> /л	100	50	40	7,5–10,0	1,0	00У–1 мгС/л
18. То же, давление > 2,08 и $\geq 3,10$ МПа 0,3 мг CaCO <sub>3</sub> /л	–	<sup>13</sup> 0,3 мг CaCO <sub>3</sub> /л	50	25	40	7,5–10,0	1,0	00У–1 мгС/л
19. То же, давление > 3,10 и $\geq 4,15$ МПа 0,2 мг CaCO <sub>3</sub> /л	–	<sup>13</sup> 0,3 мг CaCO <sub>3</sub> /л	30	20	7	7,5–10,0	0,5	00У–0,09–0,5 мгС/л
20. Котлы водотрубные без пароперегревателя, подпитка умягченной водой в количестве до 100% питательной воды, давление – 0,0–2,07 МПа. Рекомендации DREW Industrial Division (Англия)	–	<sup>13,16</sup> 0,5 и 1,0 мг CaCO <sub>3</sub> /л	100	50	40 (7) <sup>12</sup>	7,0–10,5	–	00У–1 и 10 мгС/л
21. То же, давление > 2,08 и $\geq 3,10$ МПа	–	<sup>13</sup> 0,3 мг CaCO <sub>3</sub> /л	50	25	40 (7) <sup>12</sup>	7,0–10,5	1,0	00У–1 мгС/л
22. Котлы водотрубные, <sup>21</sup> давление до 2,1 МПа	–	6,0	100,0	100,0	–	–	–	–
23. То же, давление 2,1–3,15 МПа <sup>21</sup>	–	6,0	50,0	50,0	–	–	–	–
24. То же, давление 3,16–4,20 МПа <sup>21</sup>	–	4,0	30,0	30,0	–	–	–	–

## Примечания к табл. 2.5

1. Для газотрубных и водотрубных котлов абсолютным давлением до 1,4 МПа, оборудованных прямыми трубами и работающих на твердом топливе, и для котлов с надстроеным бойлером допускается замена докотловой обработки питательной воды другими эффективными способами при условии выполнения требований «Правил устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов» Госгортехнадзора России.

2. ГОСТ 20995-75\*\*\*\* не распространяется на паровые котлы абсолютным давлением 0,9 МПа с паропроизводительностью до 0,7 т/ч, работающие на твердом топливе, а также на электрические котлы.

3. Для этих показателей, определяемых несколько раз в сутки (в отсутствие автоматизированного определения), приведены среднесуточные значения.

4. В числителе указаны значения для котлов, работающих на жидком топливе при местном тепловом потоке более 350 кВт/м<sup>2</sup>, а в знаменателе – для котлов, использующих другие виды топлива при местном тепловом потоке до 350 кВт/м<sup>2</sup>.

5. При содержании в питательной воде соединений железа более 300 мкг/л для котлов давлением до 1,4 МПа с местным тепловым потоком до 350 кВт/м<sup>2</sup> следует принимать меры к уменьшению интенсивности отложений соединений железа.

6. При наличии в системе водоподготовки промышленных и отопительных котельных фазы предварительного известкования и содоизвесткования, а также при значениях карбонатной жесткости исходной воды более 3,5 ммоль/л и при наличии натрий-катионирования или аммоний-натрий-катионирования допускается повышение верхнего предела значения рН до 10,5. При наличии вакуумных деаэраторов в системе предкотловой подготовки питательной воды допускается снижение нижнего предела значения рН до 7,0.

7. Для котлов, не имеющих экономайзеров и с чугунными экономайзерами, содержание растворенного кислорода допускается до 100 мкг/л.

8. В числителе указаны значения для котлов, работающих на жидком топливе, в знаменателе – на других видах топлива.

9. Для котлов, не имеющих экономайзеров и с чугунными экономайзерами, при сжигании любого вида топлива содержание растворенного кислорода допускается до 100 мкг/л.

10. Показатель содержания растворенного кислорода нормируется здесь для котлов производительностью 2 т/ч и более (для всех давлений).

11. В отдельных случаях, обоснованных специализированной научно-исследовательской организацией, может быть допущено снижение значения рН до 7,0 (для всех давлений). При этом содержание диоксида углерода (СО<sub>2</sub>) не должно быть больше 15 мг/л.

12. В скобках – значение растворенного кислорода после добавления реагента, связывающего кислород. В системе предкотловой подготовки предполагается наличие термического деаэратора.

13. 1 мг/л СаСО<sub>3</sub> соответствует 0,02 ммоль/л (мг-экв/л). О единицах измерения жесткости воды – см. П.1.32.

14. В нормах указаны допускаемые значения щелочности по фенолфталеину для котлов всех давлений >0,1 ммоль/л. При большом значении щелочности по метилоранжу (большое количество связанной двуокиси углерода, норма которого по данному документу <25 мг/л) означает высокое значение рН в котловой воде. В свою очередь, разложение бикарбонатов в котле вызывает углекислотную коррозию в конденсатной системе.

15. При местной плотности теплового потока <473,2 кВт/м<sup>2</sup> качество питательной воды должно соответствовать требованиям для следующего по значению давления.

16. Разные значения общей жесткости и общего содержания нелетучего органического углерода (в данных рекомендациях понимается тот органический углерод, который добавляется в составе реагентов при обработке исходной воды) зависят от конструкции котла.

17. В этих Рекомендациях не нормируется прозрачность воды в числах, но предусматривается, что питательная вода должна быть «бесцветная, прозрачная, не содержащая взвешенных частиц».

18. Для этих котлов ГОСТ 20995-75\*\*\*\* ограничивает содержание нитритов (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) в питательной воде пределом 20 мкг/л.

19. По «Правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>), водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 338 К (115°С)».

20. По «Рекомендациям, разработанным SIA «Karme Filtrs» совместно с Nalco Chemical Company (США). Значение щелочности по фенолфталеину для котлов всех давлений должно быть больше 0,1 ммоль/л. Значение связанного  $\text{CO}_2$  (щелочность по метилоранжу) нормируется, не более: для котлов по п. 11 – 13; п. 14 – 50; п. 15 – 10; п. 16 – 1 мг/л. Значение содержания кремниевой кислоты (по  $\text{SiO}_2$ ), не более: для котлов по п. 15 – 2,0; п. 16 – 0,02 мг/л.

21. По руководящим указаниям Американской ассоциации производителей котлов (ABWA) и Исследовательского Комитета ASME по использованию воды в тепловых энергосистемах (США). Цит. по: Бюллетень 30. Nalco Chemical Company (США), ЗАО «НАЛКО».

## 2.5. Сопоставление норм качества воды для подпитки тепловых сетей по нормативным документам Госгортехнадзора России, РД 24.031.120-91 (п. 9) и Правилам по п. 13

Таблица 2.6

Сопоставление норм качества воды для подпитки тепловых сетей (если в таблице отсутствуют специальные указания, то табличные числовые значения – наибольший предел нормы)

Типы систем, теплогенераторов, теплоиспользующих аппаратов. Нормативные документы	Показатели качества подпиточной и сетевой воды <sup>6</sup>					
	Прозрачность по шрифту, см, или количество взвешен. веществ, мг/л	Жесткость карбонатная при $\text{pH} \leq 8,5$ , мкмоль/л <sup>3</sup>	Значение $\text{pH}$ при $25^\circ\text{C}$	Содержание растворенного кислорода, мкг/л	Содержание соединений железа (Fe), мкг/л	Содержание нефтепродуктов, мг/л
1	2	3	4	5	6	7
1. Водогрейные котлы, система теплоснабжения – открытая, температура нагрева сетевой воды в водогрейных котлах $115^\circ\text{C}$ . «Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов» Госгортехнадзора России <sup>1</sup>	Не <40 см	800/700 <sup>2</sup>	7,0–8,5	50	300	1,0
2. То же, температура нагрева сетевой воды $150^\circ\text{C}$ . Правила Госгортехнадзора России	Не <40 см	750/600 <sup>2</sup>	7,0–8,5	30	300/250 <sup>2</sup>	1,0
3. То же, температура нагрева сетевой воды $200^\circ\text{C}$ .	Не <40 см	375/300 <sup>2</sup>	7,0–8,5	20	250/300 <sup>2</sup>	1,0
4. Водогрейные котлы, система теплоснабжения – закрытая, температура нагрева сетевой воды в водогрейных котлах $115^\circ\text{C}$ . Правила Госгортехнадзора России	Не <30 см	800/700 <sup>2</sup>	7,0–11,0 <sup>4</sup>	50	600/500 <sup>2</sup>	1,0
5. То же, температура нагрева сетевой воды $150^\circ\text{C}$ . Правила Госгортехнадзора России	Не <30 см	750/600 <sup>2</sup>	7,0–11,0 <sup>4</sup>	30	500/400 <sup>2</sup>	1,0
6. То же, температура нагрева сетевой воды $200^\circ\text{C}$ . Правила Госгортехнадзора России	Не <30 см	375/300 <sup>2</sup>	7,0–11,0 <sup>4</sup>	20	375/300	1,0
7. Водогрейные котлы, система теплоснабжения открытая, температура нагрева сетевой воды в водогрейных котлах $115^\circ\text{C}$ . «Нормы качества сетевой и подпиточной воды водогрейных котлов, организация водно-химического режима и химического контроля. РД 24.031.120-91» Минтяжпрома СССР <sup>5, 6, 8, 9, 10, 16, 17</sup>	Не <40 см	800/700 <sup>2</sup>	7,0–8,5	50 <sup>6</sup>	300	1,0



**Таблица 2.6**

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7
8. То же, температура нагрева сетевой воды 150°C. Нормы РД 24.031.120-91	Не <40 см	750/600 <sup>2</sup>	7,0–8,5	30 <sup>7</sup>	300/250 <sup>2</sup>	1,0
9. То же, температура нагрева сетевой воды 200°C. Нормы РД 24.031.120-91	Не <40 см	375/300 <sup>2</sup>	7,0–8,5	20 <sup>7</sup>	250/200 <sup>2</sup>	1,0
10. Водогрейные котлы, система теплоснабжения закрытая, температура нагрева сетевой воды в водогрейных котлах 115°C. Нормы РД 24.031.120-91	Не <30 см	800/700 <sup>2</sup>	7,0–11,0 <sup>4</sup>	50 <sup>7</sup>	600/500 <sup>2</sup>	1,0
11. То же, температура нагрева сетевой воды 150°C	Не <30 см	750/600 <sup>2</sup>	7,0–11,0 <sup>4</sup>	30 <sup>7</sup>	500/400 <sup>2</sup>	1,0
12. То же, температура нагрева сетевой воды 200°C	Не <30 см	375/300 <sup>2</sup>	7,0–11,0 <sup>4</sup>	20 <sup>7</sup>	375/300 <sup>2</sup>	1,0
13. Водогрейные котлы, установленные на ТЭЦ и в отопительных котельных, и сетевые подогреватели: подпиточная вода	5 мг/л	–	8,3–9,0 <sup>11</sup> 8,3–9,5 <sup>11</sup>	50	0,3 <sup>11</sup>	0,1 <sup>11</sup>
сетевая вода «Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации». Изд. 2003 г. Минэнерго РФ. <sup>12,13,14,15</sup>	5 мг/л	–	8,3–9,0 <sup>11</sup> 8,3–9,5 <sup>11</sup>	20	0,5 мг/л	1,0

*Примечания к табл. 2.6*

1. Нормы не распространяются на водогрейные котлы тепловых электростанций, тепловых станций и отопительных котельных.

2. В числителе указаны значения для котлов на твердом топливе, в знаменателе – на других видах топлива.

3. Жесткость карбонатная воды при pH>8,5 для водогрейных котлов в открытой системе теплоснабжения не допускается, то же в закрытой системе теплоснабжения определяется по графикам РД 24.031.120-91.

4. Для тепловых сетей, где водогрейные котлы работают параллельно с подогревателями (бойлерами), имеющими латунные трубки, наибольшее значение pH сетевой воды – 9,5.

5. Нормы относятся к котлам, в которых отсутствует эффект пристенного кипения воды и, как следствие, местное существенное повышение температуры стенки трубы. Необходимо предпринимать меры по предотвращению такого эффекта. Нормы не распространяются на пароводогрейные и чугунные котлы. При эксплуатации многих водогрейных котлов не удается исключить разверку температуры нагрева воды по рядам экранных труб в топке котла. Нередки упомянутые явления пристенного кипения воды в трубах. При наличии разверки и пристенного кипения рекомендуется норма качества подпиточной воды принимать для температуры на 40°C выше температуры воды на выходе из котла.

6. Нормы для подпиточной (в напорном трубопроводе подпиточного насоса) и сетевой воды (кроме Правил по п.13) должны быть одинаковыми. Необходимо исключить возможность загрязнения обратной сетевой воды растворенным кислородом и солями жесткости.

7. Содержание растворенного кислорода указано для сетевой воды; для подпиточной воды оно не должно быть больше 50 мкг/л.

Таблица 2.7

Нормативные значения  $I_k$  воды для подпитки тепловых сетей

Тип оборудования	Температура нагрева сетевой воды, °С	$I_k$ (ммоль/л) <sup>2</sup> , при pH			
		≤ 8,5	8,51–8,8	8,81–9,2	> 9,2
Водогрейные котлы, установленные на электростанциях и в отопительных котельных	70–100	3,2	2,3	1,8	1,5
	101–120	2,0	1,5	1,2	1,0
	121–140	1,5	1,2	1,0	0,7
	141–150	1,2	1,0	0,8	0,5
	151–200	0,8	0,7	1,5	0,3
Сетевые подогреватели	70–100	4,0	2,6	2,0	1,6
	101–120	3,0	2,1	1,6	1,4
	121–140	2,5	1,9	1,4	1,2
	141–150	2,0	1,5	1,2	0,9
	151–200	1,0	0,8	0,6	0,4

розионных явлений в оборудовании и трубопроводах систем теплоснабжения. Для закрытых систем теплоснабжения с разрешения АО-энерго верхний предел значения pH допускается не более 10,5 при одновременном уменьшении значения карбонатного индекса до 0,1 (ммоль/л)<sup>2</sup>, нижний предел может корректироваться в зависимости от коррозионных явлений в оборудовании и трубопроводах систем теплоснабжения. По согласованию с санитарными органами содержание железа в подпиточной (сетевой) воде может быть допущено до 0,5 мг/л.

12. Правила по п. 13 в качестве критерия предотвращения накипеобразования нормируют карбонатный индекс  $I_k$  – предельное значение произведения общей щелочности и кальциевой жесткости воды в (ммоль/л)<sup>2</sup>, больше которого протекает карбонатное накипеобразование с интенсивностью более 0,1 г/(м<sup>2</sup>·ч) – табл. 2.7. См. также примечание 5.

Для теплообменников (бойлеров) в аналогичных условиях (разверка температуры воды по трубам) нормы качества воды рекомендуется принимать для температуры на 20°С выше температуры воды на выходе из теплообменника.

13. Качество подпиточной воды открытых систем теплоснабжения (с непосредственным водоразбором) должно удовлетворять также требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01. Для закрытых систем теплоснабжения качество подпиточной воды должно быть таким, чтобы обеспечить значения  $I_k$  не хуже указанных значений для сетевой воды.

14. При силикатной обработке воды для подпитки тепловых сетей с непосредственным разбором горячей воды содержание силиката в подпиточной воде должно быть не более 50 мг/л в пересчете на SiO<sub>2</sub>. При силикатной обработке подпиточной воды предельная концентрация кальция должна определяться с учетом суммарной концентрации не только сульфатов (для предотвращения выпадения CaSO<sub>4</sub>), но и кремниевой кислоты (для предотвращения выпадения CaSiO<sub>3</sub>) при заданной температуре нагрева сетевой воды с учетом ее превышения на 40°С в пристенном слое труб котла.

15. Непосредственная присадка в подпиточную и сетевую воду гидразина и других токсичных веществ запрещается.

16. РД 24.031.120-91 распространяется на стационарные прямоточные водогрейные котлы производительностью от 2,33 до 209 МВт с температурой сетевой воды на выходе из котла не более 200°С, изготавливаемые по ГОСТ 21563-82.

17. По РД 24.031.120-91 свободный диоксид углерода должен отсутствовать или находиться в пределах, обеспечивающих поддержание pH не менее 7,0.

8. Нормами РД 34.031.120-91 предусмотрено также обязательное определение допускаемых значений условной сульфатно-кальциевой жесткости – по номограмме в тексте Норм.

9. Непосредственная обработка подпиточной и сетевой воды гидразином и токсичными аминами недопустима и для открытых, и для закрытых систем теплоснабжения. Допускается использование в термических деаэраторах по ГОСТ 16860-88 пара от котлов высокого давления, питательная вода которых обрабатывается гидразином, чья концентрация в паре, используемом для открытых систем теплоснабжения, не должна превышать 0,01 мг/кг.

10. При осуществлении силикатной обработки подпиточной или сетевой воды содержание SiO<sub>2</sub> в них не должно быть больше 30 мг/кг.

11. Нормы 8,3–9,0 (pH), 0,3 мг/л (Fe) и 0,1 (нефтепродукты) относятся к открытым системам теплоснабжения; 8,3–9,5 (pH), 0,5 мг/л (Fe) и 1,0 (нефтепродукты) – к закрытым. Верхний предел pH допускается только при глубоком умягчении, нижний – с разрешения АО-энерго может корректироваться в зависимости от интенсивности кор-

## 2.6. О качестве воды централизованного горячего водоснабжения по нормативам Минздрава РФ

К качеству воды систем централизованного горячего водоснабжения «Санитарными правилами устройства и эксплуатации централизованного горячего водоснабжения. СанПиН 4723-88» Минздрава РФ предъявляются дополнительные требования.

Горячая вода, поступающая к потребителю, должна соответствовать требованиям ГОСТ 2874-82 (сегодня – СанПиН 2.1.4.1074-01).

Температура горячей воды в местах водоразбора, независимо от применяемой системы теплоснабжения, должна быть не ниже 60 и не выше 75°C. Для систем горячего водоснабжения из оцинкованных труб при закрытой системе теплоснабжения допускается иметь температуру воды не ниже 50 и не выше 60°C. В этих условиях после проведения ремонтных работ или устранения аварийных ситуаций в системах необходимо поддерживать температуру на уровне 75°C в течение 48 ч.

При использовании подземных вод содержание двухвалентного железа у потребителя горячей воды допускается не более 0,5 мг/л.

При применении силикатной обработки воды суммарная концентрация силиката натрия (с учетом природного и введенного количества) в обра-

ботанной воде не должна быть больше 40 мг/л (по SiO<sub>2</sub>).

При обработке воды комплексообразователем – цинковой солью оксиэтилидендифосфоновой кислоты – остаточное количество реагента не должно быть больше 5,0 мг/л (по Zn ОЭДФ).

Сети открытых систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, диаметром до 200 мм и протяженностью до 1 км, а также системы отопления и вентиляции (оборудованные конвекторами, калориферами, греющими панелями) – по согласованию с органами государственного санитарного надзора, разрешается не подвергать хлорированию, а дезинфицировать путем промывки горячей водой, имеющей температуру не ниже 85–90°C.

В системах горячего водоснабжения, присоединенным к открытым системам теплоснабжения, по согласованию с местными органами санитарно-эпидемиологической службы допускается отступление от требований ГОСТ 2874-82 (СанПиН 2.1.4.1074-01) по показателям цветности не более 70 градусов и содержанию железа до 1 мг/л на срок до 14 дней в период сезонных отключений эксплуатируемых систем теплоснабжения, присоединения новых, а также после их ремонта.

Требования СанПиН 4723-88 не распространяются на местные (автономные, в том числе квартирные) системы горячего водоснабжения с огневым, электрическим или гелиотермическим подогревом воды.

## 2.7. Нормы качества воды тепловых сетей некоторых европейских стран

Таблица 2.8

Нормы качества воды тепловых сетей некоторых европейских стран (не более)\*

Тип системы, теплогенераторов, теплоиспользующих аппаратов. Субъект разработки норм	Показатели <sup>2</sup>											
	Жесткость общая, ммоль/л	Удельная электропроводимость, мкСм/см	pH	Содержание								
				кислорода, мкг/л	аммиака (NH <sub>3</sub> ), мг/л	железа (Fe <sub>общ</sub> ), мг/л	меди (Cu), мкг/л	нефтепродуктов, мг/л	фосфатов (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ), мг/л	гидразина, (N <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ), мг/л	масел, мг/л	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Водогрейные котлы <sup>1</sup>	0,036	– <sup>4</sup>	9,5–10,0	20 <sup>3</sup>	10	0,1	20	1	–	–	–	
Промежуточные теплообменники Ассоциации теплоснабжения североевропейских стран (Финляндия, Швеция, Норвегия, Дания, Исландия)	0,360	–	9,5–10,0	20	10	0,1	20	1	–	–	–	

**Таблица 2.8**  
Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сетевая вода с низкой минерализацией <sup>10</sup>	0,040	10–30	9,0–10,0 <sup>5</sup>	100	–	–	–	–	5 <sup>7</sup>	0,3–3,0 <sup>8</sup>	–
	0,040	30–100	9,0–10,5	50	–	–	–	–	10	0,3–3,0	10
Сетевая вода с высокой минерализацией Комитет по централизованному теплоснабжению ФРГ	0,040	100–1500	9,0–10,5	20 <sup>6</sup>	–	–	–	–	15	0,3–3,0	–
Подпиточная вода умягченная	0,036	Как в исх. воде	– <sup>9</sup>	20	–	–	–	–	–	–	–
Подпиточная вода деминерализованная	0,00	10	– <sup>9</sup>	20	–	–	–	–	–	–	–
Сетевая вода умягченная	0,180	Как в исх. воде	9,5–10,0	0,0	–	–	–	0,0	–	–	–
Сетевая вода деминерализованная Европейская Ассоциация производителей труб для систем централизованного теплоснабжения	0,00	25	9,5–10,0	0,0	–	–	–	0,0	–	–	–

\* Цит. по: «Теплоэнергетика», 2001, № 8, с. 72–77 и «Энергосбережение и водоподготовка», 1997, № 3, с. 78–82.

#### Примечания к табл. 2.8

1. Почти все системы теплоснабжения – закрытые. И большая часть систем – трехконтурная: в первом – вода, нагретая в источнике теплоснабжения (водогрейный котел на ТЭЦ), во втором – вода в промежуточном теплообменнике (иногда в этот контур включены самостоятельные котельные с водогрейными котлами), в третьем – вода системы отопления и вода системы горячего водоснабжения, подаваемая потребителям. Для систем с тепловой нагрузкой до 10 МВт нормируются только значения pH и общей жесткости, другие показатели рекомендуется поддерживать на минимально возможном уровне.

2. Содержание взвешенных веществ в подпиточной и сетевой воде не нормируется, но рекомендуется поддерживать его на минимально возможном уровне.

3. ПДК кислорода в Исландии – 10 мкг/л.

4. Удельная электропроводимость воды не нормируется, но для работы индукционных расходомеров должна быть не менее 25 мкСм/см.

5. Для двухконтурных систем теплоснабжения требования, предъявляемые к качеству питьевой воды (вода системы горячего водоснабжения): значение  $\text{pH} \leq 9,5$ ; содержание фосфатов ( $\text{PO}_4^{-3}$ )  $\leq 7$  мг/л.

6. При применении ингибиторов коррозии содержание кислорода в воде допускается до 100 мкг/л.

7. При использовании теплообменников с поверхностями нагрева, обогреваемыми газом (например, жаротрубные котлы), ПДК фосфатов должен быть уменьшен в два раза.

8. Применение гидразина допускается только в первом контуре трехконтурной системы.

9. Для деминерализованной подпиточной воды нормируется содержание свободного диоксида углерода – не более 10 мг/л.

10. Первая строка показателей – для воды с минерализацией 10 – 30 мг/л, вторая – для воды с минерализацией 30 – 100 мг/л.

В 1999 году Датская Ассоциация централизованного теплоснабжения (Danske Fjernvarmevgrkes Forening) представила новые рекомендации по качеству подпиточной и сетевой воды систем теплоснабжения Дании (табл. 2.9, 2.10).

Температурный диапазон нагрева воды в системах 35 – 180°C.

В системах теплоснабжения недопустимо использование алюминия, так как он подвергается коррозии при значении рН более 8,7.

**Таблица 2.9**

Рекомендации для подпиточной воды

Подпиточная вода	Умягченная вода	Обессоленная вода
Внешний вид	Чистая, бесцветная	Чистая, бесцветная
Запах	Нет	Нет
Значение рН*	9,8 ± 0,2	9,8 ± 0,2
Удельная электропроводимость, мкСм/см	Как в исходной воде	10,0
Частицы, мг/л	< 5,0	< 1,0
Жесткость общая остаточная, мкмоль/л	35,7	3,57
Содержание кислорода, мг/л	< 0,1	< 0,1
Содержание углекислоты (CO <sub>2</sub> )	< 10,0	< 10,0
Содержание масел и жиров	Не допускается	Не допускается
Содержание сульфатов (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг/л	-	< 0,1
Содержание хлоридов (Cl <sup>-</sup> ), мг/л	< 300,0	< 0,1
Содержание железа (Fe), мг/л	< 0,05	< 0,005
Содержание меди (Cu), мг/л	< 0,05	< 0,01
Бактериологический лимит	Норм нет	Норм нет

\* Не рекомендуется устанавливать значение рН аммиаком, так как коррозия меди и медных сплавов может значительно возрасть при значениях рН больше 9,0.

**Таблица 2.10**

Рекомендации для сетевой воды

Сетевая вода	Умягченная вода	Обессоленная вода
Внешний вид	Чистая	Чистая
Запах	Нет	Нет
Частицы, мг/л	< 10,0	< 1,0
Значение рН	9,8 ± 0,2	9,8 ± 0,2
Удельная электропроводимость, мкСм/см	< 1500,0	< 25,0
Жесткость общая, мкмоль/л	< 178,5	< 35,7
Содержание кислорода, мг/л	< 0,02	< 0,02
Содержание масел и жиров, мг/л	< 1,0	< 1,0
Содержание сульфатов (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг/л	-	< 1,0
Содержание хлоридов (Cl <sup>-</sup> )*, мг/л	< 300,0	< 3,0
Содержание железа (Fe), мг/л	< 0,1	< 0,05
Содержание меди (Cu), мг/л	< 0,02	< 0,01
Содержание аммиака (NH <sub>3</sub> ), мг/л	< 10,0	< 5,0
Бактериологический лимит**	Норм нет	Норм нет

\* В настоящее время в системах централизованного теплоснабжения часто используется нержавеющая сталь, но необходимо подчеркнуть, что содержание хлоридов более 7 мг/л при повышенной температуре (94 или 108 °С) будет соответственно вызывать коррозию такой стали.

\*\* Если вода имеет запах сточных вод, можно предположить, что в фильтрах находится шлам. Если замечен необычный рост потребления реагентов, то не исключено бактериологическое заражение системы.

Табл. 2.9, 2.10 цит. по: «Энергосбережение и водоподготовка», 2004, № 3, с. 37–40.

## 2.8. Требования к качеству питательной воды паровых электрических котлов с абсолютным давлением до 0,17 МПа по правилам Госгортехнадзора России

Таблица 2.11

Требования к качеству питательной воды паровых электрических котлов с абсолютным давлением до 0,17 МПа (до 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>) изб.) и более – по «Правилам устройства и безопасной эксплуатации электрических котлов и электродогревательных. ПБ-575-03» Госгортехнадзора России

Показатель	Значение
Прозрачность по шрифту, см, не менее	20
Удельное электросопротивление, Ом·м	В пределах, указанных в паспорте электрического котла
Жесткость общая, ммоль/л, не более*	0,1
Содержание растворенного кислорода, мг/кг, не более	0,1
Содержание нефтепродуктов, мг/л, не более	5,0

\* При обосновании допускается увеличенное значение общей жесткости питательной воды при условии соблюдения периода между чистками котла от накипи (как правило, проводятся при плановых осмотрах котла), а также нормативных требований к качеству пара или получаемого из него конденсата.

*Примечание: см. примечание 4 к табл. 2.12.*

Приблизительно значение удельного электросопротивления воды можно определить по эмпирической формуле С.П. Корсака:

$$\rho_{20} = 794000 / S \quad (2.1)$$

или

$$\rho_{20} = 11200 / (0,5 \text{ Э}), \quad (2.2)$$

где  $\rho_{20}$  – удельное электросопротивление воды при 20°C, Ом·см; Э – суммарная масса эквивалентов семи указанных ниже основных ионов, ммоль/л; S – суммарная масса содержания в воде семи основных ионов: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, мг/л.

При Э=0,5–100 ммоль/л определение по формуле (2.2) более точное, чем по формуле (2.1).

## 2.9. Требования к качеству подпиточной и сетевой воды водогрейных электрических котлов с температурой нагрева воды до 115 и 150°C по Правилам Госгортехнадзора России

Таблица 2.12

Требования к качеству подпиточной и сетевой воды водогрейных электрических котлов с температурой нагрева воды до 115 и 150°C по «Правилам устройства и безопасной эксплуатации электрических котлов и электродогревательных. ПБ-575-03» Госгортехнадзора России

Показатель	Значение
Прозрачность по шрифту, см, не менее, для систем теплоснабжения:	
открытых	40
закрытых	30
Удельное электросопротивление, Ом·м	В пределах, указанных в паспорте электрического котла <sup>2</sup>
Жесткость общая, ммоль/л, не более	3,0
Содержание растворенного кислорода, мг/кг, не более, при температуре сетевой воды:	
115°C	0,05
150°C	0,03
Содержание свободного диоксида углерода, мг/кг	Не допускается
Содержание нефтепродуктов, мг/л, не более, для систем теплоснабжения:	
открытых	0,3
закрытых	1,0



Примечания к табл. 2.12

1. Нормы качества подпиточной и сетевой воды водогрейных котлов распространяются на котлы, работающие по отопительно-вентиляционному или какому-либо другому гибкому графику отпуска теплоты. В случае установки водогрейных котлов на производствах с жестким графиком отпуска теплоты, особенно при постоянной работе котлов на предельных параметрах, качество подпиточной и сетевой воды принимается по проекту котла (котельной), если проектной организацией не будут обоснованы другие показатели при условии соблюдения требований по обеспечению надежного водно-химического режима котла.

2. Непосредственная присадка в подпиточную и сетевую воду гидразина и других токсических веществ запрещается.

3. При подаче воды в систему горячего водоснабжения качество подпиточной воды должно удовлетворять требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01.

4. Допускается введение реагентов: сульфита натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), тринатрийфосфата ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), бикарбоната натрия ( $\text{NaHCO}_3$ ), карбоната натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) – для водогрейных котлов с электронапряжением до 1000 В, работающих по замкнутой схеме теплоснабжения (без водоразбора) и для паровых котлов при их запуске.

## 2.10. Нормы качества питательной и подпиточной воды паровых котлов низкого давления пара и водогрейных котлов с низкой температурой нагрева воды по Правилам б. Минстроя РФ

Эти нормы принимаются по «Правилам устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,17 МПа (до 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>) изб.), водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 115°C» б. Минстроя РФ.

1. Эксплуатация котлов без докотловой или внутрикотловой обработки воды запрещена;

2. Качество питательной и подпиточной воды должно удовлетворять нормам, регламентированным «Правилами технической эксплуатации отопительных котельных» б. Минстроя РФ:

♦ качество питательной воды паровых стальных котлов с естественной циркуляцией паропроизводительностью до 0,7 т/ч должно удовлетворять нормам:

жесткость общая – не более 0,2 ммоль/л;  
содержание растворенного кислорода – не более 0,1 мг/л;

содержание взвешенных веществ – не допускается;

водородный показатель (рН) – не менее 7,0;  
свободный диоксид углерода – не более 10 мг/л;

♦ качество подпиточной воды водогрейных котлов и паровых котлов с паропроизводительностью более 0,7 т/ч должно удовлетворять нормам:

жесткость карбонатная – не более 0,2 ммоль/л;  
содержание растворенного кислорода – не более 0,05 мг/л;

содержание взвешенных веществ – не более 5 мг/л;

водородный показатель (рН) – не менее 7,0;  
свободный диоксид углерода – не допускается.

3. Для водогрейных чугунных секционных котлов и закрытых систем теплоснабжения жесткость карбонатная подпиточной воды не должна быть больше 0,7 ммоль/л.

4. Качество подпиточной воды открытых систем теплоснабжения должно соответствовать требованиям ГОСТ 2874-82 (СанПиН 2.1.4.1074-01).

5. Периодичность чистки паровых и водогрейных котлов должна быть такой, чтобы толщина отложений на наиболее теплонапряженных участках поверхностей нагрева котла к моменту его остановки на чистку не превышала 0,5 мм.

## 2.11. Об организации нормирования качества воды и противоречиях в нормах

До недавнего времени нормированием качества питьевой воды и, следовательно, качества воды систем горячего водоснабжения занимались два ведомства – Госстандарт и Минздрав. И до сих пор существуют нормативные документы: ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством» (действует на территории стран СНГ, кроме России), ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» и СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества».

Закон РФ № 52-ФЗ от 30.03.99 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» установил: разработка норм качества воды – прерогатива санитарных органов.

Нормы качества воды для питания энергетических систем и оборудования в составе этих систем также разрабатывались и утверждались в СССР и РФ разными ведомствами, занимавшимися производством теплогенераторов, эксплуатацией тепловых систем или их контролем. И потому до сих пор для одного и того же объекта нормирования существует несколько нормативных документов (см. табл. 2.4). Для сравнения в табл. 2.5 представлены некоторые зарубежные нормативы.

Нормы для одного и того же показателя качества воды в разных нормативных документах отличаются друг от друга, подчас – существенно. Кроме того, противоречат не только разные нормативы, но и в пределах одного документа есть противоречия и неверные суждения. Так, например, в Правилах (см. п. 24 табл. 2.4) нормируются одновременно: содержание свободного диоксида углерода в воде – отсутствие, показатель  $pH=8,3-9,0$  (9,5). То есть нормативный документ информационно избыточен: нормы тавтологичны, ибо известно, что при  $pH \geq 8,35$  свободный диоксид углерода в воде отсутствует.

Сопоставление норм качества воды разных нормативных документов затруднено разными обозначениями (наименованиями) одних и тех же веществ. Особые трудности – при опознавании органических веществ, почти везде употребляются тривиальные, традиционные или даже торговые названия. Обще-признанные своды номенклатуры химических веществ – правила ИЮПАК (IUPAC – Международный союз теоретической и прикладной химии) и реферативного журнала США «Chemical Abstracts» (CA).

## **2.12. Нормативы качества воды паровых и водогрейных котлов импортного производства по требованиям заводов-изготовителей**

В настоящее время вводится в строй много паровых и водогрейных котлов импортного производства, для определения водно-химического режима которых обязательно нужно учитывать требования к качеству воды завода-изготовителя и нормативные требования, действующие на территории РФ. При разночтении показателей выбираются более жесткие требования. См. Приложение 8.

## 3. Анализы

### качества воды

#### 3.1. Контроль качества воды. Перечень нормативных документов

Таблица 3.1

Продолжение

Шифр документа	Наименование	Субъект утверждения документа, год утверждения, время начала действия норматива
1	2	3
1. ГОСТ 8.315-97* (вместо ГОСТа 8.315-91)	ГСИ. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. Основные положения	Госстандарт России. 1997г. С 01.07.1998 г.
2. ГОСТ 8.010-90*; ГОСТ Р 8.563-96*	ГСИ. Методики выполнения измерений	Госстандарт России. 1996, 2001 г. ГОСТ 8.010-90* утратил силу в РФ
3. РД 50-674-78	Метрологическое обеспечение количественного химического анализа. Основные положения. Методические указания	
4. ГОСТ 17.1.3.07-82	Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков	Госстандарт СССР. 1982 г. С 01.01.1983 г. Действует только на территории РФ
5. ГОСТ 27384-2002 (вместо ГОСТа 27384-87)	Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств	Госстандарт России. 2002 г. С 01.01.2004 г.
6. РД 204.2.19-97	Внутрилабораторный и внешний контроль точности результатов измерений показателей состава коммунальных вод. Методическое пособие	
7. МИ 2335-95	ГСИ. Контроль качества результатов количественного химического анализа. Рекомендация	
8. МР 8.1.04-6	Внутрилабораторный контроль качества результатов анализа разных типов вод, растворов, продуктов и отходов их обработки. Методические рекомендации	
9. ГОСТ Р 8.589-2001 (вместо ГОСТ 17.0.0.02-79)	Охрана природы. Метрологическое обеспечение контроля загрязненности атмосферы, поверхностных вод и почвы. Основные положения	Госстандарт России. 2001 г. С 01.07.2002 г.
10. ГОСТ Р 51232-98	Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества	Госстандарт России. 1998 г. С 01.07.1999 г.
11. ГОСТ 24902-81* (вместо ГОСТа 1030-81)	Вода хозяйственно-питьевого назначения. Общие требования к полевым методам анализа	Госстандарт СССР. 1981, 1988 гг. С 01.01.1983 г.
12. ГОСТ Р 51000.4-96	Общие требования к аккредитации испытательных лабораторий	Госстандарт России. 1996 г.
13. РСТ РСФСР 728-85	Оборудование базовых лабораторий для анализа питьевых и городских сточных вод. Общие требования	Госстандарт СССР. 1985 г.
14. ГОСТ Р 51592-2000	Вода. Общие требования к отбору проб	Госстандарт России. 2000 г. С 01.07.2001 г.
15. ГОСТ 17.1.5.04-81*	Охрана природы. Гидросфера. Приборы и устройства для отбора, первичной обработки и хранения проб природных вод. Общие технические условия	Госстандарт СССР. 1981 г.

**Таблица 3.1**  
Продолжение

1	2	3
16. ГОСТ Р 51593-2000 (вместо ГОСТа 24481-80)	Вода питьевая. Отбор проб	Госстандарт России. 2000 г. С 01.07.2001 г.
17. ГОСТ 4979-49*** ГОСТ Р 51592-2000	Вода хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения. Методы химического анализа. Отбор, хранение и транспортирование проб	Госстандарт СССР. 1949, 1956, 1980 гг. ГОСТ 4979-49*** утратил силу на территории РФ. Госстандарт России
18. ГОСТ 23268.0-91 (вместо ГОСТ 23268.0-78)	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Правила приемки и методы отбора проб	Госстандарт СССР. 1990 г.
19. ГОСТ 17.1.5.05-85	Охрана природы. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков	Госстандарт СССР. 1985 г. С 01.07.1986 г.
20. ГОСТ 17.1.5.01-80*	Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность	Госстандарт СССР. 1980 г.
21. ОСТ 34.70-953.1-88	Воды производственные тепловых электростанций. Метод отбора проб	Минэнерго СССР. 1988 г.
22. МУ № 2285-81	Методические указания по санитарно-микробиологическому контролю поверхностных вод	Минздрав СССР. 1981 г.
23. МУК 4.2.1018-2001 (вместо МУК 4.2.671-97)	Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды. Методические указания	Минздрав России. 2001 г.
24. МУК 4.1.1090-2002	Определение йода в воде. Методические указания	Минздрав России. 2002 г.
25. МУ 4.1.1091-2002	Определение ПХДС-Т (триэтаноламмониевые соли сульфоксидов трихлорбензола и пентахлориддифенила в воде методом ВЭЖХ	Минздрав России. 2002 г.
26. МУК 4.2.964-2000 (вместо МУК 4.2.668-97)	Санитарно-паразитологическое исследование воды хозяйственного и питьевого использования. Методические указания	Минздрав России. 2000 г.
27. МУ 2.1.4.1057-2001	Организация внутреннего контроля качества санитарно-микробиологических исследований	Минздрав России 2001 г.
28. ГОСТ 18963-73* (вместо ГОСТов 5215-50 и 5216-50)	Вода питьевая. Методы санитарно-бактериологического анализа	Госстандарт СССР. 1973, 1982, 1985 гг. С 01.01.1974 г.
29. ГОСТ 24849-81	Вода питьевая. Полевые методы санитарно-микробиологического анализа	Госстандарт СССР. 1981 г. С 01.07.1982 г.
30. МУ 2.1.4.1057-2001	Организация внутреннего контроля качества санитарно-микробиологических исследований воды. Методические указания	Минздрав России. 2001 г.
31. МУК 4.2.796-99	Методы санитарно-паразитологических исследований воды. Методические указания	Минздрав России. 1999 г.
32. ГОСТ 17.1.3.08-82	Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества морских вод	Госстандарт СССР. 1982 г. С 01.01.1983 г.
33. ОСТ 11.091.630.5-81	Охрана природы. Методы анализа химических материалов реагентного хозяйства очистных сооружений	
34. ГН 2.6.1.758-99 (вместо ГН 2.6.1.054-96)	Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)	Минздрав России. 1999 г.
35. ГОСТ 6055-86 (вместо ГОСТ 6055-51)	Вода. Единица жесткости	Госстандарт СССР. 1986 г. С 01.05.2005 г. утратил силу на территории РФ. С 01.01.2005 г. действует ГОСТ Р 52029-2003. Утв. в 2003 г.

Таблица 3.1

Продолжение

1	2	3
36. ГОСТ 3351-74* (вместо ГОСТ 3351-46)	Вода питьевая. Методы определения вкуса (привкуса), запаха, цветности и мутности	Госстандарт СССР. 1974, 1985 г. С 01.07.1975 г.
37. ГОСТ 4011-72* (вместо 4011-48)	Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации общего железа	Госстандарт СССР. 1972, 1981, 1987 гг. С 01.01.1974 г.
38. РД 33-5.3.02-96	Методика выполнения измерения массовой концентрации мышьяка в природных и очищенных водах вольтамперометрическим методом	Роскомвод 1995 г.
39. ГОСТ 4151-72 (вместо ГОСТ 4151-48)	Вода питьевая. Метод определения общей жесткости	Госстандарт СССР. 1972, 1988 гг. С 01.01.1974 г.
40. ГОСТ 4152-89 (вместо ГОСТ 4152-81)	Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации мышьяка	Госстандарт СССР. 1989 г. С 01.01.1991 г.
41. ГОСТ 4192-82 (вместо ГОСТ 4192-48)	Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ	Госстандарт СССР. 1982 г. С 01.01.1983 г.
42. ГОСТ 4245-72 (вместо ГОСТ 4245-48)	Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов	Госстандарт СССР. 1972 г. С 0.01.74.
43. ГОСТ 4386-89 (вместо ГОСТ 4386-81) ИСО 4386-2-99 ИСО 4386-3-96	Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации фторидов	Госстандарт СССР. 1989 г. С 01.01.91 г.
44. ГОСТ 4388-72* (вместо ГОСТ 4388-48)	Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации меди	Госстандарт СССР. 1972, 1985 гг. С 01.01.1974 г.
45. ГОСТ 4389-72 (вместо ГОСТ 4389-48)	Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов	Госстандарт СССР. 1972 г. С 01.01.1974 г.
46. ГОСТ 4974-72 (вместо ГОСТ 4974-49)	Вода питьевая. Методы определения содержания марганца	Госстандарт СССР. 1972, 1985 гг. С 01.01.1974 г.
47. МУК 4.1.1090-2002	Определение иода в воде. Методические указания	Минздрав России. 2002 г.
48. МУК 4.1.1091-2002	Определение ПХДС-Т (триэтаноламмониевые соли сульфокислот трихлорбензола и пентахлорбифенила) в воде методом ВЭЖХ	Минздрав России. 2002 г.
49. ГОСТ 18164-72	Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка	Госстандарт СССР. 1972 г. С 01.01.1974 г.
50. ГОСТ 18165-89 (вместо ГОСТ 18165-81)	Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации алюминия	Госстандарт СССР. 1989 г. С 01.01.1991 г.
51. ГОСТ 18190-72	Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного активного хлора (свободного и связанного)	Госстандарт СССР. 1972 г. С 01.01.1974 г.
52. ГОСТ 18293-72 (вместо ГОСТов 4387-48 и 4614-49)	Вода питьевая. Методы определения свинца, цинка, серебра	Госстандарт СССР. 1972 г. С 01.01.1974 г.
53. ГОСТ 18294-2004*** (вместо ГОСТ 18294-89)	Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации бериллия	Госстандарт России. 2004 г. С 01.07.2005 г.
54. ГОСТ 18301-72	Вода питьевая. Методы определения содержания остаточного озона	Госстандарт СССР. 1972 г. С 01.01.1974 г.
55. ГОСТ 18308-72	Вода питьевая. Метод определения содержания молибдена	Госстандарт СССР. 1972 г. С 01.01.74.
56. ГОСТ 18309-72	Вода питьевая. Метод определения содержания полифосфатов	Госстандарт СССР. 1972 г. С 01.01.1974 г.
57. ГОСТ 18826-73 (вместо ГОСТ 4192-48 в части нитратов)	Вода питьевая. Методы определения содержания нитратов	Госстандарт СССР. 1973 г. С 01.01.1974 г.
58. ГОСТ 19355-85 (вместо ГОСТ 19355-74)	Вода питьевая. Методы определения полиакриламида	Госстандарт СССР. 1985 г. С 01.01.1986 г.

**Таблица 3.1**  
Продолжение

1	2	3
59. ГОСТ 19413-89 (вместо ГОСТ 19413-81)	Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации селена	Госстандарт СССР. 1989 г. 01.07.1990 г.
60. ГОСТ 23950-88 (вместо ГОСТ 23950-80)	Вода питьевая. Метод определения массовой концентрации стронция	Госстандарт СССР. 1988 г. С 01.01.1990 г.
61. ГОСТ Р 51209-98	Вода питьевая. Метод определения содержания хлорорганических пестицидов газожидкостной хроматографией	Госстандарт России. 1998г. С 01.07.1999 г.
62. ГОСТ Р 51210-98	Вода питьевая. Метод определения содержания бора	Госстандарт России. 1998 г. С 01.07.1999 г.
63. ГОСТ Р 51211-98	Вода питьевая. Методы определения содержания поверхностно-активных веществ	Госстандарт России. 1998 г. С 01.07.1999 г.
64. ГОСТ Р 51212-98	Вода питьевая. Методы определения содержания общей ртути беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрией	Госстандарт России. 1998 г. С 01.07.1999 г.
65. ГОСТ Р 51309-99	Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектрометрии	Госстандарт России. 1999 г. С 01.07.2000 г.
66. ГОСТ Р 51310-99	Вода питьевая. Метод определения содержания бенз(а)пирена	Госстандарт России. 1999 г. С 01.07.2000 г.
67. ГОСТ Р 51392-99	Вода питьевая. Определение содержания летучих галогенорганических соединений газожидкостной хроматографией	Госстандарт России 1999 г. С 01.01.2001 г.
68. ГОСТ 17.1.4.01-80	Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к методам определения нефтепродуктов в природных и сточных водах	Госстандарт СССР. 1980 г. С 01.01.1983 г.
69. ГОСТ Р 51797-2001	Вода питьевая. Метод определения содержания нефтепродуктов	Госстандарт России. 2001 г. С 01.07.2002 г.
70. МУК 4.1.1013-01	Определение массовой концентрации нефтепродуктов в воде. Методические указания	Минздрав России. 2001 г.
71. ГОСТ Р 51730-2001	Вода питьевая. Метод определения суммарной удельной альфа-активности радионуклидов	Госстандарт России. 2001г. С 01.07.2002 г.
72. № 11-2/42-09	Радиационный контроль питьевой воды. Методические рекомендации	Минздрав России. 2001 г.
73. МУК 2.6.1.717-98	Радиационный контроль. Стронций-90 и цезий –137. Пищевые продукты. Отбор проб, анализ и гигиеническая оценка	Минздрав России. 1998 г.
74. –	Методика измерения суммарной альфа-и бета-активности водных проб с помощью альфа- и бета- радиометраУМФ-2000	ЦМИИ ФГУП «ВНИИФРТИ»
75. ГОСТ Р 51680-2000 (ИСО 9377-2:2000)	Вода питьевая. Метод определения содержания цианидов	Госстандарт России. 2000 г.
76. МУК 4.2.590-96	Бактериологические исследования с использованием экспресс-анализа БАК Трак 4100	Минздрав России. 1996 г.
77. Сборник УК 4.1.646 – 4.1.660-96	Методические указания по определению концентрации химических веществ в воде централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Сборник методических указаний	Минздрав России. 1996 г.
78. Сборник МУК 4.1.057 – 4.1.081-96	Измерение массовой концентрации химических веществ люминесцентными методами в объектах окружающей среды. Сборник методических указаний	Минздрав России. 1996 г.
79. Сборник МУК 4.1.737-4.1.754-99	Определение концентраций химических веществ в воде централизованных систем питьевого водоснабжения. Сборник методических указаний	Минздрав России. 1999 г.
80. ГОСТ 1.4.02-90 (должен применяться с ГОСТом 17.1.5.04-81* и ИСО 5667-2-83)	Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла а	Госстандарт СССР. 1990 г. С 01.01.1991 г.



**Таблица 3.1**

Продолжение

1	2	3
81. ГОСТ 17.4.4.01-84	Охрана природы. Почвы. Методы определения катионного обмена	Госстандарт СССР. 1984 г.
82. ГОСТ 6687.8-87 (вместо ГОСТа 6687.8-75)	Воды искусственно-минерализованные. Методы определения солей	Госстандарт СССР. 1987 г.
83. ГОСТ 23268.1-91 (вместо ГОСТа 23269.1-78)	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения органолептических показателей и объема воды в бутылках	Госстандарт СССР. 1991 г.
84. ГОСТ 23268.2-91 (вместо ГОСТа 23269.2-78)	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения двуоксида углерода	Госстандарт СССР. 1991 г.
85. ГОСТ 23268.3-78*	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения гидрокарбонатов	Госстандарт СССР. 1978 г.
86. ГОСТ 23268.4-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения сульфат-ионов	Госстандарт СССР. 1978 г.
87. ГОСТ 23268.5-78*	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов кальция и магния	Госстандарт СССР. 1978 г.
88. ГОСТ 23268.6-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов натрия	Госстандарт СССР. 1978 г.
89. ГОСТ 23268.7-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов калия	Госстандарт СССР. 1978 г.
90. ГОСТ 23268.8-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения нитрит-ионов	Госстандарт СССР. 1978 г.
91. ГОСТ 23268.9-78*	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения нитрат-ионов	Госстандарт СССР. 1978 г.
92. ГОСТ 23268.10-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов аммония	Госстандарт СССР. 1978 г.
93. ГОСТ 23268.11-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов железа	Госстандарт СССР. 1978 г.
94. ГОСТ 23268.12-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения перманганатной окисляемости	Госстандарт СССР. 1978 г.
95. ГОСТ 23268.13-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов серебра	Госстандарт СССР. 1978 г.
96. ГОСТ 23268.14-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов мышьяка	Госстандарт СССР. 1978 г.
97. ГОСТ 23268.15-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения бромид-ионов	Госстандарт СССР. 1978 г.
98. ГОСТ 23268.16-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения йодид-ионов	Госстандарт СССР. 1978 г.
99. ГОСТ 23268.17-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения хлорид-ионов	Госстандарт СССР. 1978 г.
100. ГОСТ 23268.18-78	Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения фторид-ионов	Госстандарт СССР. 1978 г.
101. ГОСТ Р 50050-92 (ИСО 2456-86)	Вещества поверхностные активные. Вода, применяемая в качестве растворителя для испытаний. Технические условия и методы испытания	Госстандарт России. 1992 г.
102. РД 34.43.207-95	Анализы анионов хроматографическими методами	РАО «ЕЭС России». 1995 г.
103. РД 34.37.528-94	Методика выполнения измерений содержания натрия в технологических водах ТЭС потенциометрическим методом с помощью лабораторных иономеров	РАО «ЕЭС России». 1994 г.
104. РД 34.11.322-89	Методика выполнения измерений удельной электропроводимости воды и пара энергоустановок ТЭС автоматическим кондуктометром	Минэнерго СССР. 1989 г.

**Таблица 3.1**  
Продолжение

1	2	3
105. РД 34.11.323-89	Методика выполнения измерений показателя рН воды и пара энергоустановок ТЭС автоматическим рН-метром	Минэнерго СССР. 1989 г.
106. РД 34.37.309-91	Методика выполнения измерений микроколичеств соединений меди кинетическим методом	РАО «ЕЭС России». 1993 г.
107. РД 34.37.509-84 (МТ 34-70-011-83)	Методика определения уголекислоты в растворах аммиака	Минэнерго СССР. 1984 г.
108. РД 34.37.523.7.8.9.10-88*	Методы определения качества воды. Воды производственные на тепловых электростанциях. Метод определения щелочности; метод определения жесткости; методы определения фосфатов; методы определения окисляемости воды	Минэнерго СССР. 1989 г. РАО «ЕЭС России». 1994 г.
109. РД 34.37.523.11-90*	Воды производственные тепловых электростанций. Методы определения алюминия	Минэнерго СССР. 1990 г. РАО «ЕЭС России». 1994 г.
110. РД 34.37.523.12-90*	Воды производственные тепловых электростанций. Методы определения аммонийного азота	Минэнерго СССР. 1990 г. РАО «ЕЭС России». 1994 г.
111. РД 34.37.302-85 (МУ 34-70-114-85)	Методические указания по применению кондуктометрического контроля для ведения водного режима электростанций	Минэнерго СССР. 1985 г.
112. РД 34.37.303-88*	Методические указания по организации и объему химического контроля водно-химического режима на тепловых электростанциях	Минэнерго СССР. 1988 г. РАО «ЕЭС России». 1994 г.
113. РД 34.37.305-81	Инструкция по аналитическому контролю при химической очистке теплоэнергетического оборудования	Минэнерго СССР. 1981 г.
114. РД 34.37.306-87*	Методические указания по контролю состояния основного оборудования тепловых электрических станций; определение качества и состава отложений	Минэнерго СССР. 1987 г. РАО «ЕЭС России». 1993 г.
115. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-2000 (СанПиН 2.2.4/2.1.8.989-00. -изм. №1 к СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96)	Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)	Минздрав России. 1996, 2000 гг.
116. СанПиН 2.2.4.1197-03	Электромагнитные поля в производственных условиях	Минздрав России. 2003 г.
117. РД 52.24.: 358*; 360*; 361*; 364; 365*; 367*; 368*; 371; 373; 377; 378; 380*-383; 387; 389; 390; 391; 394*; 395*; 401* - 403*; 405* - 407*; 410; 411- 414; 416; 419*; 420*; 421*; 423*; 428; 432; 433; 435*; 436*; 438-440; 446*; 448*-450*; 453; 454; 459; 464-468*; 472; 473; 476*; 479-488; 492-497 (все с индексом – 95)	Методики определения качества воды, разработанные Гидрохимическим институтом Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ГХИ)	Росгидромет
118. ПНД Ф 14.1:2.4.38-95– 14.1:2.4.41-95**; 14.1:2.4.65-96**; 14.1:2.4.118-96; 14.1:2.4.120-96; 14.1:2.4.125-97 – 14.1:2.4.127-98; 14.2:4-99; М 01-26-96; П 57/98; П 160/97; 2420/809-97/0809 МУК 4.1.057-96* – МУК 4.1.070-96*	Методики определения качества воды, разработанные Научно-производственной фирмой аналитического приборостроения (НПФ «ЛЮМЭКС»)	Минприроды России
119. ПНД Ф 14.1:2:21-95; ПНД Ф 14.1:2:22-95; ПНД Ф 14.1:2:4.59-96; ПНДФ 14.1:2:3:4.154-99; ПНД Ф 14.1:2:4.169-2000	Методики определения качества воды, разработанные ООО «КОРТЕК»	Минприроды России

**Таблица 3.1**

Продолжение

1	2	3
120. ЦВ 1.01.01-91«А»; 1.04.02-91; 1.04.03-91; 1.04.04-91; 1.04.32-97; 1.04.35-98; 1.10.21-94; 1.10..22-94; 96; 1.10.25 – 30-96; 1.10.33-96; 1.10.34-96; 1.12.05-92; 1.12.06-93; 1.12.20-94; 1.12.31-96; 1.13.19-94; 1.14.23-95; 1.23.43-99 3.12.04-96; 3.12.09-97; 3.16.02-95; 3.18.05-96; 3.19.08-96; 3.21.03-95; 3.21.06-96; 3.22.07-96 «А» (все номера методик – с индексом «А»)	Методики определения качества воды, разработанные ГУП «Центр исследования и контроля воды (ГУП «ЦИКВ»)	
121. А-8/3-95*; А-9/3-95–А-19/3-95; А-20/11-94–А-23/11-94; А-25/11-94–А-29/11-94; А-1/12-94; А-3/12-94; А-4/12-94; А-5/12-94; А-7/12-94; РБАП-6/97; РБАП-31/96 РБАП-30/95; РБАП-38/96, - 39/96, - 44/96, - 45/96, - 48/97, - 49/97, - 50/97	Центральная лаборатория Муниципального унитарного предприятия «Уфаводоканал»	
122. М 79/99, М91/98	ОАО «Союзцветметавтоматика»	
123. ПНД Ф 14.1:2.4.11-95 (МУ 08-48/018); 14.1:2.4.17-95 (МУ 08-48/017); 14.1:2.4.18-95 (МУ 08-48/020); 14.1:2.4.12-95 (МУ 08-48/021); МУ 08-47/066; МУ 08-47/082; МУ 08-47/112	Томский политехнический университет и Внедренческая научно-производственная фирма «ЮМХ»	
124. ПНД Ф 14.1.71-96; 14.1.78-96; 14.1.79-96; 14.1.175-2000; 14.1:2.57-96; 14.1:2.58-96; 14.1:2.76-96; 14.1:2.84-96; 14.1:2.141-98; 14.1:2.142-98; 14.1:2.162-2000; 14.1:2.164-2000; 14.1:2.4.137-98; 14.1:2.4.138-98; 14.1:2.4.139-98; 14.1:2.4.140-98; 14.1:2.4.143-98; 14.1:2.4.153-99; 14.1:2.4.155-99; 14.1:2.4.156-99; 14.1:2.4.161-2000; 14.1:2.4.165-2000; 14.2.4.70-96; 14.2.4.74-96; 14.2.4.75-96; 14.2.4.154-99; 14.2.4.176-2000; НДП 10.1:2.26-96; 10.1:2.62-98; 10.1:2.3.28-96; 10.1:2.3.70-2000; 10.1:2.3.71-01; 10.1:2.3.71-01; 10.1:2.4.67-2000; 20.1:2.32-96; 20.1:2.3.21-95; 20.1:2.3.40-97; 30.1:2.1-94; 30.1:2.8-95; 30.1.2:3.9-95; 30.1.2:3.12-99; 30.1.2:3.35-96; 30.1.2:3.41-97; 30.1.2:3.68-2000; 30.1.2:3.69-2000; 30.1.2:3.74-01; 30.2:3.2-95; 30.2:3.36-98; 30.2:3.43-98; 30.3.34-96; 30.4.65-01	Аналитический центр контроля качества воды ЗАО «Роса»	

**Таблица 3.1**  
**Продолжение**

1	2	3
125. 01.01.187; 01.01.198; 01.02.186; 01.02.199; 01.02.200; 01.02.201; 01.02.209; 01.03.191; 01.03.195; 01.03.196; 01.03.197; 01.03.202; 01.03.203; 01.03.204; 01.03.205; 01.03.206; 01.03.207; 01.03.208; 01.03.351; 01.03.352; 01.03.353; 01.04.192; 01.04.192; 01.04.193; 01.04.194; 01.10.188; 01.10.189; 01.10.190; 01.14.185	Федеральное государственное унитарное предприятие «Межотраслевой научно-исследовательский институт экологии топливно-энергетического комплекса»	
126. ГОСТ 26449.0-85	Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Общие требования к методам анализа при опреснении соленых вод	Госстандарт СССР. 1985 г.
127. ГОСТ 26449.1-85	Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического контроля соленых вод	Госстандарт СССР. 1985 г.
128. ГОСТ 24449.2-85	Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического контроля дистиллята	Госстандарт СССР. 1985 г.
129. ГОСТ 26449.3-85	Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического контроля соленых вод и дистиллята на содержание газов	Госстандарт СССР. 1985 г.
130. ГОСТ 26449.4-85	Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа накипи и шламов	Госстандарт СССР. 1985 г.
131. ГОСТ 26449.5-85	Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа промывных растворов при очистке оборудования	Госстандарт СССР. 1985 г.
132. –	Руководство по технологии подготовки питьевой воды, обеспечивающей выполнение гигиенических требований в отношении хлорорганических соединений	АКХ им. К.Д. Памфилова. 1989 г.
133. –	Указания по совершенствованию технологии коагуляционной обработки воды с целью снижения концентрации остаточного алюминия	АКХ им. К.Д. Памфилова. 1988 г.
134. –	Руководство по применению технологий, обеспечивающих эпидемиологическую безопасность питьевой воды в отношении вируса гепатита и других энтеротропных вирусов	НИИ ОКГ им. А.Н. Сысина АМН СССР. 1990 г.
135. ГОСТ 6709-72* (вместо ГОСТ 6709-53)	Вода дистиллированная. Технические условия	Госстандарт СССР. 1972, 1985, 1990 гг.
136. ГОСТ Р 52180-2003	Вода питьевая. Определение содержания элементов методом инверсионной вольтамперометрии	Госстандарт России. 2003 г.
137. –	Методика выполнения измерений содержания общего органического углерода (ОУ) и суммы летучих органических соединений (ЛОС) в пробах питьевых и производственных вод спектрометрическим методом	Разработка ОАО «Свердловэнерго», г. Екатеринбург
138. –	Методика определения химической активности органических соединений в пробах питьевых и производственных вод спектрометрическим методом	То же
139. Проект нового ГОСТа (по ИСО 10304-92)	Вода питьевая. Определение содержания анионов методами ионной хроматографии и капиллярного электрофореза	Госстандарт России

Табл. 3.1 показывает, насколько велико разнообразие методик анализа воды, составленных разными организациями. Даже беглый просмотр текстов прописей анализов дает основание, чтобы утверждать: многие методики дублируют друг друга. По мере насыщения российских лабораторий современными аналитическим оборудованием и материалами, при обучении сотрудников аналитических служб ускорится переход аналитиков к использованию единых методик, рекомендуемых ИСО.

С 1 ноября 2002 г. стандарты ИСО имеют прямое применение в России: введены в действие ГОСТ Р 5725-1-2002 – Р 5725-6-2002 под общим названием «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений».

ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002. Часть 1. Основные положения и определения;

ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений;

ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений;

ГОСТ Р ИСО 5725-4-2002. Часть 4. Основные методы определения правильности стандартного метода измерений;

ГОСТ Р ИСО 5725-5-2002. Часть 5. Альтернативные методы определения прецизионности стандартного метода измерений;

ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Часть 6. Использование значений точности на практике.

Стандарты ИСО методов анализа воды можно непосредственно применять в лабораториях России («Питьевая вода», 2003, № 1, с. 2–4).

## 3.2. Влияние некоторых примесей исходной воды на работу энергетических объектов

Анализировать качество воды для энергетических объектов только по тем показателям, которые указаны в соответствующих нормативных документах, явно недостаточно, так как часть ненормируемых по этим документам примесей воды косвенно влияет на эффективность работы энергетических систем и оборудования, учет этих примесей важен для обеспечения безаварийности оборудования.

### 3.2.1. Органические вещества

Содержание органических примесей в питательной и подпиточной воде энергообъектов прямо

не нормируется. Косвенно часть (но только малая часть) органических примесей нормируется в виде масел, нефтепродуктов, веществ, экстрагируемых эфиром. Требования – не более 5 мгО/л перманганатной окисляемости – предъявляются к содержанию органических веществ в производственном конденсате.

Зарубежные нормативы также включают в свой состав нормы по значению перманганатной окисляемости в питательной и котловой воде паровых котлов. Например, по нормативам США (Nalco): ТДР 611 и 10 TUI-TCH 1453 в питательной воде разных паровых котлов значение перманганатной окисляемости должно быть не более 3–20 мгКМnO<sub>4</sub>/л.

Знание количества органических веществ в питательной воде котла помогает прогнозировать возможность образования железонакипных отложений в котле. Железонакипные отложения минимальны, если в питательной воде соблюдается равенство:

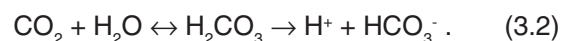
$$\text{Fe} \leq \text{O}_k \cdot 40, \quad (3.1)$$

где Fe – содержание соединений железа, мкг/кг; O<sub>к</sub> – перманганатная окисляемость, мгО/кг.

Увеличение значений перманганатной и бихроматной окисляемости в питательной воде котлов может служить сигналом попадания в воду разной «органики», например, масел, мазута, продуктов коксохимического производства и др. Попадание в котловую воду большого количества «органики» может привести к бурному вспениванию воды (ухудшению качества пара) и коксоподобным отложениям на теплопередающих поверхностях котла.

Часть органических веществ хорошо задерживается сорбентами водоподготовительных станций, в том числе анионитами, что сильно уменьшает их обменную емкость.

Разложение органических веществ при нагревании воды в котлах вызывает образование диоксида углерода CO<sub>2</sub>, и часть его, растворенная в воде, образует угольную кислоту, понижая pH. Следовательно, увеличивается скорость углекислотной коррозии металла не только в воде, но и во влажном паре и в конденсате.



Органические вещества в некоторой степени могут уменьшать карбонатные отложения в котлах и теплообменниках, значит, и в этом случае необходимо знание окисляемости воды.

Г.Е. Крушелем была предложена эмпирическая формула для определения предельного значения

карбонатной жесткости воды при 40 °С (накипь еще не образуется) в зависимости от перманганатной окисляемости:

$$Ж_{\text{к}}^{\text{пред}} = 2,8 + O_{\text{к}} / 9, \quad (3.3)$$

где  $Ж_{\text{к}}^{\text{пред}}$  – предельное значение карбонатной жесткости, ммоль/л;  $O_{\text{к}}$  – значение перманганатной окисляемости, мгО/л.

### 3.2.2. Сухой и прокаленный остаток

Эти показатели нужны, во-первых, для проверки правильности определения содержания в воде разных ионов и, во-вторых, для предварительного определения возможности применения ионообменного, обратноосмотического или других методов обработки воды.

По разности значений сухого и прокаленного остатков можно приблизительно определять количество органических веществ.

### 3.2.3. Аммоний

При увеличенном количестве аммиака в паре и в присутствии кислорода усиливается коррозия медесодержащих сплавов конструкций теплообменников.

## 3.3. Рекомендуемый состав прописи анализов воды

В прописи анализов исходной воды необходимо указать тип источника водоснабжения: поверхностный (река, озеро, море, водохранилище, пруд, условно включаются также безнапорные скважины, колодцы, ключи и каптажи), напорный артезианский и тип системы оборотного водоснабжения.

Из подземных источников водоснабжения пробы должны отбираться в течение 1 года: в каждый характерный в данном климатическом районе период по две пробы. Интервал отбора – не менее 24 ч.

Если вода поверхностная, то необходимы 12 анализов разовых проб, отбираемых ежемесячно, за год, предшествующий году проектирования. Для каждого анализа также должны отбираться две пробы с интервалом отбора не менее 24 ч.

На водозаборе может производиться обработка воды – в этом случае должны быть указаны результаты анализов исходной воды до и после обработки.

Анализ воды необходимо представлять в следующем объеме:

даты отбора и анализа пробы;

температура (°С);

запах при 20 и 60°С (балл);

вкус при 20°С (балл);

цветность по платино-кобальтовой шкале (градус);

мутность по стандартной шкале (мг/л);

прозрачность по шрифту (см);

микробиологические и паразитологические показатели по СанПиНам 2.1.4.1074-01;

биохимическое потребление кислорода, БПК<sub>5</sub> (мгО<sub>2</sub>/л);

содержание взвешенных примесей (мг/л);

жесткость общая и карбонатная (ммоль/л);

щелочность общая и по фенолфталеину (ммоль/л);

сухой и прокаленный остаток (мг/л);

перманганатная и бихроматная (ХПК) окисляемость (мгО/л);

кальций, Ca<sup>2+</sup> (мг/л);

магний, Mg<sup>2+</sup> (мг/л);

натрий, Na<sup>+</sup> (мг/л);

калий, K<sup>+</sup> (мг/л);

аммоний, NH<sup>4+</sup> (мг/л);

железо общее, Fe (мг/л);

железо двухвалентное, Fe<sup>2+</sup> (мг/л);

марганец (общий), Mn (мг/л);

алюминий, Al<sup>3+</sup> (мг/л);

цинк, Zn<sup>2+</sup> (мг/л);

фосфаты, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (мг/л);

хлориды, Cl<sup>-</sup> (мг/л);

сульфаты, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (мг/л);

бикарбонаты, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (мг/л);

карбонаты, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> (мг/л);

нитриты, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (мг/л);

нитраты, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (мг/л);

кислород, O<sub>2</sub> (мг/л);

свободный углекислый газ, CO<sub>2</sub> (мг/л);

сероводород, H<sub>2</sub>S (мг/л);

медь, Cu<sup>2+</sup> (мг/л);

кремниевые соединения, SiO<sub>2</sub> (мг/л);

вещества, экстрагируемые эфиром (масла и др.), мг/л;

водородный показатель (рН);

поверхностно-активные вещества (анионоактивные), ПАВ (мг/л);

фтор, F<sup>-</sup> (мг/л);

хлор свободный, Cl<sub>2</sub> (мг/л);

хлор связанный, Cl<sup>-</sup> (мг/л);

удельная электропроводимость (мкСм/см).

Если в качестве исходной воды используется водопроводная вода, которая удовлетворяет требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01, то перечисленные выше показатели, начиная с запаха при 20°С и до биохимического потребления кислорода БПК<sub>5</sub>, можно не учитывать.



Присутствие в воде примесей, не указанных выше, необходимо зафиксировать с приведением численных значений величин, если эти величины анализировались, и знание их, по мнению аналитика, существенно для оценки качества воды.

Содержание взвешенных веществ должно определяться, если прозрачность меньше 10 см.

В тех случаях, когда содержание натрия и калия определено не аналитическим путем (суммарно), должно быть сделано соответствующее примечание.

Правильность результатов анализов должна быть проверена составителем прописи, при этом можно использовать любое из известных руководств.

данного показателя, измеренному при 20°C. При этом, во-первых, во всех нормативных документах и прописях анализа воды необходимо указывать температуру измерения (почти всегда нормы ориентированы на 20°C), а во-вторых – в системах горячего водоснабжения (при нагреве воды до 60°C) нужно вводить поправку на температуру (табл. 3.2):

$$pH_{изм} = pH_{20} - \alpha, \quad (3.4)$$

где  $pH_{20}$  – значение pH при температуре 20°C;  $pH_{изм}$  – значение pH при температуре нагретой воды;  $\alpha$  – поправка по табл. 3.2.

### 3.4. Обеспечение правильности анализов

Отбор проб следует производить с учетом требований ГОСТ 2761-84.

При производстве анализов рекомендуется пользоваться руководствами, указанными в Списке литературы [III: 51; 52; 131; 143].

Все методики определения количественных показателей исходной воды, предназначенной для систем горячего водоснабжения, должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 51232-98, СанПиН 2.1.4.1074-01 и МУ 2.1.4.682-97 – табл. 3.1, п. 10; табл. 2.1, п. 87, 92.

### 3.6. Проверка правильности анализов воды

До начала проектирования или в других случаях использования показателей содержания примесей в исходной (для проектирования) природной воде техническое решение всегда нужно обуславливать проверкой правильности анализов воды.

В природной воде количества катионов и анионов, выраженные в эквивалентной форме, равны, то есть сумма молей катионов равна сумме молей анионов. Допускается 1–3%-ное расхождение между вычисленными суммами. Как правило, на большинстве объектов содержание натрия (и калия) определяют экспериментально. При арифметических вычислениях содержания калия и натрия (которые нельзя назвать корректными) нужно помнить, что – с учетом эквивалентов натрия и калия и сравнительно малого содержания калия в воде большинства водоемов и водотоков – условный эквивалент группы ( $Na^+ + K^+$ ) нужно принимать равным 25.

### 3.5. Водородный показатель (pH)

Нормирование pH для всех водопотребляющих систем осуществляется, как правило, по значению

Таблица 3.2

Температурная поправка (α) для определения pH воды после ее нагрева

pH при температуре 20°C	Температура нагретой воды, °C	Температурная поправка (α) при щелочности воды, ммоль/л				
		0,5	1,0	2,0	4,0	8,0
≤ 8,0	50	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
8,2		0,20	0,15	0,15	0,15	0,10
8,4		0,30	0,20	0,20	0,15	0,15
≤ 7,6	60	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
7,8		0,15	0,15	0,10	0,10	0,10
8,0		0,30	0,20	0,15	0,15	0,10
8,2		0,40	0,30	0,20	0,20	0,15
8,4		0,50	0,40	0,30	0,25	0,20

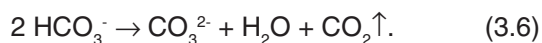
Результаты анализа воды можно приблизительно проверить, вычисляя сухой остаток (СО) и прокаленный сухой остаток (ПСО).

$$\text{СО} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+ + \text{K}^+] + [\text{NH}_4^+] + 1,4 [\text{Fe}] + [\text{Cl}^-] + [\text{NO}_3^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{SiO}_2] + 0,5 \cdot [\text{HCO}_3^-], \quad (3.5)$$

где СО – сухой остаток (расчетный), мг/л;  $[\text{Ca}^{2+}]$ , ...,  $[\text{HCO}_3^-]$  – концентрация в воде ионов, соответственно, кальция, магния, натрия и калия, аммония, железа трехвалентного и двухвалентного (суммарно), хлоридов, нитратов, сульфатов, кремниесоединений, бикарбонатов, мг/л.

В расчете не учитываются ионы, содержащиеся в воде в количестве не более 0,01 ммоль/л.

Расчетное значение может отличаться от экспериментально найденного. Частично это учтено введением коэффициента 0,5 перед  $[\text{HCO}_3^-]$ , что вызвано разложением  $[\text{HCO}_3^-]$  при определении  $\text{CO}_2$  (кипячением пробы воды):



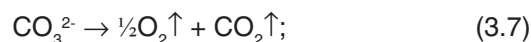
Но при расчете не учтено:

кристаллизационная вода удаляется не полностью во время кипячения и при высушивании остатка при 102–110°C;

наличие некоторых органических веществ;

некоторые соли гидролизуются (степень этого процесса неопределима).

При прокаливании сухого остатка при температуре 600–700°C бикарбонаты продолжают распадаться, и распадается часть карбонатов, улетучиваются кристаллизационная и гигроскопическая вода, соляная кислота, образующаяся при гидролизе хлорида магния, и окислы азота, получающиеся при восстановлении нитратов.



Прокаленный сухой остаток равен сухому остатку, но перед  $\text{HCO}_3^-$  стоит коэффициент не 0,5, а 0,13.

Масса органических примесей, нелетучих при 102–110°C, равна

$$[\text{Орг.}] = \text{ППП} - 0,37 \cdot [\text{HCO}_3^-], \quad (3.9)$$

где ППП – потеря массы сухого остатка при прокаливании, мг/л;  $[\text{Орг.}]$  – количество нелетучих органических примесей, мг/л.

Сухой остаток с учетом нелетучих органических примесей равен определенному выше с добавлением  $[\text{Орг.}]$ .

Обязательное правило проверки анализа воды: проверка равенства значения общей жесткости и суммы содержания кальция и магния (ммоль).

## 4. Методы водоподготовки

### 4.1. Выбор методов

**Л**учше других соответствует потребностям технологов классификация, разработанная Л.А. Кульским. В ее основу положен принцип фазово-дисперсного состояния примесей воды, исходя из которого, в зависимости от дисперсности частиц, все примеси распределены на четыре группы. Соответственно этим группам определены и все известные сегодня методы водоподготовки. Таким образом, табл. 1.3 изначально позволяет наметить возможную схему обработки воды.

Методы водоподготовки должны выбираться при сопоставлении состава исходной воды и ее качества, регламентированного нормативными документами или определенного потребителем воды. После предварительного подбора методов очистки воды анализируются возможности и условия их применения, исходящие из поставленной задачи.

Чаще всего результат достигается поэтапным осуществлением нескольких методов. Таким образом, важными являются как выбор собственно методов обработки воды, так и их последовательность.

Методов водоподготовки – около 40. Здесь рассмотрены только наиболее часто применяемые.

### 4.2. Осветление воды фильтрованием через слои зернистого насыпного материала

Начальным этапом водоподготовки, как правило, является освобождение ее от взвешенных примесей – осветление воды, иногда классифицируемое как предварительная обработка.

Различают несколько типов фильтрования:

– *процеживание* – размеры пор фильтрующего материала меньше размеров задерживаемых частиц;

– *пленочное фильтрование* – при определенных условиях после некоторого начального периода фильтрующий материал обволакивается пленкой взвешенных веществ, на которой могут задерживаться частицы даже более мелкие, чем размер

пор фильтрующего материала: коллоиды, мелкие бактерии, крупные вирусы;

– *объемное фильтрование* – взвешенные частицы, проходя через слой фильтрующего материала, многократно изменяют направление и скорость движения в щелях между гранулами и волокнами фильтрующего материала; таким образом, грязеемкость фильтра может быть довольно большой – больше, чем при пленочном фильтровании.

Фильтрование в тканевых, керамических, почти во всех фильтрах с неткаными волокнистыми фильтрующими элементами осуществляется по первым двум – из названных – типам; в мелкозернистых насыпных фильтрах – по второму типу, в крупнозернистых насыпных – по третьему.

#### 4.2.1. Классификация фильтров с зернистой загрузкой

Зернистые фильтры применяют, в основном, при очистке жидкостей, у которых содержание твердой фазы ничтожно мало, и осадок не представляет ценности, основное назначение фильтров – для осветления природной воды. Именно они наиболее широко применяются в технике водоподготовки.

Классификация фильтров по ряду основных признаков:

♦ **скорость фильтрования:**

- медленные (0,1–0,3 м/ч);
- скорые (5–12 м/ч);
- сверхскоростные (36–100 м/ч);

♦ **давление, под которым они работают:**

- открытые или безнапорные;
- напорные;

♦ **количество фильтрующих слоев:**

- однослойные;
- двухслойные;
- многослойные.

Наиболее эффективны и экономичны многослойные фильтры, в которых для увеличения грязеемкости и эффективности фильтрации загрузку составляют из материалов с различной плотностью и размером частиц: сверху слоя – крупные легкие частицы, внизу – мелкие тяжелые. При нисходящем направлении фильтрования крупные загрязнения задерживаются в верхнем слое загрузки, а оставшиеся мелкие – в нижнем. Таким образом, работает весь объем загрузки. Осветлительные фильтры эффективны при задержании частиц размером >10 мкм.

#### 4.2.2. Технология фильтрования

Вода, содержащая взвешенные частицы, двигаясь через зернистую загрузку, задерживающую взвешенные частицы, осветляется. Эффективность процесса зависит от физико-химических

свойств примесей, фильтрующей загрузки и гидродинамических факторов. В толщине загрузки происходит накапливание загрязнений, уменьшается свободный объем пор и возрастает гидравлическое сопротивление загрузки, что приводит к росту потерь напора в загрузке.

В общем виде, процесс фильтрации можно условно разбить на несколько стадий: перенос частиц из потока воды на поверхность фильтрующего материала; закрепление частиц на зернах и в щелях между ними; отрыв закрепленных частиц с переходом их обратно в поток воды.

Извлечение примесей из воды и закрепление их на зернах загрузки происходит под действием сил адгезии. Осадок, формирующийся на частицах загрузки, имеет непрочную структуру, которая под влиянием гидродинамических сил может разрушаться. Некоторая часть ранее прилипших частиц отрывается от зерен загрузки в виде мелких хлопьев и переносится в последующие слои загрузки (суффозия), где вновь задерживается в поровых каналах. Таким образом, процесс осветления воды нужно рассматривать как суммарный результат процесса адгезии и суффозии. Осветление в каждом элементарном слое загрузки происходит до тех пор, пока интенсивность прилипания частиц превышает интенсивность отрыва.

По мере насыщения верхних слоев загрузки процесс фильтрации переходит на нижерасположенные, зона фильтрации как бы сходит по направлению потока от области, где фильтрующей материал уже насыщен загрязнением и преобладает процесс суффозии к области свежей загрузки. Затем наступает момент, когда весь слой загрузки фильтра оказывается насыщенным загрязнениями воды, и требуемая степень осветления воды не обеспечивается. Концентрация взвеси на выходе загрузки начинает возрастать.

Время, в течение которого достигается осветление воды до заданной степени, называется *временем защитного действия загрузки*. При его достижении либо при достижении предельной потери напора осветлительный фильтр необходимо перевести в режим взрыхляющей промывки, когда загрузка промывается обратным током воды, а загрязнения сбрасываются в дренаж.

Возможность задержания фильтром грубой взвеси зависит, в основном, от ее массы; тонкой взвеси и коллоидных частиц – от поверхностных сил. Важное значение имеет заряд взвешенных частиц, так как коллоидные частицы одноименного заряда не могут объединяться в конгломераты, укрупняться и оседать: заряд препятствует их сближению. Преодолевается это «отчуждение» частиц искусственным коагулированием. Как пра-

вило, коагулирование (иногда, дополнительно, – флокулирование) производится в отстойниках-осветлителях. Часто этот процесс совмещается с умягчением воды известкованием, или содо-известкованием, или едконатровым умягчением.

В обычных осветлительных фильтрах чаще всего наблюдается пленочное фильтрование. Объемное фильтрование организуют в двухслойных фильтрах и в так называемых контактных осветлителях. В фильтр засыпают нижний слой кварцевого песка с размером зерен 0,65–0,75 мм и верхний слой антрацита с размером зерен 1,0–1,25 мм. На верхней поверхности слоя крупных зерен антрацита пленка не образуется, взвешенные примеси проникают вглубь слоя – в поры и откладываются на поверхности зерен. Взвешенные вещества, прошедшие слой антрацита, задерживаются нижним слоем песка.

При взрыхляющей промывке фильтра слои песка и антрацита не перемешиваются, так как плотность антрацита вдвое меньше плотности кварцевого песка.

### 4.2.3. Скорость фильтрования

Скорость протекания воды через фильтрующий слой зависит от нескольких факторов: природы фильтрующего материала; характера загрязнений воды («сминаемые» частицы, например, гидроксид железа ( $\text{Fe}^{3+}$ ), или «несминаемые», например мелкие кварцевые песчинки); толщины фильтрующего слоя; температуры воды (например для песчаного фильтра установлено: при увеличении температуры воды от 20 до 60°C скорость фильтрования можно увеличить вдвое – при той же эффективности фильтрования).

Для песчаного фильтра скорость фильтрования можно вычислить по формуле:

$$v = \frac{3600 \cdot c \cdot d^2 \cdot h}{l \cdot (0,7 + 0,03 \cdot t)}, \quad (4.1)$$

где  $v$  – скорость фильтрования, м/ч;  $c$  – коэффициент, примерно равный 40;  $d$  – диаметр гранул фильтрующего песка, м;  $l$  – толщина фильтрующего слоя, м;  $h$  – потеря напора при фильтровании, м вод. ст.;  $t$  – температура воды, °C.

### 4.2.4. Условия применения

Фильтрование в осветлительных фильтрах применяется для удаления взвешенных примесей при их количестве до 100 мг/л (двухслойные фильтры) и до 50 мг/л (однослойные). Если в исходной воде значения перманганатной окисляемости больше 15 мгО/л или цветности больше 30 градусов платино-кобальтовой шкалы (двухслойные фильтры) и

окисляемости больше 8 мгО/л или цветности больше 20 градусов – (однослойные фильтры), то необходимо предварительное коагулирование. При водозаборе из открытых водоемов коагулирование сульфатом алюминия или оксихлоридом алюминия, как правило, применяется в периоды паводков или цветения воды при показателях качества исходной воды: щелочность – до 2 ммоль/л; цветность – более 30 градусов платино-кобальтовой шкалы; перманганатная окисляемость более 5 мгО/л – при последующем обессоливании ионированием или

обескремнивании, перманганатная окисляемость – более 12 мгО/л, – при последующем натрий- или водород-катионировании. При этом должны предусматриваться вспомогательные реагенты: при недостаточной (меньше 1 ммоль/л) щелочности – гидроксид натрия, карбонат и гидрокарбонат натрия, оксид кальция; при плохой коагулируемости – хлор или хлорная известь; для укрупнения хлопьев (если содержание взвешенных примесей в исходной воде не более 20 мг/л) – флокулянты.

Таблица 4.1

Технологические показатели для промышленных фильтров с однослойной загрузкой

Наименование	Показатели для фильтрующих материалов*		
	Песок кварцевый или кварц дробленый	Крошка мраморная	Антрацит или термо-антрацит дробленый, валовый
1	2	3	4
Оптимальный диаметр основной массы зерен, $d_{опт}$ , мм	0,5–1,6	0,5–1,6	0,6–1,4
Эффективный диаметр зерен, $d_{эф} = d_{10}$ , мм, не менее	0,35	0,35	0,6
Средний диаметр зерен, $d_{ср} = d_{50}$ , мм	0,7–0,8	0,7–0,8	1,2–1,3
Эквивалентный диаметр зерен, $d_{экв}$ , мм	0,7–1,2	–	1,1
Коэффициент неоднородности зерен, $d_{80}/d_{10}$ , не более	2,2	2	1,7
Плотность материала, г/см <sup>3</sup>	2,6–2,7	2,5–2,8	1,4–1,7
Плотность насыпная материала, т/м <sup>3</sup>	1,6–1,7	1,6–1,8	0,75–0,9
Пористость, %, не менее	35	34	35
Истираемость, %, не более	0,5	0,5	0,5–1,0
Измельчаемость, %, не более	4	4–5	4–5
Химическая стойкость: прирост содержания сухого остатка, мг/л, не более прирост содержания кремниесоединений, мг/л, не более прирост значения перманганатной окисляемости воды, мгО/л, не более	10–20 10 –	10–20 – –	10–20 2–3 8–10
Годовые потери материала, %, не более	10	10	10
Температура фильтруемой воды, °С, не более	100	100	100
Водородный показатель (рН) фильтруемой воды	< 9	> 8	< 9
Зольность, %, не более	–	–	10
Содержание серы, %, не более	–	–	2–3
Содержание двуоксида кремния, %, не менее	95	–	–
Содержание карбоната кальция, %, не менее	–	98	–
Высота фильтрующего слоя, м	0,7–2,0		
Высота «водяной подушки», % высоты фильтрующего слоя, м, не менее	30–60		
Расчетная скорость фильтрования, м/ч: ◆ при предварительной обработке воды в отстойниках или осветлителях: нормально форсированно ◆ при осветлении воды без предварительной обработки: нормально форсированно	8 10 5 7	8 10 5 7	8 10 5 7

**Таблица 4.1**  
Продолжение

1	2	3	4
Расчетная грязеемкость фильтрующего материала (при высоте фильтрующего слоя 1000 мм), кг/м <sup>3</sup> , не более:			
при воде, не обработанной реагентами и не прошедшей отстойники и осветлители	0,75	0,75	0,75
при воде, известкованной и коагулированной и прошедшей отстойники и осветлители	1,25	1,25	1,25
при воде, обработанной коагулянтом, но не прошедшей отстойники и осветлители	1,5	1,5	1,5
при воде, обработанной коагулянтом и прошедшей отстойники и осветлители:			
при одноступенчатом фильтровании	2,5	2,5	2,5
при двухступенчатом фильтровании для фильтров 1–й ступени	5,5	5,5	5,5
Сопротивление фильтра потоку воды перед промывкой при высоте фильтрующего слоя 1000 мм, 10 <sup>5</sup> Па, не более	1,0	1,0	1,0
Режим обратной промывки: интенсивность промывки, л/(с·м <sup>2</sup> ), не менее	12	12	12
Режим водо-воздушной промывки при температуре ≈20°C (состоит из трех последовательных операций: продувка воздухом, совместная водо-воздушная промывка, промывка водой):			
интенсивность продувки воздухом, л/(с·м <sup>2</sup> )	15–20	15–20	13–15
время продувки воздухом, мин	2–5	2–5	2–5
интенсивность подачи воздуха во время совместной водо-воздушной промывки, л/(с·м <sup>2</sup> )	15–20	15–20	13–15
интенсивность подачи воды во время совместной водо-воздушной промывки, л/(с·м <sup>2</sup> )	2,5–3	2,5–3	2,5–3
время совместной водо-воздушной промывки, мин	4–5	4–5	4–5
интенсивность подачи воды, л/(с·м <sup>2</sup> )	6–8	6–8	6–8
время промывки водой, мин	5–8	5–8	5–8
Режим промывки в отсутствие воздуха (промывка предусматривается фильтрованной, или водопроводной, или осветленной после отстойников-осветлителей водой):			
интенсивность промывки, л/(с·м <sup>2</sup> ), не менее	12–16	12–16	12–16
время промывки, мин, не менее	20	20	20
Расширение фильтрующего слоя, %	30–50		
Напор воды, необходимый для промывки фильтров, при высоте фильтрующего слоя 1000 мм, 10 <sup>5</sup> Па, не менее	1,0	1,0	1,0
Напор воздуха, необходимый для продувки фильтра, 10 <sup>5</sup> Па, не менее	0,1 + 2 высоты столба воды в фильтре		
То же, 10 <sup>5</sup> Па, не более	1,0	1,0	1,0

\* Применяются и некоторые другие фильтрующие материалы (см.: ч. 2, «Фильтрующие зернистые материалы для осветления и собции воды»).



Примечания к табл. 4.1

1. Эквивалентный диаметр зерен

$$d_{\text{эКВ}} = 100 / \sum (P / d_{\text{ср}}), \quad (4.2.)$$

где  $P$  – процентное содержание фракции со средним диаметром зерен  $d_{\text{ср}}$ , мм;  $d_{\text{эКВ}} = 100 / (P_1 / d_1 + P_2 / d_2 + \dots + P_n / d_n)$ ; ( $d_1, d_2, \dots, d_n$  соответствуют  $d_{\text{ср}}$  фракций, доли которых:  $P_1, P_2, \dots, P_n$ ).

2.  $d_{10}, d_{50}, d_{80}$  – диаметр зерен (мм), соответствующий 10-, 50-, 80%-ному калибру материала.

3. Зерна дробленого антрацита должны иметь кубо- или шарообразную форму. Применение антрацита слоистого строения не допускается.

4. Для загрузки фильтров водоподготовительных станций систем холодного и горячего хозяйственно-питьевого водоснабжения следует применять материалы, удовлетворяющие требованиям Минздрава России (см. табл. 2.1, п. 66).

5. При двухслойной загрузке нижний слой – песок, верхний – антрацит.

6. Антрацит может использоваться при любой схеме водоподготовки. Кварцевый песок может применяться при любых схемах, кроме – использующих методы магнетиального обескремнивания и деминерализации ионированием. Мраморная крошка может использоваться при предшествующем известковании и стабилизации воды. Рекомендуется также применять дробленый керамзит с зернами диаметром 0,8–1,2 мм; по сравнению с песком керамзит менее плотен – 1,69 т/м<sup>3</sup> вместо 2,65 т/м<sup>3</sup> для песка – и дешевле по сравнению с антрацитом; грязеемкость керамзита в два раза больше грязеемкости песка.

При использовании в качестве фильтрующего материала гидроантрацита А, по данным ОАО «Фирма ОРГРЭС», технологические показатели осветлительных фильтров:

скорость фильтрования, м/ч:

при зернистости антрацита 0,6–1,6 мм – около 30;

при зернистости антрацита 0,8–2,0 мм – около 40.

Режим взрыхления (обратной промывки):

взрыхление водой в течение 3–5 мин;

дренирование воды из фильтра до уровня 50–100 мм выше верхней поверхности фильтрующей загрузки;

взрыхление воздухом в течение 3–5 мин;

сброс первых порций фильтрата в дренаж.

## 4.3. Натрий-катионирование

### 4.3.1. Сущность метода

Самый распространенный метод умягчения воды – натрий-катионирование. Метод основан на способности ионообменных материалов обменивать на ионы кальция и магния ионы других веществ, не образующих накипь на теплонапряженной поверхности (трубные экраны котлов, теплообменники, поверхности жаротрубных котлов). Веществ таких немало, но в связи с доступностью и относительной дешевизной хлорида натрия именно он был выбран в качестве реагента для регенерации катионита.

Таблица 4.2

Фильтры с двухслойной загрузкой

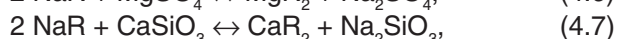
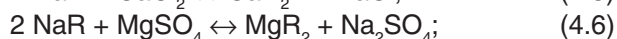
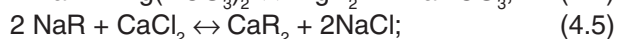
Фильтрующий материал	Гранулометрический состав загрузки				Кoeffициент неоднородности зерен	Высота слоя, мм
	Диаметр зерен, мм					
	минимальный	максимальный	эквивалентный			
Кварцевый песок	0,5	1,25	0,8	2	500	
Антрацит, валовый	0,6	1,4	1,1	1,7	500	

Примечание к табл. 4.2.

Другие показатели (для фильтров с однослойной загрузкой) – в табл. 4.1.

Кроме того, продукты регенерации –  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$  – хорошо растворимы в воде, в отличие, например, от  $\text{CaCO}_3$  (регенерация карбонатом натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) или  $\text{CaSO}_4$  (регенерация сульфатом натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )).

Реакции обмена ионами (R – комплекс катионита, упрощенно называемый анионитной частью катионита):



Уравнения реакций с солями  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$  и  $\text{MgSiO}_3$  аналогичны уравнениям (4.5), (4.6), (4.7) соответственно.

Замена ионов кальция и магния ионом натрия гарантирует отсутствие накипеобразований на греющих поверхностях котлов и теплообменников.

По мере пропускания воды через слой катионита количество ионов натрия, способных к обмену, уменьшается, а количество ионов кальция и магния, задержанных на смоле, возрастает, то есть катионит «истощается». Тогда его следует регенерировать – пропустить через слой катионита раствор хлорида натрия, и обменная способность катионита восстанавливается.

Процессы ионного обмена обратимы. Поэтому если в воде ионов натрия становится все больше и больше по сравнению с количеством ионов кальция и магния, то процесс поглощения ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  замедляется, то есть все больше сдвигается в левую сторону реакций (4.3)–(4.7) и может быть изображен так:



Ионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  названы *противоионами*.

Это свойство катионитов имеет два следствия.

*Первое.* При увеличении минерализации обрабатываемой воды (увеличение идет, в основном, за счет увеличения содержания в воде натрия и в гораздо меньшей степени – калия) получение глубокоумягченной воды традиционным натрий-катионированием – даже двухступенчатым – становится все более проблематичным. Числовое выражение этого явления приведено в табл. 4.4.

*Второе.* Обеспечивается возможность регенерации катионита 5–10%-ным раствором хлорида натрия. Концентрация иона натрия в растворе при этом заведомо и намного больше концентрации ионов кальция и магния в катионите.

### 4.3.2. Особенности натрий-катионирования и регенерации катионита

В то же время улучшать эффективность регенерации путем увеличения концентрации регенерирующего раствора можно до определенного предела, диктуемого экономическими соображениями, которые вынуждают ограничиваться некоторым расходом раствора, то есть уменьшать объем раствора при увеличении концентрации натрия хлорида.

Это, в свою очередь, уменьшает эффективность регенерации, так как вытесненные из катионита ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  распределяются в меньшем объеме регенерационного раствора, концентрация их увеличивается, и в качестве противоионов они в таких условиях более действенны.

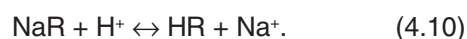
Одновременно уменьшение объема раствора регенеранта снижает полноту регенерации, так как уменьшение количества этого раствора снижает его обмен в пространстве между зернами катионита – желательна трехкратная смена жидкости в этом пространстве.

Для компенсации описанного недостатка рекомендуется двухступенчатая регенерация: сначала разбавленным (2–3%-ным), затем более концентрированным (10–12%-ным) раствором хлорида натрия. Аналог такого способа регенерации – двухступенчатое натрий-катионирование. В фильтре второй ступени противоионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  очень мало, и они хорошо вытесняются концентрированным раствором  $\text{NaCl}$ .

Скорость фильтрования регенерационного раствора при ограниченном его расходе всегда меньше скорости фильтрования умягчаемой воды. Для того чтобы диффузия ионов  $\text{Na}^+$  внутрь зерна катионита и ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  из зерна в раствор осуществлялась в достаточной мере, нужно время – не менее 15 мин. Этим и определяется максимальная скорость фильтрования регенерационного раствора через слой катионита – 4–6 м/ч (условно принимается, что фильтр пустой).

Температура, как и в большинстве химических процессов, интенсифицирует диффузию ионов, и поэтому там, где возможно, производится нагревание умягчаемой воды и регенерационного раствора хотя бы до 35–40°C.

Значение водородного показателя (pH) умягчаемой воды существенно влияет на обменную емкость катионита в натриевой форме. Чем ниже pH (чем больше в воде ионов  $\text{H}^+$ ), тем больше ионов  $\text{H}^+$  участвуют в обмене с ионами  $\text{Na}^+$ :



Ионы водорода обладают несколько большим, чем ионы натрия (см. лиотропный ряд в ч. 2, п. 4.3.8), сродством к катиониту, поэтому поглощенные катионитом ионы  $H^+$  плохо вытесняются ионами  $Na^+$ , то есть «законные» места ионов  $Na^+$  заняты ионами  $H^+$ . Значит, обменная емкость катионита по ионам  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  снижается. Как правило, при натрий-катионировании значение pH должно быть не менее 6,5 и не более 10,0 (во избежание разрушения катионита).

Технологические свойства ионитов описаны также в ч. 2.

### 4.3.3. Критерии применимости метода

Пределы применения натрий-катионирования для подготовки добавочной воды паровых котлов и других энергетических объектов зависят, с одной стороны, от необходимости предотвратить преждевременное прекращение или ухудшение работы катионита, а с другой – от технических особенностей конструкции котлов. Предусматривается оценка пяти критериев.

#### Карбонатная жесткость исходной воды

Карбонатная жесткость исходной воды при натрий-катионировании и последующей атмосферной термической деаэрации может принимать следующие значения:

- для паровых котлов и закрытых систем теплоснабжения – практически любое (растворимость солей карбонатной жесткости такова, что в реальных условиях значение карбонатной жесткости поверхностной воды больше 7 ммоль/л не бывает; карбонатная жесткость подземной (артезианской) воды при попадании ее на поверхность также уменьшается до значений не больше 7 ммоль/л);

- для открытых систем теплоснабжения и систем горячего водоснабжения – не более 4 ммоль/л.

В случае необходимости уменьшения карбонатной жесткости схема аммоний-натрий-катионирования или натрий-катионирования-подкисления может оказаться экономичнее схемы водород-катионирования с «голодной» регенерацией.

При вакуумной термической деаэрации, то есть при температуре 65–70°C гидрокарбонат натрия не разлагается, и водородный показатель (pH) воды не увеличивается. Однако это свойство вакуумной деаэрации не может служить основанием для увеличения предела значений карбонатной жесткости (больше 4 ммоль/л), так как разложение гидрокарбоната натрия происходит в водогрейном котле, а по нормам качество подпиточной и сетевой воды должно быть одним и тем же.

Когда нагрев воды предусматривается в теплообменниках до температуры 65–70°C, натрий-

катионирование с вакуумной термической деаэрацией может быть применено при любом значении карбонатной жесткости исходной воды.

#### Относительная щелочность котловой воды

Одной из причин аварий парового котла могут быть трещины барабана котла, вызванные межкристаллитной коррозией металла под влиянием щелочной котловой воды. Данные ВТИ, НПО ЦКТИ, других организаций показали, что такое разрушение металла барабана возможно только при одновременном наличии трех факторов:

- местные растягивающие механические напряжения, близкие или несколько превышающие предел текучести, то есть напряжения, близкие 2,5 МН/мм<sup>2</sup>;

- неплотности в сочленениях элементов барабана (вальцовочные или, особенно, клепаные соединения), где может происходить глубокое упаривание котловой воды. Образующаяся под влиянием коррозионных агентов пленка окислов железа на поверхности металла защищает его от развития коррозии. При попадании в щель клепаного соединения котловой воды последняя испаряется, при этом гидроксид натрия, испаряющийся хуже воды, накапливается и при концентрации больше 10% начинает растворять пленку окислов – коррозия развивается. Учитывать этот процесс нужно при температуре более 200°C, но ощутимым он становится при температуре более 300°C, поэтому, когда котел эксплуатируется с давлением меньшим, чем паспортное (например, 0,6–0,7 МПа вместо 1,4 МПа), вероятность возникновения коррозии уменьшается;

- неблагоприятное сочетание веществ в котловой воде, в которой отсутствуют необходимые защитные концентрации ингибиторов этого вида коррозии. В качестве ингибиторов могут выступать натриевые соли: сульфаты, карбонаты, фосфаты, нитраты, сульфитцеллюлозный щелок.

Коррозионные трещины не развиваются, если соблюдается отношение:

$$\frac{([Na_2SO_4] + [Na_2CO_3] + [Na_3PO_4] + [NaNO_3])}{[NaOH]} \geq 5, \quad (4.11)$$

где  $[Na_2SO_4]$ ,  $[Na_2CO_3]$ ,  $[Na_3PO_4]$ ,  $[NaNO_3]$ ,  $[NaOH]$  – содержание сульфата натрия, карбоната натрия, ортофосфата натрия, нитрата натрия и гидроксида натрия, мг/кг. NaCl в данных условиях – не ингибитор коррозии.

В изготавливаемых в настоящее время котлах, по крайней мере, одно из указанных условий возникновения коррозии отсутствует.

По зарубежным данным («Nalco», США), наличие в котловой воде ощутимого количества диоксида кремния также может усиливать межкристаллитную щелочную коррозию в барабане котла.

В котельных традиционно контролируют в котловой воде значения общей минерализации, а не содержания отдельных солей. Вероятно, по этой причине было введено нормирование не по указанному отношению (4.11), а по значению относительной щелочности котловой воды

$$\text{Щ}_{\text{отн}}^{\text{кв}} = \text{Щ}_{\text{отн}}^{\text{об}} = \text{Щ}_{\text{об}} \cdot 40 \cdot 100 / S_{\text{об}} \leq 20, \quad (4.12)$$

где  $\text{Щ}_{\text{отн}}^{\text{кв}}$  – относительная щелочность котловой воды, %;  $\text{Щ}_{\text{отн}}^{\text{об}}$  – относительная щелочность обработанной (добавочной) воды, %;  $\text{Щ}_{\text{об}}$  – общая щелочность обработанной (добавочной) воды, ммоль/л;  $S_{\text{об}}$  – минерализация обработанной (добавочной) воды, мг/л (в том числе – содержание хлоридов).

Общая щелочность обработанной (добавочной) воды может быть принята равной, ммоль/л:

- после натрий-катионирования – общей щелочности исходной воды;
- после водород-натрий-катионирования параллельного – (0,3–0,4) или последовательного с «голодной» регенерацией водород-катионитного фильтра – (0,5–0,7);
- после водород-натрий-катионирования совместного – (0,7–1,2);
- после натрий-катионирования с подкислением и натрий-хлор-ионирования – (0,5–1,0);
- после аммоний-натрий-катионирования – (0,5–0,7);
- после известкования при 30–40°C – (0,35–1);
- после коагулирования –  $(\text{Щ}_{\text{исх}} - D_{\text{к}})$ , где  $\text{Щ}_{\text{исх}}$  – общая щелочность исходной воды, ммоль/л;  $D_{\text{к}}$  – доза коагулянта, ммоль/л;
- после содоизвесткования при 30–40°C – (1–1,5);
- то же при 60–70°C – (1–1,2).

Значения относительной щелочности котловой воды по нормам Госгортехнадзора России (табл. 2.4, п. 19) принимаются:

- для котлов с клепаными барабанами – не более 20%;
- для котлов со сварными барабанами и вальцованными в них трубами – не более 50%;
- для котлов со сварными барабанами и приваренными к ним трубами – любое значение относительной щелочности.

Если в некоторых случаях значение относительной щелочности котловой воды при натрий-катионировании окажется больше 50%, то схема натрий-катионирование-нитратирование для большинства объектов предпочтительнее схем, позволяющих уменьшить относительную щелочность.

По нормам Госгортехнадзора России  $\text{Щ}_{\text{отн}}^{\text{кв}}$  – один из критериев безопасной работы котлов. Рекомендуется также проверять не только значение  $\text{Щ}_{\text{отн}}^{\text{кв}}$ , но и критерий потенциальной щелочной агрессивности котловой воды

$$K_{\text{щ}} = (S_{\text{об}} - [\text{Cl}]) / 40 \cdot \text{Щ}_{\text{об}}, \quad (4.13)$$

где Cl – содержание хлоридов в обработанной (добавочной) воде, мг/л;  $S_{\text{об}}$  – минерализация обработанной (добавочной) воды, мг/л (в том числе – содержание хлоридов);  $\text{Щ}_{\text{об}}$  – общая щелочность обработанной (добавочной) воды, ммоль/л;

Значения  $K_{\text{щ}}$  можно принимать:

- для котлов с клепаными барабанами давлением более 0,8 МПа  $\geq 5$ ;
- для котлов со сварными барабанами и вальцованными в них трубами давлением более 1,4 МПа  $\geq 2$ ;
- для котлов со сварными барабанами и приваренными к ним трубами, а также для котлов со сварными барабанами и вальцованными в них трубами давлением до 1,4 МПа и котлов с клепаными барабанами давлением до 0,8 МПа – не нормировать.

#### Оксид (IV) углерода (углекислый газ) в паре котлов

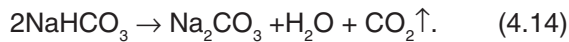
Содержание свободного  $\text{CO}_2$  в паре промышленных котлов с пароперегревателем ГОСТ 20995-75\*\*\*\* допускается до 20 мг/кг. При наличии в системе подготовки добавочной воды промышленных и отопительных котельных фазы предварительного известкования или содоизвесткования и наличии одной из фаз водоподготовки (натрий-катионирования или аммоний-натрий-катионирования), а также при значениях карбонатной жесткости исходной воды более 3,5 ммоль/л допускается повышение верхнего предела значения pH до 10,5.

При эксплуатации вакуумных деаэраторов возможно снижение нижнего предела значения pH до 7,0.

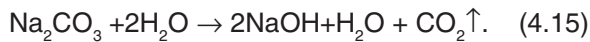
Для предотвращения углекислотной коррозии пароконденсатного тракта необходимо уменьшать содержание  $\text{CO}_2$  в паре. Общее содержание диоксида углерода в паре определяется наличием в питательной воде свободного  $\text{CO}_2$  и значением щелочности исходной воды. При натрий-катионировании все вещества, определяющие щелочность исходной воды, превращаются в гидрокарбонат натрия, который затем при нагревании и достаточно длительном барботаже разлагается в деаэраторе.

Ранее изготавливались деаэраторы с барботажом в баке типа ДСА, где часть гидрокарбонатов

(около 60% при начальной щелочности больше 1 ммоль/л и около 40% при щелочности около 1 ммоль/л) разлагалась с образованием карбоната натрия и диоксида углерода:



При этом вследствие гидролиза карбоната натрия водородный показатель (рН) воды увеличивается:



Процесс по первой реакции зависит от температуры воды и длительности кипячения, наличия или отсутствия барботажа в баке. В настоящее время изготавливаются атмосферные термические деаэраторы без барботажа в баке типа ДА (с барботажем в колонке). Сведений о степени разложения натрия гидрокарбоната в этих деаэраторах нет, поэтому здесь условно принято, что на барботажной тарелке в колонке деаэратора гидрокарбонаты не разлагаются: время пребывания воды на тарелке равно для разных деаэраторов 0,03–0,2 мин, в деаэраторах типа ДСА время пребывания воды в баке с барботажем – 15 мин. Принято, что в деаэраторах типа ДА удаляется только свободный углерод (IV) оксид, а связанный – не удаляется.

Применение деаэраторов без барботажа в баке типа ДА приводит к тому, что диоксида углерода из деаэратора удаляется меньше и, соответственно, увеличивается содержание диоксида углерода в паре котлов:

$$[\text{CO}_2] = 22 \cdot \text{Щ}_{\text{об}} \cdot \alpha_{\text{об}} \cdot (1 + \sigma), \quad (4.16)$$

где  $[\text{CO}_2]$  – содержание диоксида углерода в паре, мг/кг;  $\text{Щ}_{\text{об}}$  – щелочность обработанной (добавочной) воды, ммоль/л;  $\alpha_{\text{об}}$  – количество обработанной (добавочной) воды в составе питательной воды, доли единицы;  $\sigma$  – степень разложения натрия карбоната в котле, доли единицы; 1 – значение, учитывающее, что весь натрия гидрокарбонат разлагается в котле (не в деаэраторе).

В табл. 4.3 представлена степень разложения карбоната натрия в котле в зависимости от давления.

Таблица 4.3

Давление, МПа	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Степень разложения ( $\alpha$ ), доли единицы	0,6	0,72	0,8	0,88	0,9	0,93	0,95

При большом значении диоксида углерода в паре еще важнее (для уменьшения коррозии конденсатопроводов) становится рекомендация осуществлять вентиляцию паровых объемов теплообменников.

#### Продувка котла и сепарация котла

В производственно-отопительных котельных, как правило, используются паровые котлы давлением до 1,4 МПа с небольшим водяным объемом без пароперегревателей, работающие на питательной воде – смеси добавочной воды и конденсата. Во время работы таких котлов быстро возрастает концентрация солей в котловой воде. Время достижения заданной минерализации котловой воды определяется выражением:

$$\tau = V / G_1 \cdot 2,3 \cdot \lg (D \cdot C_{\text{пв}} / (G \cdot C_{\text{пв}} - G_1 \cdot C_{\text{к}})), \quad (4.17)$$

где  $\tau$  – время достижения определенной минерализации котловой воды, ч;  $V$  – масса воды в котле, кг;  $G, G_1$  – расход, соответственно, питательной и котловой (продувочной) воды, л/ч;  $D$  – расход пара, кг/ч,  $D = G - G_1$ ;  $C_{\text{пв}}, C_{\text{к}}$  – минерализация, соответственно, питательной и котловой (продувочной) воды, мг/л.

Если продувка не предусматривается, то

$$\tau = V \cdot (C_{\text{к}} - C_{\text{пв}}) / (C_{\text{пв}} - D). \quad (4.18)$$

При достижении определенной критической минерализации и эквивалентного ей значения щелочности котловой воды происходит скачкообразное увеличение влажности (солесодержания) пара, то есть продувка котла в таких условиях производится через продувочный трубопровод и паропровод. ГОСТ 20995-75\*\*\*\* ограничивает влажность пара для котлов без пароперегревателей значением 1%. Это значит, что солесодержание пара не должно быть больше 1% минерализации котловой воды.

Солесодержание пара при прочих равных условиях (нагрузка котла, уровень воды в барабане котла, давление в котле) зависит от минерализации котловой воды. Для котлов давлением до 7 МПа все соли, уносимые паром, сосредоточены в каплях воды, поэтому солесодержание пара при таких давлениях находится в прямой зависимости от влажности пара. Из этого следует: для уменьшения солесодержания (влажности) пара необходимо уменьшить минерализацию котловой воды – увеличить продувку.

Из-за стремления уменьшить металлоемкость и сложность изготовления котла, а также потому, что экономические показатели при производстве кот-



лов не зависят от значения продувки, котлостроительные предприятия устанавливают предельную минерализацию продувочной воды котлов типов ДЕ, КЕ, Е, ДКВр (без пароперегревателя) равным не более 3000 мг/л (для котлов без ступенчатого испарения) и не более 4500 мг/л (для котлов с двухступенчатым испарением), причем количество изготавливаемых котлов с двухступенчатым испарением незначительно.

Для этих котлов с пароперегревателями и без ступенчатого испарения устанавливается значение минерализации продувочной воды не более 2000 мг/л. Для обеспечения указанных значений минерализации котловой воды в барабанах котлов предусматриваются простейшие малоэффективные паросепарационные устройства, хотя известны и десятилетия успешно работают паросепарационные устройства, обеспечивающие влажность пара до 0,02% при минерализации продувочной воды до  $8 \cdot 10^3$  мг/л – для внутрибарабанных устройств и до  $(18-20) \cdot 10^3$  мг/л – для внебарабанных устройств.

Потребители часто используют пар давлением меньшим номинального давления пара в котле, в таких случаях пар в котельных приходится дросселировать или поддерживать в котле пониженное давление. В первом случае большая влажность пара – большое (1%  $\equiv$  (30–45) мг/кг) солесодержание – в процессе дросселирования приводит к солевому заносу арматуры. Во втором случае генерируется пар худшего качества из-за увеличенного удельного объема пара и, как следствие, увеличенных скоростей в элементах паросепарационных устройств.

СНиП II-35-76\*\*, наряду с регламентацией числовых значений продувки котлов, допускают количество продувки больше указанных значений, если такое увеличение будет обосновано технико-экономическим расчетом. Такой расчет всегда показывает, что осуществление увеличенной продувки экономичнее введения схем и устройств, позволяющих уменьшить продувку (например, деминерализация ионированием). Следовательно, отказ от натрий-катионирования только из-за продувки – большей, чем указано в СНиП II-35-76\*\* – неправомерен.

Для продувки должны быть введены ограничения, зависящие от конструкции котла. По условиям надежности циркуляции воды в котле наибольшее значение продувки для котлов типов ДЕ, КЕ, ДКВр, как правило, может быть принято 30–35%, а для котлов типа Е – 10–12%.

Конечно, требуется подтверждение котлостроительного предприятия или организации, имеющей соответствующую лицензию на такого рода заключения.

Для некоторых паровых котлов с большим значением плотности теплового потока через поверхности нагрева вводится (из-за опасности железонакипных отложений) наименьшее значение продувки. Наибольшие (по надежности циркуляции) и наименьшие значения продувки должны приниматься по техническим условиям и паспорту котла.

Продувку можно уменьшить способами, не требующими таких затрат, как способы водоподготовки, снижающие минерализацию обработанной воды. Простой способ уменьшения продувки – ввод в котел пеногасителей.

Большой эффект дает реконструкция паросепарационных устройств.

#### Количество и качество сточных вод

Наиболее простой из всех ионообменных методов – натрий-катионирование, но при его осуществлении возникают минерализованные сточные воды, сброс которых в канализацию и природные водоемы ограничен. Способы очистки таких сточных вод сложны, дороги, и на большинстве объектов сточные воды сбрасываются в канализацию без очистки.

#### 4.3.4. Допустимое качество исходной воды

Для уменьшения загрязнения катионита качество исходной воды перед катионитным фильтром должно быть в пределах норм, не более:

- содержание взвешенных примесей – 8 мг/л;
  - цветность – 30 градусов платино-кобальтовой шкалы;
  - содержание железа – 0,3 мг/л;
  - окисляемость перманганатная – 5 мгО/л.
- См. также ч. 2, п. 4.3.10.

#### 4.3.5. Жесткость воды после натрий-катионирования

С помощью параллельноточного натрий-катионирования общую жесткость исходной воды можно уменьшить до пределов, указанных в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Наименование	Минерализация исходной воды, мг/л				
	≤200	200-500	500-800	800-1200	>1200
Жесткость общая воды после натрий-катионитных фильтров:	10	20	30	50	>50
I ступени, мкмоль/л	10	20	30	50	>50
II ступени, мкмоль/л	2–4	5	10	20–30	>30



Для достижения нормативных значений жесткости обработанной воды при значениях минерализации исходной воды больше указанных могут быть предусмотрены способы (отдельно или в сочетании друг с другом): противоточное фильтрование, трехступенчатое натрий-катионирование, нагрев обрабатываемой воды и регенерационного раствора реагента до температуры, допускаемой конструкцией фильтра и фильтрующим материалом, магнитная обработка воды перед натрий-катионированием, применение катионитов большой обменной емкости.

#### 4.3.6. Объем катионита в фильтре

Объем катионита в фильтре нужно определять по формуле:

$$W_k = 24 \cdot q_y \cdot J_o^{исх} / n_p \cdot E_{раб}^{Na}, \text{ м}^3, \quad (4.19)$$

где  $q_y$  – расход умягченной воды, м<sup>3</sup>/ч;  $J_o^{исх}$  – общая жесткость исходной воды, моль/м<sup>3</sup>;  $E_{раб}^{Na}$  – рабочая обменная емкость катионита при натрий-катионировании, моль/м<sup>3</sup>;  $n_p$  – количество регенераций фильтра в сутки, принимаемое при ручном управлении – от одной до трех в сутки, при автоматизированном управлении – по технической документации производителя оборудования;

$$E_{раб}^{Na} = \alpha_{Na} \cdot \beta_{Na} \cdot E_{полн} - 0,5 \cdot q_{уд} \cdot J_o^{исх}, \quad (4.20)$$

где  $\alpha_{Na}$  – коэффициент эффективности регенерации натрий-катионита, учитывающий неполноту регенерации катионита и принимаемый по соотношениям (при параллельноточном катионировании):

Удельный расход натрия хлорида на регенерацию катионита, г/моль	100	150	200	250	300
Коэффициент эффективности регенерации катионита $\alpha_{Na}$	0,62	0,74	0,81	0,86	0,90

$\beta_{Na}$  – коэффициент, учитывающий уменьшение обменной емкости катионита по  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  вследствие частичного задержания катионов  $Na^+$ , принимаемый по соотношениям:

$C_{Na}^2 / J_o^{исх}$	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	5,0	10,0
$\beta_{Na}$	0,93	0,88	0,83	0,70	0,65	0,54	0,50

Здесь  $C_{Na}$  – концентрация натрия в исходной воде (моль/м<sup>3</sup>), то есть  $C_{Na} = [Na^+]/23$ ;  $[Na^+]$  – концен-

трация ионов натрия, мг/л;  $E_{полн}$  – полная динамическая емкость катионита (моль/м<sup>3</sup>), определяемая по паспортным данным производителя катионита;  $q_{уд}$  – удельный расход воды на отмывку катионита (м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> катионита), принимаемый по паспортным данным производителя.

При параллельноточном натрий-катионировании скорость фильтрования через слой катионита напорного фильтра при нормальном режиме принимается в зависимости от общей жесткости  $J_o^{исх}$ : до 5 ммоль/л – 25 м/ч; 5–10 ммоль/л – 15 м/ч; 10–15 ммоль/л – 10 м/ч.

При выключении одного фильтра на регенерацию в других фильтрах допускается кратковременное увеличение скорости фильтрования на 10 м/ч.

При противоточном натрий-катионировании скорость фильтрования воды через слой катионита можно увеличивать до 35–40 м/ч, то есть при прочих равных условиях производительность противоточного фильтра больше, чем у параллельноточного фильтра, на 50–100%.

#### 4.3.7. Расход хлорида натрия для регенерации катионита

Расход хлорида натрия для одной регенерации фильтра I ступени определяется по формуле:

$$P_c = f_k \cdot H_k \cdot E_{раб}^{Na} \cdot Q_c / 1000, \text{ кг/рег.}, \quad (4.21)$$

где  $f_k$  – площадь фильтрования фильтра, м<sup>2</sup>;  $H_k$  – высота слоя катионита в фильтре, м;  $E_{раб}^{Na}$  – рабочая обменная емкость катионита, моль/м<sup>3</sup>;  $Q_c$  – удельный расход хлорида натрия на 1 моль обменной емкости катионита, г/моль, принимается по паспортным данным производителя катионита, обычно (в зависимости от жесткости исходной воды): 100–300 г/моль – для фильтров I ступени, 300–400 – для фильтров II ступени, 90–130 – для противоточных фильтров.

#### 4.3.8. Качество воды после натрий-катионирования

**Жесткость.** После прямоточного (параллельноточного) натрий-катионирования общая жесткость исходной воды в зависимости от минерализации исходной воды может быть уменьшена до пределов, указанных в табл. 4.4.

При противоточном одноступенчатом натрий-катионировании можно достигнуть такого же уменьшения жесткости, как и при двухступенчатом прямоточном натрий-катионировании (см. ч. 2).

**Щелочность** воды и водородный показатель (рН) в среднем на протяжении цикла фильтрова-

ния не изменяются, оставаясь равными первоначальным значениям.

**Минерализация** после натрий-катионирования увеличивается вследствие того, что эквивалентная масса иона натрия несколько больше эквивалентных масс ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Увеличение происходит на значение

$$\Delta M = 0,148 \cdot [\text{Ca}^{2+}] + 0,891 \cdot [\text{Mg}^{2+}], \quad (4.22)$$

что следует из уравнения:

$$\Delta M = (\text{Ca}^{2+}/20,04) \cdot 23 + (\text{Mg}^{2+}/12,16) \cdot 23, \quad (4.23)$$

где  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  – ионы кальция и магния; 20,04; 12,16 – эквивалентная масса ионов кальция и магния соответственно, мг/ммоль (мг/экв); 23 – эквивалентная масса иона натрия, мг/ммоль (мг/экв).

Если учитывать наличие в воде ионов калия, то эквивалентную массу суммы ионов натрия и калия следует принимать условно равной 25.

### 4.3.9. Объем умягченной воды

в фильтре за один цикл, м<sup>3</sup>:

$$Q = (E_{\text{раб}}^{\text{Na}} \cdot W_{\text{к}}) / J_{\text{о}}^{\text{исх}}, \quad (4.24)$$

( $E_{\text{раб}}^{\text{Na}}$  – рабочая обменная емкость катионита, моль/м<sup>3</sup>; другие обозначения см. выше).

## 4.4. Натрий-хлор-ионирование

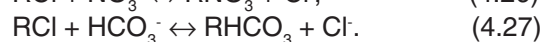
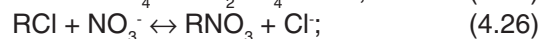
### 4.4.1. Сущность метода

Метод применяется, когда нужно уменьшить общую жесткость, общую щелочность и минерализацию исходной воды, увеличить критерий потенциальной щелочной агрессивности (уменьшить относительную щелочность) котловой воды, уменьшить диоксид углерода в паре и значение продувки паровых котлов – путем фильтрования последовательно через слой натрий-катионита в одном фильтре и через слои: сначала – хлор-анионита и затем – натрий-катионита в другом фильтре.

При регенерации катионита применяется раствор хлорида натрия, и, в отличие от натрий-катионирования, здесь «используются» ионы и  $\text{Na}^+$ , и  $\text{Cl}^-$ .

В первом натрий-катионитном фильтре протекают реакции (4.3)–(4.7), то есть происходит умягчение воды.

В слое анионита (верхний слой второго фильтра) – такие реакции:



Поскольку снижение щелочности (поглощение ионов) обычно не требуется в большой степени, то предусматривают работу хлор-анионитного фильтра с проскоком ионов в фильтрат: щелочность уменьшается в среднем до 1–2 ммоль/л (фильтр отключают на регенерацию при щелочности 1,5–3 ммоль/л).

Второй слой натрий-катионита (под хлор-анионитом) поглощает оставшуюся после первой ступени натрий-катионирования часть ионов жесткости.

### 4.4.2. Пределы применения метода:

отношение значения гидрокарбонатной щелочности к сумме значений сульфатов, нитратов и нитритов  $\geq 1$ ;

содержание анионов сильных кислот (кроме хлор-иона)  $\leq 2$  ммоль/л;

содержание железа ( $\text{Fe}$ )  $\leq 0,1$  мг/л;

значение перманганатной окисляемости  $\leq 5$  мг О/л.

### 4.4.3. Качество воды после натрий-хлор-ионирования

Натрий-хлор-ионированием можно достигнуть умягчения воды до такой же степени, как при двухступенчатом натрий-катионировании, то есть жесткости воды до 0,01 ммоль/л, щелочности – до 0,2–0,3 ммоль/л. Обычно достаточно уменьшения щелочности до 1,0–1,5 ммоль/л.

### 4.4.4. Обменная емкость ионита и расход регенеранта

В этом методе хлор-анионирование осуществляется в фильтре, где первым по ходу воды загружен слой сильноосновного анионита, а второй слой – натрий-катионит. Для сильноосновного анионита принимается рабочая обменная емкость по иону  $\text{HCO}_3^-$  – 280–300 моль/м<sup>3</sup>, общая рабочая обменная емкость по ионам  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  ( $\text{Cl}^-$  не включается в расчет) – 1200–1400 моль/м<sup>3</sup>.

Расход хлорида натрия на регенерацию анионита – 65–75 кг/м<sup>3</sup> анионита. Этого достаточно для регенерации и натрий-катионита в смешанном фильтре.

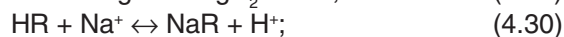
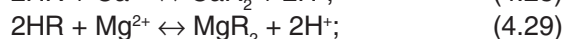
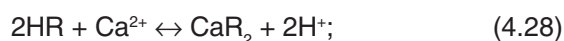
## 4.5. Водород-натрий-катионирование

Водород-натрий-катионирование (совместное, параллельное или последовательное с нормальной или «голодной» регенерацией водород-катио-

нитных фильтров) – для уменьшения общей жесткости, общей щелочности и минерализации воды, а также увеличения критерия потенциальной щелочной агрессивности котловой воды, уменьшения содержания углекислоты в паре и уменьшения продувки котлов.

#### 4.5.1. Сущность метода

При водород-катионировании обменные ионы – катионы водорода  $H^+$ . По лиотропному ряду (ряду сродства ионов к ионитам) водород стоит перед кальцием, магнием, железом, натрием, калием и др. Поэтому при фильтровании воды через слой катионита, «заряженный» ионами  $H^+$ , катионит сорбирует из воды все содержащиеся в ней катионы, и в воду переходит эквивалентное количество ионов водорода. Кроме того, происходит разрушение бикарбонатов, определяющих карбонатную жесткость (щелочность) воды с образованием диоксида углерода. Процесс водород-катионирования описывается реакциями:



При  $H$ -катионировании воды значительно снижается ее pH из-за кислот, образующихся в фильтрате. Если удалить образовавшийся диоксид углерода дегазацией, то в растворе останутся минеральные кислоты в количествах, эквивалентных содержанию хлоридов, сульфатов, нитратов в исходной воде.

Наряду с умягчением воды – уменьшением жесткости воды – уменьшается минерализация: часть ее в виде  $CO_2$  уходит, часть – превращается в воду.

Согласно лиотропному ряду сначала по ходу движения воды ионы  $H^+$  из катионита вытесняют ионы  $Na^+$ , затем ранее сорбированные ионы  $Na^+$  вытесняются более «сильными» ионами кальция и магния. Таким образом, истощение ионита происходит послойно: сверху (по ходу движения воды в прямоточных фильтрах) образуется зона поглощения  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , под нею – зона поглощения  $Na^+$ . И обе зоны одна за другой передвигаются по направлению к нижней границе слоя катионита.

В работе фильтра можно отметить два основных периода.

*Первый период.* Полное поглощение всех катионов (при достаточной высоте слоя катионита), фильтрат мягкий (ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  задержаны), кислотность равна сумме всех катионов минус зна-

чение разрушенного аниона  $HCO_3^-$  или, что то же самое по численному значению, сумме всех анионов минус значение  $HCO_3^-$ .

*Второй период.* Когда зона поглощения натрия достигает нижней границы слоя катионита, начинается и все более увеличивается проскок ионов  $Na^+$  в фильтрат, и концентрация его в фильтрате возрастает до значения, равного его количеству в исходной воде. В этот момент катионит прекращает поглощение ионов  $Na^+$  и задерживает только ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  (если есть достаточное количество, то и  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$  и др.).

После этого количество ионов  $Na^+$  в фильтрате возрастает по сравнению с его количеством в исходной воде, так как ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  вытесняют из катионита задержанные ранее ионы  $Na^+$ . Одновременно продолжается и вытеснение ионов  $H^+$ . Таким образом, протекают одновременно процессы водород- и натрий-катионирования.

Когда почти все ранее задержанные ионы  $Na^+$  будут вытеснены из катионита в фильтрат, содержание этих ионов в фильтрате опять уменьшится и будет равно их содержанию в исходной воде. Тогда возникнет проскок в фильтрат ионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , причем, опять-таки, по условиям лиотропного ряда – сначала ионы  $Mg^{2+}$ .

Кислотность фильтрата также изменяется во время фильтрования воды: сначала кислотность понижается вплоть до нуля, затем фильтрат приобретает все более увеличивающуюся щелочность, которая становится равной щелочности исходной воды и более не изменяется вплоть до момента проскока ионов жесткости.

В зависимости от схемы водород-катионитные фильтры работают до проскока натрия и магния (при «голодной» регенерации).

#### 4.5.2. Условия применения метода

Условия применения параллельного, последовательного и совместного водород-натрий-катионирования с нормальной регенерацией водород-катионитных фильтров следующие:

для схемы параллельного водород-натрий-катионирования необходимость получения умягченной воды с остаточной щелочностью не более 0,4 ммоль/л; карбонатная жесткость исходной воды составляет больше 50% общей ее жесткости; суммарное содержание сульфатов и хлоридов в исходной воде должно быть не больше 4 ммоль/л; содержание натрия не более 2 ммоль/л;

для схемы последовательного водород-натрий-катионирования допустимость получения умягченной воды с щелочностью 0,7–1 ммоль/л; карбонатная жесткость исходной воды должна быть не больше

50% общей ее жесткости; возможность применения метода при суммарном содержании сульфатов и хлоридов в исходной воде больше 4 ммоль/л; возможность применения метода при общей минерализации исходной воды больше 1000 мг/л;

для схемы совместного водород-натрий-катионирования допустимость колебаний остаточной щелочности обработанной воды в период фильтроцикла (0,5–2 ммоль/л); суммарное содержание сульфатов и хлоридов в исходной воде должно быть не больше 3,5–5 ммоль/л.

Схема параллельного водород-натрий-катионирования по экономичности уступает схеме последовательного водород-катионирования при обработке исходной воды с суммарным содержанием сульфатов и хлоридов больше 2 ммоль/л.

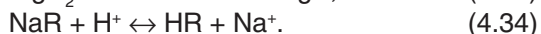
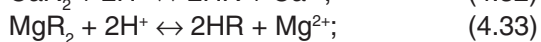
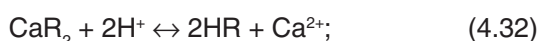
### 4.5.3. Условия применения водород-катионирования с «голодной» регенерацией

Если требуется уменьшение только карбонатной жесткости (щелочности), может быть применена «голодная» регенерация катионита.

При обычном водород-катионировании избыток кислоты для регенерации больше стехиометрического количества в 1,3–2,5 раза. При «голодной» регенерации количество кислоты на регенерацию катионита принимается равным стехиометрическому количеству или даже меньше.

При работе по такому способу в верхнем слое катионита будет находиться ион  $H^+$ , а в нижних слоях – задержанные ионы  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ .

В верхних слоях протекают реакции с ионом  $H^+$ , как при обычном водород-катионировании (реакции (4.28)–(4.31)). В результате образующиеся ионы водорода минеральных кислот обмениваются на ионы  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  по уравнениям:



Как следует из этих уравнений, в фильтрате появляются ионы, которые были и в исходной воде, за исключением того, что разрушаются бикарбонаты, удаляется углекислый газ и задерживаются ионы  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , связанные с ионом  $HCO_3^-$ .

При осуществлении водород-катионирования с «голодной» регенерацией необходимо учитывать особенность угольной кислоты. В присутствии сильных кислот ее диссоциация подавлена. Образовавшийся в верхних слоях катионита  $CO_2$  в виде растворенного в воде газа проходит неотрегенированные слои катионита. Затем, когда в фильтрате нет сильных кислот, угольная кислота

в нижних слоях катионита частично диссоциирует:  $H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^-$ ; ион  $H^+$  обменивается на ион  $Na^+$ , то есть появляется вторичная щелочность отфильтрованной воды.

Варианты условий применения водород-катионирования с «голодной» регенерацией приведены в порядке уменьшения ее эффективности:

$$0 \leq K \leq 0,2; \quad 0 \leq K \leq I; \quad 0 \leq K \leq I;$$

$$A - \text{любое}; \quad 10 \geq A \geq I; \quad I > A > 0,3.$$

При значениях  $K > I$ ,  $A \leq 10$  и  $10 < A \leq 0,3$  применение метода нецелесообразно.

Здесь  $K$  и  $A$  характеризуют соответственно катионный и анионный состав исходной воды:

$$K = [Na^+]/([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]);$$

$$A = [HCO_3^-]/([Cl^-] + [SO_4^{2-}]),$$

где  $[Na^+]$ ,  $[Ca^{2+}]$ ,  $[Mg^{2+}]$ ,  $[HCO_3^-]$ ,  $[Cl^-]$ ,  $[SO_4^{2-}]$  – содержание в исходной воде, соответственно, ионов натрия, кальция, магния, гидрокарбоната, хлора и сульфата, ммоль/л.

### 4.5.4. Водород-катионирование с «голодной» регенерацией карбоксильных катионитов

Водород-катионирование с «голодной» регенерацией катионита серной кислотой традиционно осуществляется на сульфогле. Основным недостатком этого метода – малое значение рабочей обменной сульфогля и, как следствие, большой расход воды на собственные нужды фильтров, большое количество фильтров.

Применение «голодной» регенерации для сильнокислотного катионита на примере катионита марки КУ-2-8 технологически и экономически не оправдано. (Амосова Э.Г., Гутникова Р.И., Заболотная Т.А. и др. Н-катионирование в режиме «голодной» регенерации на катионите КУ-2-8. «Химия и технология воды», 1984, т. 6, № 1, с. 32–34). Во избежание гипсования катионита приходится ограничиваться концентрацией серной кислоты не более 1% при скорости регенерационного потока 9 м/ч. Рабочая обменная емкость катионита не превышает 160 моль/м<sup>3</sup>.

При применении 10%-ной соляной кислоты (скорость регенерационного потока 2 м/ч) были получены улучшенные результаты. Рабочая обменная емкость катионита составила примерно 500 моль/м<sup>3</sup>.

В последние годы используют метод «голодной» регенерации слабокислотных карбоксильных катионитов. В частности – катионит марки Амберлайт IRC-86 – гелевый акриловый – фирма-производитель «Ром и Хаас».

Рабочая обменная емкость этого катионита по кальцию и магнию – 1600–2600 моль/м<sup>3</sup>. Катионит способен также обезжелезивать воду – поглощать

ионы Fe<sup>2+</sup>. Гранулометрический состав катионита значительно лучше, чем у сульфогля, что позволяет фильтровать воду с большими скоростями – до 40 м/ч.

Регенерацию катионита IRC-86 проводят при почти стехиометрических количествах серной кислоты – превышение на 4–10%.

Полная рабочая обменная емкость катионита – 4100 моль/м<sup>3</sup>.

Рабочая обменная емкость – по данным фирмы-производителя – определяется:

$$E_{\text{раб}} = E_{\text{раб}}^{\text{осн}} \cdot A \cdot B, \text{ моль/м}^3,$$

где  $E_{\text{раб}}^{\text{осн}}$  – «основная» рабочая емкость, зависящая от отношения жесткости к щелочности исходной воды, моль/моль, – табл. 4.5; A – коэффициент – функция суммы катионов и температуры исходной воды, безразмерный, принимается по табл. 4.6; B – коэффициент безразмерный, зависит от ионной нагрузки на фильтр (произведение значения карбонатной жесткости воды и времени работы фильтра) – табл. 4.7.

Взрыхление слоя катионита производится при скорости не менее 15 м/ч. Концентрация серной кислоты при регенерации – не более 0,7% при температуре воды 15°C.

Таблица 4.7

Ионная нагрузка на фильтр, (ммоль/л) · ч	Коэффициент B
30	0,58
60	0,79
80	0,87
100	0,93
120	0,97
>140	1,00

Высота слоя катионита, скорость регенерационного потока и концентрация серной кислоты определяются опасностью загипсовывания катионита: для предотвращения осаждения на нем сульфата кальция в виде CaSO<sub>4</sub> · 2 H<sub>2</sub>O нужна скорость регенерации не менее 15 м/ч и высота слоя не более 1,5 м.

#### 4.5.5. Фильтрующие материалы и регенеранты

В качестве регенеранта для водород-катионирования следует предусматривать кислоту серную (или хлористоводородную при наличии оборудования, конструкция которого допускает применение хлористоводородной кислоты). При водород-катионировании с «голодной» регенерацией в качестве фильтрующего материала должны применяться слабо- или среднекислотные катиониты, регенерируемые серной кислотой.

#### 4.5.6. Качество воды после водород-натрий-катионирования

Этими методами можно достигнуть таких же результатов по качеству воды, как при натрий-хлор-ионировании (см. п. 4.4.3).

Таблица 4.5

Ж <sub>о</sub> /Щ <sub>о</sub> , моль/моль	E <sub>раб</sub> <sup>осн</sup> , моль/м <sup>3</sup>
0,60	830
0,70	990
0,80	1200
0,90	1460
0,95	1770
1,00	2400
1,10	2500
1,20	2550
>1,30	2600

Таблица 4.6

Сумма катионов, ммоль/л	Коэффициент A при			
	10°C	15°C	20°C	25°C
2	0,61	0,80	0,90	1,00
4	0,82	0,92	1,00	1,07
6	0,90	0,98	1,06	1,12
8	0,93	1,02	1,09	1,15
>10	0,94	1,03	1,11	1,70

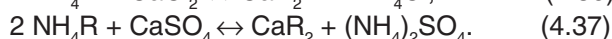
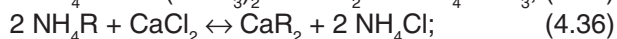


## 4.6. Аммоний-натрий-катионирование

Аммоний-натрий-катионирование используется для достижения тех же целей, что и при натрий-хлор-ионировании – (см. п. 4.4.1).

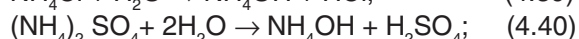
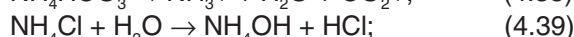
### 4.6.1. Основы метода

В аммоний-катионитном фильтре обменный катион – ион аммоний  $\text{NH}_4^+$ . При фильтровании воды через катионит, регенерированный раствором сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , протекают реакции:



Аналогичные реакции протекают с магнийсодержащими веществами.

В котле под действием высокой температуры аммониевые соли разлагаются:



Аммиак и углекислый газ улетучиваются, и вода, таким образом, становится потенциально кислой. Поэтому аммоний-катионирование применяется вместе с натрий-катионированием.

Образующийся при натрий-катионировании бикарбонат натрия  $\text{NaHCO}_3$  разлагается в котле с образованием едкого натра  $\text{NaOH}$  и кальцинированной соды  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , которые нейтрализуют кислоты. Обычно концентрация аммония гораздо меньше концентрации бикарбоната, так что коррозии от кислот не бывает.

Особенность аммоний-натрий-катионирования: так как и в воде, и в паре появляется аммиак, метод нельзя применять для обработки воды системы горячего водоснабжения и открытой системы теплоснабжения, а также при опасности аммиачной коррозии меди и ее сплавов.

### 4.6.2. Условия применения метода

Аммоний-натрий-катионирование, совместное с дополнительным последующим натрий-катионированием, допускается, как правило, при содержании натрия в исходной воде менее 30–35% общей жесткости и при степени обмена на аммоний в пределах 40–90%.

Аммоний-натрий-катионирование, параллельное с дополнительным последующим натрий-ка-

тионированием, допускается, как правило, при содержании натрия в исходной воде более 30–35% общей жесткости и при степени обмена на аммоний менее 40 и более 90%.

Метод допускается при концентрации кислорода в воде, соприкасающейся с медесодержащими сплавами материалов оборудования, не более 0,05 мг/л.

### 4.6.3. Обменная емкость катионита и расход регенеранта

Расходы хлорида натрия для натрий-катионитной части данного метода должны быть такие же, как для одноступенчатого натрий-катионирования. Регенерацию аммоний-катионита следует предусматривать, как правило, раствором сульфата аммония концентрацией 2–3%; удельный расход, такой же, как расход хлорида натрия при натрий-катионировании. Рабочая обменная емкость аммоний-катионита должна быть принята на 10–15% больше, чем натрий-катионита. Удельный расход отмывочной воды – 5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

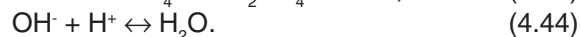
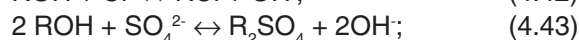
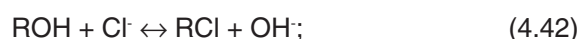
## 4.7. Анионирование

### 4.7.1. Сущность метода

Анионирование, как следует из названия, применяется для извлечения растворенных анионов из воды. Анионированию подвергается вода, уже прошедшая предварительное катионирование.

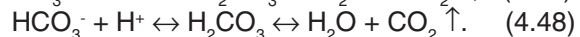
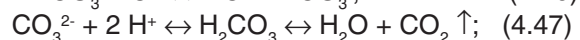
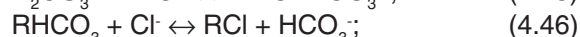
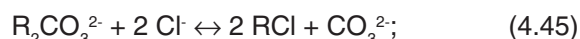
Регенерацию анионитного фильтра проводят щелочью ( $\text{NaOH}$ ).

Реакции рабочего цикла в анионитном фильтре при регенерации его едким натром  $\text{NaOH}$ :



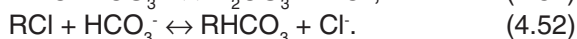
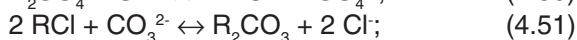
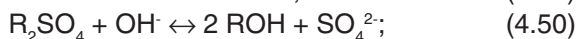
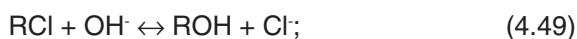
R – комплекс, условно называемый катионитной частью анионита.

В качестве регенеранта, кроме едкого натра, изредка применяют  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ . Реакции рабочего цикла следующие:



После исчерпания рабочей обменной емкости анионита он регенерируется. Реакции регенерации:

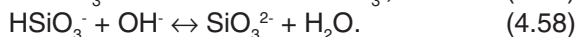
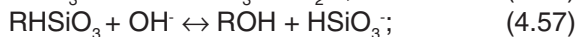
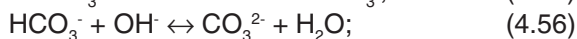
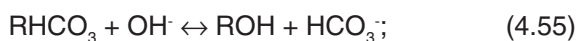




Поглощать из воды анионы сильных кислот способны как сильно-, так и слабоосновные аниониты. Анионы слабых кислот – угольной и кремниевой – поглощаются только сильноосновными анионитами. Реакции рабочего цикла:



Для сильноосновных анионитов в качестве регенеранта применяют раствор NaOH (поэтому процесс называют также гидроксид-анионированием). Реакции при регенерации:



#### 4.7.2. Особенности процесса

Механизм ионного обмена и влияние разных факторов на технологию процесса анионирования во многом аналогичны их влиянию на процессы катионирования (см. п. 4.3.1 и ч. 2, раздел 4).

В то же время существенное отличие – исключена возможность увеличения концентрации противоиона в фильтре, так как переходящие в раствор ионы  $OH^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $HSiO_3^-$  связываются ионами  $H^+$  с образованием слабо диссоциирующих веществ  $H_2O$  и  $H_2CO_3$ .

#### 4.7.3. Варианты схем

Слабоосновные аниониты в разной степени способны к сорбции разных анионов. Как правило, соблюдается ряд:  $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$ , в котором каждый предыдущий ион поглощается более активно и в большем количестве, чем следующий. Рабочая обменная емкость по аниону  $SO_4^{2-}$  примерно в 1,5 раза больше емкости по аниону  $Cl^-$ , что означает проскок в фильтрат иона  $Cl^-$  раньше иона  $SO_4^{2-}$ .

Поэтому в системах деминерализации ионированием, где первым по потоку воды предусмотрен слабоосновный фильтр, его отключают на регенерацию по проскоку иона  $Cl^-$ . При частичной деминерализации, когда в воде допускается некоторое остаточное содержание солей, фильтр с слабоосновным анионитом выключают на регенерацию по проскоку иона  $SO_4^{2-}$ , то есть в фильтрате к этому моменту уже будет содержаться некоторое количество иона  $Cl^-$ .

В технологической цепочке деминерализации ионированием после водород-катионитных и слабоосновных анионитных фильтров предусматривают сильноосновные анионитные фильтры, если нужно удалить из воды анионы кремниевой кислоты и – иногда – анионы угольной кислоты.

Лучшие результаты получаются при низких значениях pH и почти полном декатионировании воды (после двухступенчатого водород-катионирования, когда в воде находится сама кремниевая кислота  $H_2SiO_3$ , а не ее соли).

При наличии солей:



то есть появляется противоион  $OH^-$ , который, во-первых, тормозит поглощение иона  $HSiO_3^{2-}$  (увеличивается содержание кремниесоединений в фильтрате) и, во-вторых, уменьшает рабочую обменную емкость анионита (см. п. 4.9).

Особенности применения анионитов в условиях содержания в исходной воде органических примесей описаны в ч. 2, п. 4.3.10.

## 4.8. Декарбонизация воды

### 4.8.1. Применение метода

Декарбонизация – удаление оксида углерода (IV), выделяющегося в процессах водород-катионирования (см. п. 4.5) и анионирования (см. п. 4.7). Удаление его из воды перед сильноосновными анионитными фильтрами необходимо, так как в присутствии  $CO_2$  в воде часть рабочей обменной емкости анионита будет затрачиваться на поглощение  $CO_2$  по реакциям (4.31) и (4.48).

Традиционно для удаления из воды углекислого газа используют декарбонизаторы – аппараты, заполненные различными распределителями воды (чаще – насыпными, например, кольцами Рашига, Палля и др.), называемыми насадкой, или без заполнителей, и продуваемые воздухом навстречу водному потоку. В зависимости от схемы декарбонизатор может быть установлен после первой, или второй ступени водород-катионирования, или после первой (слабоосновной) ступени анионирования. Последняя схема чаще используется в зарубежных разработках.

Распространение получают эжекторные (вакуумные, струйные) аппараты. Их работа основана на создании высокоскоростного потока в эжекторном устройстве, в котором происходит вакуумирование потока с последующим подсосом воздуха в

воду и его отдувкой. При небольших габаритах такая конструкция обеспечивает большую производительность и высокую эффективность удаления газов. В данном случае – свободного  $\text{CO}_2$ .

На небольших станциях водоподготовки и при небольшом содержании в исходной воде бикарбонатов используют схему подготовки воды без декарбонизаторов.

### 4.8.2. Расчетные параметры

Концентрация растворенного в воде углекислого газа после водород-катионирования, в отсутствие аналитических данных, может быть определена по формуле:

$$\text{CO}_2 = \frac{44 \text{ Ж}_к + \text{CO}_2^{\text{исх}}}{1000}, \quad (4.60)$$

где  $\text{CO}_2$  – концентрация углекислого газа в воде, поступающей в декарбонизатор, мг/л;  $\text{Ж}_к$  – карбонатная жесткость исходной воды, разрушаемая в процессе водород-катионирования, ммоль/л;  $\text{CO}_2^{\text{исх}}$  – концентрация растворенного в исходной воде равновесного свободного углекислого газа, мг/л.

Концентрация  $\text{CO}_2^{\text{исх}}$  определяется по щелочности (карбонатной жесткости) и pH исходной воды – по номограмме (рис. 1.4).

Номограмма составлена для воды с сухим остатком 200 мг/л при температуре воды 10 и 20°C. При других значениях сухого остатка исходной воды концентрация свободного углекислого газа определяется по формуле:

$$\text{CO}_2^{\text{исх}} = \text{CO}_2^{\text{таб}} \cdot \alpha, \quad (4.61)$$

где  $\text{CO}_2^{\text{таб}}$  – концентрация, определенная по номограмме, мг/л;  $\alpha$  – поправочный коэффициент, определяемый в зависимости от значений сухого остатка:

Сухой остаток, мг/л	100	200	300	400	500	750	1000
Поправочный коэффициент $\alpha$	1,05	1,0	0,96	0,94	0,92	0,87	0,83

Объем насадки из колец Рашига (и, таким образом, косвенно – объем декарбонизатора) определяется в зависимости от количества удаляемого углекислого газа, средней движущей силы десорбции, коэффициента десорбции:

$$F = \frac{G}{K_{\text{ж}} \cdot \Delta C_{\text{cp}}}, \quad (4.62)$$

где  $F$  – необходимая поверхность колец Рашига (поверхность 1 м<sup>3</sup> беспорядочной засыпки – 204 м<sup>2</sup>), м<sup>2</sup>;  $G$  – количество удаляемого из воды углекислого газа, кг/ч;  $K_{\text{ж}}$  – коэффициент десорбции, м/ч, определяется по номограммам (рис. 1.5, 1.6);  $\Delta C_{\text{cp}}$  – средняя движущая сила десорбции, кг/м<sup>3</sup> (рис. 1.7).

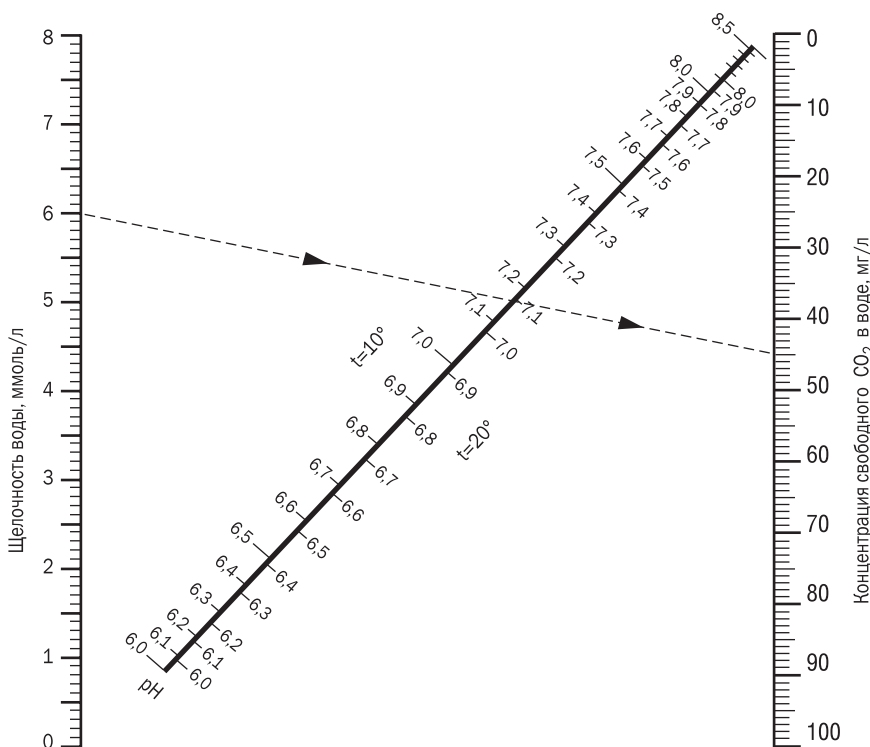
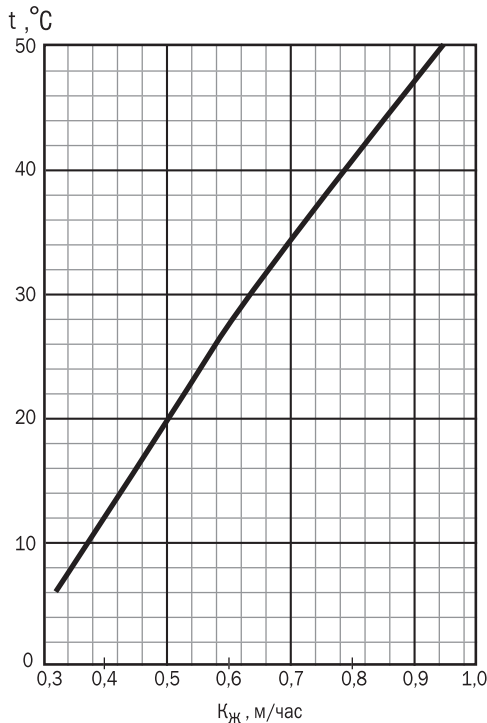


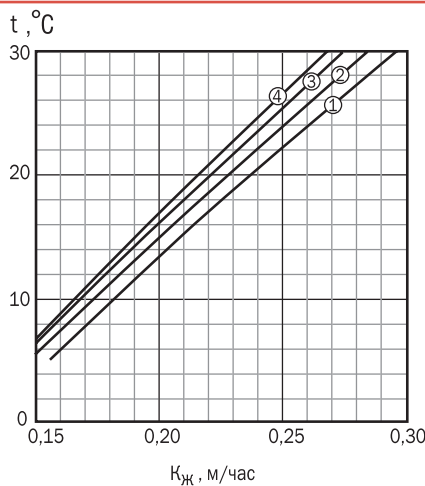
Рис. 1.4. Номограмма для определения содержания в воде свободного углекислого газа

$$G = Q \cdot (CO_2 - CO_2^{дв}), \quad (4.63)$$

где  $CO_2^{дв}$  - концентрация углекислого газа в декарбонизированной воде, принимается равной  $0,005 \text{ кг/м}^3$  ( $5 \text{ мг/л}$ ).



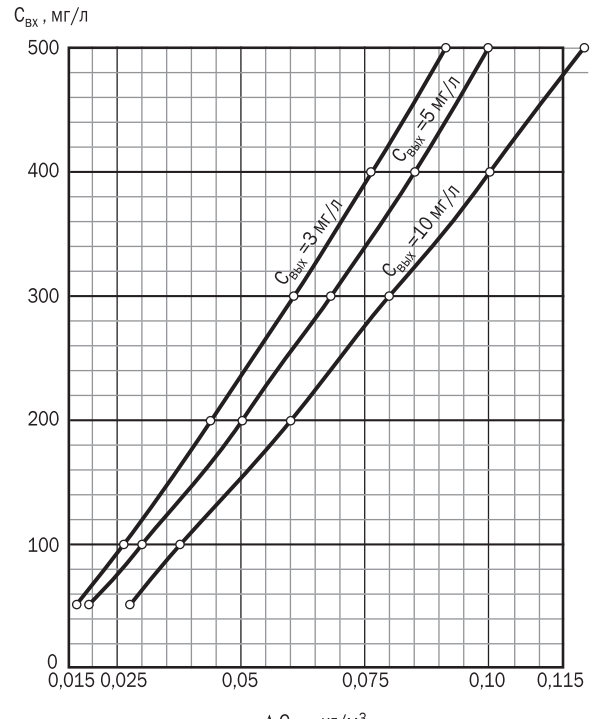
**Рис. 1.5.** График для определения  $K_{ж}$  при удалении углекислоты из воды на дегазаторах, загруженных кольцами Рашига размером  $25 \times 25 \times 3 \text{ мм}$ . Плотность орошения насадки  $60 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$



**Рис. 1.6.** График для определения  $K_{ж}$  при удалении углекислоты в процессе обезжелезивания воды аэрацией.

Площадь орошения насадки  $90 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ :

- 1 – для колец размером  $25 \times 25 \times 3 \text{ мм}$ ;
- 2 – для гравия средним размером  $42 \text{ мм}$ ;
- 3 – для кокса средним размером  $43 \text{ мм}$ ;
- 4 – для кокса средним размером  $41 \text{ мм}$



**Рис. 1.7.** График для определения  $\Delta C_{cp}$  в зависимости от  $C_{вх}$  и  $C_{вых}$  при дегазации углекислоты

Необходимый объем насадки из колец Рашига при беспорядочной загрузке  $V, \text{ м}^3$ :

$$V = F/204. \quad (4.64)$$

Высота слоя насадки в декарбонизаторе, м:

$$H = V/F. \quad (4.65)$$

Обозначения в формулах (4.64) и (4.65) см. выше.

Расход воздуха для продувания декарбонизатора принимается для разных условий  $15\text{--}40 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  насадки.

Сопrotивление проходу воздуха через слой насадки –  $25 \text{ мм вод. ст.}$  на  $1 \text{ м}$  высоты.

## 4.9. Деминерализация воды ионированием

Метод, предназначенный для уменьшения минерализации воды, в том числе общей жесткости, общей щелочности, содержания кремниевых соединений.

Ионообменный метод деминерализации воды основан на последовательном фильтровании

воды через водород-катионитный, а затем  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{OH}^-$  или  $\text{CO}_3^{2-}$  – анионитный фильтр. В водород-катионитных фильтрах катионы, содержащиеся в исходной воде, главным образом  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$ , обмениваются на водород-катионы по реакциям (4.28)–(4.30). В фильтрате образуется эквивалентное количество кислоты из анионов, с которыми были связаны катионы. Образовавшийся в процессе разложения гидрокарбонатов  $\text{CO}_2$  удаляется в декарбонизаторах.

В анионитных фильтрах (гидроксид-анионирование) анионы образовавшихся кислот обмениваются на ионы  $\text{OH}^-$  (задерживаются фильтром). В результате получается деминерализованная (обессоленная) вода.

Этот метод фактически «несамостоятельный», синтетический. Он представляет собою схемный ряд вариантов сочетания разной степени сложности – в зависимости от цели обработки воды – водород-катионирования и гидроксид-анионирования.

#### 4.9.1. Условия применения метода

В ионообменные установки должна подаваться вода, содержащая соли – до 3 г/л, сульфаты и хлориды – до 5 ммоль/л, взвешенные вещества – не более 8 мг/л, цветность – не выше 30 градусов, перманганатная окисляемость – до 7 мгО/л.

В соответствии с необходимой глубиной обессоливания воды проектируются одно-, двух- и трехступенчатые установки, но во всех случаях для удаления из воды ионов металлов применяют сильнокислотные водород-катиониты.

Для промышленных и энергетических потребителей вода может быть подготовлена по одноступенчатой схеме – один катионитный и один анионитный фильтры; по двухступенчатой схеме – соответственно по два катионитных и два анионитных фильтра; по трехступенчатой схеме, причем третья ступень может быть оформлена двумя вариантами: отдельно катионитный и анионитный фильтры или совмещение в одном фильтре катионита и анионита.

После одноступенчатой схемы: солесодержание воды – 2–10 мг/л; удельная электропроводимость – 1–2 мкСм/см; содержание кремниевых соединений ( $\text{SiO}_2$  и  $\text{SiO}_3^{2-}$ ) – не изменяется.

Двухступенчатую схему применяют для получения воды с солесодержанием 0,1–0,3 мг/л; удельной электропроводимостью 0,2–0,8 мкСм/см; содержанием кремниевых соединений ( $\text{SiO}_2$  +  $\text{SiO}_3^{2-}$ ) до 0,1 мг/л.

Трехступенчатая схема позволяет снизить солесодержание до 0,05–0,1 мг/л; удельную электропроводимость – до 0,1–0,2 мкСм/см; концентрацию кремниевой кислоты ( $\text{SiO}_3^{2-}$ ) – до 0,05 мг/л.

Для бытовых фильтров применяется одноступенчатая деминерализация – совместная загрузка фильтра катионитом и анионитом.

#### 4.9.2. Фильтры смешанного действия

Совмещение в одном аппарате катионита и анионита позволяет достигать высокой степени очистки: из воды за один проход извлекаются почти все находящиеся в растворе ионы. Очищенная вода имеет нейтральную реакцию и низкое солесодержание.

После насыщения ионами смесь ионитов – для регенерации – необходимо предварительно разделить на катионит и анионит, имеющих различную плотность. Разделение проводится гидродинамическим методом (водный поток снизу вверх) или путем заполнения фильтра концентрированным 18%-ным раствором реагента.

В настоящее время основными зарубежными производителями выпускаются специально подобранные по плотности и размеру наборы гранул монодисперсных смол, обеспечивающих высокую степень разделения и стабильности показателей.

Из-за сложности операций разделения смеси катионита и анионита и их регенерации такие аппараты используются в основном для очистки малосоленых вод и доочистки воды, обессоленной ранее обратным осмосом, когда регенерация проводится редко или иониты применяются однократно.

#### 4.9.3. Особенности ионообменной технологии

Ионообменная технология – самая применяемая сегодня для умягчения и деминерализации воды. Эта технология позволяет добиться качества воды, соответствующего нормам разных промышленных и энергетических объектов.

Исторически сложилось так, что почти все конструкции ионообменных фильтров – параллельно точные (прямоточные), то есть обрабатываемая вода и регенерирующий раствор движутся в фильтре в одном направлении – сверху вниз.

По мере продвижения регенерационного раствора сверху вниз через слой ионита концентрационный напор – разность концентраций между ранее задержанными ионами (например, кальцием и магнием) и вытесняющими их ионами регенерирующего раствора (например, натрия) – становится всё меньше и меньше.

В конце своего пути «слабый» регенерационный раствор встречается со слоем ионита, содержащим некоторое, хотя и небольшое, количество ионов, которые нужно вытеснить из ионита. Вытеснения не происходит. В результате следующий поток обработанной воды не достигает необходимого качества.

Эта особенность технологии ионного обмена, а также свойства ионитов, регенерантов и лиотропных рядов (см. ч. 2, п. 4.3.8) определяют принципиальные недостатки ионообменной технологии очистки воды: большой расход реагентов, воды для отмывки ионита от остатков регенерационного раствора и большое количество сточных вод, качество которых не соответствует требованиям нормативных документов.

Выход из положения был найден технологами, предложившими двухступенчатое – для натрий-катионирования и трехступенчатое – для деминерализации ионированием – фильтрование. Разновидностью двухступенчатого умягчения можно считать параллельноточное-противоточное фильтрование: несмотря на название, в каждом из пары фильтров осуществляется параллельноточное фильтрование.

#### 4.9.4. Противоточное фильтрование

Противоточное фильтрование заключается в подаче регенерационного раствора и обрабатываемой воды в разных направлениях.

Преимущества противоточного фильтрования были известны давно, но промышленное применение оно нашло лишь с появлением специальных конструкций фильтров и развитого производства разнообразных высокоэффективных ионитов.

При противоточной технологии ионирования наиболее хорошо отрегенированный катионит рас-

положен в том слое, который находится на выходе из фильтра. Обрабатываемая вода проходит слою ионита со всё более увеличивающейся глубиной регенерации, то есть концентрационный напор сохраняется по всему пути воды. Тем самым обеспечивается высокое качество умягчения и деминерализации, наиболее полно используется рабочая обменная емкость ионита, уменьшается расход реагентов, воды на собственные нужды и сточных вод. В настоящее время известны несколько конструкций противоточного фильтрования, принципиально различающихся по направлениям потоков: поток воды – снизу вверх, регенерация – сверху вниз; поток воды – сверху вниз, регенерация – снизу вверх.

#### Технология Швеебет

Одной из первых запатентованных противоточных технологий (60-е годы XX века) была технология Швеебет (с нем.: Schwebbett – взвешенный, плавающий слой) фирмы «Байер АГ». Разновидности: Лифтбет, Ринзбет, Мультистеп. Обрабатываемая вода в фильтре направляется снизу вверх, регенерационный раствор – сверху вниз.

Масса ионита находится в фильтре между двумя дренажно-распределительными системами (трубы или плиты с перфорацией или колпачками со щелями). Между слоем ионита и верхней дренажно-распределительной системой расположен слой инертного гранулированного материала (обычно полиэтилен) высотой 100–300 мм, защи-

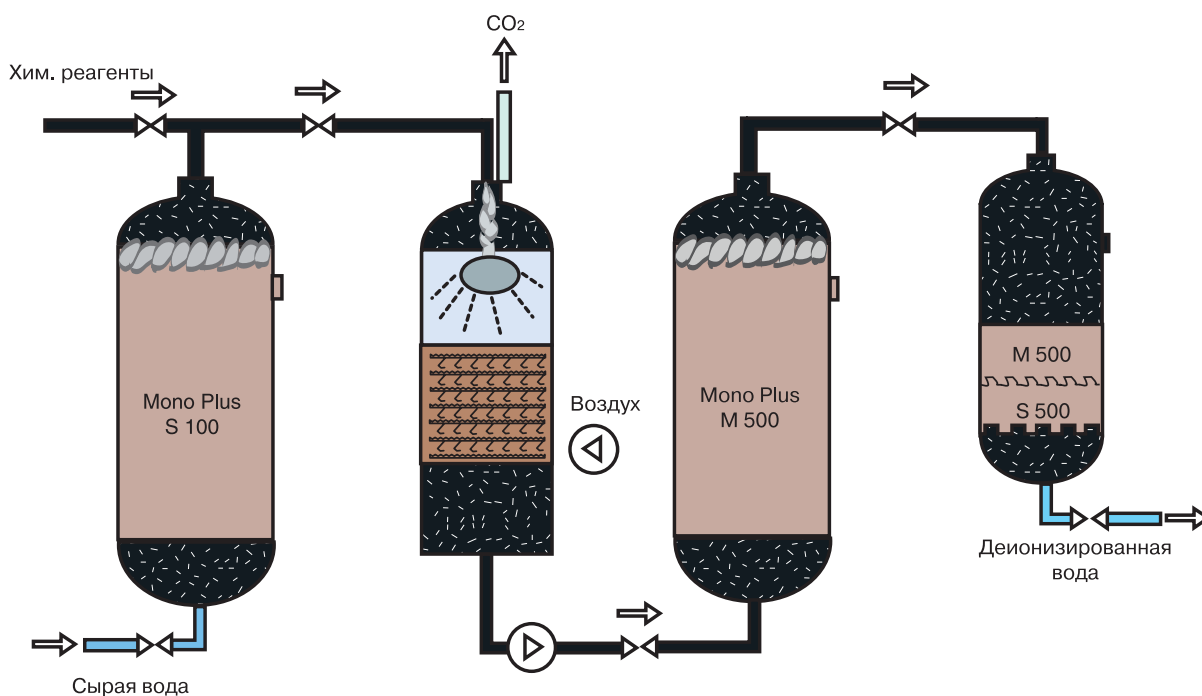


Рис. 1.8. Очистка воды по технологии Швеебет



щающий верхнюю систему от засорения мелкими частицами ионита (следствие истирания или раскалывания зерен) и от загрязнений исходной воды. В некоторой степени слой «инерта» улучшает распределение потоков по сечению фильтра. Кроме того, в фильтре есть небольшое пространство для расширения (набухания) ионита.

Этой технологии присущи принципиальные недостатки:

- слой ионита очень чувствителен к изменению расхода обрабатываемой воды и перерывам в работе: наблюдается внутрислойное перемешивание, уменьшающее эффект противоточного ионирования (требуется усиленная регенерация);

- необходимо регулярно производить взрыхляющие промывки, так как «мелочь» и загрязнения, скапливающиеся в верхней части слоя, могут быть унесены во время рабочего цикла в следующий фильтр или потребителю, если предварительно не взрыхлить и не отмыть слой ионита;

- взрыхление вынужденно проводится в специальной емкости, то есть неизбежно увеличение капитальных затрат;

- при желании осуществить в одном фильтре и катионирование, и анионирование – двухслойное фильтрование – требуется секционировать фильтр распределительными тарелками. Следовательно, еще увеличиваются капитальные затраты.

### **Технология Лифтбет**

Конструкция фильтра по технологии *Лифтбет* (с нем.: *Liftbett* – поднятый слой) представляет собой две камеры, расположенные одна над другой и разделенные дренажно-распределительной системой – верхней для нижней камеры. Эта система и верхняя система верхней камеры защищены слоями «инерта». Нижняя камера заполнена ионитом только на одну треть высоты так, что оставшееся свободное пространство служит для расширения ионита во время взрыхления. Так как исходная вода проходит снизу последовательно две камеры, то слой в нижней камере воспринимает все загрязнения исходной воды, защищая слой ионита верхней камеры. Слой нижней камеры подвергается взрыхлению. Верхняя камера заполнена ионитом и «инертном» полностью. Выгрузка ионита в другую емкость для взрыхления не нужна.

### **Технология Ринзобет**

Для технологии *Ринзобет* (с нем.: *Rinsebett* – промываемый слой) разработана следующая конфигурация фильтра. Несколько выше середины высоты фильтра установлена перфорированная плита, через отверстия которой свободно могут проходить гранулы ионита во время фильтрования

воды снизу вверх. Под ней – дренажно-распределительная система для отвода из фильтра обработанной воды.

Часть ионита – так называемый покровный слой – находится над перфорированной плитой. Во время рабочего цикла этот слой препятствует чрезмерному расширению основного ионообменного слоя и поглощает основное количество загрязнений и ионитной «мелочи». Он же обеспечивает возможность проведения взрыхляющей промывки непосредственно в фильтре, без перегрузки ионита в специальную емкость

Существенное отличие этой технологии от других противоточных технологий – возможность разбавления регенеранта неумягченной (недеминерализованной) водой и отмывка ионитов от остатков регенерационного раствора такой же водой. Это возможно потому, что верхний покровный слой ионита поглощает ионы исходной воды, и регенерационный раствор и отмывочная вода поступают к основному ионитному слою умягченными (деминерализованными).

### **Технология Мультистеп**

Фильтр, работающий по технологии *Мультистеп* (с нем.: *Multistep* – многоступенчатые, многокашадные слои), состоит из двух или более камер, разделенных перфорированными плитами или колпачковыми устройствами. Каждая камера, кроме верхней, имеет дренажно-распределительную систему, через которую поступает регенерационный раствор и отводятся сточные воды от регенерации предыдущей камеры.

При регенерации ионита сверху вниз ионит нижней расположенной камеры защищен от загрязнения продуктами регенерации блокирующим потоком воды навстречу указанным продуктам.

По технологии *Мультистеп* можно в одном фильтре провести все операции по умягчению и деминерализации воды.

### **Технология Амберпак**

Технология *Амберпак* (с англ.: *Amberpack* – янтарный слой) фирмы Rohm & Haas («Ром и Хаас») предусматривает загрузку всего объема фильтра ионитом, без инертного материала. Как и в описанных выше технологиях, обрабатываемая вода движется снизу вверх, регенерирующий раствор – сверху вниз. Взрыхляющая промывка в таком фильтре невозможна – иониту некуда расширяться. Поэтому предусмотрена периодическая выгрузка нижнего (фронтального по отношению к исходной воде) слоя ионита в специальную емкость для отмывки от взвешенных примесей.

Технология очень чувствительна к содержанию в воде взвешенных веществ.



**Технология UFD**

Технология UFD компании Degremont («Дегремон») предусматривает так же, как в технологии Амберпак, заполнение ионитом всего объема фильтра, но направление потоков другое – обрабатываемая вода движется сверху вниз, регенерирующий раствор – снизу вверх.

**Технология по системе с противодавлением**

Существует несколько работающих конструкций противоточной ионообменной технологии по системе с противодавлением. Одна из таких систем разработана ВНИИАМом и ВТИ. В фильтре монтируются три (по другому варианту – четыре) дренажно-распределительных устройства: нижнее, верхнее, среднее и блокирующее (второй вариант – без четвертого специального устройства). Средний дренаж погружен в объем ионита, и из него выводится отработанный регенерационный раствор. Обрабатываемая вода подается сверху вниз. Регенерационный раствор – снизу вверх. Во время регенерации слой ионита находится в сжатом состоянии с помощью воды или сжатого воздуха, подаваемого через средний дренаж.

В некоторых зарубежных конструкциях компактное состояние слоя ионита поддерживается созданием вакуума в среднем дренаже.

Взрыхляется только верхний загрязненный слой ионита водой, подаваемой через средний дренаж. Взрыхлять верхний слой, не нарушая основной слой ионита, удается в течение 15–20 фильтроциклов.

Однако такой технологии присущи следующие недостатки:

- требуются большие объемы воды для удержания регенерируемого сжатого слоя ионита в восходящем потоке раствора реагента;
- нерационально используется полезный объем фильтра: необходимо свободное пространство над средним дренажно-распределительным устройством для заполнения ионитом во время взрыхления слоя над этим устройством;
- может повредиться среднее устройство, испытывающее давление с двух сторон – регенерирующего и блокирующего ионов;
- после нескольких циклов работы (обычно 10–15) нижний слой ионита становится настолько плотным, что дополнительно требуется взрыхляющая промывка слоя ионита (кроме слоя над средним дренажом). Нижний («полирующий») слой при взрыхлении разрушается, и после этого необходима усиленная регенерация ионита.

**Технология АПКОРЕ**

Технология АПКОРЕ (с англ.: UP.CO.RE. – UPflow COurtercurrent REgeneration – противоточная ре-

генерация восходящим потоком) фирмы Dow Chemical Co. («Дау Кемикал Компани») по голландскому патенту (рис. 1.9).

В фильтре, работающем по этой технологии, обрабатываемая вода движется сверху вниз, регенерационный раствор – снизу вверх.

Технология обладает всеми преимуществами противоточных технологий и в то же время лишена недостатков, описанных выше.

Так как во время рабочего цикла вода движется сверху вниз (30–40 м/ч), слой ионита остается зажатым при любых колебаниях нагрузки, даже при полном прекращении подачи воды. Таким образом, хорошо отрегенированный слой ионита в нижней части фильтра не разрушается.

Перед подачей в фильтр регенерационного раствора слой ионита в течение 3–5 мин большим потоком воды со скоростью около 30 м/ч поднимается вверх – до соприкосновения с инертным материалом. Наличие такого материала – одна из принципиальных особенностей технологии. Верхнее дренажно-распределительное устройство открыто и как бы погружено в слой плавающего слоя инертного материала. Через этот слой свободно проходят вода, взвешенные примеси, ионитная «мелочь», а целые гранулы ионита, которые в отсутствие «инерта» поток мог бы унести из фильтра, задерживаются.

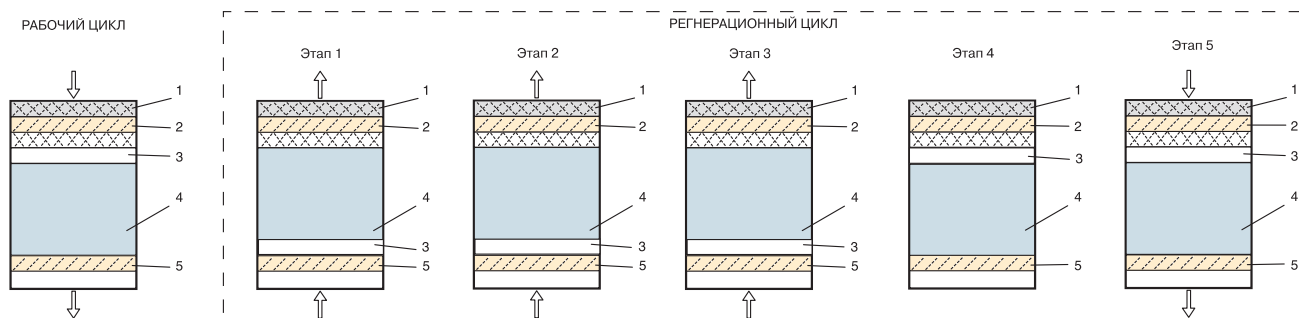
Регенерационный раствор двух разных концентраций пропускается снизу вверх в течение 30–40 мин с такой скоростью (примерно 10 м/ч), что поднятый в предыдущей операции слой ионита остается прижатым к слою инертного материала.

Две эти операции, помимо своих прямых функций, отменяют необходимость взрыхляющей промывки.

Следующие этапы регенерации: отмывка ионита снизу вверх от остатков регенерационного раствора со скоростью примерно 10 м/ч в течение 30 мин; оседание слоя ионита в течение 5–10 мин; отмывка ионита сверху вниз со скоростью 20–30 м/ч в течение 30–40 мин.

Весьма важная особенность технологии АПКОРЕ – возможность осуществления послойной загрузки анионитов в одном фильтре без каких-либо разделяющих устройств. За счет специального подбора слабоосновного и сильноосновного анионитов с соответствующими значениями плотностей слой слабоосновного анионита всегда сохраняет свое положение над слоем сильноосновного анионита, защищая последний от отравления органическими веществами.

Наконец, простота технологии, универсальность конструкции позволяют использовать стандартные параллельноточные фильтры для противоточного



**Рис. 1.9. Очистка воды по технологии АПКОРЕ:**

- 1 – слой инертного материала;
- 2 – верхняя дренажно-распределительная система;
- 3 – свободное пространство;
- 4 – ионит (один или два слоя);
- 5 – нижняя дренажно-распределительная система.

Рабочий цикл: ввод обрабатываемой воды сверху фильтра

Регенерационный цикл:

- этап 1 – ввод обессоленной (умягченной) воды в фильтр снизу вверх;
- этап 2 – ввод регенерационного раствора реагентов в фильтр снизу вверх;
- этап 3 – ввод обессоленной (умягченной) воды в фильтр для предварительной отмывки ионита снизу вверх;
- этап 4 – оседание ионита;
- этап 5 – ввод осветленной или умягченной воды в фильтр для окончательной отмывки ионита сверху вниз

фильтрования, заменяя только внутренние дренажно-распределительные устройства.

Специально для технологии АПКОРЕ фирма Dow Chemical Co. («Дау Кемикал Компани») разработала и поставляет на рынок серию ионообменных смол с прекрасными гранулометрическими (монодисперсные), физико-механическими и кинетическими свойствами. В частности, не менее 90% гранул ионита имеют размеры не более  $\pm 10\%$  средних значений размеров, что особенно значимо при двухслойной загрузке фильтров.

Тенденция замены гетеродисперсных ионитов монодисперсными сегодня преобладает. Ведущие мировые фирмы («Байер», «Пьюролайт», «Ром и Хаас», «Дау Кемикал Компани»), производящие иониты, расширяют выпуск монодисперсных ионитов.

#### 4.9.5. Сравнительная характеристика противоточной и параллельноточной технологий

В конечном счете, описанные свойства противоточных технологий и некоторые другие, здесь не упомянутые, обеспечивают следующие показатели по сравнению с параллельноточной технологией:

- уменьшение в 1,5–2,5 раза количества эксплуатируемых фильтров (скорость фильтрования воды – до 40–50 м/ч);
- уменьшение расхода реагентов примерно в два и более раз (удельный расход кислоты –

1,3–1,6 моль/моль, щелочи – 1,4–1,5 моль/моль, натрий хлорида – 1,2–1,3 моль/моль);

- увеличение почти в два раза рабочей обменной емкости фильтра за счет свойств ионитов и возможности почти полностью заполнять фильтр ионитом;

- уменьшение расхода воды на собственные нужды примерно вдвое и, следовательно, уменьшение в два раза количества сточных вод;

- нормативное качество обработанной воды, получаемое при одноступенчатом фильтровании, не хуже (подчас и лучше), чем при двухступенчатом фильтровании.

Достоинства всех описанных выше противоточных технологий проявляются в полной мере только при использовании гранулометрически однородных (моносферных) ионитов, изготавливаемых всеми ведущими фирмами («Дау Кемикал», «Пьюролайт», «Ром и Хаас», «Байер» и др.). В России подобные иониты пока не производятся, поэтому в фильтрах по технологии ВНИИАМа и ВТИ используются гетеросферные иониты российских и украинских заводов.

Это обстоятельство и также наличие значительных количеств взвешенных примесей в исходной воде подвигли ВНИИ ВОДГЕО и НПФ «ЭКОС-ВОДГЕО» к разработке конструкции, приспособленной к гетеросферным ионитам.

Фильтрование исходной воды осуществляется в направлении сверху вниз, а регенерационного

раствора и отмывочной воды – снизу вверх. Инертный материал загружается сверху слоя ионита в количестве 10% полезной вместимости фильтра.

Так как взвешенные примеси в слое гетероферного ионита задерживаются не только верхним слоем, но и проникают вглубь ионитной загрузки, то приходится периодически перегружать ионит в специальную емкость для взрыхляющей его промывки – удаления взвешенных веществ и измельченных частиц ионита. В зависимости от загрязнения ионита (возрастания гидравлического сопротивления слоя) гидроперегрузке подлежат 20–80% объема ионита.

Диаметры фильтра и емкости подобраны таким образом, чтобы в емкости промывка была более интенсивной, чем в фильтре. При промывке поток воды последовательно проходит фильтр с интенсивностью 1,25–2,50 л/(м<sup>2</sup>·с), затем емкость с интенсивностью 2,5–5,0 л/(м<sup>2</sup>·с).

После возвращения в фильтр отмытого ионита его нужно подвергнуть двукратной регенерации.

В конструкциях ионообменных бытовых фильтров противоточная технология обычно не используется. Поэтому описанные выше проблемы противоточной технологии для таких фильтров значения не имеют, поскольку:

- диаметры фильтров столь малы, что эффект неравномерного распределения потока воды по горизонтальному сечению не ощущается;

- иониты в бытовых фильтрах не всегда регенерируют, а иногда используют до исчерпания их обменной емкости;

- почти всегда исходная вода ионообменных фильтров – с малым содержанием взвешенных и органических примесей.

## 4.10. Баромембранные методы водоподготовки

### 4.10.1. Состав группы методов

Деминерализация воды ионным обменом и термическая деминерализация (дистилляция) позволяют опреснять воду, почти полностью обессоливать ее. Однако применение этих методов выявило наличие недостатков: необходимость регенерации, громоздкое и дорогое оборудование, дорогие иониты и др. В связи с этим быстрое распространение получили баромембранные методы обработки воды.

Группа баромембранных методов включает в себя обратный осмос, микрофильтрацию, ультрафильтрацию и нанофильтрацию.

**Обратный осмос** (размеры пор 1–15 Å, рабочее давление 0,5–8,0 МПа) применяется для деминерализации воды, задерживает практически все ионы на 92–99%, а при двухступенчатой системе и до 99,9%.

**Нанофильтрация** (размеры пор 10–70 Å, рабочее давление 0,5–8,0 МПа) используется для отделения красителей, пестицидов, гербицидов, сахарозы, некоторых растворенных солей, органических веществ, вирусов и др.

**Ультрафильтрация** (размеры пор 30–1000 Å, рабочее давление 0,2–1,0 МПа) применяется для отделения некоторых коллоидов (кремния, например), вирусов (в том числе полиомиелита), угольной сажи, разделения на фракции молока и др.

**Микрофильтрация** (размеры пор 500–20000 Å, рабочее давление от 0,01 до 0,2 МПа) используется для отделения некоторых вирусов и бактерий, тонкодисперсных пигментов, пыли активных углей, асбеста, красителей, разделения водо-масляных эмульсий и т.п.

Чем более крупные поры образованы в мембране, тем более понятен процесс фильтрации через мембрану, тем более он по физическому смыслу приближается к так называемому механическому фильтрованию.

Промежуточную группу образуют так называемые трековые мембраны, получаемые посредством облучения на циклотроне лавсановых (полиэтилентерефталатных) пленок потоком тяжелых ионов. После воздействия на пленку ультрафиолетовыми лучами и травлением щелочью в пленке образуются поры диаметром 0,2–0,4 мкм (в основном 0,3 мкм).

### 4.10.2. Обратный осмос

Метод обратного осмоса возник в 1953 г., когда Рейдом и Бретоном (США) были открыты полупроницаемые свойства ацетилцеллюлозных мембран. Технология производства полупроницаемых мембран была усовершенствована Маникяном (США), разработавшим способ промышленного изготовления мембран из раствора ацетилцеллюлозы в ацетоне и формамиде. В дальнейшем были изготовлены мембраны, которые можно длительное время хранить в сухом виде, а также мембраны в виде полых волокон и составные (композитные) мембраны. Качество мембран постепенно совершенствуется, ассортимент расширяется.

Обратный осмос – один из наиболее перспективных методов обработки воды, преимущества которого заключены в малых энергозатратах, простоте конструкций аппаратов и установок, малых их габаритах и простоте эксплуатации; применяет-

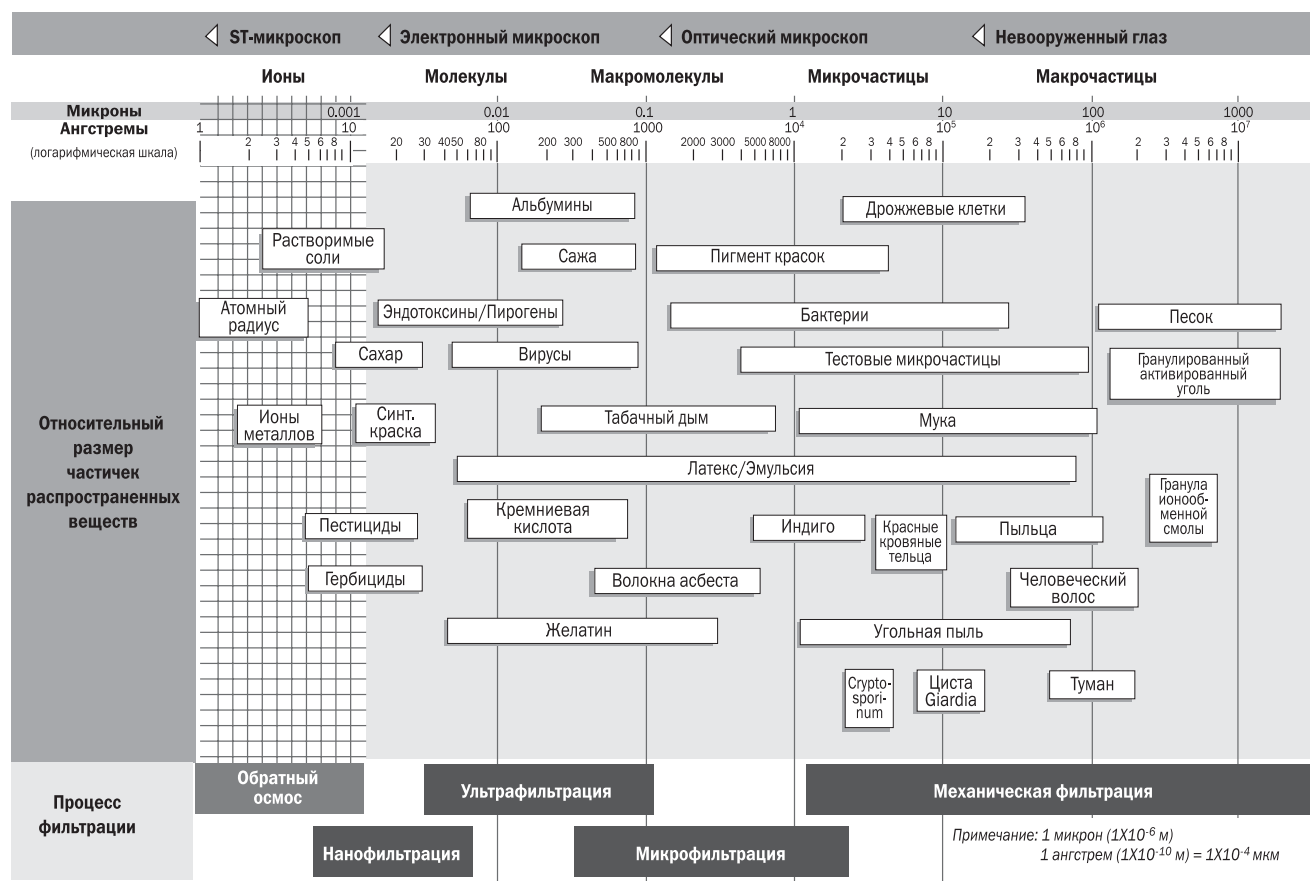


Рис. 1.10. Фильтрующая способность мембранных аппаратов. По материалам компании «Осмоникс» (Osmonics Inc., США)

ся для обессоливания вод с содержанием до 40 г/л, причем границы его использования постоянно расширяются.

### Сущность метода

Если растворитель и раствор разделить полупроницаемой перегородкой, пропускающей только молекулы растворителя, то растворитель начнет переходить через перегородку в раствор до тех пор, пока концентрации растворов по обе стороны мембраны не выравняются. Процесс самопроизвольного перетекания веществ через полупроницаемую мембрану, разделяющую два раствора различной концентрации (частный случай – чистый растворитель и раствор), называется *осмосом* (от греч.: *osmos* – толчок, давление).

Если над раствором создать противодавление, скорость перехода растворителя через мембрану уменьшится. При установлении равновесия отвечающее ему давление может служить количественной характеристикой явления обратного осмоса. Оно называется осмотическим давлением и равно тому давлению, которое нужно приложить к

раствору, чтобы привести его в равновесие с чистым растворителем, отделенным от него полупроницаемой перегородкой.

Применительно к системам водоподготовки, где растворителем является вода, процесс обратного осмоса можно представить следующим образом: если со стороны протекающей через аппарат природной воды с некоторым содержанием примесей приложить давление, превышающее осмотическое, то вода будет просачиваться через мембрану и скапливаться по другую ее сторону, а примеси – оставаться с исходной водой, их концентрация будет увеличиваться.

Некоторые гипотезы, предложенные для объяснения процесса обратного осмоса.

### Ситовая гипотеза

Размеры молекул воды меньше молекул и ионов всех веществ, находящихся в воде, – растворенных, коллоидов, неионогенных. Диаметр пор мембраны должен быть меньше суммы удвоенной толщины пограничного слоя на мембране и диаметра задерживаемого иона. В противном случае гидратирован-

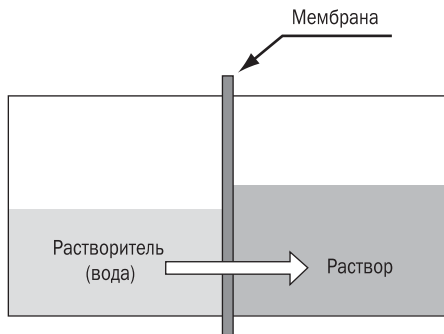


Рис. 1.11. Осмос. Система пытается прийти в равновесие путем переноса растворителя в раствор и разбавлением раствора. Поток направлен в сторону раствора

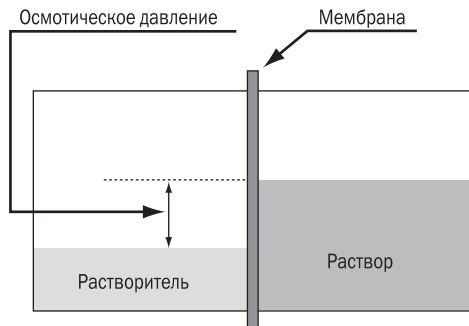


Рис. 1.12. Равновесие

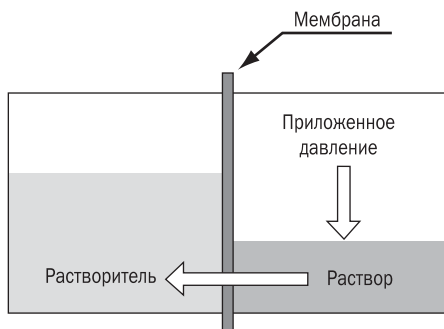


Рис. 1.13. Обратный осмос. Давление, приложенное со стороны раствора и превышающее осмотическое, вызывает перенос растворителя в обратном направлении, и раствор концентрируется

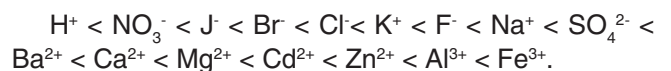
ный ион может пройти через пору, при этом гидратная оболочка иона и пограничный слой воды будут частично обмениваться молекулами  $H_2O$ . Здесь проявятся еще и необычные свойства тонких слоев (капилляров), в которых вода изменяет и плотность, и другие физические свойства.

При рассмотрении сущности обратного осмоса, вероятно, нет смысла говорить о порах как аналогах неких туннелей в мембране. Скорее всего, ионы и молекулы воды проходят через пустоты в молекулярной структуре материала мембраны.

**Энергетическая гипотеза**

«Протискивание» молекул примесей через мембраны обусловлено энергией гидратации частиц примесей. Процесс этот тем легче, чем меньше энергия гидратации.

Способность мембран задерживать ионы растворенных веществ совпадает с рядом увеличения их энергии гидратации:



Лучше всех задерживаются (труднее проходят или вовсе не проходят через поры) многовалентные ионы. Могут пройти, кроме молекул  $H_2O$ , гидратированные ионы  $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ , чьи размеры сопоставимы с размерами молекул  $H_2O$ . Радиус молекулы  $H_2O$  – 1,36 Å.

**Капиллярно-фильтрационная (сорбционная) гипотеза**

Предполагается, что слой воды перед мембраной, имеющий толщину нескольких десятков молекул, и вода внутри пор имеют пониженную растворяющую способность по сравнению с исходной водой, и поэтому ионы примесей не проходят через поры, так как растворитель (капиллярная и пленчатая вода) их плохо растворяет.

Каждая из гипотез сводится к действию определенного фактора, считающегося в данной ги-



потезе основным. Конечно, нужно рассматривать весь комплекс факторов, зависящий от условий процесса.

Есть и другие предположения с разной степенью обоснованности.

На практике мембраны обычно не обладают идеальной полупроницаемостью и наблюдается некоторый переход через мембрану растворенного вещества. В этом случае движущая сила  $\Delta P$  определяется выражением:

$$\Delta P = P - (\pi_1 - \pi_2) = P - \Delta\pi,$$

где  $P$  – избыточное (рабочее) давление над исходным раствором;  $\pi_1$  – осмотическое давление раствора;  $\pi_2$  – осмотическое давление фильтрата, прошедшего через мембрану.

Осмотические давления растворов могут достигать десятков МПа. Рабочее давление в обратноосмотических установках должно быть значительно больше, поскольку их производительность определяется движущей силой процесса – разностью между рабочим и осмотическим давлением. Так, при осмотическом давлении 2,45 МПа для морской воды, содержащей 3,5% солей, рабочее давление в опреснительных установках рекомендуется поддерживать на уровне 6,85–7,85 МПа.

### 4.10.3. Ультрафильтрация

Ультрафильтрация – процесс мембранного разделения, а также фракционирования и концентрирования растворов. Он протекает под действием разности давлений (до и после мембраны) растворов высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений.

Ультрафильтрация заимствовала у обратного осмоса способы получения мембран, а также во многом подобна ему и по аппаратному исполнению. Отличие заключается в гораздо более высоких требованиях к отводу от мембранной поверхности концентрированного раствора вещества, способного формировать в случае ультрафильтрации гелеобразные слои и малорастворимые осадки. Ультрафильтрация по схеме ведения процесса и параметрам – промежуточное звено между фильтрованием и обратным осмосом.

Технологические возможности ультрафильтрации во многих случаях гораздо шире, чем у обратного осмоса. Так, при обратном осмосе, как правило, происходит общее задержание почти всех частиц. Однако на практике часто возникает задача селективного разделения компонентов раствора, то есть фракционирования. Решение этой задачи является очень важным, поскольку возможны отделение и концентрирование весьма ценных или

редких веществ (белки, физиологически активные вещества, полисахариды, комплексы редких металлов и т.д.).

Ультрафильтрацию в отличие от обратного осмоса используют для разделения систем, в которых молекулярная масса растворенных компонентов намного больше молекулярной массы растворителя. Например, для водных растворов принимают, что ультрафильтрация применима тогда, когда хотя бы один из компонентов системы имеет молекулярную массу от 500 и больше.

Движущей силой ультрафильтрации является разность давлений по обе стороны мембраны. Обычно ультрафильтрацию проводят при сравнительно невысоких давлениях: 0,3–1 МПа.

В случае ультрафильтрации значительно повышается роль внешних факторов. Так, в зависимости от условий (давление, температура, интенсивность турбулизации, состав растворителя и т.д.), на одной и той же мембране можно добиться полного разделения веществ, невозможного при другом сочетании параметров.

К ограничениям ультрафильтрации относятся: узкий технологический диапазон – необходимость точного поддержания условий процесса; сравнительно невысокий предел концентрирования, который для гидрофильных веществ обычно не превышает 20–35%, а для гидрофобных – 50–60%; небольшой (1–3 года) срок службы мембран вследствие осадкообразования в порах и на их поверхности. Это приводит к загрязнению, отравлению и нарушению структуры мембран или ухудшению их механических свойств.

### 4.10.4. Мембраны

Определяющими при реализации мембранных методов являются разработка и изготовление полупроницаемых мембран, отвечающих следующим основным требованиям:

- высокая разделяющая способность (селективность);
- высокая удельная производительность (проницаемость);
- химическая стойкость к действию компонентов разделяемой системы;
- неизменность характеристик в процессе эксплуатации;
- достаточная механическая прочность, отвечающая условиям монтажа, транспортирования и хранения мембран;
- низкая стоимость.

В настоящее время на рынке есть мембраны двух основных типов, изготавливаемые из ацетилцеллюлозы (смесь моно-, ди- и триацетата) и ароматических полиамидов.



Для ацетилцеллюлозных мембран характерна высокая удельная производительность. По форме мембраны подразделяются на трубчатые, листовые (спирально свернутые) и выполненные в виде полых волокон.

Полиамидные мембраны имеют более низкую удельную производительность. Их выпускают в виде рулонных элементов, что позволяет обеспечить максимальную площадь поверхности на единицу объема, которая примерно в 15 раз больше, чем у элементов в плоских конструкциях.

Важно отметить: полиамидные мембраны очень устойчивы к воздействию химических и биологических факторов, что обеспечивает большую долговечность их по сравнению с ацетилцеллюлозными мембранами, гидролиз которых неизбежен, хотя и может быть сведен к минимуму, если строго контролировать значение pH и температуру.

Есть также мембраны, предназначенные специально для обработки морской воды. Изготовленные из тех же полимеров, они имеют более плотную структуру, позволяющую им обессоливать в одну стадию растворы, подобные морской воде и содержащие несколько десятков граммов солей в 1 л. С 1975 г. применение полиамидных мембран послужило толчком для создания ряда промышленных установок для получения деминерализованной воды.

Современные обратноосмотические мембраны – композитные – состоят из нескольких слоев. Общая толщина – 10–150 мкм, причем толщина слоя, определяющего селективность мембраны, не более 1 мкм.

С практической точки зрения наибольший интерес представляют два показателя процесса: ко-

эффициент задержания растворенного вещества (селективность), определяемый как

$$R = 1 - c''/c' \text{ или } R = (1 - c''/c') \cdot 100\%, \quad (4.67)$$

и производительность (объемный поток) через мембрану

$$J_v = \Delta q / S \Delta t, \quad (4.68)$$

( $c'$  и  $c''$  – концентрация растворенного вещества в исходном растворе и в фильтрате;  $\Delta q$  – объем фильтрата, прошедшего через мембрану площадью  $S$  за время  $\Delta t$ ).

Оба этих показателя неоднозначно характеризуют полупроницаемые свойства мембраны, так как в значительной степени зависят от условий процесса (давление, гидродинамическая обстановка, температура и т.д.).

#### 4.10.5. Мембранные аппараты и установки

К аппаратам для осуществления баромембранных процессов в промышленных масштабах предъявляются требования, определяемые возможностью их изготовления и условиями эксплуатации.

Аппараты для осуществления баромембранных процессов должны иметь большую поверхность мембран в единице объема аппарата и быть простыми в сборке и монтаже ввиду необходимости периодической смены мембран. При движении по секциям и элементам аппарата жидкость должна равномерно распределяться над мембранной поверхностью и иметь достаточно высокую скорость

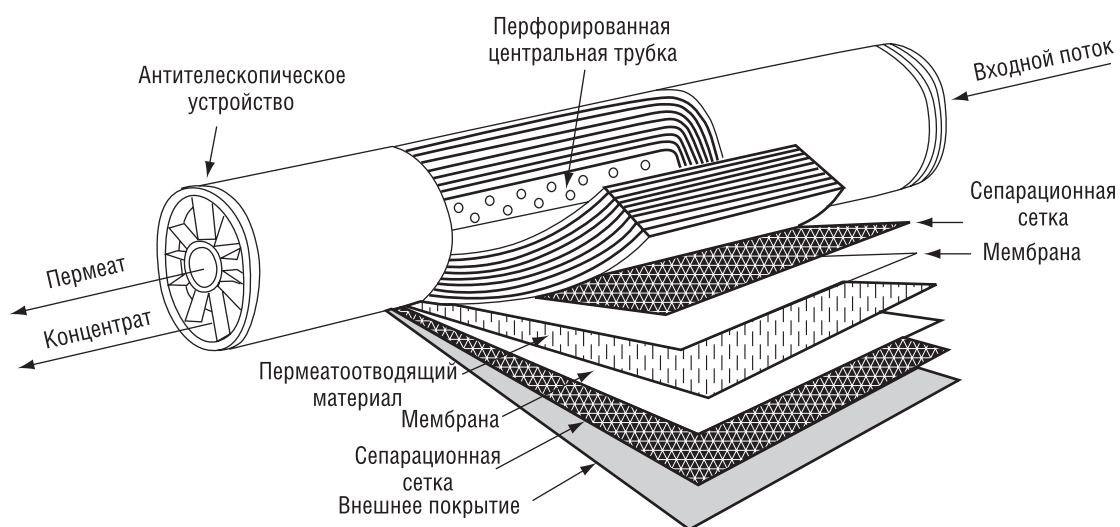


Рис. 1.14. Конструкция мембранного элемента

течения для уменьшения влияния концентрационной поляризации. Перепад давления в аппарате должен быть, по возможности, небольшим. Необходимо выполнение всех требований, связанных с работой аппаратов при повышенных давлениях: обеспечение механической прочности, герметичности и т.д.

Создать аппарат, в полной мере удовлетворяющий всем требованиям, по-видимому, невозможно. Поэтому для каждого конкретного процесса разделения следует подбирать конструкцию, обеспечивающую наиболее выгодные условия проведения именно этого процесса. Четыре основных типа аппаратов по способу укладки мембран:

«фильтр-пресс» с плоскокамерными фильтрующими элементами;

с трубчатыми фильтрующими элементами;

с рулонными или спиральными фильтрующими элементами;

с мембранами в виде полых волокон.

**Плоскокамерные:** мембранный элемент состоит из двух плоских мембран с расстоянием между ними 1,5–5,0 мм. В этом промежутке расположен пористый или сетчатый дренажный материал. Плотность упаковки мембран (поверхность, приходящаяся на единицу объема аппарата) невысока и равна 60–300 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>. Поэтому аппараты такого типа имеют малую производительность. Они применяются там, где потребность в деминерализованной воде невелика.

**Трубчатые аппараты** состоят из пористых трубок диаметром 5–20 мм. Материал, который служит мембраной, наносится на поверхность трубки (внутреннюю или наружную). Плотность упаковки у такого типа аппаратов также небольшая: 60–200 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.

**Рулонные:** мембранный элемент имеет вид пакета, три кромки которого герметизированы, а четвертая крепится к перфорированной трубке для отвода очищенной воды – пермеата (фильтрата). По окружности трубки таких пакетов несколько, все они вместе с сетками накручиваются на трубку. Разделяемая вода движется в продольном направлении по межмембранным каналам, а пермеат поступает в отводящую трубку. Хотя плотность упаковки таких аппаратов высока (300–800 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>), из-за сложности изготовления они применяются в основном на среднем и большом производстве.

**Волоконные:** мембранный элемент имеет вид пучка волокон. Аппарат представляет собою цилиндр, заполненный пучком пористых полых волокон с наружным диаметром 80–100 мкм и толщиной стенки 15–30 мкм. Разделяемая вода омывает наружную поверхность волокна, а по его внутреннему каналу выводится пермеат. Обладая очень большой плотностью упаковки – до 20000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, эти аппараты широко используются в опреснительных

установках, например, при получении питьевой воды из морской воды и рассолов.

Следует отметить, что установки состоят из большого числа унифицированных фильтрующих элементов или модулей, которые соединяют в батарее по определенной схеме. По этой причине их можно легко наращивать до требуемой (любой) производительности.

В простейшем варианте модули собирают по параллельной схеме. В этом случае все они работают в одинаковых условиях: при одном и том же давлении и коэффициенте выхода фильтрата. Такая система пригодна для большинства установок низкой производительности. Два манометра, расположенные на входе и на выходе установки, обеспечивают возможность непрерывного измерения и регулирования перепада давления в системе. Два расходомера, измеряющие, соответственно, расходы обрабатываемой воды и концентрата, показывают коэффициент выхода фильтрата, регулируемого двумя клапанами.

Часто применяют и другие схемы установок. Например, чтобы увеличить коэффициент выхода фильтрата, может быть использовано последовательное соединение модулей. Раствор концентрата из первой ступени служит исходной водой для второй ступени. Промежуточного насоса не требуется, поскольку давление на выходе из первой ступени незначительно отличается от давления на впуске во вторую ступень (потери напора – 0,2–0,3 МПа). Системы такого типа обычно называют «ступенчатым концентратором». Они способны обеспечивать коэффициент выхода фильтрата 70–90% (для двух- или трехступенчатых установок) без заметного увеличения коэффициента поляризации.

Пример для рулонных установок. Каждый стандартный рулонный мембранный элемент дает примерно 15% пермеата. Увеличение полезной производительности аппарата и системы в целом достигается компоновкой элементов в модули, содержащие от 1 до 9 расположенных последовательно друг за другом элементов. Из каждого элемента пермеат поступает в сборную трубку, а концентрат направляется в следующий элемент, то есть по пермеату модули установлены параллельно, а по концентрату – последовательно.

В других случаях, например для производства ультрачистой воды, может быть использована двухступенчатая обработка. Очищенная вода с первой ступени подается насосом на вторую ступень, где повторно обессоливается, чем достигается более глубокая степень деминерализации.

Экономичность сооружений оптимизируется также за счет включения аппаратов последовательно, за счет рециркуляции и пермеата, и концентрата – смешивания того или иного потока с исходной водой.

### 4.10.6. Концентрационная поляризация

При обессоливании раствора из-за переноса растворителя-воды через мембрану у ее поверхности увеличивается концентрация растворенных веществ по сравнению с их содержанием в объеме исходного раствора. Такое явление называется *концентрационной поляризацией*.

Из-за повышения концентрации растворенных веществ у поверхности мембраны снижаются ее селективность и удельная производительность. Поскольку отношение концентраций растворенных веществ у поверхности мембраны и в объеме разделяемого раствора экспоненциально возрастает с увеличением удельной производительности, концентрационная поляризация может стать фактором, лимитирующим проницаемость мембран. При повышенной концентрации веществ у разделяющей поверхности мембраны последняя может частично разрушаться или модифицироваться. И усилия, направленные на создание новых высокопроизводительных мембран, могут оказаться напрасными, если одновременно не предпринимать мер, снижающих негативное воздействие концентрационной поляризации. Для этого, как правило, применяют способы, связанные с интенсификацией массопередачи от поверхности мембран в объем потока исходного раствора, что имеет целью выравнивание концентрации у поверхности мембраны и в объеме раствора. Такие меры обычно сводятся к следующему:

- ◆ повышению температуры раствора;
- ◆ перемешиванию:

- с подведением механической энергии: перемешивание мешалками, вибрация мембраны, пульсация разделяемого раствора;

- без механической энергии: увеличение скорости, обращение потока, усиление естественной конвекции;

- ◆ изменению конфигурации каналов: короткие каналы, узкие каналы, турбулизирующие вставки;

Упомянутые способы уменьшения концентрационной поляризации сопряжены со значительными усложнениями аппаратного оформления процесса или его организации.

### 4.10.7. Причины изменения характеристик мембран в процессе их эксплуатации

#### *Физико-механическое воздействие на мембраны*

**Влияние давления.** При фильтровании под давлением происходит как изменение структуры мембраны вследствие ее деформации, так и закупорка отдельных пор мембраны молекулами воды. Совокупность всех процессов, связанных с деформацией мембран (изменение структуры мембраны, текучесть полимерной матрицы, уменьшение толщины мембраны и т.д.) под действием давления, получила название *крипа мембран*. В силу того, что при крипе растет гидравлическое сопротивление, этот процесс в определенной мере сопровождается уменьшением селективности мембран. Од-

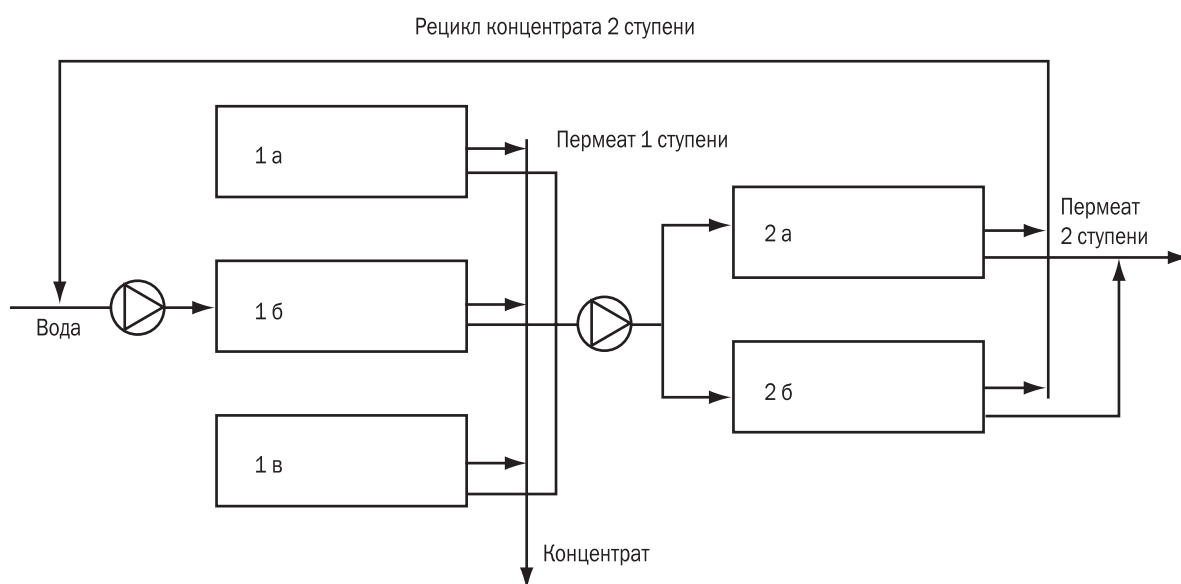


Рис. 1.15. Установка обратного осмоса с двумя ступенями обессоливания:

1 – мембранные элементы 1-й ступени; 2 – 2-й ступени

нако наиболее сильно крип проявляется в падении производительности.

**Влияние температуры.** Для ацетатцеллюлозных мембран с повышением температуры вначале проницаемость увеличивается обратно пропорционально вязкости жидкости. Затем проницаемость уменьшается и при температуре примерно 85°C падает до нуля. Этот эффект можно объяснить только усадкой и полным стягиванием пор мембраны в процессе структурирования полимера, который заканчивается при указанной температуре, что подтверждается, в частности, необратимым изменением свойств этих мембран после работы при температуре выше 50°C. Селективность ацетатцеллюлозных мембран при повышении температуры сначала возрастает, затем остается примерно постоянной.

### **Химическая и биологическая деструкция мембран**

При деминерализации природных вод обратноосмотические аппараты обычно не применяют при минерализации обрабатываемой воды более 50 г/л (с учетом концентрирования в обратноосмотических аппаратах), а pH воды остается в пределах от 5,5 (при предварительном ее подкислении) до 8,5. В таких растворах химически стойкими являются практически все выпускаемые промышленностью обратноосмотические мембраны.

Наиболее распространенные в нашей стране – мембраны из ацетилцеллюлозы, которые могут устойчиво работать при обессоливании воды со значениями pH = 5–8. В более кислой среде ацетилцеллюлоза подвергается гидролизу, а в щелочной – омылению. Расчетным путем были получены данные, показывающие: если принять за срок службы мембраны период, в течение которого качество фильтрата ухудшается вдвое по сравнению с исходным, то при pH = 4–5 ацетилцеллюлозная мембрана может работать примерно 4 года, при pH = 3 – 2,5 года, а при pH = 1 или pH = 9 – только несколько дней.

Мембраны из ароматического полиамида значительно более стойки в кислых и щелочных средах. Они могут работать длительное время без изменения своих свойств в интервале значений pH от 2 до 11. Вместе с тем мембраны из ароматических полиамидов подвержены разрушению хлором даже в небольших концентрациях, присутствующих в воде. Это их существенный недостаток по сравнению с ацетилцеллюлозными мембранами, на которые хлор в форме хлораминов не оказывает влияния даже при концентрации до 20 мг/л. Однако свободный хлор концентрацией 10–15 мг/л вызывает разрушение активного слоя мембран из ацетилцеллюлозы.

Озон тоже изменяет свойства полиамидных, а при pH = 5,8 – и ацетилцеллюлозных мембран.

Необходимо также учитывать, что ацетилцеллюлозные мембраны нестойки в среде таких полярных органических растворителей, как ацетон, диметилформамид и др.

Мембраны из ароматических полиамидов позволяют обессоливать воды при одновременном значительном концентрировании солей.

Многие полимерные материалы, в том числе и ацетилцеллюлоза, – хорошая питательная среда для микроорганизмов. Это создает предпосылки для развития на поверхности мембран колоний микроорганизмов, случайно занесенных с обрабатываемыми водами в обратноосмотический аппарат. Микрофлора, микрофауна и продукты их жизнедеятельности могут вызвать изменение в полимере мембраны, а также в структуре ее активного слоя, что приведет к ухудшению характеристик процесса обессоливания. Биохимическое воздействие микроорганизмов на полупроницаемые мембраны более опасно, чем их химическая деструкция. Оно может привести к разрушению активного слоя до такой степени, что на некоторых участках обнажится поддерживающий слой мембраны с порами, размер которых соизмерим с размерами бактерий. Последнее обстоятельство особенно опасно при использовании опресненной воды в питьевых целях, так как в этом случае возможно попадание патогенных микробов и вирусов из опресняемой воды в фильтрат (пермеат).

В последние годы созданы мембраны, устойчивые к действию агрессивных и биологически активных сред, что осуществляется за счет подбора полимерных материалов.

### **Загрязнение мембран при их эксплуатации**

При работе мембранных установок происходит постепенное снижение их производительности, обусловленное загрязнением мембран, образовавшимися на поверхности отложениями малорастворимых солей и микрочастиц, особенно при нарушении расчетного режима эксплуатации мембранной установки или системы предочистки. Плотные осадки на поверхности мембран создают барьер, препятствующий подводу обрабатываемой воды к полупроницаемой мембране, уменьшая фильтрующую поверхность и приводя к снижению производительности мембран.

При загрязнении поверхности мембран в аппарате интенсивно развивается концентрационная поляризация, так как толщина пограничного слоя увеличивается на толщину осадка.

Бактерии также могут восстанавливать сульфаты, присутствующие в обрабатываемой воде,



до сероводорода, вызывая при подкислении воды переход  $H_2S$  в фильтрат и ухудшение его органолептических свойств. Продукты метаболизма микроорганизмов также могут, частично проникая через мембрану, вызвать появление неприятного привкуса и запаха фильтрата, что особенно сильно проявляется при периодической работе обратноосмотических установок.

#### **Природа и химический состав загрязнений**

Обрабатываемые воды могут в разных количествах содержать взвешенные вещества различной дисперсности, соединения железа, соли кальция, магния, других элементов, фито- и зоопланктон, которые при обессоливании могут образовывать отложения на поверхности полупроницаемых мембран, а также загрязнять другие элементы аппаратов. Все отложения в аппаратах можно разделить на три большие группы, различающиеся как по химическому составу, структуре и размеру частиц осадка, так и по механизму их образования.

К первой группе относятся осадки коллоидных и взвешенных частиц, в образовании которых принимают участие микроорганизмы, активно воздействующие на мембрану. Однако основная масса осадков этой группы состоит из частиц органического и неорганического происхождения, находящихся в исходной воде, а также образующихся в процессе ее обработки перед обратным осмосом, при ее взаимодействии с атмосферой и элементами установки.

Вторую группу образуют труднорастворимые соединения, а третью – отложения высокомолекулярных органических веществ.

В состав загрязнений, образующихся в обратноосмотических аппаратах, могут также входить продукты коррозии металлических трубопроводов, арматуры и других элементов установок (соединения железа, меди, никеля и т.п.).

#### **Влияние гидродинамических условий в обратноосмотических аппаратах на загрязнение поверхности мембран**

Скорость образования и характер загрязнений полупроницаемых мембран во многом определяются гидродинамическими условиями в аппаратах.

Увеличение концентрации всех ионов около поверхности мембран по сравнению с их концентрацией в объеме раствора ускоряет процесс пересыщения растворов малорастворимыми соединениями.

Загрязнение аппарата влияет на равномерность распределения раствора в напорной камере и, как следствие, на солезадержание полупроницаемых мембран. Неравномерность в движении жидкости по напорному каналу, обусловленная

несовершенством конструкции установки или технологическими отклонениями при ее изготовлении так же может вызвать интенсивное загрязнение полупроницаемых мембран.

Одним из типов возникновения неравномерности распределения потоков является то, что в очень узком (например, 0,02 мм) канале даже незначительный (порядка 0,01 мм) перекоп вызывает значительное перераспределение потока вдоль мембраны. Образуется застойная зона, в которой и создаются благоприятные условия для отложения осадков. В предельном случае перераспределение потока может быть столь существенным, что солесодержание фильтрата, поступающего из застойных зон, равно солесодержанию обрабатываемой воды.

Другой тип неравномерности распределения потока обессоливаемой воды – различие в расходе через параллельно соединенные аппараты или камеры фильтр-прессных аппаратов. Эта неравномерность может быть обусловлена дефектами конструкций аппарата или недостатками изготовления и регулировки обессоливающей установки.

Загрязнение напорного канала в некоторых случаях может привести к выходу обратноосмотического аппарата из строя. Так, при загрязнении турбулизатора-разделителя рулонного фильтрующего элемента перепад давлений с его разных торцов может увеличиваться до тех пор, пока не наступит разрушение элемента из-за относительного сдвига слоев рулона (так называемый «телескопирование»); при этом произойдет резкое значительное увеличение производительности и солесодержания фильтрата.

Таким образом, загрязнение аппаратов оказывает влияние практически на все элементы и процессы, протекающие при обессоливании воды обратным осмосом, вызывая, в конечном счете, снижение полезной производительности аппаратов и ухудшение качества фильтрата.

#### **4.10.8. Способы предотвращения загрязнения мембран**

*Организация процесса* таким образом, что исходная вода течет вдоль мембраны и смывает или, скорее, уносит возможные отложения. При этом часть воды проходит через мембрану и образует пермеат (очищенная вода), а другая часть, прошедшая всю длину межмембранного канала, сбрасывается в дренаж в виде концентрата.

Наиболее эффективный (но и самый дорогой) способ предотвращения образования осадков солей жесткости – *питание установки умягченной водой*.

*Подкисление питающей воды.* Доза кислоты выбирается с таким расчетом, чтобы индекс Ланжелье, характеризующий степень насыщенности раствора карбонатом кальция, был отрицательным даже в

концентрате установки. Количество введенной кислоты не должно уменьшить pH исходной воды ниже предела применения мембран. Для многих процессов высокая кислотность обессоленной воды является препятствием к ее использованию.

*Дозирование ингибиторов*, которые замедляют или предотвращают кристаллизацию малорастворимых солей из раствора. В качестве ингибиторов применяют комплексные соединения высокомолекулярных органических кислот, например, фосфоновых. Поскольку ингибитор сбрасывается вместе с концентратом, важна его токсичность.

*Конструктивные мероприятия* – турбулизирующая сетка между мембранами.

Сетка турбулирует поток воды непосредственно около мембраны. Приблизительной (но достаточно корректной) аналогией может служить поведение воды в теплообменниках и трубах. Накипь и вообще отложения при прочих равных условиях тем меньше отлагаются на поверхностях труб трубчатых и пластин пластинчатых теплообменников, чем больше скорость движения воды и чем лучше турбулизирующая конструкция аппаратов. В «глухих» областях трубчатых теплообменников отложений всегда больше. Аналогично в точках (узлах) прикрепления сетки к мембране отложения все-таки возможны, так как там турбулизирующий эффект отсутствует.

#### 4.10.9. Восстановление характеристик мембран

Многолетний опыт эксплуатации большого количества опреснительных станций показал: при правильном выборе технологической схемы и режимов подготовки воды перед ее обессоливанием обратноосмотические аппараты сохраняют работоспособность более 5 лет. Следует иметь в виду, что добиться надежной работы установок в течение многих лет можно только при соблюдении всей совокупности требований по эксплуатации.

При неправильно выбранном интервале между операциями по регенерации мембран их эффективность падает, причем изменения характеристик мембран могут быть необратимыми. Очистку мембран следует проводить при падении их производительности на 10–15%. Продолжительность межрегенерационного периода зависит от состава исходной воды и технологии ее подготовки перед обратным осмосом. Качество подготовки воды считается хорошим, если стабильность работы обессоливающих аппаратов достигается при их периодической промывке не чаще одного раза в месяц.

##### *Химические методы*

В практике наибольшее распространение для очистки поверхности полупроницаемых мембран и

для восстановления их свойств получили химические методы, заключающиеся в обработке мембран и промывке аппаратов растворами различных реагентов. Эффективность таких методов обусловлена правильностью подбора реагента. При выборе вещества для промывки аппарата необходимо знать структуру и состав загрязнений, которые следует удалять, а также учитывать стойкость мембран в растворах этого вещества (табл.4.8).

##### *Физико-химические методы*

К физико-химическим методам следует отнести, в первую очередь, механическое удаление образовавшихся осадков с поверхности мембран.

Например, для удаления осадка с поверхности трубчатых мембран можно использовать очистку при помощи продавливания вдоль фильтрующей поверхности полиуретанового шарика диаметром большим, чем диаметр трубчатой мембраны. При использовании этого метода не достигается полного удаления осадка, а улучшение процесса обессоливания носит лишь кратковременный характер. Метод может быть применен на практике только в аппаратах трубчатого типа.

Применяется метод очистки мембран от загрязнений периодической подачей в аппарат порции воздуха под высоким давлением. При этом происходит интенсивное перемешивание находящейся в аппарате обрабатываемой воды и поступающего туда воздуха. Образующаяся в результате этого водо-воздушная смесь очищает поверхность мембран от загрязнений, снижая вероятность повреждения мембран, в отличие от механических и химических методов очистки.

Вместо воздуха для очистки мембран от загрязнений можно использовать диоксид углерода, растворенный в воде под большим давлением. При снижении давления в аппарате выделяются пузырьки  $\text{CO}_2$ , и газовая смесь вымывает отложения из напорных камер.

Еще один способ – гидравлическая промывка аппаратов: пропуск потока воды вдоль мембраны со скоростью 3–5 м/с, который можно создать специальными промывными устройствами. Вариант гидравлической промывки – создание пульсации давления в аппарате.

Большинство из перечисленных выше физико-механических способов очистки мембран обладает своими достоинствами и недостатками. Применение того или иного метода связано со спецификой технологического процесса и в первую очередь зависит от состава обрабатываемой воды.

Ни один из описанных методов регенерации мембран не может быть признан универсальным, пригодным для удаления любого осадка.



Таблица 4.8

Химическая очистка мембран

Загрязнение	Химический очиститель	Эффективность очистки
Неорганические соли – карбонат и сульфат кальция (соли жесткости)	0,2%-ный раствор соляной кислоты, 0,5%-ный раствор фосфорной кислоты, 2,0%-ный раствор лимонной кислоты	Очень хорошо Удовлетворительно Удовлетворительно
Гидроксиды металлов (железо)	0,5%-ный раствор фосфорной кислоты, 1,0%-ный раствор гидросульфита натрия	Хорошо Хорошо
Неорганические коллоиды (ил)	0,1%-ный раствор гидроксида натрия; 30°C 0,025%-ный раствор додецилсульфата натрия, 0,1%-ный раствор гидроксида натрия; 30°C	Хорошо Хорошо
Биологические загрязнения	0,1%-ный раствор гидроксида натрия; 30°C 1,0%-ный раствор натриевой соли этилендиамина тетрауксусной кислоты (Na <sub>4</sub> ЭДТА), 0,1% раствор гидроксида натрия; 30°C	Очень хорошо Очень хорошо, когда содержатся также неорганические частички
Органические загрязнения	0,025%-ный раствор додецилсульфата натрия 0,1%-ный раствор гидроксида натрия; 30°C 0,1%-ный раствор трифосфата натрия, 1%-ный раствор Na <sub>4</sub> ЭДТА	Хорошо Хорошо
Кремниевая кислота	0,1%-ный раствор гидроксида натрия; 30°C 1,0%-ный раствор Na <sub>4</sub> ЭДТА и 0,1%-ный раствор гидроксида натрия; 30°C	Удовлетворительно Удовлетворительно

#### 4.10.10. Оценка осветления воды

В настоящее время, несмотря на многолетний опыт эксплуатации значительного количества обратноосмотических обессоливающих установок, вопрос о нормировании отдельных компонентов, содержащихся в обрабатываемой воде, окончательно не решен. По некоторым видам загрязнений имеются лишь отдельные экспериментальные данные, обобщенные в рекомендациях фирм – изготовителей оборудования; по другим компонентам разработаны методики оценки их допустимого содержания.

Влияние многих ингредиентов еще не изучено в той мере, чтобы можно было выработать требования к их предельным концентрациям в воде, поступающей в обратноосмотические аппараты. Практика применения обратноосмотического обессоливания различных минерализованных вод показала, что широко используемые в водоподготовке показатели качества воды (мутность, прозрачность, содержание взвешенных веществ) не позволяют судить об эффективности и производительности мембран при обработке этих вод.

Соленые воды с формально одинаковым значением названных показателей могут в разной степени влиять на уменьшение производительности и селективности обратноосмотических аппаратов.

Поэтому для оценки необходимости и степени осветления воды перед подачей ее на обратноосмотическую обработку используют ряд специальных показателей.

Самый простой показатель качества воды, так называемое время загрязнения мембран (Membrane Fouling Time), определяется как продолжительность фильтрования 1 л исследуемой воды под давлением 70 кПа через мембранный фильтр фирмы «Миллипор» с размером пор 0,45 мкм. Полученная продолжительность фильтрования приводится к стандартной температуре 25°C с учетом вязкости воды при температуре определения.

Фирма «Курита» (Япония) оценивает качество воды по интенсивности цвета осадка, образовавшегося на мембранном фильтре «Миллипор» с размером пор 0,45 мкм при фильтровании под давлением 210 кПа 1 л исследуемой воды. Полученная интенсивность цвета осадка сравнивается с предлагаемой фирмой стандартной шкалой. Этот метод имеет, очевидно, существенный недостаток – не учитываются изменения цвета при изменении химического состава загрязнения. Однако он может оказаться очень полезным при эксплуатации конкретной станции обессоливания, когда установлено содержание взвешенных и коллоидных веществ, которым следует ограничиться при подготовке воды перед обратноосмотической ее обработкой.

кой и по указанной методике определена интенсивность окрашивания осадка, соответствующая данной концентрации загрязняющих компонентов.

Фирма «Пермутит» (США) оценивает качество осветления воды перед обратным осмосом критерием, называемым «фактором закупоривания» (Plugging Factor, PF) – см. П.4.5.

Для аппаратов с полыми волокнами фирма рекомендует  $PF = 50\text{--}60\%$ ; трубчатые конструкции допускается эксплуатировать при  $PF = 45\text{--}50\%$ .

Фирма «Дюпон» предложила использовать «индекс плотности осадка» (Silt Density Index – SDI) – см. П.4.5.

Вода признается пригодной для обессоливания обратным осмосом при  $SDI = 4\text{--}5$ .

Этот же показатель качества воды называется «индексом загрязненности» (Fouling Index). Стабильная работа обратноосмотических аппаратов обеспечивается при значении  $FI = 3$ .

#### 4.10.11. Условия применения обратного осмоса

Ниже приведены ориентировочные показатели, которым должна соответствовать исходная вода, подаваемая на обратноосмотические мембраны (наличие некоторого диапазона обуславливается требованиями разных производителей мембран):

- мутность – до (1–5) ЕМФ;
- окисляемость перманганатная – до 3 мг/Ол;
- водородный показатель (рН) – (3–10), (иногда 2–11);
- нефтепродукты – (0,0–0,5) мг/л;
- сильные окислители (хлор свободный, озон, марганцевоокислый калий) – до 0,1 г/л;
- марганец общий (Mn) – до 0,05 мг/л;
- железо общее (Fe) – до (0,1–0,3) мг/л (некоторые фирмы требуют не более 0,05 мг/л);
- кремниесоединения (Si) – до (0,5–1,0) мг/л;
- сероводород – 0,0 мг/л;
- индекс SDI – до (3–5) ед.
- минерализация общая – до (3,0–20) г/л (иногда до 50 г/л); при значениях минерализации менее 2–3 г/л экономические показатели аппаратов ухудшаются;
- температура воды – 5–35 (иногда до 45) °С;
- давление – (0,3–6,0) МПа (в зависимости от минерализации);
- температура воздуха в помещении – 5–35°С;
- влажность воздуха в помещении –  $\leq 70\%$ ;
- не допускается высыхание мембран и их длительный простой (более трех суток без специальной консервации).

#### 4.10.12. Сравнение методов обессоливания (ионный обмен и обратный осмос)

##### *Обратный осмос*

##### **Преимущества:**

очень высокое качество получаемой воды, которое обусловлено весьма «мягкими» с физико-химической точки зрения условиями проведения процесса;

неограниченная производительность (путем набора стандартных модулей и блоков) и – одновременно – небольшие габариты; отношение: производительность/габариты – лучшее по сравнению с другими методами обессоливания – дистилляцией, ионообменом, электролизом;

относительно низкие эксплуатационные расходы; малый расход ингибиторов отложений и реагентов для отмывки отложений на мембранах;

низкая энергоемкость (процесс осуществляется без фазовых переходов, и, следовательно, энергия требуется лишь для создания градиента давления и рециркуляции раствора);

возможность почти во всех случаях сброса концентрата в канализацию (в окружающую среду) без обработки.

##### **Недостатки баромембранных методов:**

необходима тщательная подготовка воды для обеспечения большой производительности мембран и длительного срока их службы;

большой объем сбрасываемого концентрата (с учетом компоновочных решений расход пермеата может составить 75–80% исходной воды, концентрат – 20–25%) и, следовательно, значительный расход исходной воды;

большие капитальные затраты;

желательный непрерывный режим работы установок.

##### *Ионообменный метод*

##### **Преимущества:**

возможность получения воды очень высокого качества (многоступенчатые установки), в том числе для котлов любого давления и промывки печатных плат электронного оборудования;

способность работать при резко меняющихся параметрах питающей воды;

небольшие капитальные и энергозатраты;

небольшой объем воды на собственные нужды, особенно у противоточных фильтров;

##### **Недостатки:**

относительно большой расход реагентов, особенно у параллельноточных натрий-катионитных фильтров;

эксплуатационные расходы увеличиваются пропорционально солесодержанию исходной воды и при необходимости уменьшать предел обессоливания обработанной воды;  
в зависимости от качества исходной воды требуется подготовка – иногда весьма сложная;  
необходима обработка сточных вод и сложности с их сбросом.

## 4.11. Обезжелезивание воды

Вода с высоким содержанием железа обладает неприятным вкусом, а использование такой воды в производственных процессах (текстильная промышленность, производство бумаги и т.д.) недопустимо, так как приводит к появлению ржавых пятен и разводов на готовой продукции. Ионы железа и марганца загрязняют ионообменные смолы, поэтому при проведении большинства ионообменных процессов предшествующей стадией обработки воды является их удаление.

В теплоэнергетическом оборудовании (котлы паровые и водогрейные, теплообменники) железо – источник образования железонакипных отложений на поверхностях нагрева.

В воде, поступающей на обработку в баромембранные, электродиализные, магнитные аппараты – всегда лимитируется содержание железа.

Очистка воды от соединений железа – в ряде случаев довольно сложная задача, которая может быть решена только комплексно. Это обстоятельство в первую очередь связано с многообразием форм существования железа в природных водах. Чтобы определить наиболее действенный и экономичный для конкретной воды метод обезжелезивания, нужно произвести пробное удаление железа.

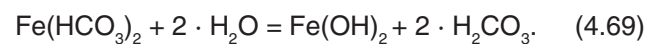
В соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84\* метод обезжелезивания воды, расчетные параметры и дозы реагентов следует принимать на основе результатов технологических изысканий, выполненных непосредственно у источника водоснабжения.

### 4.11.1. Химизм процессов в воде с участием железа

В воде *поверхностных источников* железо находится обычно в форме органо-минеральных коллоидных комплексов, в частности, в виде гуминовокислого железа, и тонкодисперсной взвеси гидроксида железа. В речной воде, загрязненной кислотными стоками, встречается сульфат двухвалентного железа  $FeSO_4$ . Из-за наличия в реч-

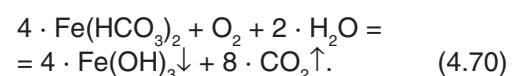
ной воде растворенного кислорода двухвалентное железо  $Fe^{2+}$  окисляется в трехвалентное  $Fe^{3+}$ . При появлении в воде сероводорода  $H_2S$  образуется тонкодисперсная взвесь сульфида железа  $FeS$ .

Подземные источники воды в подавляющем большинстве характеризуются наличием растворенного бикарбоната двухвалентного железа  $Fe(HCO_3)_2$ , который вполне устойчив при отсутствии окислителей и  $pH > 7,5$ . При большой карбонатной жесткости,  $pH > 10$  и содержании  $Fe^{2+} > 10$  мг/л бикарбонат может гидролизироваться с образованием углекислоты:



Концентрация железа в подземных грунтовых водах находится в пределах от 0,5 до 50 мг/л. В центральном российском регионе, включая Подмосковье, эта величина изменяется в диапазоне 0,3–10 мг/л, наиболее часто – 3–5 мг/л, в зависимости от географического местоположения и глубины источника. Начиная с концентрации 1,0–1,5 мг/л вода имеет неприятный металлический привкус. При значениях более 0,3 мг/л железо оставляет пятна на белье и санитарно-технических изделиях. При концентрации железа менее 0,3 мг/л запах обычно не ощущается, хотя могут появляться мутность и цветность воды.

Анаэробная (не имеющая контакта с воздухом) прозрачная грунтовая вода может содержать соединения двухвалентного железа ( $Fe^{2+}$ ) до нескольких миллиграммов на литр без ее помутнения при прямой подаче из источника. Однако при контакте с воздухом, а точнее, с кислородом воздуха, двухвалентное железо окисляется до трехвалентного коллоидного состояния, придавая воде характерный красно-коричневый оттенок:



Удаление  $CO_2$  при азиривании необходимо, так как при  $pH < 7,0$  процесс окисления  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$  замедляется.

Количество углекислого газа ( $CO_2$ ) в воде, поступающей на обезжелезивание, мг/л:

$$C_{\text{вх}} = 1,57 C_{\text{Fe}} + C_{\text{H}}, \quad (4.71)$$

где  $C_{\text{Fe}}$  – содержание железа в исходной воде, мг/л;  $C_{\text{H}}$  – начальная концентрация в воде свободного  $CO_2$ , мг/л.

Приблизительно:

$$C_{\text{H}} = 0,268 \cdot Ж_{\text{к}}^3, \quad (4.72)$$

где  $J_k$  – карбонатная жесткость воды, ммоль/л. Гидроксид трехвалентного железа  $Fe(OH)_3$  коагулирует и переходит в оксид железа  $Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ , выпадающий в осадок в виде бурых хлопьев.

Пользователь зачастую наблюдает следующую картину: в первый момент вода, полученная из скважины, кажется абсолютно чистой и прозрачной, но с течением времени (от нескольких минут до нескольких часов) она мутнеет (реакция (4.70)), приобретая специфический оттенок. При отстаивании воды муть оседает, образуя бурый рыхлый осадок (гидроксид трехвалентного железа).

Железо способствует также развитию «железобактерий», которые получают энергию при окислении  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ , в результате чего в трубопроводах и на оборудовании образуется скопление слизи.

В процессе окисления на 1 мг  $Fe^{2+}$  затрачивается 0,143 мг кислорода ( $O_2$ ), увеличивается содержание свободной углекислоты ( $CO_2$ ) на 1,6 мг/л, а щелочность снижается на 0,036 ммоль/л.

Присутствие в воде солей меди, а также контакт воды с ранее выпавшим осадком  $Fe(OH)_3$  каталитически ускоряют процесс окисления  $Fe^{2+}$  до  $Fe^{3+}$ .

В зависимости от условий (значение pH, температура, наличие в воде окислителей или восстановителей, их концентрация) окисление может предшествовать гидролизу, идти параллельно с ним или окислению может подвергаться продукт гидролиза двухвалентного железа  $Fe(OH)_2$ .

Выбор оптимального метода обезжелезивания воды зависит от знания форм железа, присутствующих в природных водах, которые нужно обезжелезивать.

#### 4.11.2. Методы обезжелезивания воды

Для обезжелезивания поверхностных вод используются только реагентные методы с последующей фильтрацией. Обезжелезивание подземных вод осуществляют фильтрованием в сочетании с одним из способов предварительной обработки воды:

- упрощенная аэрация;
- аэрация на специальных устройствах;
- коагуляция и осветление;
- введение таких реагентов-окислителей, как хлор, гипохлорит натрия или кальция, озон, перманганат калия.

При мотивированном обосновании применяют катионирование, диализ, флотацию, электрокоагуляцию и другие методы.

Для удаления из воды железа, содержащегося в виде коллоида гидроксида железа  $Fe(OH)_3$  или в виде коллоидальных органических соединений, например гуматов железа, используют коагулирование сульфатом алюминия или оксихлоридом

алюминия, или железным купоросом с добавлением хлора или гипохлорита натрия.

В качестве наполнителей для фильтров в основном используют песок, антрацит, сульфуголь, керамзит, пиролюзит, а также фильтрующие материалы, обработанные катализатором, ускоряющим процесс окисления двухвалентного железа в трехвалентное. В последнее время всё большее распространение получают наполнители с каталитическими свойствами: Manganese Green Sand (MGS), Birm, МТМ, МЖФ и др. (Подробнее – см. 4.2, п. 2).

При наличии в воде коллоидного двухвалентного железа требуется проведение пробного обезжелезивания. Если отсутствует возможность осуществить его на первой стадии проектирования, выбирают один из вышеперечисленных методов на основании проведенного пробного обезжелезивания в лаборатории или опыта работы аналогичных установок.

#### *Упрощенная аэрация (см. СНиП 2.04.02-84\*)*

В процессе аэрации кислород воздуха окисляет двухвалентное железо, при этом из воды удаляется углекислота, что ускоряет процесс окисления и последующий гидролиз с образованием гидроксида железа.

Метод основан на способности воды, содержащей двухвалентное железо и растворенный кислород, при фильтровании через зернистый слой выделять железо на поверхности зерен загрузки, образуя каталитическую пленку из ионов и гидроксидов двух- и трехвалентного железа. Пленка активно интенсифицирует процесс окисления и выделения соединений железа из воды.

При поступлении в фильтр первых порций очищаемой воды в начале процесса обезжелезивания на поверхности наполнителя формируется мономолекулярный слой соединений железа (физическая адсорбция). Поверхностный слой химически более активен, чем чистый наполнитель, что ускоряет процесс осаждения железа. Значение истинной поверхности пленки соединений железа более 200 м<sup>2</sup>/г, что определяет ее свойства как сильного адсорбента губчатой структуры. Эта пленка временно служит катализатором окисления двухвалентного железа. Нужно отметить: ряд примесей в очищаемой воде, таких как сероводород, свободная углекислота, коллоидная кремниевая кислота, аммиак, заметно ухудшают каталитические свойства пленки.

Описанный метод допустим при следующих количественных показателях воды:

- общее содержание железа до 10 мг/л (в том числе, двухвалентного железа – не менее 70%);



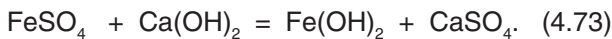
значение pH – не менее 6,8;  
щелочность общая – более  $(1 + Fe^{2+} / 28)$  ммоль/л;  
содержание сероводорода – не более 2 мг/л;  
перманганатная окисляемость – не более  $(0,15 \cdot Fe^{2+} + 3)$  мгО/л.

содержание аммонийных солей (по  $NH_4^+$ ) не более 1 мг/л;

содержание сульфидов (по  $H_2S$ ) – не более 0,2 мг/л.

Если одно из этих условий не выдерживается, нужна предварительная аэрация воды в аэраторах с добавлением в нее необходимых реагентов (хлор, гипохлорит натрия, перманганат калия и др.).

При содержании железа в воде в виде сульфата  $FeSO_4$  аэрация воды не позволяет провести ее обезжелезивание: при гидролизе растворенной соли железа образуется кислота, понижающая pH воды менее 6,8, при этом процесс гидролиза почти прекращается. Для удаления из воды кислоты требуется ее известкование с осаждением плохо растворимого гипса  $CaSO_4$ :



После известкования требуются отстаивание и фильтрование воды.

Упрощенную аэрацию можно реализовать путем излива воды в карман или в центральный канал открытых фильтров с высоты 0,5–0,6 м над уровнем воды.

При использовании напорных фильтров воздух вводят непосредственно в подающий трубопровод на расстоянии, равном не менее 10 диаметров трубопровода, с нормой расхода 2 л на 1 г железа ( $Fe^{2+}$ ). Если в исходной воде более 40 мг/л свободной углекислоты и более 0,5 мг/л сероводорода, то воздух в трубопровод не вводят. В этом случае перед напорным фильтром необходимо установить промежуточную емкость со свободным изливом воды и повысительный насос.

СНиП 2.04.02-84\* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» определяют расчетную скорость фильтрования при обезжелезивании воды упрощенной аэрацией с помощью табл. 4.10.

Используя характеристики конкретного наполнителя фильтра и руководствуясь параметрами табл. 4.10, можно выполнить расчет фильтровальной станции. СНиП 2.04.02-84\* требуют, чтобы продолжительность работы фильтров между промывками при нормальном режиме составляла не менее 8–12 ч, а при форсированном режиме или полной автоматизации промывки фильтра – не менее 6.

Общую поверхность фильтрования можно определить по формуле:

$$F = Q / (T_{ст} v_n - n_{пр} q_{пр} - n_{пр} t_{пр} v_n), \quad (4.74)$$

Таблица 4.10

Характеристика фильтрующего слоя при обезжелезивании воды упрощенной аэрацией					Расчетная скорость фильтрования, м/ч
Минимальный диаметр зерен, мм	Максимальный диаметр зерен, мм	Эквивалентный диаметр зерен, мм	Кэффициент неоднородности	Высота слоя, мм	
0,8	1,8	0,9–1,0	1,5–2	1000	5–7
1	2	1,2–1,3	1,5–2	1200	7–10

где  $Q$  – полезная производительность фильтровальной станции, м<sup>3</sup>/сут;  $T_{ст}$  – продолжительность работы станции в течение суток, ч;  $v_n$  – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме (м/ч), принимаемая по табл. 4.10;  $n_{пр}$  – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации;  $q_{пр}$  – удельный расход воды на одну промывку одного фильтра, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> (определяется по паспортным данным фильтра и эксплуатационным характеристикам наполнителя);  $t_{пр}$  – время простоя фильтра в связи с промывкой, ч (паспортные данные фильтра и рабочие характеристики наполнителя).

#### Аэрация в специальных устройствах

Когда необходимо удалить из воды железо при концентрации его в воде более 10 мг/л и увеличить значение pH более 6,8, осуществляется аэрация в специальных устройствах.

Для этого используют вентиляторные градирни (дегазаторы) или контактные градирни с естественной вентиляцией. Исходная вода подается в верхнюю часть вентиляторной градирни, заполненной керамической насадкой (кольца Рашига). Навстречу потоку воды с помощью вентилятора направляют воздух. В процессе аэрации выделяется углекислота (диоксид углерода), вода обогащается кислородом и происходит окисление железа. Затем вода подается в фильтр, где в объеме наполнителя завершается образование хлопьев гидроксида трехвалентного железа и их задержание.

#### Метод «сухого» фильтрования

Метод заключается в фильтровании воздушно-водной эмульсии через «сухую» (незатопленную) зернистую загрузку путем создания в фильтре вакуума или нагнетания большого количества воздуха с последующим отсосом из поддонного пространства. При этом на поверхности фильтрующей

загрузки образуется адсорбционно-каталитическая пленка из соединений железа (и марганца, если он присутствует в воде), повышая эффективность процессов обезжелезивания и деманганизации. В качестве загрузки обычно используются песок, керамзит, антрацит, винипласт и др.

Особенность процесса – образование дегидратированной пленки на зернах загрузки, состоящей из магнетита, сидерита, гетита и гематита. Указанные соединения имеют плотную структуру, а объем их в 4–5 раз меньше, чем у гидроксида железа. Поэтому невысок темп прироста потерь напора в загрузке при такой схеме процесса.

### **Коагулирование, осветление, флокулирование**

Из поверхностных вод, как правило, необходимо удалить взвеси и коллоидно-дисперсные вещества, включающие соединения железа. Освобождение воды от взвеси и коллоидных веществ возможно осуществить только путем ввода специальных реагентов-коагулянтов. Коагулянт образует в воде хлопья, которые адсорбируют на своей поверхности коллоиды и выделяются в виде осадка.

В качестве коагулянтов применяют:

сульфат алюминия (глинозем)  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  при pH исходной воды 6,5–7,5;

сульфат железа (железный купорос)  $FeSO_4 \cdot 7 H_2O$  при pH воды 4–10;

хлорное железо  $FeCl_3 \cdot 6 H_2O$  для воды с pH = 4–10;

полигидроксихлорид алюминия  $Al_2(OH)_5Cl$ .

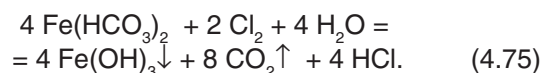
Для интенсификации процесса коагуляции в воду дополнительно вводят флокулянты (наиболее распространен полиакриламид. Флокулянты способствуют укрупнению осадка и ускоряют процесс слипания осаждаемых коллоидных и взвешенных частиц.

### **Введение реагентов-окислителей.**

#### **Обработка воды хлором и его производными**

Реагенты-окислители, в первую очередь хлор, с целью обеззараживания, а также удаления железа, используются в России с начала XX в. Л.А. Кульский сообщает: хлорирование почти во всех случаях освобождает воду от содержащегося в ней железа. После обработки разных вод этим методом содержание железа во всех случаях становится меньше 0,1 мг/л, причем метод эффективен, когда другие приемы не работают. Под действием хлора происходит разрушение гуматов и других органических соединений железа и переход их в форму неорганических солей трехвалентного железа, которые легко гидролизуются. В результате гидролиза выпадает осадок или гидроксида железа, или продуктов неполного гидролиза – основных

солей железа различного состава. Эти процессы можно условно описать следующим уравнением:



Как видно из уравнения, вода подкисляется. По стехиометрии (в соответствии с уравнением реакции) на окисление 1 мг двухвалентного железа расходуется 0,64 мг хлора, при этом щелочность уменьшается на 0,018 ммоль/л.

Хлор также окисляет двухвалентный марганец, разрушая органические вещества и сероводород.

Доза хлора в зависимости от содержания железа может составлять 5–20 г на 1 м<sup>3</sup> воды при контакте, по крайней мере, в течение 30 мин (не только для окисления железа, но и для надежного обеззараживания).

СНиП 2.04.02-84\* определяют расчетную дозу хлора (в пересчете на 100%, мг/л) для целей обезжелезивания следующим выражением:

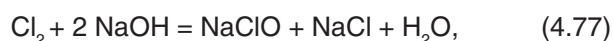
$$D_x = 0,7 \cdot [Fe^{2+}], \quad (4.76)$$

где  $[Fe^{2+}]$  – концентрация двухвалентного железа, мг/л.

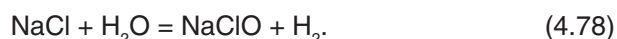
Обработку воды хлором осуществляют с помощью хлораторов, в которых газообразный (испаренный) хлор абсорбируют водой. Хлорную воду из хлоратора подают к месту потребления. Хотя этот метод обработки воды и является наиболее распространенным, тем не менее он обладает целым рядом недостатков, в первую очередь связанных со сложной транспортировкой и хранением больших объемов жидкого высокотоксичного хлора.

В качестве альтернативного варианта в последние годы все шире используют обработку воды раствором гипохлорита натрия ( $NaClO$ ), причем этот метод находит применение как на больших станциях водоподготовки, так и на небольших объектах, в том числе и в частных домах (см. П.5.9).

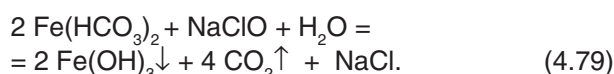
Водные растворы гипохлорита натрия получают химическим:



или электрохимическим методом по реакции:



Окисление двухвалентного железа происходит в соответствии со следующим уравнением:





При расчете дозы гипохлорита натрия на обезжелезивание нужно обязательно учитывать его расход на деманганацию, удаление сероводорода (если марганец и сероводород присутствуют в обрабатываемой воде) и – когда это требуется – обеззараживание.

Требуемый расход активного хлора (АХ) на обработку воды (в пересчете на 100%-ный хлор, г/ч) определяется следующим выражением:

$$AX = Q_{\text{час}} \cdot \{D_x + [Fe^{2+}] \cdot K_{Fe}\} + [Mn^{2+}] \cdot K_{Mn} + [H_2S] \cdot K_{CB}, \quad (4.80)$$

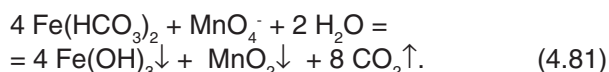
где  $Q_{\text{час}}$  – объемный расход воды (максимальный), м<sup>3</sup>/ч;  $D_x$  – доза активного хлора для обеззараживания воды, мг/л;  $[Fe^{2+}]$  – содержание двухвалентного железа в исходной воде, мг/л;  $K_{Fe}$  – расход активного хлора для окисления железа (0,64 мг активного хлора на 1 мг двухвалентного железа);  $[Mn^{2+}]$  – содержание двухвалентного марганца в исходной воде, мг/л;  $K_{Mn}$  – расход активного хлора для окисления двухвалентного марганца (1,3 мг активного хлора на 1 мг марганца);  $[H_2S]$  – содержание сероводорода в исходной воде, мг/л;  $K_{CB}$  – расход активного хлора для разрушения сероводорода (2,1 мг активного хлора на 1 мг сероводорода).

Как следует из уравнения (4.79), в процессе окисления железа гипохлоритом натрия не происходит подкисления воды, а это очень важно для процесса фильтрации. Кроме того, раствор гипохлорита натрия (как товарный, так и электрохимический) – щелочной.

#### **Обработка воды перманганатом калия**

Метод окисления двухвалентного железа используется путем введения в исходную воду перед фильтрами раствора перманганата калия  $KMnO_4$ . Последний может также вводиться в сочетании с гипохлоритом натрия с целью обработки сложных вод и экономии перманганата калия – достаточно дорогостоящего окислителя.

При обработке воды перманганатом калия реакция окисления железа с последующим гидролизом протекает по уравнению:



По уравнению (4.81) на окисление 1 мг  $Fe^{2+}$  тратится 0,71 мг (практически 1 мг) перманганата калия, а щелочность воды уменьшается на 0,036 ммоль/л. СНиП 2.04.02-84\* определяют расчетную дозу перманганата калия (в пересчете на 100%, мг/л) для окисления железа и марганца при помощи следующего выражения:

$$D_{KMnO_4} = [Fe^{2+}] + 2 \cdot [Mn^{2+}], \quad (4.82)$$

где  $[Fe^{2+}]$  – концентрация двухвалентного железа в исходной воде, мг/л;  $[Mn^{2+}]$  – концентрация двухвалентного марганца в исходной воде, мг/л.

Для приготовления рабочих растворов следует руководствоваться данными по растворимости перманганата калия в воде:

при температуре 20°C – 6,34 г  $KMnO_4$  на 100 г воды;

при температуре 60°C – 22,2 г  $KMnO_4$  на 100 г воды.

При совместном введении в обрабатываемую воду перманганата калия и гипохлорита натрия дозы этих реагентов (в пересчете на 100%, мг/л) можно определить из уравнений:

$$D_{KMnO_4} = 0,2 \cdot [Fe^{2+}] + 2 \cdot [Mn^{2+}]; \quad (4.83)$$

$$D_{NaOCl} = 0,7 \cdot [Fe^{2+}]. \quad (4.84)$$

Сравнение уравнений (4.83) и (4.84) показывает: совместный ввод реагентов позволяет экономить до 80% перманганата калия. Введение этого реагента перед подачей в воду гипохлорита натрия разрушает органические вещества, вступающие в реакцию с хлором. В результате образуются продукты с резким запахом, например, фенолы. Если ввод реагентов осуществить в другой последовательности, то перманганат калия будет разрушать образованные хлорпродукты.

#### **Обработка воды озоном**

Один из перспективных методов окисления железа – озонирование. Озон ( $O_3$ ) – один из самых сильных окислителей. Одновременно с обеззараживанием идут процессы окисления двухвалентных железа и марганца, обесцвечивание воды, а также ее дезодорация и улучшение органолептических свойств. (Подробнее – в ч. 1, п. 4.13.)

Стехиометрически можно определить дозу озона на окисление двухвалентного железа по следующему выражению:

$$D_{O_3} = 0,14 \cdot [Fe^{2+}], \text{ мг/л.} \quad (4.85)$$

где  $[Fe^{2+}]$  – концентрация двухвалентного железа в исходной воде, мг/л.

#### **Фильтрация с применением каталитических загрузок**

Фильтрация с применением каталитических загрузок – наиболее распространенный метод удаления железа и марганца, применяемый в высокопроизводительных компактных системах. Это обусловлено как коммерческими аспектами, так

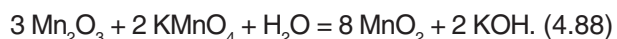
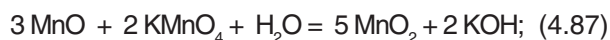
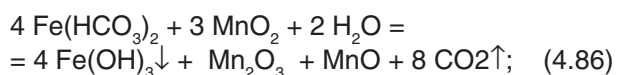
и высокой технологичностью процессов. Каталитические наполнители – природные материалы, содержащие диоксид марганца или загрузки, в которые диоксид марганца введен при соответствующей обработке:

дробленый пиролюзит, «черный песок», сульфуголь и МЖФ (отечественные загрузки);

Manganese Green Sand (MGS), Birm, MTM (зарубежные наполнители);

Эти фильтрующие «засыпки» отличаются друг от друга как своими физическими характеристиками, так и содержанием диоксида марганца и поэтому эффективно работают в разных диапазонах значений характеризующих воду параметров. Однако принцип их работы одинаков. Дополнительно – см. ч. 2, п. 2.

Механизм действия основан на способности соединений марганца сравнительно легко изменять валентное состояние. Двухвалентное железо в исходной воде окисляется высшими оксидами марганца. Последние восстанавливаются до низших ступеней окисления, а далее вновь окисляются до высших оксидов растворенным кислородом и перманганатом калия:



Впоследствии большая часть окисленного и задержанного на фильтрующем материале железа вымывается в дренаж при обратной промывке. Таким образом, слой гранулированного катализатора служит одновременно и фильтрующей средой. Для улучшения процесса окисления в воду могут добавляться дополнительные химические окислители.

При проведении процесса следует иметь в виду, что для эффективного окисления соединений железа (и марганца) необходимо как наличие катализатора, который только ускоряет процесс, так и реагента-окислителя. В роли последнего может выступать растворенный кислород, высшие соединения марганца, хлор, гипохлорит. С этой точки зрения разделение методов обезжелезивания (на реагентные и безреагентные) носит условный характер. В любом случае в ходе реакции расходуется окислитель независимо от того, вводится он извне или входит в состав фильтрующей загрузки. В последнем случае следует определить ресурс загрузки, исходя из состава воды и ее расхода, а также обеспечить своевременную регенерацию или замену фильтрующего материала.

Все системы на основе каталитического окисления с помощью диоксида марганца имеют ряд ограничений:

неэффективны в отношении органического железа; более того, при наличии в воде любой из форм органического железа, на поверхности гранул фильтрующего материала со временем образуется органическая пленка, изолирующая катализатор (диоксид марганца) от воды;

не могут справиться со случаями, когда содержание железа в воде превышает 10–15 мг/л, что совсем не редкость. Присутствие в воде марганца еще более ухудшает эффективность обезжелезивания.

Каталитические наполнители («черный песок» и сульфуголь) позволяют вести процесс фильтрования со скоростью 10 м/ч при высоте слоя наполнителя 1 м. «Черный песок» получают путем обработки кварцевого песка с размером частиц 0,5–1,2 мм 1%-ным раствором перманганата калия с его подщелачиванием до pH = 8,5–9 раствором аммиака.

Для обработки сульфогля используют 10%-ный раствор хлорида марганца ( $\text{MnCl}_2$ ). Далее через него фильтруют 1%-ный раствор перманганата калия. Марганец вытесняется из структуры наполнителя и осаждается на поверхности угля в виде пленки.

#### **Обезжелезивание воды катионированием**

При фильтровании воды через слой ионита железо – согласно лиотропному ряду – будет задерживаться и поглощаться ионитом раньше и лучше кальция и магния. И обменная емкость ионита по кальцию и магнию будет быстро уменьшаться. Поэтому удаление из воды железа *методом ионного обмена* (катионирование) допускается, когда одновременно с обезжелезиванием требуется умягчение воды. Однако в этом случае возможно только извлечь железо в растворенной двухвалентной форме. При наличии в воде кислорода ион  $\text{Fe}^{2+}$  окисляется, образующийся гидроксид железа  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  плохо растворим в воде и, осаждаясь на зернах ионита, «закрывает» его поры. Ресурс работы ионообменного материала будет значительно снижен. Поэтому производители ионитов ограничивают содержание железа (Fe) в исходной воде значениями 0,05–0,3 мг/л. Следовательно, применение этого метода должно быть экономически обосновано.

Современные эффективные способы удаления органического железа – сорбция на специальных слабоосновных анионитах (органопоглотителях) и ультрафильтрация.

## 4.12. Деманганизация воды

Марганец присутствует в земной коре в большом количестве и обычно встречается вместе с железом. Содержание растворенного марганца в подземных и поверхностных водах, бедных кислородом, достигает нескольких мг/л. Российские санитарные нормы ограничивают уровень предельно допустимого содержания марганца в воде хозяйственно-питьевого назначения значением 0,1 мг/л. В некоторых странах Европы требования жестче: не более 0,05 мг/л. Если содержание марганца больше этих значений, ухудшаются органолептические свойства воды. При значениях марганца больше 0,1 мг/л появляются пятна на санитарно-технических изделиях, а также нежелательный привкус воды. На внутренних стенках трубопроводов образуется осадок, который отслаивается в виде черной пленки.

### 4.12.1. Химизм процесса демаганизации

В подземных водах марганец находится в виде хорошо растворимых солей в двухвалентном состоянии ( $Mn^{2+}$ ). Для удаления марганца из воды его необходимо перевести в нерастворимое состояние окислением в трех- и четырехвалентную форму ( $Mn^{3+}$  и  $Mn^{4+}$ ). Окисленные формы марганца гидролизуются с образованием практически нерастворимых гидроксидов  $Mn(OH)_3$  и  $Mn(OH)_4$ . Последний при осаждении на зернистой загрузке фильтра проявляет каталитические свойства, то есть ускоряет процесс окисления двухвалентного марганца растворенным кислородом.

Для эффективного окисления марганца кислородом необходимо, чтобы значение pH очищаемой воды было на уровне 9,5–10,0. Перманганат калия, хлор или его производные (гипохлорит натрия), озон позволяют вести процесс демаганизации при меньших значениях pH, равных 8,0–8,5. Для окисления 1 мг растворенного марганца нужно 0,291 мг кислорода.

### 4.12.2. Методы демаганизации

#### *Глубокая аэрация с последующим фильтрованием*

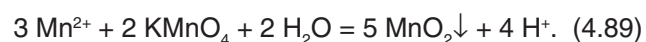
На первом этапе очистки из воды под вакуумом извлекают свободную углекислоту, что способствует повышению значения pH до 8,0–8,5. Для этой цели используют вакуумно-эжекционный аппарат, при этом в его эжекционной части происходят диспергирование воды и ее насыщение кислородом воздуха. Далее вода направляется на фильтрацию через зернистую загрузку, например, кварцевый песок.

Этот метод очистки применим при перманганатной окисляемости исходной воды не бо-

лее 9,5 мгО/л. В воде обязательно присутствие двухвалентного железа, при окислении которого образуется гидроксид железа, адсорбирующий  $Mn^{2+}$  и каталитически его окисляющий. Соотношение концентраций  $[Fe^{2+}] / [Mn^{2+}]$  не должно быть менее 7/1. Если в исходной воде такое соотношение не выполняется, то в воду дополнительно дозируют сульфат железа (железный купорос).

#### *Деманганизация перманганатом калия*

Метод применим как для поверхностных, так и для подземных вод. При введении в воду перманганата калия растворенный марганец окисляется с образованием малорастворимого оксида марганца согласно следующему уравнению:



Осадок представляет собою смесь  $MnO_2 \cdot 2 H_2O$  и  $Mn(OH)_4$ .

Осажденный оксид марганца в виде хлопьев имеет высокую развитую удельную поверхность – примерно 300 м<sup>2</sup> на 1 г осадка, что определяет его высокие сорбционные свойства. Осадок – хороший катализатор, позволяющий вести демаганизацию при pH = 8,5.

В соответствии с уравнением (4.89) для удаления 1 мг  $Mn^{2+}$  требуется 1,92 мг перманганата калия. Как уже отмечалось, перманганат калия обеспечивает удаление из воды не только марганца, но и железа в различных формах. Также удаляются запахи и за счет сорбционных свойств улучшаются вкусовые качества воды.

Практические данные по удалению марганца с помощью перманганата калия показывают, что доза его должна составлять 2 мг на каждый мг марганца, при этом окисляется до 97%.  $Mn^{2+}$ . После перманганата калия вводят коагулянт для удаления продуктов окисления и взвешенных веществ и далее фильтруют на песчаной загрузке.

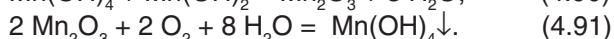
При очистке от марганца подземных вод параллельно с перманганатом калия вводят активированную кремниевую кислоту из расчета 3–4 мг/л или флокулянты. Это позволяет укрупнить хлопья оксида марганца.

#### *Каталитическое окисление марганца*

Как и в процессах очистки от железа, так и при демаганизации предварительное осаждение оксидов марганца на поверхности зерен фильтрующей загрузки оказывает каталитическое влияние на процесс окисления двухвалентного марганца растворенным кислородом. В процессе фильтрации предварительно аэрированной и при необ-

ходимости подщелоченной воды на зернах песчаной загрузки образуется слой осадка гидроксида марганца  $Mn(OH)_4$ . Ионы растворенного  $Mn^{2+}$  адсорбируются поверхностью гидроксида марганца и гидролизуются, образуя оксид трехвалентного марганца  $Mn_2O_3$ .

Последний окисляется растворенным кислородом вновь до  $Mn(OH)_4$ , который опять участвует в процессе каталитического окисления. Как всякий классический катализатор,  $Mn(OH)_4$  почти не расходуется. Уравнения реакций этих процессов можно представить следующим образом:



Практическая реализация таких процессов возможна при использовании каталитических наполнителей, описанных в ч. 2, п. 2, где приведены требования к исходной воде и рабочие параметры процессов. Можно отметить, что значение pH очищаемой воды может быть меньше, чем в традиционных процессах деманганации.

#### **Фильтрация через модифицированную загрузку**

Для повышения ресурса работы фильтрующей загрузки за счет закрепления пленки катализатора из гидроксидов железа и оксида марганца на поверхности зерен, а также для уменьшения расхода перманганата калия, предлагается следующий метод.

Перед началом фильтрования через фильтрующую загрузку последовательно пропускают снизу вверх раствор железного купороса ( $FeSO_4$ ) и перманганат калия, а затем загрузку обрабатывают тринатрийфосфатом ( $Na_3PO_4$ ) или сульфитом натрия ( $Na_2SO_3$ ).

Скорость фильтрования исходной воды, подаваемой сверху вниз, составляет 8–10 м/ч. Каталитическую пленку можно создать так же, пропуская через загрузку фильтра 0,5%-ный раствор хлорида марганца и перманганата калия.

#### **Введение реагентов-окислителей**

Скорость процесса окисления двухвалентного марганца реагентами-окислителями из ряда: хлор, диоксид хлора ( $ClO_2$ ), гипохлорит натрия, озон – зависит от величины pH исходной воды.

При введении хлора или гипохлорита натрия эффект окисления достигается в достаточно полной мере при значениях pH не менее 8,0–8,5 и времени контакта окислителя и воды 60–90 мин. В большинстве случаев (если окислитель – только кислород и pH <7,0) обрабатываемая вода должна

быть подщелочена. Требуемая доза реагента для окисления  $Mn^{2+}$  до  $Mn^{4+}$  по стехиометрии составляет 1,3 мг на каждый миллиграмм растворенного двухвалентного марганца. Фактические дозы гораздо выше.

Обработка воды озоном или диоксидом хлора значительно эффективнее. Процесс окисления марганца завершается в течение 10–15 мин при значении pH воды 6,5–7,0. Доза озона по стехиометрии составляет 1,45 мг, а диоксида хлора 1,35 мг на 1 мг двухвалентного марганца. Однако при озонировании воды озон подвержен каталитическому разложению оксидами марганца, а потому доза должна быть увеличена.

Указанные количества окислителей  $KMnO_4$ ,  $ClO_2$ ,  $O_3$  – теоретические. Практически дозы окислителей зависят от значения pH, времени контакта окислителей с водой, от образующихся отложений, содержания органических веществ, конструкции аппаратов и могут составить увеличение по сравнению с теоретическими количествами: для  $KMnO_4$  – в 1–6 раз, для  $ClO_2$  – в 1,5–10 раз, для  $O_3$  – 1,5–5 раз.

#### **Удаление марганца методом ионного обмена**

Удаление марганца (II) методом ионного обмена так же, как и железа (II), происходит при натрий- и водород-катионировании. Метод целесообразен при необходимости одновременного глубокого умягчения воды и проведения обезжелезивания и деманганации.

## **4.13. Озонирование воды**

Озонирование воды всё чаще находит применение при обеззараживании питьевой воды, воды плавательных бассейнов, сточных вод и т.д., позволяя одновременно достигнуть обесцвечивания, окисления железа и марганца, устранения привкуса и запаха воды и обеззараживания за счет весьма высокой окисляющей способности озона.

Впервые процессы озонирования для очистки питьевой воды были реализованы во Франции, где уже в 1916 г. действовало 26 озонаторных установок. Всего в Европе – 49.

Озон ( $O_3$ ) – газ голубоватого или бледно-фиолетового цвета, который самопроизвольно диссоциирует на воздухе и в водном растворе, превращаясь в кислород. Скорость распада озона резко увеличивается в щелочной среде и с ростом температуры. Обладает большой окислительной способностью, разрушает многие органические вещества, присутствующие в природных и сточных



водах; плохо растворяется в воде и быстро саморазрушается; будучи мощным окислителем, может при длительном воздействии усилить коррозию трубопроводов.

Доза озона зависит от назначения озонированной воды. Если озон вводят только для обеззараживания в фильтрованную воду (после ее предварительного коагулирования и осветления), то дозу озона принимают 1–3 мг/л, для подземной воды – 0,75–1 мг/л, при введении озона для обесцвечивания и обеззараживания загрязненной воды доза озона может достигать до 5 мг/л. Продолжительность контакта обеззараживаемой воды с озоном – 8–12 мин.

Разложение озона в воде при разных значениях pH и температуры показано на рис. 1.16 и 1.17.

двух электродов: в виде двух параллельных пластин или в виде двух концентрических трубок, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга. Производительность аппаратов и удельный расход электроэнергии зависят от влагосодержания подаваемого в озонатор воздуха, температуры, содержания кислорода, конструкции озонатора.

Поэтому воздух перед подачей в генератор озона пропускается через фильтр и осушивается силикагелем или оксидом алюминия ( $Al_2O_3$ ). В генераторе под действием тихого электрического разряда получается озон, но не в чистом виде, а в смеси с воздухом. Концентрация озона в этой озono-воздушной смеси колеблется в пределах значений от 2 до 12 г/м<sup>3</sup>. Значение концентрации

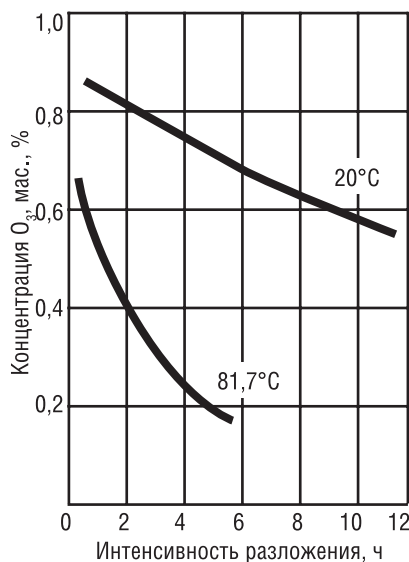


Рис. 1.16. Разложение озона в воде при различных температурах

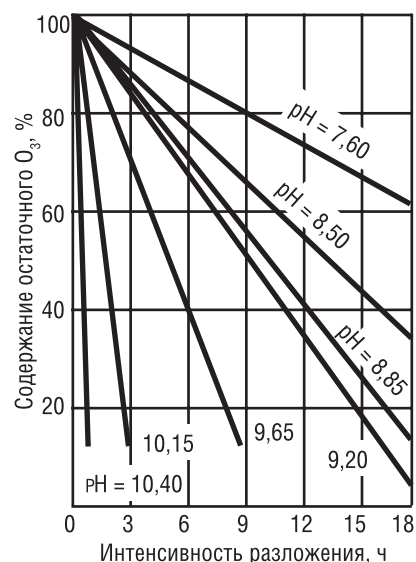


Рис. 1.17. Разложение озона в воде при разных значениях pH

Графики показывают, что время контакта озона с водой снижается с уменьшением значения pH. Увеличить растворимость озона можно за счет повышения давления.

Достоинство этого метода обработки воды: в воду обычно не вносятся посторонние химические реагенты, а продукт восстановления озона – кислород.

#### 4.13.1. Принцип получения озона

Наиболее экономичный промышленный метод получения озона – пропускание воздуха или кислорода через генератор озона (озонатор), где происходит электрический высоковольтный разряд (5000–25000 В). Генератор озона состоит из

зависит от конструкции озонатора. Так как электрический разряд сопровождается выделением теплоты, в аппаратах предусматривается водяное охлаждение электродов. Поскольку озон – весьма токсичный газ (ПДК в воздухе зоны – 0,0001 г/м<sup>3</sup>), схемы процессов озонирования воды предусматривают его полное использование и рекуперацию. Кроме того, в состав озонаторного оборудования, как правило, входит специальный дегазатор (деструктор) озона.

#### 4.13.2. Обеззараживающее действие озона

При повышенном бактериальном загрязнении водисточника или при наличии в нем патогенных мик-

роорганизмов, энтеровирусов и цист лямблий, устойчивых к действию традиционного хлорирования, озон особенно эффективен. Механизм действия озона на бактерии полностью пока еще не выяснен, однако это не мешает его широкому использованию.

Озон гораздо более сильный окислитель, чем хлор (при применяемых дозах того и другого реагента).

По быстродействию озон эффективнее хлора: обеззараживание происходит быстрее в 15–20 раз. На споровые формы бактерий озон действует разрушающе в 300–600 раз сильнее хлора. Это подтверждается сравнением их окислительных потенциалов: у хлора  $Cl_2$  – 1,35 В, у озона  $O_3$  – 1,95 В.

Отсутствие в воде химических веществ, быстро реагирующих с озоном, позволяет провести эффективное разрушение *E.coli* при концентрации растворенного озона 0,01–0,04 мг/л.

Для разрушения бактерий полиомиелита (штамм Le и Mv) необходимо подвергать воду воздействию хлором в течение 1,5–3 ч при дозе окислителя 0,5–1 мг/л. В то же время озон разрушает эти бактерии за 2 мин при концентрации его в воде 0,05–0,45 мг/л.

Следует отметить такое важное свойство озона, как противовирусное воздействие. Энтеровирусы, в частности выводящиеся из организма человека, поступают в сточные воды и, следовательно, могут попадать в воды поверхностных водоисточников, используемых для питьевого водоснабжения.

Результатом многочисленных исследований установлено: остаточный озон в количестве 0,4–1,0 мг/л, сохраняемый в течение 4–6 мин, обеспечивает уничтожение болезнетворных вирусов, и в большинстве случаев такого воздействия вполне достаточно, чтобы снять все микробиальные загрязнения.

По сравнению с применением хлора, повышающим токсичность очищенной воды, определенной по гидробионтам, применение озона способствует снижению токсичности.

С гигиенической точки зрения, озонирование – один из лучших способов обеззараживания питьевой воды. При высокой степени обеззараживания оно обеспечивает ее наилучшие органолептические показатели и отсутствие высокотоксичных и канцерогенных продуктов в очищенной воде. Существенный недостаток метода – отсутствие длительного пролонгированного действия, в отличие от хлорирования.

### 4.13.3. Обесцвечивание воды

Цветность воды свойственна природным источникам, имеющим примесь болотных вод. В них всегда содержатся гумусовые вещества,

представленные фульвокислотами и коллоидными частицами гуминовых кислот, которые и придают воде желтоватый оттенок разной интенсивности.

Устойчивость гумусовых веществ по отношению к окислителям различна. Растворенные вещества (гуматы), находящиеся в природных водах, сравнительно легко поддаются окислению озоном. Между тем уменьшение цветности на 1 градус, вызванной фульвокислотами, требует в 1,5 раза больше озона, чем для гуминовых кислот.

Эффективность обработки воды озоном зависит и от естественного состава гуминовых соединений, стойкость которых по отношению к озону неодинакова. При озонировании относительное уменьшение цветности возрастает с увеличением значения рН. Уменьшение цветности воды на 1 мг/л введенного озона при рН, равном 3, составляет 0,5 градуса, при рН = 7–1,1 градуса и при рН, равном 8, цветность увеличивается до 1,8 градуса.

Понижение температуры воды в пределах от 40 до 5°C также увеличивает эффект обесцвечивания озоном. С увеличением степени обесцвечивания повышается удельная доза озона на 1 градус устранимой цветности.

### 4.13.4. Удаление из воды железа и марганца

Если железо или марганец содержатся в воде в виде органических соединений или коллоидных частиц, то обезжелезивание воды обычными способами (аэрация, известкование или катионирование) не удается. В таких случаях целесообразно применение озона. Процесс окисления обеспечивает перевод соединений железа и марганца в нерастворимые формы, поэтому необходимо последующее фильтрование воды для освобождения ее от выпадающих осадков. При этом требуется одна массовая часть озона на одну массовую часть железа или марганца. Дополнительно см. ч. 1, п. 4.11 и 4.12.

### 4.13.5. Устранение привкусов и запахов воды

Неприятные привкус и запах некоторых природных вод вызваны присутствием соединений минерального и органического происхождения, находящихся в растворенном или коллоидном состоянии.

Окисление этих соединений приводит к их расщеплению и сопровождается исчезновением привкуса и запаха. Благодаря высокой окислительной способности озон в состоянии действовать на такие соединения, которые не поддаются действию других химических реагентов. К таким соединениям относятся: сернистые и цианистые соединения, фенолы и другие вещества, способные вызывать



плохой запах воды.

Обработка воды избыточным количеством озона не влечет никаких нежелательных последствий: избыточный озон, будучи нестойким, в течение нескольких минут превращается в кислород.

Хлор, в отличие от озона, дает с некоторыми веществами сложные соединения, вызывающие появление резких запахов. Типичный пример – хлорирование воды, имеющей примесь фенолов. В этом случае хлорированная вода приобретает весьма неприятные привкус и запах, даже если фенолы присутствуют в ничтожной (1:100 000) пропорции.

#### 4.13.6. Особенности озонирования

Метод озонирования технически сложен, требует больших расходов электроэнергии и использования сложной аппаратуры, которой нужно высококвалифицированное обслуживание.

Необходимо учитывать некоторые особенности озонирования. Прежде всего, нужно помнить о быстром разрушении озона, то есть отсутствии такого длительного действия, как у хлора.

Озонирование может вызвать (особенно у высокоцветных вод и вод с большим количеством «органики») образование дополнительных осадков, поэтому нужно предусматривать после озонирования фильтрование воды через активный уголь. В результате озонирования образуются побочные продукты включающие: альдегиды, кетоны, органические кислоты, броматы (в присутствии бромидов), пероксиды и другие соединения. При воздействии на гуминовые кислоты, где есть ароматические соединения фенольного типа, может появиться и фенол.

Некоторые вещества стойки к озону. Этот недостаток преодолевается введением в воду перекиси водорода по технологии фирмы «Дегремон» (Франция) в трехкамерном реакторе.

### 4.14. Ультрафиолетовое обеззараживание воды

Ультрафиолетовым называется электромагнитное излучение в пределах длин волн от 10 до 400 нм. Для обеззараживания используется «ближняя область»: 200–400 нм (длина волн природного ультрафиолетового излучения у поверхности земли больше 290 нм). Наибольшим бактерицидным действием обладает электромагнитное излучение на длине волны 200–315 нм и максимальным проявлением в области 260±10 нм. В современных УФ-устройствах применяют излучение с длиной волны 253,7 нм.

Метод УФ-дезинфекции известен с 1910 г.,

когда были построены первые станции для обработки артезианской воды во Франции и Германии. Бактерицидное действие ультрафиолетовых лучей объясняется происходящими под их воздействием фотохимическими реакциями в структуре молекулы ДНК и РНК, составляющими универсальную информационную основу механизма воспроизводимости живых организмов. Результат этих реакций – необратимые повреждения ДНК и РНК. Кроме того, действие ультрафиолетового излучения вызывает нарушения в структуре мембран и клеточных стенок микроорганизмов. Всё это в конечном итоге приводит к их гибели.

#### 4.14.1. Технология проведения

УФ-стерилизатор представляет собой металлический корпус, внутри которого находится бактерицидная лампа. Она, в свою очередь, помещается в защитную кварцевую трубку. Вода омывает кварцевую трубку, обрабатывается ультрафиолетом и, соответственно, обеззараживается. В одной установке может быть несколько ламп.

Основной параметр, определяющий эффективность обеззараживания воды – доза УФ-излучения ( $D$ , мДж/см<sup>2</sup>) – произведение интенсивности потока бактерицидных лучей на продолжительность облучения:

$$D = E \cdot t \quad (4.91)$$

( $E$  – интенсивность потока УФ-излучения, мВт/см<sup>2</sup>;  $t$  – время воздействия, с).

Степень инактивации или доля погибших под воздействием УФ-излучения микроорганизмов пропорциональны интенсивности излучения и времени воздействия.

Процесс отмирания бактерий описывается уравнением:

$$p = p_0 \exp\left(-\frac{E \cdot T}{k}\right), \quad (4.92)$$

где  $p$  – число бактерий, оставшихся в живых после бактерицидного облучения, в единице объема;  $p_0$  – начальное число бактерий в единице объема;  $E$  – интенсивность потока бактерицидных лучей;  $T$  – время воздействия;  $k$  – коэффициент сопротивляемости бактерий.

Соответственно количество обезвреженных (инактивированных) микроорганизмов экспоненциально растет с увеличением дозы облучения. Из-за различной сопротивляемости микроорганизмов доза ультрафиолета, необходимая для инактивации, например 99,9%, сильно варьируется от малых доз для бактерий до очень больших доз для

спор и простейших.

При прохождении через воду УФ-излучение ослабевает вследствие эффектов поглощения и рассеяния. Для учета этого ослабления вводится коэффициент поглощения водой  $\alpha$ , значение которого зависит от качества воды, особенно от содержания в ней железа, марганца, фенола, а также от мутности воды.

При отсутствии экспериментальных данных можно пользоваться значениями  $\alpha$ , см<sup>-1</sup>:

для бесцветных, не требующих обезжелезивания, подземных глубокого залегания вод – 0,1;

для родниковой, грунтовой и инфильтрационной воды – 0,15;

для поверхностной обработанной (очищенной) воды – 0,2–0,3.

#### 4.14.2. Условия применения метода

Обеззараживание УФ-излучением рекомендуется применять для обработки воды, соответствующей требованиям:

мутность – не более 2 мг/л (прозрачность по шрифту  $\geq 30$  градусов);

цветность – не более 20 градусов платино-кобальтовой шкалы;

содержание железа (Fe) – не более 0,3 мг/л (по СанПиН 2.1.4.1074-01) и 1 мг/л (по технологии установок УФ);

коли-индекс – не более 10 000 шт./л.

Для оперативного санитарного и технологического контроля эффективности и надежности обеззараживания воды ультрафиолетом, как и при хлорировании и озонировании, применяется определение бактерий кишечной палочки (БГКП). Их использование для контроля качества воды, обработанной ультрафиолетом, основывается на том, что основной вид этой группы бактерий Е-коли обладает одним из самых больших коэффициентов сопротивляемости к этому типу воздействия в общем ряду интеробактерий, в том числе и патогенных.

Опыт применения ультрафиолета показывает: если в установке доза облучения обеспечивается не ниже определенного значения, то гарантируется устойчивый эффект обеззараживания. В мировой практике требования к минимальной дозе облучения варьируются в пределах от 16 до 40 мДж/см<sup>2</sup>. Минимальная доза, соответствующая российским нормативам, – 16 мДж/см<sup>2</sup>.

#### 4.14.3. Положительные и отрицательные качества метода

**Достоинства:**

наименее «искусственный» – ультрафиолетовые лучи;

универсальность и эффективность поражения

различных микроорганизмов – УФ-лучи уничтожают не только вегетативные, но и спорообразующие бактерии, которые при хлорировании обычными нормативными дозами хлора сохраняют жизнеспособность;

физико-химический состав обрабатываемой воды сохраняется;

отсутствие ограничения по верхнему пределу дозы;

не требуется организовывать специальную систему безопасности, как при хлорировании и озонировании;

отсутствуют вторичные продукты;

не нужно создавать реагентное хозяйство;

оборудование работает без специального обслуживающего персонала;

в соотношении «качество обеззараживания цена» метод лучше других.

**Недостатки:**

падение эффективности при обработке плохо очищенной воды (мутная, цветная вода плохо «просвечивается»);

периодическая отмывка ламп от налетов осадков, требующаяся при обработке мутной и жесткой воды;

отсутствует «последствие», то есть возможность вторичного (после обработки излучением) заражения воды.

#### 4.14.4. Источник бактерицидного излучения

В настоящее время для обеззараживания воды применяется два основных типа ламп: ртутные газоразрядные лампы низкого (ЛНД) и высокого (ЛВД) давления. ЛНД имеют высокий (до 40%) КПД преобразования электрической энергии в излучение бактерицидного диапазона и сравнительно низкую (до 200 Вт) единичную мощность. ЛВД имеют низкий (до 8%) КПД и высокие (до 10 кВт) единичные мощности. В спектре излучения ЛВД присутствует коротковолновое излучение, способное приводить к образованию озона. Что создает дополнительные трудности в обеспечении безопасной работы персонала.

Современные конструкции ламп обеспечивают необходимую мощность излучения на длине волны 253,7 нм, и этой мощности достаточно, чтобы в течение 3–5 с бактерицидное действие было максимальным: эффективность уничтожения бактерий и вирусов – 99,9%. При таком значении длины волны защитные чехлы должны изготавливаться из специальных материалов (увиолевого стекло, флюорит, кварцевое стекло и др.), так как, например, обычное оконное стекло непрозрачно для УФ-лучей с длиной волны меньше 320 нм.

Потребная бактерицидная мощность источни-

**Таблица 4.11**

Характеристики ламп ультрафиолетового излучения

Параметр	ЛНД	ЛВД
КПД преобразования электрической энергии в бактерицидную, %	До 40	6–8
Единичная мощность лампы, кВт	До 0,2	До 10
Рабочая температура поверхности, °С	40	600
Срок эксплуатации, ч	До 12000	До 3000
Спад интенсивности к концу срока эксплуатации, %	15–20	30–50
Предотвращение генерации озона	Возможно	Невозможно

ков излучения для обеззараживания воды определяется:

$$F_6 = Q \cdot \alpha \cdot K \cdot \lg(P / P_0) / 1563,4 \cdot \eta_n \cdot \eta_o, \quad (4.93)$$

где  $F_6$  – потребная бактерицидная мощность источников излучения, Вт;  $Q$  – производительность аппарата, м<sup>3</sup>/ч;  $\alpha$  – коэффициент поглощения облучаемой водой бактерицидного излучения, см<sup>-1</sup>;  $K$  – коэффициент сопротивляемости бактерий кишечной палочки (мкВт · с/см<sup>2</sup>), принимаемый равным 2500;  $P_0$  – коли-индекс воды до облучения, ед./л;  $P$  – коли-индекс воды после облучения (ед./л), не превышающий 3;  $\eta_o$  – коэффициент использования бактерицидного облучения, принимаемый равным 0,9 (чехлы из кварцевого стекла в виде полых цилиндров поглощают 1–11% потока);  $\eta_n$  – коэффициент использования интенсивности потока бактерицидных лучей, принимающийся по данным изготовителя аппарата.

Количество ламп, шт.:

$$n = F_6 / F_n, \quad (4.94)$$

где  $F_n$  – мощность одной лампы, Вт;  $F_6$  – потребная бактерицидная мощность источников излучения, Вт.

Расход электроэнергии на обеззараживание воды:

$$S = N \cdot n / Q. \quad (4.95)$$

Здесь –  $S$  – расход электроэнергии, Вт · ч/м<sup>3</sup>;  $N$  – потребляемая мощность одной лампы, Вт;  $Q$  – производительность аппарата, м<sup>3</sup>/ч.

В настоящее время разработана новая серия

УФ-ламп – амальгамных низкого давления повышенной мощности (до 200–350 Вт), не содержащих свободной ртути. Эта конструкция ламп позволяет создавать компактные УФ-системы большой производительности до 3000 м<sup>3</sup>/ч питьевой воды.

А также существуют бактерицидные лампы с длиной волны 185 нм. Бактерицидное излучение с такой длиной волны более действенно, чем у излучения с длиной волны 254 нм. Для пропуска излучения с такой длиной волны разработчикам удалось создать специальное кварцевое стекло.

Энергозатраты: 8–70 Вт на установке производительностью 500 л/ч. Эффективный выход излучения – 25% мощности лампы.

В установке достигается синэнергетический эффект: в одном корпусе объединены устройства, генерирующие кавитацию и ультрафиолетовое излучение – так, что бактерии и вирусы подвергаются их одновременному воздействию.

#### 4.14.5. Сравнение основных методов обеззараживания воды: хлорирование, озонирование, ультрафиолетовое облучение

- Каждая из трех технологий, если она применяется в соответствии с нормами, может обеспечить необходимую степень инактивации бактерий, в частности, по индикаторным бактериям группы кишечной палочки и общему микробному числу.

- По отношению к цистам патогенных простейших высокую степень очистки не обеспечивает ни один из методов. Для удаления этих микроорганизмов рекомендуется сочетать процессы обеззараживания с процессами уменьшения мутности.

- Озон и ультрафиолет имеют достаточно высокий вируцидный эффект при реальных для практики дозах. Хлорирование менее эффективно по отношению к вирусам.

- Технологическая простота процесса хлорирования и недефицитность хлора обуславливают широкое распространение именно этого метода обеззараживания.

- Метод озонирования наиболее технически сложен и дорогостоящ по сравнению с хлорированием и ультрафиолетовым обеззараживанием.

- Ультрафиолетовое излучение не меняет химический состав воды даже при дозах, намного превышающих практически необходимые. Хлорирование может привести к образованию нежелательных хлорорганических соединений, обладающих высокой токсичностью и канцерогенностью. При озонировании также возможно образование побочных продуктов, классифицируемых нормативами как токсичные – альдегиды, кетоны и другие

алифатические ароматические соединения.

- Ультрафиолетовое излучение убивает микроорганизмы, но «образующиеся осколки» (клеточные стенки бактерий, грибков, белковые фрагменты вирусов) остаются в воде. Поэтому рекомендуется последующая тонкая фильтрация.

- Только хлорирование обеспечивает консервацию воды в дозах 0,3–0,5 мг/л, то есть обладает необходимым длительным действием.

## 4.15. Электрохимические методы

Электрохимические методы находят широкое применение, когда традиционные способы механической, биологической и физико-химической обработки воды оказываются недостаточно эффективными или не могут использоваться, например, из-за дефицита производственных площадей, сложности доставки и использования реагентов или по другим причинам.

Установки по реализации этих методов компактны, высокопроизводительны, процессы управления и контроля сравнительно просто автоматизируются.

Обычно электрохимическая обработка используется в сочетании с другими способами очистки, позволяя успешно очистить природные воды от примесей различного состава и дисперсности.

Электрохимическими методами можно корректировать физико-химические свойства обрабатываемой воды, они обладают высоким бактерицидным эффектом, значительно упрощают технологические схемы очистки. Во многих случаях электрохимические методы исключают «вторичное» загрязнение воды анионными и катионными остатками, характерными для реагентных методов.

### 4.15.1. Сущность процесса

Электрохимическая очистка воды основана на электролизе, сущность которого заключается в использовании электрической энергии для проведения процессов окисления и восстановления. Процесс электролиза протекает на поверхности электродов, находящихся в электропроводном растворе, – электролите.

Для процесса электролиза необходимы:  
раствор электролита – загрязненная вода, в которой всегда присутствуют ионы в той или иной концентрации, обеспечивающие электропроводимость воды;

электроды, погруженные в раствор электролита;

внешний источник тока;

токоподводы – металлические проводники, соединяющие электроды с источником тока.

Вода сама по себе – плохой проводник, однако находящиеся в растворе заряженные ионы, образующиеся при диссоциации электролита, под действием напряжения, приложенного к электродам, двигаются по двум противоположным направлениям: положительные ионы (катионы) к катоду, отрицательные (анионы) – к аноду. Анионы отдают аноду свои «лишние» электроны, превращаясь в нейтральные атомы. Одновременно с этим катионы, достигая катода, получают от него недостающие электроны и также становятся нейтральными атомами или группой атомов (молекулами). При этом число электронов, получаемых анодом, равно числу электронов, передаваемых катодом. В цепи протекает постоянный электрический ток.

Таким образом, при электролизе протекают окислительно-восстановительные процессы: на аноде – потеря электронов (окисление), на катоде – приобретение электронов (восстановление). Однако механизм электрохимических реакций существенно отличается от обычных химических превращений веществ. Отличительная особенность электрохимической реакции – пространственное разделение электрохимических реакций на два сопряженных процесса: процессы разложения веществ или получения новых продуктов происходят на границе электрод-раствор при помощи электрического тока.

При проведении электролиза одновременно с электродными реакциями в объеме раствора происходят изменение pH и окислительно-восстановительного потенциала системы, а также фазово-дисперсные превращения примесей воды.

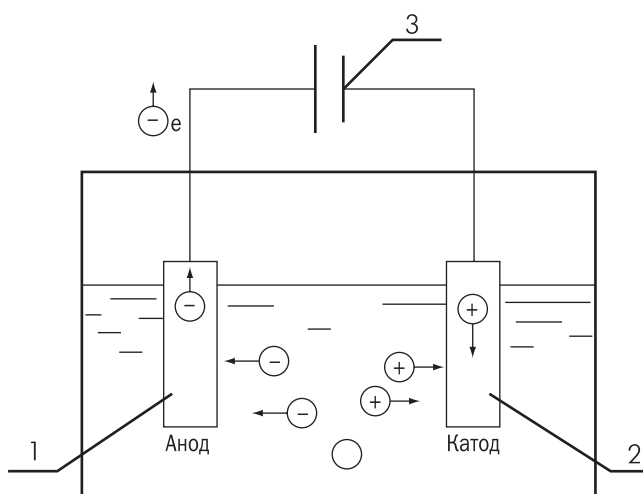


Рис. 1.18. Схема процесса электролиза:

1 – анод; 2 – катод; 3 – источник тока



## 4.15.2. Классификация электрохимических методов

Электрохимические методы обработки воды можно разделить на три основные группы.

*Первая группа* обеспечивает изменение физико-химических характеристик загрязнений с целью их обезвреживания или более быстрого извлечения из воды. Из методов этой группы наиболее широко используется метод электрокоагуляции.

*Вторая группа* предназначена для концентрирования примесей в ограниченном объеме электролита без существенного изменения фазово-дисперсных или физико-химических свойств извлекаемых веществ. Разделение примесей и воды происходит в основном за счет флотации электрогенерируемыми пузырьками газа или силового действия электрического поля, обеспечивающего транспорт заряженных частиц в жидкости – метод электрофлотации.

Из электрохимических методов разделения наибольшее распространение получил метод электролиза с целью обессоливания природных и промышленных сточных вод.

*Третью группу* составляют комбинированные методы, которые предполагают совмещение одного или нескольких методов превращения и разделения загрязнений в одном аппарате. Эта группа в основном применяется для очистки сточных вод.

### Электрокоагуляция

Процесс очистки воды от коллоидных и мелкодисперсных примесей с использованием коагулянтов – гидроксидов металлов (алюминия, железа) – можно осуществлять, пропуская воду через электролизер с анодами из указанных металлов (алюминий, железо). Металл анодов под действием постоянного тока ионизируется и переходит в очищаемую воду. Образующиеся в воде гидроксиды алюминия или железа коагулируют дисперсную фазу.

Растворение в воде 1 г алюминия эквивалентно введению в воду 6,33 г  $Al_2(SO_4)_3$ , растворение 1 г железа – введению 2,9 г  $FeCl_3$  или 3,58  $Fe_2(SO_4)_3$ .

### Электрофлотация

Сущность электрофлотационного метода очистки заключается в переносе вещества из объема жидкости на ее поверхность с помощью пузырьков газа, образующихся при электролизе воды. Газовые пузырьки поднимаются в жидкости, сталкиваются со взвешенными частицами, прилипают к ним и выносят их на поверхность жидкости. Основную роль в процессе флотации частиц выполняют, как правило, пузырьки, выделяющиеся с поверхности катода.

Электрофлотацию часто применяют для очистки сточных вод нефтеперерабатывающих заводов, пищевых предприятий, а также при разделении и уплотнении активного ила после аэротенков на биологических очистных сооружениях.

## 4.15.3. Материалы и конструкции электродов

Процесс электролиза проводят в специальном реакторе – электролизере. Важный элемент в конструкции электролизеров – электроды. Обычно на электродах – как на аноде, так и на катоде – протекает одновременно не одна, а несколько реакций. Распределение тока между целевой и побочными реакциями можно в определенной степени регулировать выбором материала электрода, его обработкой и условиями протекания электродного процесса.

Одно из наиболее принципиальных требований к материалу для изготовления электродов – коррозионная устойчивость. Это очень важно для материалов анодов, обычно работающих в более жестких коррозионных условиях.

### Катодные материалы

Наиболее широко в электрохимических системах для катодов используют металлы: железо и его сплавы, никель, медь. Все эти металлы устойчивы при катодной поляризации в щелочных и нейтральных средах. Исключительной коррозионной стойкостью обладают титан, цирконий, ниобий и тантал (Ti, Zr, Nb, Ta), однако их широкому внедрению в качестве катодных материалов препятствует цена этих материалов и ряд специфических свойств, в частности склонность к наводороживанию (поглощению водорода, выделяющегося на катоде).

При электролизе водных растворов особое значение приобретают реакции выделения водорода (на катоде) и кислорода (на аноде). В зависимости от требований к процессу обработки эти реакции могут быть целевыми – должны осуществляться с максимальной эффективностью, или побочными – то есть подавляться. Активность электродного материала по отношению к реакции выделения водорода или кислорода характеризуется перенапряжением выделения водорода и кислорода соответственно. Чем ниже перенапряжение, тем легче протекает реакция.

Низкое перенапряжение выделения водорода имеют благородные металлы – платина, палладий, иридий, осмий, рутений, родий, осмий, золото. По экономическим соображениям применяются катоды, изготовленные из стали, никеля, кобальта, титана, покрытых тонким слоем платины или ее сплавов с другими благородными металлами.

Из неметаллических материалов используют графит, пирографит и стеклоуглерод.

### **Анодные материалы**

Аноды должны сохранять свои свойства в очень жестких условиях эксплуатации – агрессивные среды, повышенные температуры. Кроме того, при электролизе выделяется кислород, в результате чего поверхность всех металлов (исключение составляет золото) покрывается оксидами. Оксидная пленка может предохранять некоторые металлы от дальнейшего окисления, и они сохраняют стабильность, что позволяет использовать их в качестве анодных материалов. К сожалению, таких металлов очень мало. К ним относятся металлы платиновой группы, а в щелочных средах – еще никель и сталь. Остальные металлы в качестве нерастворимых анодов не пригодны.

Ассортимент анодных материалов расширяется за счет использования углеграфитов. Графитовые аноды удовлетворяют большинству требований, предъявляемых к анодам: высокая электропроводимость, приближающаяся к металлической, стойкость к химическим воздействиям, стабильность характеристик при анодной поляризации, невысокая стоимость. Основным недостатком графитовых анодов – износ в процессе электролиза. Для повышения стойкости графитовые аноды пропитывают различными материалами – синтетическими смолами, полимерными маслами. В последнее время в качестве материала анода начал применяться стеклоуглерод, отличающийся большой химической стойкостью, достаточной проводимостью, хотя она в 3–4 раза ниже, чем у графита.

Из металлических анодов чаще всего применяются платина и ее сплавы. Основным недостатком – высокая стоимость. С целью экономии используют аноды, в которых платина наносится тонким слоем на основу, сохраняющую пассивное состояние за счет существования на ее поверхности оксидных пленок. Наибольшее распространение в качестве основы получил титан. Хорошие механические свойства позволяют изготавливать из титана аноды любой конструкции.

Широкое применение находят композиционные аноды, их поверхность состоит из оксидов двух или более металлов. Самый известный анод этого типа – оксиднорутениевый титановый анод (товарный знак ОРТА). ОРТА состоит из титановой основы, на которую нанесен активный слой, состоящий из диоксида рутения  $\text{RuO}_2$  и диоксида титана  $\text{TiO}_2$ . Кроме высокой коррозионной стойкости, электрод характеризуется низким перенапряжением выделения хлора и кислорода (ниже, чем на платине). По своей селективности к реакции выделения хлора ОРТА превосходит все известные электродные материалы.

### **Конструкции электродов**

К конструкции электродов предъявляются требования:

- процесс электролиза должен протекать в наиболее благоприятных гидродинамических условиях, при которых эффективно осуществляется подвод исходных веществ к поверхности электрода и обеспечивается удаление продуктов электрохимической реакции, в том числе газообразных;

- токоподвод к электроду должен гарантировать равномерное распределение тока по его поверхности при минимальных омических потерях в материале электрода;

- конструкция электрода должна обеспечить минимальный расход драгоценных металлов;

- необходимое условие: все элементы конструкции электрода обладают коррозионной стойкостью, достаточной для длительной эксплуатации в рабочем режиме.

По типу включения различают монополярные и биполярные электроды. У монополярных электродов вся поверхность поляризуется одним знаком, и требования к материалу и поверхности электрода одинаковы для всех его частей. В биполярных электродах одна их часть работает как катод, а другая как анод. Обе части такого электрода должны быть надежно электрически соединены между собой с возможно более низким электрическим сопротивлением. В простейшем случае биполярный электрод – это пластина, на одной поверхности которой протекает анодная реакция, на другой – катодная.

Широко применяются электроды в виде различного рода сеток или листов металла с перфорацией или просечкой отверстий без потери металла. Такие электроды имеют развитую поверхность и позволяют рационально осуществлять отвод газообразных продуктов из зоны электролиза.

### **4.15.4. Электродиализ**

Перераспределение и концентрирование растворенных в воде примесей осуществляется электродиализом. Сущность метода заключается в использовании направленного движения ионов под действием электрического поля. Если к электродам приложить напряжение, то находящиеся в растворе ионы придут в движение в соответствии со знаком их заряда – отрицательно заряженные (анионы) к аноду, положительные (катионы) – к катоду.

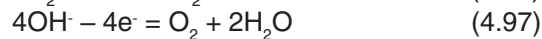
Если разделить электролизер на три отделения, в двух крайних разместить электроды (отделения называют электродными камерами) и пропускать электрический ток то концентрация солей в электродных камерах будет возрастать, а в среднем



отделении – уменьшаться (рис. 1.19). Для разделения камер такого электролизера-диализатора используют ионообменные мембраны, которые обладают способностью селективно пропускать ионы одного знака и препятствовать движению противоположно заряженных ионов. Перенос тока в мембране осуществляется не закрепленными в матрице ионами – противоионами. Чем больше число подвижных ионов, то есть выше обменная емкость, тем больше электропроводимость мембраны Основные электрохимические характеристики

мембран – селективная проницаемость и электропроводимость, которые определяются количеством ионообменных групп в матрице и их природой.

Для поддержания электрического тока в цепи на электродах должны проходить электрохимические реакции – на катоде в основном выделение водорода, на аноде – выделение кислорода:



В соответствии с уравнениями реакций раствор в катодной камере будет подщелачиваться, в анодной – подкисляться.

В настоящее время используются многокамерные электролизеры с большим числом пар катионо- и анионообменных мембран (рис. 1.20). Такие установки представляют собой электролизеры, состоящие из 100–200 гидравлических камер, которые могут быть соединены последовательно или параллельно с горизонтальной или вертикальной циркуляцией воды. Селективность мембран создает условия, при которых из нечетных камер ни катионы, ни анионы не могут пройти в соседние камеры, вследствие того, что знак их заряда совпадает со знаком соответственно катионообменных и анионообменных мембран. Поэтому в четных камерах происходит процесс опреснения, а в нечетных, наоборот, концентрация солей, в результате чего в камерах образуется рассол. Обессоленная вода и концентрированный раствор отводятся по соответствующим трубопроводам. Щелочной раствор

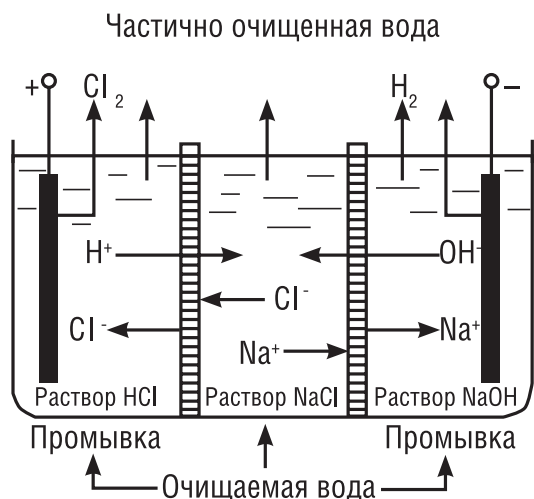


Рис. 1.19. Схема изменения концентрации растворов в ячейках трехкамерного аппарата для электрохимического обессоливания воды

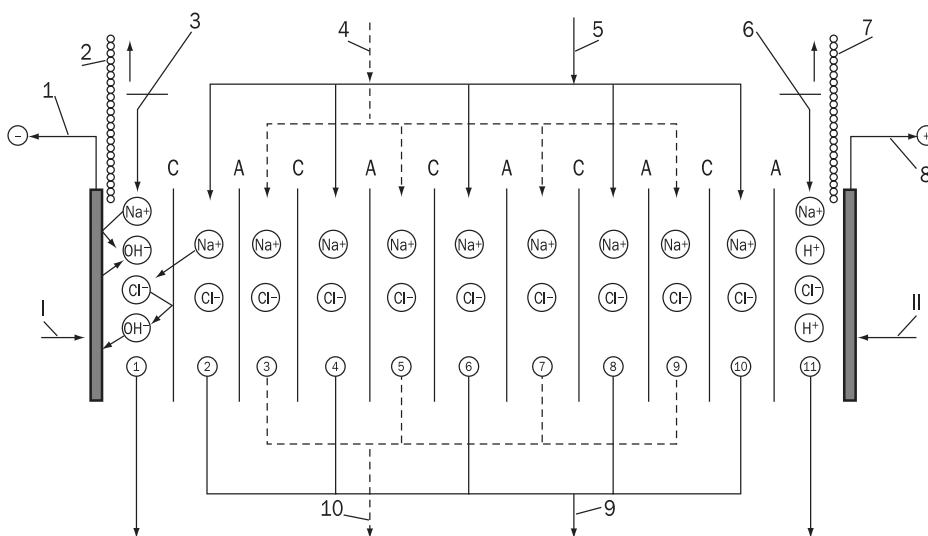


Рис. 1.20. I – катод; II – анод; C – катионитовые мембраны; A – анионитовые мембраны; 1 – присоединение к отрицательному полюсу выпрямителя; 2 – выход газообразного водорода; 3 – подача воды на промывку катодной камеры; 4 – подача соленой воды в рассольные камеры; 5 – то же, в опреснительные камеры; 6 – подача воды на промывку анодной камеры; 7 – выход газообразных кислорода и хлора; 8 – присоединение к положительному полюсу выпрямителя; 9 – отвод опресненной воды; 10 – отвод концентрированного рассола

из катодной камеры и кислый раствор из анодной камеры могут отводиться самостоятельно по отдельным линиям для дальнейшего использования или же, если такой необходимости нет, подсоединяться к линии рассола.

В электродиализаторах применяются химически стойкие электроды из платинированного титана, ОРТА, реже – из нержавеющей стали или графита.

### **Методы организации процесса**

Организация процесса электродиализа: он может быть однонаправленным (классическим) или обратимым.

При однонаправленной схеме полярность приложенного постоянного напряжения и назначения камер (опресняющих и концентрирующих) остаются неизменными. Недостаток такой схемы – загрязнение поверхности мембран минеральными и неминеральными веществами, содержащимися в воде (соли жесткости, органические и неорганические коллоиды, микробиологические организмы и т.д.).

При обратимом процессе происходит периодическое изменение полярности приложенного напряжения. Отсек, который вначале был опресняющим, при изменении направления тока становится концентрирующим, и наоборот. Так осуществляется очистка мембран от загрязнений.

Особенность обратимого электродиализа – использование симметричных мембран, то есть они работают одинаково в обоих направлениях, и системы ОЭД имеют симметричную конфигурацию.

Недостаток метода – необходимость предварительной очистки вод от взвешенных и коллоидных частиц, которые могут засорять ионитные мембраны.

### **Технологические особенности мембран и аппаратов**

Показатели работы электродиализных установок определяются в первую очередь характеристиками мембран.

Через идеальную катионообменную мембрану осуществляется перенос только катионов, через анионообменную – только анионов. В реальных условиях мембраны не обладают идеальной селективностью и частично переносят ионы обоих зарядов.

Кроме селективности, ионнообменная мембрана должна обладать общими свойствами: высокой электропроводимостью, химической и механической стойкостью в окислительных средах, стабильностью характеристик, большим сроком службы. Кроме того, ионнообменная мембрана должна мак-

симально ограничивать транспорт гидратной воды (перенос молекул воды совместно с ионом, обычно в виде гидратной оболочки последнего).

Толщина мембран должна быть минимальной, чтобы наименьшим было сопротивление электротoku. Но в то же время толщина должна быть достаточной для механической прочности мембраны в связи с неравномерным распределением гидравлического давления в камерах деминерализации и концентрирования.

По функциональному назначению мембраны могут быть катионообменными, анионообменными и биполярными. По составу полимерной пленки – гомогенными и гетерогенными.

Гетерогенные мембраны получают прессованием тонкоизмельченной смолы и инертного связующего. Такими пластичными связующими материалами могут быть полиэтилен, полистирол, полиизобутилен, каучуки. Химическая стойкость мембран возрастает при использовании в качестве связующего материала фторолефинов. В гетерогенных мембранах, выпускаемых нашей промышленностью, в качестве связующего используется полиэтилен.

Гомогенные мембраны изготовляют из одной ионообменной смолы. Такие мембраны обладают высокими электрохимическими характеристиками, хотя механически они недостаточно прочны.

Наиболее перспективными считаются гомогенные мембраны. Их получают полимеризацией или сополимеризацией ненасыщенных соединений, одно из которых содержит готовые ионогенные группы или такие функциональные группы, которые легко переводятся в ионогенные (амидные, эфирные).

Плотность тока в электродиализаторах – 0,2–1,0 А/дм<sup>2</sup>. Чем больше плотность тока, тем больше затраты электроэнергии. При резком увеличении плотности тока может начаться перегрев и даже прожог мембран – допустимая температура нагрева не более 60°C.

Расход электроэнергии при оптимально организованной технологии и минерализации исходной воды не менее 1 г/л составляет примерно 1 Вт/л. При уменьшении минерализации воды, особенно менее 0,5 г/л, затраты электроэнергии на преодоление электрического сопротивления воды становятся значительными, и следует оценивать технологию по экономическим критериям.

Напряжение на электродиализаторе (в зависимости от количества камер, степени минерализации исходной и деминерализованной воды) может колебаться в пределах от 300 до 1000 В.

Очень важное свойство ионообменных мембран – склонность к набуханию, которая связана с

гидратацией фиксированных ионообменных групп и противоионов. Чем больше обменная емкость и способность к гидратации ионов всех видов, тем больше набухание мембран. Ненабухающие мембраны проводят ток в незначительной степени, а при набухании молекулы воды вызывают диссоциацию ионогенных групп, и противоионы вместе с вошедшим в мембрану электролитом начинают переносить ток.

Хорошими эксплуатационными характеристиками обладают полученные на основе фторированных ненасыщенных соединений мембраны МРФ-26 и МРФ-4МБ, содержащие  $-SO_3H$  в качестве ионогенных групп. МРФ-4МБ весьма термостойка и может применяться при  $100\text{ }^\circ\text{C}$  и выше. Эти мембраны показали химическую стойкость в сильных окислительных средах: хромовой кислоте, гипохлорите натрия, концентрированной щелочи и серной кислоте. Еще большей химической стойкостью обладает мембрана МФ-4СК, выдерживающая действие наиболее активного для ионитных мембран окислителя – 10%-ного раствора  $H_2O_2$ . Для обеспечения механической прочности мембран МФ-4СК смолу наносят на ткань из политетрафторэтилена.

В табл. 3.4 приведены характеристики некоторых серийно выпускаемых в России гетерогенных мембран.

Наиболее совершенные мембраны производятся в настоящее время японскими фирмами «Асахи кемикал» и «Асахи гласс» на основе перфторуглеродных материалов с  $-COOH$  в качестве ионогенных групп, а также фирмой «Дюпон» (США).

### Конструкции и схемы

Уменьшение омических потерь в растворе достигается максимально возможным сближением электродов и соответственно мембран. Интервалы между ними обеспечиваются прокладками различной конструкции, чаще всего – лабиринтно-сетчатыми. Прокладки выполняют также важную роль турбулизации потока воды (уменьшение опасности возникновения отложений). Применяются и профилированные мембраны (без прокладок), и прокладки струнного типа.

Во избежание образования застойных зон в камерах концентрирования значительную часть (до 80%) получаемого раствора возвращают в диализный аппарат – создается циркуляционный контур.

Введение в камеры деминерализации смеси гранулированных или в виде волокон катионитов и анионитов – способ снижения нижнего экономически оптимального предела – 500 мг/л – деминерализуемой воды (электродеионизация). В этом случае можно получить не только пресную, но и глубокодеминерализованную воду (рис. 1.21).

### Условия применения метода

Мембраны электродеиализные так же, как и обратноосмотические, требуют исходную воду определенной чистоты. Вода, подаваемая к электродеиализному аппарату, должна содержать, не более:

- жесткость общая – 40 ммоль/л;
- взвешенные вещества – 1,5 мг/л;
- цветность – 20 градусов по платино-кобальтовой шкале;

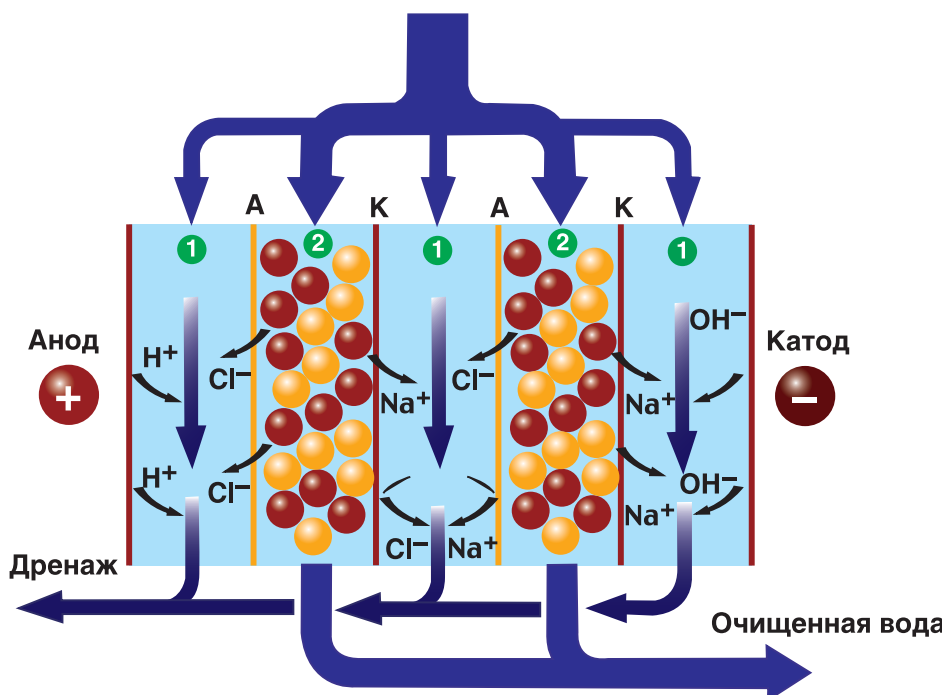


Рис. 1.21. Схема электродеионизационной установки

перманганатная окисляемость – 5 мгО/л;  
 железо общее (Fe) – 0,05 мг/л;  
 марганец общий (Mn) – 0,05 мг/л;  
 бораты (по  $\text{BO}_2$ ) – 3 мг/л;  
 бром (Br) – 0,4 мг/л;  
 алюминий (Al) – 0,05 мг/л.

Электродиализные аппараты позволяют деминерализовать воду практически любой степени минерализации почти полностью.

Глубина очистки – регулировкой расхода очищаемой воды.

Срок службы аппаратов примерно 10 лет.

Расход электроэнергии – 0,5–2,5 кВт · ч/м<sup>3</sup> (в зависимости от минерализации исходной воды и других условий).

Давление воды на входе – 0,15–2,0 МПа; на выходе – 0,2–0,5 МПа.

Температура воды на входе – 18–25°C; возможно повышение температуры до 40°C – в этом случае расход электроэнергии уменьшается примерно на 20–30%.

Режим работы – непрерывный. Борьба с отложениями солей на поверхности мембран: переполюсовка электродов с одновременным переключением потоков диализата и рассола, а также подкисление рассола и католита. Возможна – при необходимости – отмывка трактов повышенными дозами кислоты и растворами комплексообразователей.

#### 4.15.5. Основные технологические параметры электрохимических методов

Несмотря на существенные различия в механизме и кинетических закономерностях применяемых на практике методов электрохимической очистки загрязненных жидкостей и на конструктивные различия аппаратов для электрообработки воды, некоторые технологические показатели и методика их расчета общие.

Важнейший показатель процесса электрохимической очистки воды – расход электроэнергии, необходимый для достижения требуемой степени очистки в единице объема. Удельный расход электроэнергии в общем случае определяется по формуле:

$$W = \frac{I \cdot T \cdot U_{\text{общ}}}{Q}, \quad (4.98)$$

где  $W$  – удельный расход электроэнергии, Вт · ч на 1 л или кВт · ч на 1 м<sup>3</sup> воды;  $I$  – сила тока, А;  $T$  – продолжительность электролиза, ч;  $U_{\text{общ}}$  – напряжение на электродиализаторе, В;  $Q$  – объем воды, обрабатываемой за время  $t$ , л или м<sup>3</sup>.

#### 4.15.6. Электрохимическое обеззараживание воды

При реализации электрохимических способов водоподготовки обеспечивается обеззараживание жидкости, так как электролиз водных растворов сопровождается образованием в объеме электролита сильных дезинфектантов. Наложение электрического поля на обрабатываемую жидкость может вызвать необратимое агрегатирование микроорганизмов, что позволяет их отделить на фильтре для грубодисперсных примесей.

В качестве средства для дезинфекции воды наибольшее распространение получили хлор и его кислородные соединения. Электрохимическое производство хлора из хлоридных растворов с последующим его растворением в объеме электролита приводит к образованию мощных бактерицидных агентов  $\text{HClO}$  и  $\text{ClO}^-$  – хлорноватистой кислоты и гипохлорит иона соответственно.

В последние годы наибольшее применение находят электролизные установки, позволяющие получить реагенты для обеззараживания воды непосредственно на месте потребления. Часто в качестве сырья используются хлоридные растворы естественного происхождения – подземные минерализованные воды и морская вода.

Обработку воды хлором осуществляют с помощью хлораторов, в которых газообразный (испаренный) хлор абсорбируют водой. Полученную хлорную воду из хлоратора подают к месту потребления. Хотя этот метод обработки воды и является наиболее распространенным, тем не менее, он обладает целым рядом недостатков. Прежде всего, сложны транспортировка и хранение больших объемов жидкого высокотоксичного хлора. При такой организации процесса неизбежно присутствуют потенциально опасные стадии – прежде всего разгрузка емкостей с жидким хлором и его испарение для перевода в рабочую форму. Создание рабочих запасов хлора на складах представляет опасность не только для рабочего персонала станции, но и для жителей расположенных рядом домов.

Как альтернативный вариант хлорированию в последние годы все шире используют обработку воды раствором гипохлорита натрия ( $\text{NaClO}$ ), причем этот метод находит применение на больших станциях водоподготовки и на небольших объектах, в том числе и в частных домах.

Обеззараживание воды и окисление примесей с использованием гипохлорита натрия, производимого электрохимически, впервые было применено в США в конце 30-х годов прошлого столетия.

Гипохлорит натрия обладает рядом ценных свойств. Его водные растворы не имеют взвесей и поэтому не нуждаются в отстаивании, например в противоположность хлорной извести. Примене-

ние гипохлорита натрия для обработки воды не вызывает увеличения ее жесткости, поскольку он не содержит солей кальция и магния, как хлорная известь или гипохлорит кальция. Бактерицидный эффект раствора  $\text{NaClO}$ , полученного электролизом, выше, чем у других дезинфектантов, действующее начало которых – активный хлор. Кроме того, раствор обладает еще бóльшим окислительным действием, чем растворы, приготовленные химическим методом, из-за более высокого содержания хлорноватистой кислоты ( $\text{HClO}$ ).

Применяют два способа электрохимического обеззараживания: получение гипохлорита натрия электролизом с последующим введением его в обрабатываемую воду и непосредственный электролиз обрабатываемой воды. Получение гипохлорита натрия в электролизере производят в периодическом или непрерывном режимах. При периодическом режиме работы исходный раствор соли заливают в непроточный электролизер, проводят электролиз до получения требуемой концентрации гипохлорита натрия, затем сливают в бак-накопитель и используют его оттуда по мере необходимости.

Проточный режим предусматривает непрерывный электролиз раствора хлорида натрия с одновременным дозированием гипохлорита в обрабатываемую воду.

В настоящее время большинство исследователей и практиков отдают предпочтение двухстадийной организации процесса обеззараживания питьевой воды. На первой стадии обработку воды ведут с помощью озона – на этой стадии происходит обеззараживание воды и достигается глубокая окислительная деструкция органических примесей. На заключительной стадии непосредственно перед подачей воды в распределительную сеть проводят так называемое финишное обеззараживание с помощью хлорирующих агентов, обладающих длительным действием, что обеспечивает устойчивость воды к повторному инфицированию.

При использовании такой комбинированной схемы обеззараживания воды возможно значительное сокращение дозировки хлорирующих агентов в 8–10 раз, что приводит соответственно и к уменьшению содержания в воде хлорированных углеводородов.

## 4.16. Магнитная обработка воды

В последние десятилетия, как в России, так и за рубежом, для борьбы с образованием накипи и отложений на внутренней поверхности труб и теп-

лообменного оборудования применяют магнитную обработку воды. Ее широко используют в конденсаторах паровых турбин, парогенераторах низкого давления и малой производительности, тепловых сетях и системах горячего водоснабжения, в различных теплообменных аппаратах. Эффект, последствия обработки воды в магнитном поле известны давно. Еще в XIII в. были отмечены лечебные свойства «омагниченной» воды. Но только в XX в. началось использование магнитов в технике водоподготовки.

Первый патент на аппарат магнитной обработки воды был выдан в 1946 г. бельгийскому инженеру Т. Вермейрену, еще за 10 лет до этого обнаружившего, что при нагреве воды, пересекающей силовые линии магнитного поля, на поверхности теплообмена накипь не образуется.

### 4.16.1. Гипотезы и факты

Магнитная обработка воды в аппаратах с постоянными магнитами и электромагнитами применяется уже несколько десятилетий. Замечено, что при воздействии магнитного поля на солевые кристаллы последние меняют свою структуру: кристаллы становятся гораздо мельче, и кристаллы кальцита приобретают орагонитную форму. В целом кристаллы карбоната кальция вместо обычной накипи образуют рыхлую массу, легко вымываемую из трубопровода. Кроме того, образовавшаяся большая поверхность множества мелких кристаллов «конкурирует» за отложения с нагретой поверхностью. Более 70% частиц имеют размер менее 0,5 мкм.

Механизм воздействия магнитного поля на воду и содержащиеся в ней примеси окончательно не выяснен, но имеется ряд гипотез.

Современные воззрения объясняют механизм воздействия магнитного поля на воду и ее примеси поляризационными эффектами и деформацией ионов солей. Гидратация ионов при обработке уменьшается, ионы сближаются, образуя кристаллическую форму соли. В основу одной из теорий положено влияние магнитного поля на коллоидные примеси воды, другой – изменение структуры воды. При наложении магнитного поля в массе воды формируются центры кристаллизации, вследствие чего выделение нерастворимых солей жесткости происходит не на теплопередающей поверхности (нагрева или охлаждения), а в объеме воды. Таким образом, вместо твердой накипи в воде появляется мигрирующий тонкодисперсный шлам, легко удаляемый с поверхности теплообменников и трубопроводов. В аппаратах магнитной обработки вода должна двигаться перпендикулярно магнитным силовым линиям.



#### 4.16.2. Технология проведения и условия применения метода

Магнитная обработка заключается в пропускании потока воды через магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом или электромагнитом.

В настоящее время в России выпускают два типа аппаратов для магнитной обработки воды – с постоянными магнитами и электромагнитами. Время пребывания воды в аппарате определяется ее скоростью в пределах 1–3 м/с. Метод эффективен при обработке вод кальциево-карбонатного класса, которые составляют около 80% всех вод России.

Условия применения аппаратов для магнитной обработки воды: СНиП II-35-76\*, СНиП 41-02-2003 (ранее – СНиП 2.04.07-86) и СП 41-04-2000 (ранее Руководство по проектированию тепловых пунктов. М.: Стройиздат, 1983).

Для чугунных и других паровых котлов с температурой нагрева воды до 110°C допускается:

карбонатная жесткость не более 7 ммоль/л;

содержание железа (Fe) – до 0,3 мг/л;

обязательна установка шламоотделителя на продувочном трубопроводе котла.

для водогрейных котлов с температурой нагрева воды до 95°C в закрытой системе теплоснабжения:

жесткость карбонатная – не более 7 ммоль/л;

содержание железа (Fe) – до 0,3 мг/л;

воду можно не деаэрировать, если в ней содержание растворенного кислорода – не более 3 мг/л и сумма хлоридов (Cl) и сульфатов (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) – не более 50 мг/л;

часть циркулирующей воды (не менее 10% общего количества) должна проходить через дополнительный магнитный аппарат для предотвращения «затухания» магнитного воздействия (антирелаксационный контур).

для системы горячего водоснабжения с температурой нагрева воды ≤70°C должны выполняться все указанные выше условия (жесткость карбонатная, железо, деаэрация), но, кроме того, нужно предусмотреть, чтобы напряженность магнитного поля не была больше 159 · 103 А/м. Другие условия для этой системы указаны в СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети», обобщении опыта эксплуатации аппаратов магнитной обработки воды (Информ. письмо ИП-02-02 (ТП). М.: СПО ОРГРЭС, 1998) и СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов».

**При магнитной обработке воды необходимо учитывать значение поверхностной плотности теплового потока:**

– для паровых чугунных секционных котлов – не более 25 кВт/м<sup>2</sup>;

– для водогрейных котлов и теплообменников – не более 50 кВт/м<sup>2</sup> при температуре нагрева воды до 70 °С и не более 25 кВт/м<sup>2</sup> при температуре 70–95 °С.

Для определения противонакипного эффекта Э, %, используется следующее выражение:

$$\text{Э} = (m - m_m) \cdot 100 / m, \quad (4.99)$$

где  $m$  и  $m_m$  – масса накипи (г), образовавшейся на поверхности нагрева при кипячении в одинаковых условиях одного и того же количества воды с одинаковым исходным химическим составом, соответственно, необработанной и обработанной магнитным полем.

В сравнении с распространенными методами умягчения воды (ионообменными, баромембранными) магнитную обработку отличают простота, дешевизна, безопасность, экологичность, низкие эксплуатационные расходы.

#### 4.16.3. Технологические особенности метода

Несмотря на все достоинства аппаратов для магнитной обработки воды, на практике эффект обработки зачастую проявлялся только в первый период эксплуатации, затем результат пропадал. Даже появилось выражение «эффект привыкания воды». Свои свойства омагниченная вода сохраняет меньше суток. Это явление потери магнитных свойств называется *релаксацией*. Именно поэтому в системах, где вода находится в течение многих часов и дней (оборотные системы водоснабжения, циркуляционные контуры котлов и систем отопления и др.), необходимо предусматривать рециркуляционные системы, куда направлять не менее 10% находящейся в системе воды, и постоянно эту часть воды подмагничивать.

По одной из гипотез основа «омагничивания» воды – наличие в воде ферромагнитных частиц. Эти частицы обволакивают полюсы магнитов, на них налипают всякие другие частицы – происходит шунтирование магнитного поля. Внешне это похоже на шубу, надетую на полюсы

Этим явлением объясняются случаи, когда после некоторого успешного периода эксплуатации магнитного аппарата прекращается его противонакипная «деятельность».

Необходимо не реже чем один раз в 5–7 дней механически очищать полюсы магнита от отложений.

Для того чтобы «затруднить» накипеобразующей частице осесть на теплонапряженную поверхность, необходимо турбулизировать поток воды. Это значит, что скорость воды около нагретой стенки трубы не должна быть меньше 1 м/с. В то же время длина пути, на протяжении которого осуществляется воздействие магнита на воду, должна быть достаточной.

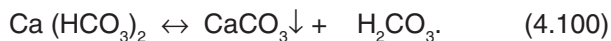
## 4.17. Электромагнитное воздействие на воду с переменной частотой

### 4.17.1. Сущность метода

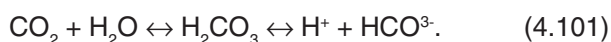
В конце XX в. появились зарубежные и отечественные аппараты для обработки воды электромагнитными волнами с диапазоном применяемых частот 1–10 кГц.

По эффекту действия этот метод подобен магнитному или ультразвуковому. Излучаемые электромагнитные волны в водном растворе веществ – природной воде – изменяют структуру растворенных веществ таким образом, что потенциально накипеобразующие примеси кальция, магния и железа (прежде всего – карбонаты) не осаждаются на теплонапряженной поверхности, а кристаллизуются в толще водного потока. При этом прочная смесь аморфных отложений солей жесткости не образуется, а сформировавшиеся ранее отложения разрушаются и уносятся с потоком воды.

Под действием электромагнитных волн бикарбонат кальция, содержащийся в исходной воде, переходит в нерастворимый карбонат кальция. При этом карбонат осаждается не на стенках труб и оборудования, а в объеме воды. Данный процесс описывается следующим химическим уравнением:



Нестойкая угольная кислота электролитически диссоциирует. Она также склонна к образованию углекислого газа:



Угольная кислота разрушает старые известковые осадки в трубах, водонагревателях и др. Избыток угольной кислоты смещает равновесие реакции (4.100) влево, то есть приводит к повторному образованию бикарбоната кальция. На практике это означает, что в обработанной воде через несколько суток вновь образуется бикарбонат кальция (вода «теряет» свои свойства после электромагнитного воздействия).

Шведскими специалистами опытным путем установлено:

небольшое уменьшение величины pH воды за счет ее подкисления угольной кислотой. Однако это уменьшение настолько мало, что не увеличивает риск коррозии.

изменение электропроводности воды из-за уменьшения величины pH;

уменьшение поверхностного натяжения и капиллярности (требуется меньше моющих средств).

### 4.17.2. Технология и условия применения

Аппараты для электромагнитного воздействия с переменной частотой состоят из электронного блока, обычно на основе микроконтроллера, формирующего электрический сигнал с заданными параметрами (выходная частота, функция изменения частоты от времени) и излучателей. Излучатель представляет собой провод с термостойкой изоляцией, намотанный на трубопровод с обрабатываемой водой. Количество излучателей – от двух и более, в зависимости от типа прибора. С помощью проводов-излучателей поток излучения концентрируется в объеме воды, протекающей в трубопроводе. При этом сигналы распространяются в обе стороны трубопровода.

При подборе типа прибора электромагнитной обработки воды следует руководствоваться эмпирическими зависимостями (4.102) и (4.103).

Для прямоточных систем водоснабжения:

$$Q \leq (0,005 \div 0,010) d^2, \quad (4.102)$$

где  $Q$  – расход воды, м<sup>3</sup>/ч;  $d$  – внутренний диаметр трубопровода, мм.

Для системы с циркуляционным контуром:

$$Q_{\text{расх}} / Q_{\text{цирк}} \leq 0,8. \quad (4.103)$$

Здесь  $Q_{\text{расх}}$  – количество воды, отбираемой из системы на потребление, м<sup>3</sup>/ч;  $Q_{\text{цирк}}$  – объемный поток воды, циркулирующий в системе, м<sup>3</sup>/ч.

### 4.17.3. Особенности применения метода

Метод электромагнитного воздействия привлекает простотой монтажа и эксплуатации, небольшим расходом электроэнергии (малой мощностью излучения) – 2–5 Вт, неограниченным временным ресурсом.

Как и другие физические методы обработки воды (магнитная и ультразвуковая), электромагнитному воздействию подвержена только карбонатная жесткость; происходит разрушение сформировавшихся ранее отложений солей жесткости в течение 1–3 месяцев; вода не меняет солевой состав.

Противонакипный эффект будет увеличиваться: с повышением температуры воды вплоть до температуры кипения;

при более высоком содержании ионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>;

с понижением содержания в воде углекислоты;

с повышением щелочности воды;

при уменьшении общей минерализации;

границы применимости этого метода аналогичны магнитной обработке.

## 4.18. Стабилизационная обработка воды

Основные проблемы, возникающие при эксплуатации водопроводных систем, – накипеобразование, коррозия и микробиологические обрастания. Поэтому стабильность воды при использовании ее в качестве теплоносителя – один из основных показателей.

Стабильной называют воду, не вызывающую коррозии поверхности металла, с которым она соприкасается, и не выделяющую на этих поверхностях осадков карбоната кальция.

Агрессивное действие воды при очистке объясняется нарушением в ней карбонатного равновесия. Вода при этом становится нестабильной, то есть способной растворять защитные пленки на внутренней поверхности трубопроводов в результате появления в воде агрессивной угольной кислоты. При «оголении» поверхности усиливается электрохимическая коррозия, которой благоприятствует присутствие растворенных в воде кислорода и сероводорода. Вода обогащается продуктами коррозии, ухудшающими ее качество. Из металлов наибольшему разрушению подвержено железо.

Обесцвеченную и осветленную в очистных сооружениях воду нельзя считать удовлетворительной по качеству, если она, проходя по трубам, приобретает окраску или образует осадок.

Нарушение стабильности воды может быть вызвано наличием растворенной угольной кислоты, сероводорода или кислорода, низким значением pH, перенасыщенностью воды карбонатом кальция или гидроксидом магния, повышенной концентрацией сульфатов и (или) хлоридов.

Оценка коррозионно-опасных и накипеобразующих свойств воды основана на рассмотрении карбонатного равновесия, с учетом влияния температуры воды и общей минерализации.

### 4.18.1. Основные проблемы, возникающие при эксплуатации водопроводных систем

#### *Загрязнение системы*

Загрязнению водопроводных систем способствуют:

- вещества в виде суспензий: пыль, глина, песок и т.д., которые могут формировать осадки в зонах замедленной циркуляции или трубах небольшого диаметра;

- вещества, образующие коллоидные системы: их коагуляция происходит при повышенной температуре. Зачастую это основная причина загрязнения водопроводных сетей;

- наибольшую опасность представляют собой продукты метаболизма живых организмов, водоросли и бактерии, вырабатывающие жирные кислоты, очень клейкие вещества, адсорбирующие в свою очередь имеющиеся частицы и формирующие суспензии. Простого повышения температуры достаточно, чтобы произошла их коагуляция с образованием студенистой вязкой массы.

Жизнедеятельность сульфатвосстанавливающих анаэробных бактерий вызывает биологическую коррозию (последствия – вплоть до образования свищей).

Различные типы минеральных и органических загрязняющих веществ нередко объединяются или взаимно адсорбируются и образуют ил или «слизь» в виде вязкой массы, почти повсеместно встречающейся в теплообменниках.

Неблагоприятные последствия этого явления таковы:

- одновременное загрязнение теплообменников, трубопроводов и охлаждающих устройств, приводящее к уменьшению пропускной способности и эффективности охлаждения;

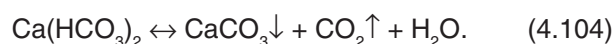
- возникновение отложений, чреватое коррозией при «дифференцированной аэрации»;

- вероятность коррозии биологического типа.

#### **Отложения на стенках**

Образование отложений связано с осаждением кристаллов на металлической поверхности с образованием прочно удерживаемой корочки.

*Карбонат кальция* – это первая соль, которая может выпасть в осадок в воде согласно реакции:



*Сульфат кальция.* При повышении температуры растворимость этой соли сначала увеличивается, потом достигает максимума при температуре 40°C, а затем уменьшается. Образовавшись, сульфат кальция с трудом поддается растворению в воде, циркулирующей по трубопроводам сети.

*Диоксид кремния.* Содержащие кремний отложения очень тверды, прочно держатся и являются сильными теплоизоляторами.

### 4.18.2. Индексы стабильности воды

Практически равновесие бикарбоната кальция с диоксидом углерода регулируется сложными законами, и нарушение равновесия приводит к началу таких химических реакций, как растворение карбоната кальция или выпадение этой соли в осадок – см. (4.104).

Чтобы поддержать в растворе заданную концентрацию бикарбоната кальция, в воде должно

содержаться в растворенном состоянии соответствующее количество равновесного  $\text{CO}_2$ .

В соответствии с ГОСТ 3313-86 стабильной считается вода, которая не выделяет и не растворяет осадка карбоната кальция. Это свойство воды характеризуется показателем стабильности  $C_1$  и  $C_2$ :

$$C_1 = \frac{\text{Щ}_и}{\text{Щ}_н}, \quad (4.105)$$

где  $\text{Щ}_и$  – щелочность исходной воды, ммоль/л;  
 $\text{Щ}_н$  – щелочность воды после насыщения ее карбонатом кальция, ммоль/л;

$$C_2 = \text{pH}_и / \text{pH}_н. \quad (4.106)$$

Здесь  $\text{pH}_и$  – значение pH исходного раствора;  $\text{pH}_н$  – значение pH раствора, насыщенного карбонатом кальция.

При значениях  $C_1$  и  $C_2$ , равных единице, вода стабильна. Если  $C_1$  и  $C_2$  меньше 1, вода агрессивная (тенденция к коррозии). В случаях, когда  $C_1$  и  $C_2$  больше 1, вода способна к отложению карбоната кальция.

Были предложены несколько методов определения стабильности воды: Тильманса, Ланжелье (диаграмма Гувера), Галлопэ, Франкуина и Марекко, Леграна и Пуарье и др.

Из них наиболее широкое распространение получил метод Ланжелье (представленный графически Гувером и впоследствии модифицированный Апельциным). Метод Ланжелье регламентирован для применения СНиП 2.04.02-84\* – в отсутствие экспериментально определенной стабильности воды по ГОСТ 3313-86.

Индекс Ланжелье позволяет судить только о поведении воды по отношению к карбонату кальция, то есть по отношению к бетону и другим подобным материалам. Судить по этому индексу о поведении воды по отношению к металлам неправомерно.

Согласно СНиП 2.04.02-84\* «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения», нужно предусматривать стабилизационную обработку воды для защиты – при необходимости – водопроводных труб и оборудования от углекислотной коррозии и образования карбонатных отложений. Эти указания обязательны только при проектировании централизованных наружных систем водоснабжения населенных пунктов и промышленных объектов.

Требования СНиП не распространяются на системы нецентрализованного и автономного водоснабжения, а также горячего водоснабжения и теплоснабжения. Но даже для централизованных систем водоснабжения предлагаемые методы (все – реагентные) стабилизационной обработки – в статусе рекомендуемых.

СНиП 2.04.02-84\* рекомендуют предусматривать стабилизационную реагентную обработку при индексе насыщения воды карбонатом кальция (индекс Ланжелье) менее +0,3 в течение более трех месяцев в году для систем холодного водоснабжения.

Индекс Ланжелье ( $J$ ), или индекс насыщения воды карбонатом кальция, показывает преобладающие тенденции воды к накипеобразованию или коррозии:

$$J = \text{pH}_{\text{изм}} - \text{pH}_{\text{нас}}, \quad (4.107)$$

где  $\text{pH}_{\text{изм}}$  – измеренное значение pH исходного раствора;  $\text{pH}_{\text{нас}}$  – значение pH раствора насыщенного карбонатом кальция (при этом нужно учитывать поправку на температуру воды, см. п. 3.5);  $\text{pH}_{\text{нас}}$  – водородный показатель в условиях насыщения воды карбонатом кальция, определяемый по номограмме в СНиП 2.04.02-84\* в зависимости от значений содержания в воде кальция, общей щелочности, общей минерализации и температуры воды (рис. 1.23).

При значении  $J = 0$  вода стабильна;  $J < 0$  – вода агрессивная (тенденция к коррозии, защитная карбонатная пленка не образуется);  $J > 0$  – возможны карбонатные отложения.

Для определения коррозионности воды по отношению к стали (чугуну) используется индекс Ризнера (ИР), или индекс стабильности воды, который в настоящее время – наиболее представительный из числа индексов, учитывающих карбонатное равновесие, и равен:

$$\text{ИР} = 2 \text{pH}_{\text{нас}} - \text{pH}_{\text{изм}}, \quad (4.108)$$

Характеристики воды по индексу Ризнера:

ИР = 4–5 – интенсивные карбонатные отложения;

ИР = 5–6 – слабые карбонатные отложения;

6 < ИР < 7 – близко к равновесию или слабая коррозия стали, чугуна;

ИР = 7,0–9,0 – сильная коррозия;

ИР > 9,0 – недопустимая коррозия.

Индекс Ризнера применяется при содержании кислорода в воде не менее 4–5 мг/л – без растворенного в воде кислорода защитная карбонатная пленка не образуется.

ИР дает лишь общие представления о направленности коррозионных процессов и процессов образования в воде карбонатных отложений, но не учитывает влияния некоторых важных параметров, таких, например, как наличие ионов  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , различных загрязнений и т.д..

Индекс Ланжелье более информативен при определении стабильности воды в системах с малой скоростью потока, например, в отстойниках, освет-

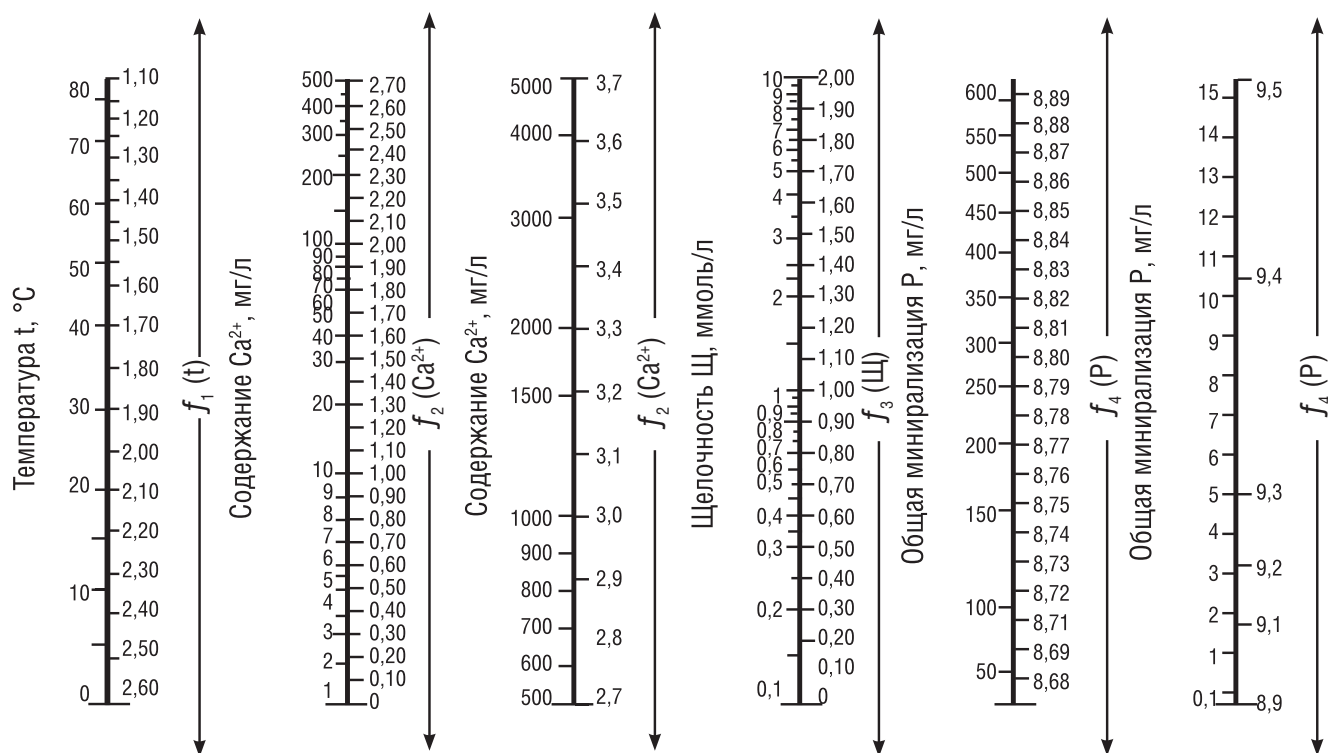


Рис. 1.22. График для определения  $\text{pH}_{\text{нас}}$

лителях, резервуарах. Индекс Ризнера применим преимущественно для систем, где скорость потока достаточна для предотвращения осаждения частиц – не менее 0,5 м/с.

Стабилизационную обработку воды необходимо проводить при отрицательном индексе стабильности более 8 мес. в году и при положительном индексе стабильности (более 0,5) – в течение 8–10 мес.

### 4.18.3. Влияние некоторых показателей качества воды на ее стабильность

Стабильность воды – углекислотная коррозионная опасность или возможность образования карбонатных отложений – определяется также и по другим показателям.

Взаимозависимость водородного показателя и карбонатной жесткости (см. рис. 1.23).

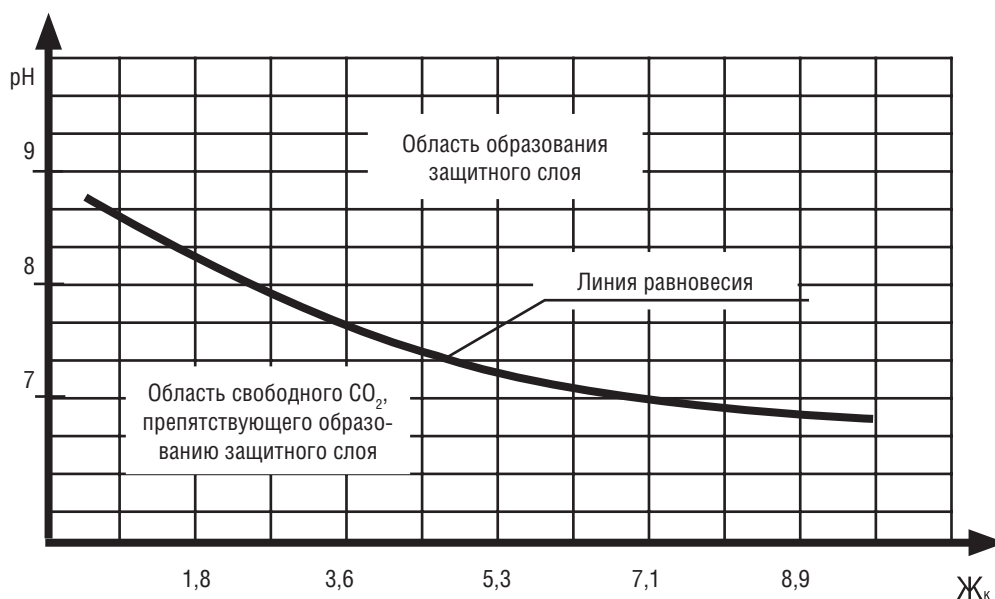


Рис. 1.23. Зависимость  $\text{pH}$  от  $\text{Ж}_k$



Если в воде дополнительно содержится кислород, то скорость коррозии увеличивается.

При минерализации воды более 500 мг/л неизбежна электрохимическая коррозия металлов и сплавов.

При содержании в воде хлоридов (Cl<sup>-</sup>) более 150 мг/л будет протекать коррозия, вплоть до сквозной.

При содержании в воде железа (Fe) более 0,20 мг/л и марганца (Mn) более 0,1 мг/л возможно образование соответствующих отложений, под которыми может начаться подшламовая коррозия.

Усилению коррозии способствуют также наличие в воде сероводорода и, при определенных условиях, жизнедеятельность сульфатвосстанавливающих анаэробных бактерий.

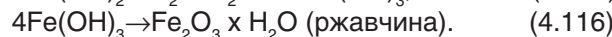
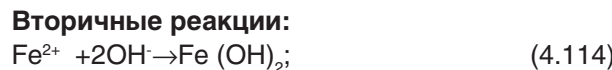
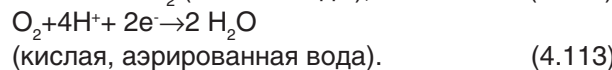
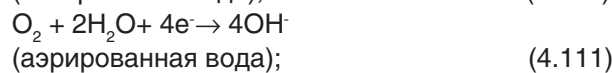
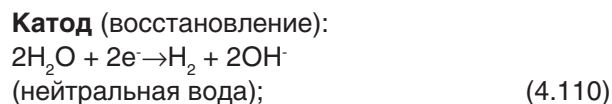
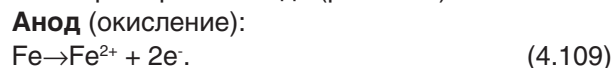
Коррозионную опасность и вообще стабильность воды необходимо определять установкой индикаторов в трубопровод или аппарат. Более или менее надежный результат можно получить ускоренным методом, разработанным АКХ им. К.Д. Панфилова (г. Москва). В отсутствие экспериментального определения правильное представление о возможной коррозии дает совместный учет всех описанных выше показателей.

#### 4.18.4. Коррозия

Коррозия представляет собой процесс разрушения металла в результате химических или электрохимических процессов. Электрохимическая коррозия – коррозия металла в электролите. Применительно к процессам водоподготовки электролитом является вода. Не имеет существенного значения и количество влаги. Коррозия возникнет даже в слое влаги толщиной в несколько десятков мкм. Основные процессы при электрохимичес-

кой коррозии: анодный переход атомов металла в раствор; катодная ассимиляция электронов на катоде. Перенос заряда между катодом и анодом осуществляется электронами или ионами (в растворе). Система «анод–электролит–катод» представляет собой короткозамкнутый гальванический элемент. Главную роль в электрохимической коррозии играют микрогальванические элементы, роль катодов и анодов в которых могут выполнять микровключения примесей металла, отдельные атомы, микропоры оксидной пленки на поверхности металла и т.д.

Железо термодинамически неустойчиво в воде и стремится к растворению в ней. Достаточно минимальной неоднородности, чтобы возникла возможность перехода Fe в состояние Fe<sup>2+</sup>, инициирующего процесс электрохимической коррозии. Металл становится поставщиком электронов и играет роль анода. А кислород перехватывает электроны и играет роль катода (рис. 1.24).



#### Виды коррозии

Коррозия металлов имеет много видов, поэтому очень редко приходится сталкиваться только с одним фактором, вызывающим коррозию. Как правило, на ее возникновение влияют многие параметры, накладывающиеся друг на друга. Условно их можно разделить на два вида:

– *общая равномерная коррозия*, охватывающая всю поверхность металла и приводящая к его утонению;

– *локальные коррозионные разрушения*, к которым относятся язвенная (питтинговая) коррозия, межкристаллитная коррозия, подшламовая, щелевая, коррозия в трещинах, микробиологическая.

Проблемы, порожденные коррозией, с одной стороны, приводят к разрушению металла, а с другой – к образованию осадка, нарушающего теплообмен.



**Рис. 1.24. Механизм электрохимической коррозии в системе «металл–воздух–вода»:**

1 – металлическая стенка (оболочка); 2 – анод из феррита или железа; 3 – катод: вода, включения, примеси

**Параметры, оказывающие основное влияние на коррозию:**

– низкое значение pH, при котором скорость коррозии возрастает. Резкое уменьшение скорости при  $\text{pH} > 10$  связано с образованием на стали защитных гидроксидных пленок железа (рис. 1.25);

– хлориды и сульфаты, являющиеся одним из наиболее важных факторов, определяющих интенсивность локальной коррозии металла;

– кислород и уголекислота, увеличивающие скорость коррозии;

– солесодержание – присутствие в воде растворенных солей, способствующее коррозии, то есть увеличивающее удельную электропроводимость воды;

– повышение температуры, которое ускоряет коррозию;

– наличие сероводорода – способствует развитию коррозии, он возникает при определенных условиях в результате жизнедеятельности сульфатвосстанавливающих анаэробных бактерий;

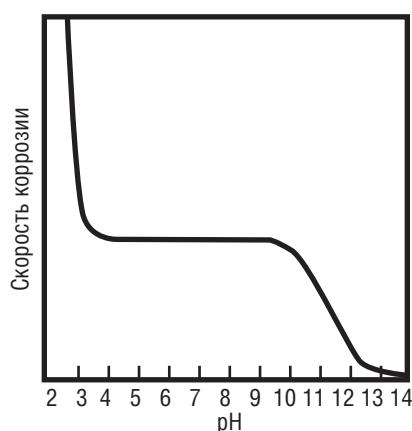
– состояние поверхности – поскольку процесс коррозии включает этап образования гальванических элементов, а наличие всякой неоднородности способствует появлению анодов и катодов;

– контакт различных металлов приводит к образованию электрохимической гальванической пары, где менее благородный металл становится анодом и подвергается коррозии;

– общая жесткость и щелочность оказывают эффект ингибирования на процессы коррозии.

Абсолютное значение каждого из указанных параметров и их сочетание определяет агрессивность воды по отношению к металлу.

Для индикации скорости коррозии можно воспользоваться эмпирической формулой, дающей



**Рис. 1.25.** Влияние pH на скорость общей коррозии углеродистых сталей в азрированной воде при 25°C

весьма представительные результаты для многих природных жестких вод в диапазоне температур до 80°C.

$$K = 0,008 \cdot t - 0,03, \quad (4.117)$$

где  $K$  – скорость коррозии, г/(м<sup>2</sup> · ч);  $t$  – температура воды, °C.

Эмпирические формулы скорости коррозии стали в диапазоне от 20 до 80°C (по Сухотину А.М. и Беренблит В.М.):

в обессоленной воде

$$K = 0,017 \cdot t - 0,18;$$

в воде после водород-натрий-катионирования

$$K = 0,014 \cdot t - 0,18;$$

в воде после натрий-катионирования

$$K = 0,009 \cdot t - 0,18.$$

Глубинный показатель коррозии вычисляется:

$$П = K \cdot 8760 / (1000 \cdot d), \quad (4.118)$$

где  $K$  – см. выше;  $d$  – плотность стали или чугуна, г/см<sup>3</sup>; 8760 – количество часов работы в год, ч/г.

Обычно скорость коррозии металла трубопроводов в энергетике характеризуется общепринятой шкалой в зависимости от глубинного показателя коррозии, представляющего скорость коррозии, выраженную в мм/г. – табл. 4.12.

**Таблица 4.12**

Скорость коррозии

Глубинный показатель коррозии, мм/г.	Характеристика интенсивности коррозии
Свыше 0,002 до 0,04	Слабая
Свыше 0,04 до 0,05	Допустимая
Свыше 0,05 до 0,2	Сильная
Свыше 0,2	Аварийная

**Ингибиторы коррозии**

Существует три основных семейства ингибиторов коррозии:

хроматы цинка;  
фосфаты цинка;  
органосфаты.

Смешанные составы должны быть полифункциональны – так, чтобы увеличить зону оптимального pH, избежать угрозы отложений и замедлить скорость коррозии. Часто включают в состав ингибиторов (табл. 4.13):

Таблица 4.13

Эффект комбинирования ингибиторов коррозии

Показатель	Хромат цинка+ диспергатор	Полифосфат цинка+ диспергатор	Фосфат цинка+ диспергатор	Фосфаты+диспергаторы+ органические ингибиторы
Диапазон pH	6,4–6,8	6,4–7,5	6,5–8,0	6,8–7,5
Время пребывания в сети, ч	~100	~50	~70	~100
Эффективность	Отличная	Очень хорошая	Хорошая	Отличная
Скорость коррозии, мкм/год	~50	~60	~100	~50

Цит. по: Берне Ф. и Кордонье Ж. (с. 260).

ингибитор одной из вышеназванных основных групп или их сочетание;

диспергатор;

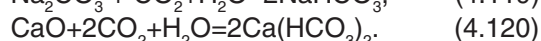
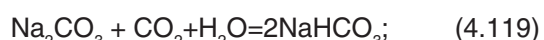
ингибитор коррозии сплавов, содержащих медь (азоловые производные: бензотриазол и др.).

#### 4.18.5. Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе стабильности

Стабилизационная обработка воды при отрицательном индексе стабильности заключается в ее подщелачивании, фильтровании через мраморную крошку или магномассу или удалении оксида углерода (IV) аэрированием.

##### Подщелачивание

В качестве подщелачивающих агентов используются едкий натр, известь, кальцинированная сода. Указанные реагенты вводят дозированием в очищенную воду пропорционально расходу воды. Реагенты связывают оксид углерода по реакциям:



При **фильтровании воды** через мраморную крошку ( $\text{CaCO}_3$ ), полуобожженный доломит – магномассу ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgO}$ ) или обожженный магнезит ( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{MgO}$ ) проводят связывание углекислоты с образованием бикарбонатов кальция и магния. В результате обработки воды магномассой общая щелочность и общая жесткость воды увеличиваются на 0,031 ммоль/л на 1 мг/л связываемой углекислоты.

Скорость фильтрования через мраморную крошку – до 10 м/ч, через магномассу – до 20 м/ч. Скорость фильтрования зависит от температуры и щелочности воды, а также от концентрации оксида углерода (IV). Содержание железа в поступающей к фильтру воды не должно быть более 0,5 мг/л. Для

связывание 1 мг оксида углерода (IV) расходуется 2,3 мг мрамора или 1,1 мг магномассы, что требует периодического пополнения фильтров загрузкой.

Для бытовых фильтров магномасса поставляется под наименованием Magno-Dol (Магнодол), Akdolit-Gran (Акдолит-Гран) и Everzit-Dol (Эверцит-Дол), магномасса, обогащенная каталитическими добавками: железом, медью, серебром, марганцем, поставляется под маркой Damfer (Дамфер). Поставляются также природный доломит (сырье для производства магномассы) – ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ) и под маркой Magnofilt (Магнофилт).

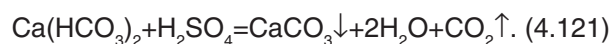
Стабилизационную обработку воды в магно-массовых фильтровальных установках для систем горячего водоснабжения следует предусматривать в том случае, когда вода, подаваемая в систему горячего водоснабжения, более четырех месяцев в году имеет отрицательный индекс насыщения ( $J < 0$ ), а концентрация кислорода в воде в течение этих же четырех месяцев – не менее 2 мг/л.

#### 4.18.6. Стабилизационная обработка при положительном индексе насыщения

При положительном индексе насыщения воду стабилизируют подкислением серной или соляной кислотой, обработкой фосфатами.

##### Подкисление

Добавление кислоты приводит к переходу карбонатной жесткости в некарбонатную:



Кислота должна вводиться в стехиометрическом количестве. При ее недостатке – выпадение осадка, при избытке – коррозия оборудования.

При подкислении в дополнение к разрушению потенциального накипеобразователя  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  выделяется  $\text{CO}_2$ , который стабилизирует оставшуюся часть гидрокарбоната кальция.

Процесс подкисления нежелателен при большой щелочности добавочной воды, так как при этом значительно повышается концентрация сульфатов и возникает опасность образования отложений сульфатов ( $\text{CaSO}_4$ ).

### Фосфатирование

Фосфаты относятся к реагентам, связывающим соли жесткости в малорастворимые соединения. Наиболее часто в промышленности применяют тринатрийфосфат, гексаметафосфат и триполифосфат.

В основе действия *тринатрийфосфата* ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) лежит перевод накипи в шлам. Реагент формирует в воде малорастворимый ортофосфат кальция, который, адсорбируясь на гранях кристаллов карбоната кальция, вызывает изменение их формы и препятствует агломерации первичных агрегатов. В результате вместо накипи образуется рыхлый, легко удаляемый шлам.

*Гексаметафосфат* ( $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ ) обладает поверхностно-активными свойствами и адсорбируется на поверхности зародышей кристаллов карбоната кальция в виде пленки гексаметафосфата кальция и натрия. Пленка препятствует росту микрокристаллов, то есть тормозит рост кристаллов повышением их растворимости.

*Триполифосфат* ( $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ ) в воде разлагается с выделением тринатрий-фосфата.

Гексаметафосфат и триполифосфат относятся к так называемым кислым фосфатам. Поэтому их целесообразно применять лишь при наличии в воде свободной щелочи ( $\text{NaOH}$ ) или одновременном введении в воду соды ( $\text{NaHCO}_3$  или  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

Защитное действие фосфатов ограничивается карбонатной жесткостью 5,5–6,0 ммоль/л.

При добавлении фосфатов меньше, чем содержание кальция, магния и железа, образуются труднорастворимые фосфатные комплексы этих элементов. Они образуют плотную пленку, которая предотвращает непосредственное соприкосновение воды с металлом, защищая его от коррозии.

### 4.18.7. Комплексоны

Комплексоны называют группу органических соединений, которые способны образовывать устойчивые комплексные соединения с катионами металлов. Применение комплексонов для стабилизационной обработки воды позволяет решить ряд задач:

- стабилизирование насыщенных растворов;
- ингибирование коррозии;
- удаление отложений накипи и продуктов коррозии с поверхности теплообменного оборудования.

В последние годы широкое распространение получили органические фосфонаты (производные фосфоновой кислоты) и композиции на их основе.

Ингибирование процесса солеотложения с помощью фосфонатов основано на пороговом эффекте: при малых концентрациях фосфонаты тормозят процесс образования зародышей кристаллов карбонатов солей жесткости, и, таким образом, происходит стабилизация насыщенных растворов солей жесткости и железа и предотвращение их распада и образования осадков.

Фосфонаты эффективны для предотвращения осадкообразования таких малорастворимых веществ, как карбонаты, сульфаты и фосфаты кальция. Пороговый эффект изменяется в зависимости от природы осадка и ингибитора. Концентрация ингибитора колеблется в пределах 0,25–2,0 мг/л.

Защитное действие фосфонатов как ингибиторов коррозии усиливается в присутствии ионов металлов: цинка, кадмия, марганца, никеля, кобальта. Соединения оксиэтилидендифосфонозой кислоты (ОЭДФ) с цинком – активные ингибиторы коррозии – ОЭДФЦ. Механизм защитного действия этого ингибитора объясняется его адсорбцией на поверхности металла и образованием защитного слоя труднорастворимых смешанных комплексных соединений цинка и железа с ОЭДФ, а также  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ .

Основные ограничения применения фосфонатов:

- щелочность – не более 7 ммоль/л;
- pH – не более 8,5;
- железо (общее) – не более 0,5 мг/л;
- температура – до 130°C.

См. также: *Чаусов Ф.Ф., Раевская Г.А.* Комплексный водно-химический режим теплоэнергетических систем низких параметров (Практическое руководство). М. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2003. – 280 с. И: дискуссия по проблемам книги в: «Энергосбережение и водоподготовка», 2003, № 4, с. 83–91.

### 4.18.8. Технология проведения

Технология проведения стабилизационной обработки воды кислотой, щелочью, фосфатами и комплексонами, практически одинакова и заключается в пропорциональном дозировании реагентов в обрабатываемую воду. Расходы рекомендованы разработчиками и изготовителями реагентов (кроме кислотной обработки) и зависят от состава обрабатываемой воды, целей ее применения и вида систем.

#### **4.18.9. Требования к реагентам для обработки воды тепловых сетей**

К реагентам для систем теплоснабжения предъявляются жесткие требования, определяемые спецификой работы теплосети. Прежде всего это санитарно-гигиенические требования, связанные с тем, что качество сетевой воды открытых систем теплоснабжения должно отвечать требованиям к качеству питьевой воды.

К сетевой воде закрытых систем теплоснабжения таких требований не предъявляется. Однако при существующем оборудовании тепловых пунктов есть реальная возможность перетока сетевой воды в систему горячего водоснабжения. Поэтому реагент не должен быть токсичным и не должен влиять на запах, цветность и привкус воды.

Вторая группа требований определяется условиями работы теплосети: реагент должен сохранять эффективность при температурах до 150°C.

#### **4.18.10. Физические методы обработки воды**

Физическое воздействие на воду для предотвращения отложений карбоната кальция – это магнитная, электромагнитная и ультразвуковая обработка воды. Принципиальное отличие методов физической обработки от химической заключается в том, что в воду не добавляют химические реагенты.

Условия применения методов – см. 4.16–4.17.



# Часть вторая

---

## 1. Фильтрующие зернистые материалы для осветления и сорбции воды

---

### 1.1. Введение

Согласно ГОСТ 30813-2002 «Вода и водоподготовка. Термины и определения» к взвешенным отнесены вещества, выделенные из воды фильтрованием и (или) центрифугированием.

При фильтровании воды через фильтровальные перегородки, представляющие собой сетки разных конструкций; пористые металлические, керамические, полимерные фильтрующие элементы; ткани; слой нетканых волокнистых материалов или слой зернистых насыпных материалов, происходит задержание взвешенных (так называемых механических), а также почти всех других примесей воды. Степень задерживания и выделения из воды разных веществ – функция дисперсности примесей воды и свойств фильтрующей перегородки.

В осветлительных зернистых насыпных фильтрах могут быть задержаны взвешенные примеси размером не менее 10 мкм, в некоторых конструкциях – не менее 3 мкм.

В каналах между зернами загрузки частицы, многократно меняя направление движения, осаждаются на зернах за счет центробежной силы и адгезии к граням зерен и слоям ранее осадившихся частиц загрязнений.

Значительная часть используемых зернистых материалов – пористые структуры, то есть фильтрование в таких условиях – не только «механический», но и, прежде всего, для многих веществ, находящихся в воде, – сорбционный процесс.

Требования к качеству зернистых фильтрующих материалов изложены в ГОСТ Р 51641-2000 «Материалы фильтрующие зернистые. Общие технические условия».

В «чистом виде» кварцевый и гранитный песок, габбро, габбро-диабаз и другие подобные кристаллические твердые горные породы, а также отходы (стеклянная, фарфоровая, керамическая крошка) не могут служить сорбентом, поскольку требуется их специальная предварительная обработка.

Тем не менее даже неактивированный антрацит обладает некоторой сорбционной способностью.

В качестве наполнителей осветлительных фильтров (основной фильтрующий слой и поддерживающий слой) можно использовать материалы (кварцевый песок, гравий, щебень) по ГОСТ 82670-93, 8736-93, 23735-79, 7392-2002, 7394-85, 7657-84, 8703-74, 4453-74, 6217-74, 20464-75, 30268-95, 23998-80.

Все материалы перед использованием должны отмываться водой до прозрачности отходящей воды >30 см и классифицироваться согласно техническим требованиям (см. ч. 1, п. 4.2, табл. 4.1).

## 1.2. Активные угли и другие углеродные сорбенты

### 1.2.1. Производство активных углей (АУ)

При производстве АУ углеродсодержащее сырье (уголь, антрацит, древесина, торф, полимеры, промышленные отходы) подвергают карбонизации – обжигу при высокой температуре в инертной атмосфере без доступа воздуха. Полученный карбонизат обладает плохими адсорбционными свойствами, поскольку размеры его пор и внутренняя площадь поверхности невелики. Поэтому карбонизат подвергают активации.

Активация углей может осуществляться посредством обработки водяным паром или специальными химическими реагентами. Активация водяным паром проводится при температуре 800–1000 °С в контролируемых условиях. При этом на поверхности пор происходит химическая реакция между водяным паром и углем, в результате чего образуется развитая структура пор и увеличивает их внутренняя поверхность.

### 1.2.2. Классификация АУ

Активные угли подразделяются

По цели применения:

газовые, используемые для адсорбции газов и паров – российские марки:

СКТ, СКТ-1, -2, -3, -3с, -3у, -4, -6, -7, -10, СКЛТС, АРТ, АТ-ГГР,

АЦБ-1, -1М, -2, АГ-ОС, ПАУ-1, СИТ-1);

рекуперационные – применяются для адсорбции паров из очищаемого воздуха при содержании паров > 5 г/дм<sup>3</sup>;

осветляющие – для адсорбции разных веществ, в основном органических, из водного раствора. Марки и свойства осветляющих активных углей представлены в табл. 2.1 и 2.2.

По способу производства:

дробленые – БАУ, КАД, ДАК и др.;

гранулированные – АГ-3, АГ-5, СКТ и др.;

порошковые – ОУ-А, ОУ-Б, КАД-молотый и др.

По исходному сырью:

из древесины, самая известная марка – БАУ (березовый АУ);

из каменного угля – КАД и КАД-йодный, АГ-3 и др.;

из торфа – например, СКТ;

из косточек фруктовых плодов и скорлупы – 207СР, Граносорб-Ф, -К и др.

### 1.2.3. Условия применения. Технологические свойства

Для сорбционной очистки воды больше всего используются *гранулированные* и *порошковые* активные угли. Преобладающий размер частиц (не менее 90%) гранулированных углей – от 0,18 до 7 мм, порошковых – не более 0,18 мм.

В России выпускается около 30 марок активных углей, в США – примерно 90 марок. При поставке в нашу страну в технической документации можно встретить единицу измерения размеров частиц  $r_{эфф}$  – mesh (меш). Соотношение между меш и миллиметром представлено на рис. 2.1.

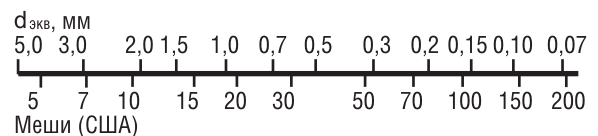


Рис. 2.1. Соотношение между меш и миллиметром (см. также П.1.30).

#### Пористость

Поры активных углей и других сорбентов подразделяются на:

супермикропоры ( $r_{эфф} < 0,6–0,7$  нм);

микропоры ( $0,6–0,7$  нм  $< r_{эфф} < 1,5–1,6$  нм);

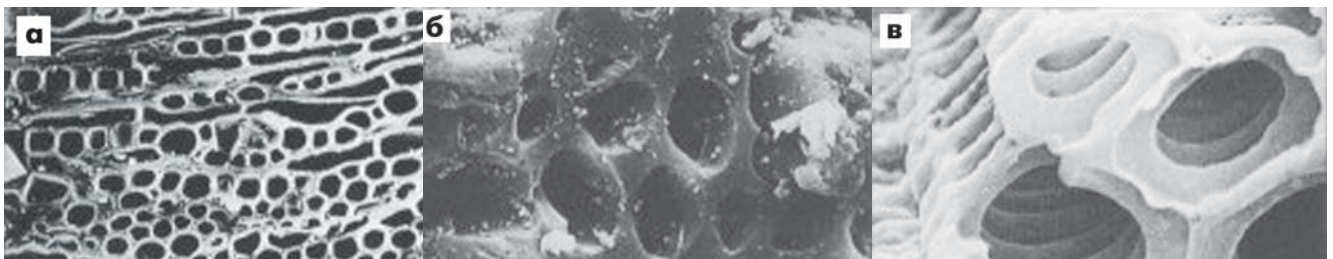


Рис. 2.2. Структуры активированных материалов:

а – карбонизированная древесина; б – активированный каменный уголь; в – активированная скорлупа кокоса

мезопоры ( $1,5-1,6 < r_{эфф} < 100-200$  нм);

макропоры ( $r_{эфф} > 100-200$  нм).

Эффективный (эквивалентный) радиус поры  $r_{эфф}$  равен удвоенному отношению площади нормального сечения поры к ее периметру.

Значение удельной поверхности пор у лучших марок активных углей может достигать  $1800-2200$  м<sup>2</sup> на 1 г угля. адсорбционную способность АУ определяют, в основном, поры радиусом  $0,5-1,6$  нм, соизмеримым с радиусами адсорбируемых молекул. Поры радиусом менее  $0,5$  нм практически недоступны для молекул органических примесей, задержание которых – основная цель использования активного угля. Суммарный объем пор радиусом  $0,5-1,6$  нм равен приблизительно  $0,15-0,50$  см<sup>3</sup>/г.

Выбирая марку активного угля, необходимо получить сведения о его фракционном составе, насыпной и истинной плотности, прочности на истирание и раздробление, влажности, зольности, суммарном объеме пор и распределении пор по размеру. Знание о сорбционной емкости (осветляющей способности) АУ очень важно для практического применения. Однако, несмотря на многочисленные исследования, до сих пор нет адекватного расчета этой величины.

Разные производители АУ применяют различные методы определения их сорбционной способности, затрудняя сопоставление марок углей.

Качественно сорбируемость органических соединений можно оценить так: менее других сорбируются простые вещества в ионной форме, несколько лучше – в молекулярной. Сорбируемость органических веществ увеличивается в ряду: гликоли – спирты – кетоны – сложные эфиры – альдегиды – недиссоциированные кислоты – ароматические соединения, где каждое последующее вещество сорбируется лучше предыдущего.

Сорбируемость органических веществ возрастает кратно удлинению углеродной цепи,

если она не ограничена размером пор сорбента. Способность к сорбции возрастает с увеличением молекулярной массы органических веществ, особенно свыше  $30000$ . Та же зависимость – при увеличении массы мицелл коллоидов. Присутствие в воде неорганических солей способствует укрупнению ассоциатов молекул гуматов и красителей, то есть улучшает сорбционный процесс.

Более или менее точно установить сорбционную способность АУ можно только при фильтровании реального образца воды через материал выбранной марки или имея данные по его аналогам.

Для всех марок АУ производители ограничивают содержание взвешенных примесей в исходной воде: обычно – не более  $10$  мг/л (по СНиП 2.04.02-84\* – не более  $1,5$  мг/л).

Важнейшее свойство АУ – **зольность** – это содержание неорганических примесей в угле. Чаще всего в зольности АУ кремний составляет примерно  $50\%$ . Наличие кремния осложняет применение АУ в станциях водоподготовки для энергетических котлов давлением более  $7$  МПа. Наименьшей зольностью, удовлетворительной прочностью и хорошими сорбционными свойствами обладают АУ марок БАУ, СКД-515, PS-60.

**Прочность на истирание** – свойство АУ противостоять измельчению гранул при их трении друг о друга и о стенки фильтров.

**Влажность** – это количество влаги, сосредоточенное в порах АУ.

Методы определения зольности, прочности, влажности и объема пор – П.4.1.

#### 1.2.4. Сравнение разных марок активных углей

В табл. 2.1 и 2.2 приведены характеристики ряда марок АУ.

Таблица 2.1

Технологические свойства активных углей

Марка активного угля	Плотность насыпная, г/дм <sup>3</sup> , не более	Плотность сухого продукта (истинная плотность), г/см <sup>3</sup>	Влажность, %, не более	Зольность общая, %, не более	Размер гранул, d <sub>экр</sub> , мм	Прочность механическая (на истирание), %, не менее	Адсорбционная активность по йоду, %, или мг/г, не менее
1	2	3	4	5	6	7	8
ОУ-А	–	–	10,0	10,0 (<2,0 – водорастворимая)	< 0,10	–	100 – по мелассе
ОУ-Б	–	–	58,0	6,0 (<1,0 – водорастворимая)	< 0,10	–	100 – по мелассе
КАД-молотый	–	–	10,0	10,0	1,5–2,0	–	80

Таблица 2.1

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8
АГ-2	600	–	–	–	–	65–70	–
АГ-3	450–480	1,66–2,05	5,0	12,0–17,0	1,5–2,8	75–85	60–80
АГ-5	450	1,76–2,14	3,0	–	0,5–1,5	75–85	35 мин – по хлористому этилу
КАД-йодный	380–450	0,45	10,0	–	2,0–5,0	60–90	75
СКТ	420	–	8,0	–	1,5–2,7	65–70	–
СКТ-3	420–470	–	–	–	2,0–3,5	70	–
АР-3	550–600	–	10–15	–	2,7–5,5	65–75	–
БАУ-Б	220–350	–	3,0–10,0	3,0–10,0	1,0–5,0	–	50
ДАК	230	–	10,0	6,0	0,5–1,5	–	30
F-100	600	0,48	2,0	10,0	0,8–1,0	75	850
F-200	600	0,48	2,0	10,0	0,6–0,7	75	850
F-300	560	0,42	2,0	10,0	0,8–1,0	75	950
F-400	440–540	0,40	2,0	10,0	0,6–0,7	75	1050
SGL	–	0,48–0,54	–	–	0,2–0,5	75–80	900–1000
CPG	–	0,46–0,54	–	–	0,9–1,1	75–80	900–1000
CAL	–	0,46	–	–	0,6–2,0	75	1000
АГН	–	–	10,0	–	0,5–10,0	–	–
ЛГ	252–308	1,68–2,06	–	–	1,0–2,5	78–84	65–85
ЛГ-08	238–291	1,84–2,24	–	–	0,5–0,8	85–90	95–110
ОУ-Л	227–271	1,80–2,11	–	–	< 0,10	–	80–90
УАФ	275–337	1,80–2,11	–	–	< 0,10	–	–
АДУ-В	–	–	58,0	6,0	< 0,10	–	–
АГМ	450–500	–	–	–	0,5–1,5	70–73	85
СКД-515	450–500	–	3,0	21,0	0,5–1,5	75	85
F-TL-820	480	1,2	2,0	8,0	0,9–1,1	75	900
F-TL-830	430	1,2	2,0	10,0	0,9–1,1	75	1000
GAC-30	–	–	–	–	0,6–2,4	70	900
NC-30 Activcarbon	–	–	–	–	0,5–5,0	70	900
СКН	–	–	–	–	0,3–1,2	85	1200
КАУ	–	–	–	–	0,5–2,8	70	900
БАУ-МФ	Не норм.	–	10,0	10,0	0,5–1,5	60	70
СКТ-6А	–	–	–	–	0,5–2,0	67	1000
ФАС	–	–	–	–	–	90	–
206 C	510–550	–	5,0	7,0	0,6–3,3	96–99	800–1000
207 C	490–530	1,65	5,0	3,0	0,6–3,3	95–99	1000–1100
607 C	490–530	1,65	0,7–5,0	1,0	0,6–3,3	95–99	1000–1100
AG	500	1,65	–	2,0	0,6–1,7	–	1000
208 C	470–510	–	5,0	3,0	0,6–3,3	95–99	1100–1300
207 CP	350–440	–	10,0	3,0	0,075	–	1000–1100
208 CP	350–440	–	10,0	3,0	0,075	–	1000–1200
LO-SIL	490–530	–	5,0	1,0	0,6–3,3	–	1000–1100

**Таблица 2.1**  
Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8
AGC	490–530	–	5,0	3,0	0,6–2,3	95–99	1000–1100
206 EA	500–540	–	5,0	1,0	0,4–4,7	94–97	700–800
207 EA	480–520	–	5,0	3,0	0,4–4,7	93–96	850
208 EA	440–480	–	5,0	1,0	0,4–4,7	92–95	1100–1250
607 EA	480–520	–	5,0	1,0	0,4–3,3	93–96	900–1050
207 AP	300–420	–	10,0	1,0	0,075	–	900–1050
Грано-сорб-Ф	350–450	–	10,0	5,0	1,2–2,4	92	≥ 1000
« -К	380–450	–	10,0	4,0	1,2–2,4	95	≥ 930
« -У	400–500	–	5,0	10,0	0,4–6,0	92–94	≥ 1000
« -УГ	500–540	–	5,0	10,0	2,0	95	≥ 950
БАУ-А	240	–	10,0 (2–10)	6,0 (2,5–6,0)	0,5–1,5	–	60
БАУ-Аг	Не норм.	–	10,0	10,0	0,5–1,5	–	70
ОУ-В	–	–	10,0	10,0 (<2,0 – водорастворимая)	< 0,10	–	75 мин – по мелассе
АГС-4	–	–	10,0	–	2,0–3,6	65	70 мин по рафинадной патоке
АГ-2А	–	–	5,0	–	1,0–2,8	73	45 мин по бензолу
АГ-2Б	–	–	5,0	–	1,0–2,8	73	45 мин по бензолу
АГМ-1	–	–	10,0	–	1,0–2,0	73	0,235 – активность по бензолу при конц. 54 мг/л
АГМ-2	–	–	10,0	–	1,0–2,0	73	То же
АГ-ОВ	–	–	10,0	–	1,5–2,8	70	65
PS-60	–	0,44–0,50	5,0	3,0	0,8–1,7	98	1050

**Таблица 2.2**  
Характеристики активных углей

Марка активного угля	Пористость (объем пор), см <sup>3</sup> /г, не менее					Удельная площадь поверхности по ВЕТ*, м <sup>2</sup> /г	рН водной вытяжки угля	Осветляющая способность по метиленовому голубому, мг/г, не менее
	общая	микропоры	мезопоры	макропоры	сорбционное пространство микропор			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ОУ-А	2,38	0,26	0,27	1,78	0,27	805–1200	Не норм.	225
ОУ-Б	–	0,26	0,21	–	0,27	800–850	4,0–6,0	210
КАД- молотый	0,42	0,11	0,15	–	0,12	–	7,0–8,0	–
АГ-2	0,6	0,25	0,04	0,25	0,20	–	–	–
АГ-3	≤ 0,80	0,24	0,08	0,41	0,30	667–843	7,0–8,2	180; 40 мин – по бензолу



Таблица 2.2

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
АГ-5	≤ 0,82–0,98	0,30	0,17	0,46	0,25	–	7,0–8,0	45 мин по бензолу
КАД-йодный	0,70	0,23	0,13	0,47	0,23	977	7,0–8,0	–
СКТ	0,85	0,40	0,18	0,26	0,50	–		–
СКТ-3	0,80	0,46	0,09	0,25	0,48	–		–
АР-3	0,70	0,19	0,07	0,30	0,19	–	7,0–8,0	–
БАУ-Б	1,10	0,22	0,08	0,19	0,22	915	7,0–8,0	–
ДАК	1,4	0,17	0,04	1,23	0,17	–		–
F-100	–	–	–	–	–	850		230
F-200	–	–	–	–	–	850		230
F-300	0,85	0,39	0,12	0,40	–	950		230
F-400	0,94	–	–	–	–	1050		260
SGL	0,8	–	0,5	–	–	–		210
CPG	0,8	–	0,5	–	–	–		200
CAL	0,94	–	0,5	–	–	–		230
АГН	1,0	–	–	–	–	–	7,0–8,0	–
ЛГ	0,82	0,45	0,072	0,30	–	1027–1255	7,74–9,46	–
ЛГ-08	0,83	0,43	0,072	0,29	–	994–1216	9,29–8,91	–
ОУ-Л	0,72	0,33	0,081	0,31	–	824–1007	7,56–9,24	–
УАФ	0,67	0,24	0,090	0,33	–	590–720	7,83–9,57	–
АДУ-В	–	–	–	–	–	–	–	170
АГМ	–	–	–	–	–	–	–	200
СКД-515	0,7–1,0	–	–	–	–	–	–	190
F-TL-820	1,0	–	–	–	–	950	–	200
F-TL-830	1,0	–	–	–	–	1050	–	245
GAC-30	–	–	–	–	–	900	–	–
NC-30 Activcarbon	–	–	–	–	–	1050	–	–
СКН	1,1	0,50	0,20	0,45	–	1200	–	–
КАУ	1,7	0,46	0,46	0,83	–	900	–	–
БАУ-МФ	1,8	0,24	0,1	1,4	–	800	–	–
СКТ-6А	1,1	0,5	0,28	0,25	–	1200	–	–
ФАС	0,9	0,5	0,45	0,01	–	1500	–	–
206 C	–	–	–	–	–	850–1050	9–11	40% – CTC
207 C	–	–	–	–	–	1050–1150	9–11	180–230
607 C	–	–	–	–	–	1050–1150	6–8	50–60% – CTC
AG	–	–	–	–	–	–	–	–
208 C	–	–	–	–	–	1150–1350	9–11	60–70% – CTC
207 CP	–	–	–	–	–	1050–1150	9–11	50–60% – CTC
208 CP	–	–	–	–	–	1150–1250	9–11	230–270
LO-SIL	–	–	–	–	–	1050–1150	6–8	50–60% – CTC
AGC	–	–	–	–	–	1050–1150	9–11	50–60% – CTC
206 EA	–	–	–	–	–	750–850	7–8	40–50% – CTC

**Таблица 2.2**  
Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9
207 EA	–	–	–	–	–	950–1100	7–8	180–230
208 EA	–	–	–	–	–	1100–1250	7–8	60–70% – СТС
607 EA	–	–	–	–	–	950–1100	7–8	50–60% – СТС
207 AP	–	–	–	–	–	950–1100	7–8	170–230
БАУ-А	1,6	–	–	–	–	–	–	–
БАУ-Аg	1,6	–	–	–	–	–	–	–
ОУ-В	–	–	–	–	–	–	Не норм.	160
АГС-4	–	–	–	–	–	–	8,5	–
АГ-2А	0,6	–	–	–	–	–	–	–
АГ-2Б	0,6	–	–	–	–	–	–	–
АГМ-1	0,7	–	–	–	–	–	–	–
АГМ-2	0,7	–	–	–	–	–	–	–
PS-60	0,6	–	–	–	–	1200	9,0–9,5	60% – по хлористому углероду; 30% – по бензолу
12x40 AW	–	–	–	–	–	–	8,0	225
20x50 AW	–	–	–	–	–	–	8,3	275
80x325 AW	–	–	–	–	–	–	10,0	325

\* ВЕТ (разработчики метода определения: Brunauer, Emmet, Telle), в русской транскрипции: БЭТ.

149

*Примечания с табл. 2.1, 2.2.*

Табл. 2.1 и 2.2 составлены по характеристикам материалов изготовителей и данным, почерпнутым в специальной литературе. Система представления сведений о технологических характеристиках углей не нормализована, и, следовательно, нет возможности симметрично представить качество разных марок АУ.

Сорбционная емкость АУ по нефтепродуктам при сорбции из водных растворов представлена в табл. 2.3.

**Таблица 2.3**

Марка АУ	AP-3	АГН	АГ-5	АГ-3	КАД	ОУ
Сорбционная емкость, мг/т	7,7	7,5	6,6	8,0	14,2	26

Емкость АУ (АГ-3, АГ-5, БАУ) по неионогенным ПАВ: 5–20 мг/т, так же сорбирует КАД-йодный анионные ПАВ.

Активные угли на древесной основе (БАУ и др.) по механической прочности уступают углям с дру-

гим исходным сырьем, поэтому при прочих равных условиях их нужно применять для малогабаритных бытовых фильтров и фильтров доочистки.

У некоторых АУ (например, АУ-В, АДУ-В) – повышенная влажность, а водная вытяжка имеет кислый характер. Это дает следующие эксплуатационные преимущества:

удобны при погрузке-выгрузке, затаривании, транспортировке (не пылят);

пожаробезопасны;

сдерживается (подавляется) рост бактерий.

Активные угли марок 206С, 207С, 208С, 607С, Граносорб-К, LO-SIL, АГС (гранулированные) и 207СР, 208СР (порошковые), изготавливаются из скорлупы кокосовых плодов. Они гораздо эффективнее по сравнению с АУ из каменного угля: при очистке питьевой воды от остаточного хлора, озона, «органики» их сорбционная способность больше в 2–4 раза.

Технологические параметры фильтрования воды для угля марки **207С**:

время контакта воды с углем – 10 мин;

высота слоя угля – 60–90 см;

скорость воды в рабочем режиме – 12 м/ч (5 GPM/ft<sup>2</sup>);

скорость воды при обратной промывке – 24–29 м/ч (10–12 GPM/ft<sup>2</sup>);

расширение слоя при обратной промывке – 50%.

Для АУ марок TL-820, TL-830, Фильтросорб-300 и Фильтросорб-400 фирма Chemviron Carbon (Кемвирон карбон, Бельгия; дочерняя фирма компании Calgon Carbon Corp., США) рекомендует такие технологические параметры фильтрации:

#### **F-TL-820 и F-TL-830**

время контакта воды с углем – 10 мин;

высота слоя угля – 1 м;

линейная скорость воды – 6 м/ч;

расширение слоя при обратной промывке – 20%;

поглощение фенола при концентрации 1 мг/л 4,3 (4,5)%;

при концентрации 1 мг/л поглощение детергента (TPBS) – 150 (80) мг/г;

при концентрации толуола 1 мг/л поглощение – 80 (100) мг/г;

при концентрации атразина 1 мкг/л поглощение – 40 мг/г;

при концентрации трихлорэтилена 50 мкг/л поглощение – 25 (20) мг/г.

В данных о поглощении веществ первое число – для F-TL-820, второе (в скобках) – для F-TL-830.

#### **Фильтросорб-300 (F-300) и Фильтросорб-400 (F-400)**

время контакта воды с углем – 10–30 мин;

высота слоя угля – 1,5–3 м;

линейная скорость воды – 16–20 м/ч;

расширение слоя при обратной промывке – 20%;

при концентрации фенола 1 мг/л поглощение – 4,7 (5,2)%;

при концентрации ПАВ (тетрапропилен бензолсульфонат) 1 мг/л поглощение – 150 (200) мг/г;

при концентрации толуола 1 мг/л поглощение – 90 (100) мг/г;

при концентрации атразина 1 мкг/л поглощение – 40 мг/г;

при концентрации трихлорэтилена 50 мкг/л поглощение – 20 мг/г.

Первое число в данных о поглощении веществ – для F-300, второе (в скобках) – для F-400.

### **1.2.5. Регенерация АУ**

После исчерпания сорбционной емкости АУ – замена или регенерация; выбор определяется экономическими соображениями. Регенерация активного угля может проводиться химическим, термическим и биологическим методами. *Химический* (сложный, трудоемкий и недостаточно эффективный, так как не восстанавливает сорбционную способность материала полностью) предусматривает

обработку угля острым паром, а затем щелочью. *Термический* метод, заключающийся в выжигании адсорбированных органических соединений в специальных печах при температуре 800–900 °С, сложен и сопряжен с потерями угля при обжиге (до 10–12%). *Биологический* – основан на жизнедеятельности бактерий, минерализующих адсорбированные углем органические соединения. Этот процесс протекает крайне медленно.

### **1.2.6. Углеродные сорбенты**

Эффективными сорбентами могут быть признаны некоторые углеродные материалы, не являющиеся активным углем. Во многих случаях вместо АУ выгоднее использовать каменноугольный кокс, пек, электродный пековый кокс, нефтяной кокс, важное преимущество которых – малозольность: каменноугольный кокс – 2,5%; нефтяной кокс – 0,5%; электродный пековый кокс – 0,2%. Пример: эффективная поверхность АУ – 300–1500 м<sup>2</sup>/г, нефтяного кокса – до 3000 м<sup>2</sup>/г.

Сорбционная емкость этих материалов меньше, чем у АУ, но прочность достаточна и стоимость меньше.

Высокой сорбционной емкостью, по сравнению с АУ, обладают разработанные новые сорбенты – углеродные волокнистые материалы, получаемые из полимерных гидратцеллюлозных и полиакрилонитриловых волокон термообработкой в потоке благородных газов при 600–1050 °С. Для увеличения сорбционной емкости в процессе обработки сырья к нему добавляют соли тяжелых металлов. (Подробнее – в ч. 2, п. 5.1.3.)

## **1.3. О некоторых неуглеродных сорбентах**

В процессе водоподготовки также находят применение неуглеродные сорбенты на минеральной основе. Характеристики некоторых из них – в табл. 2.4.

*Диатомит* (диатомовая земля, инфузорная земля, горная мука, кизельгур) назван по составу: диатомен – мельчайшие водоросли, имеющие кремнистый скелет. Эта горная порода – дисперсный кремнезем, на 68–99% состоящий из аморфной двуокиси кремния. Имеет макропористую структуру, поры с  $2 r_{эфф} = 4,0–40,0$  мкм составляют только 15% общей пористости. Насыпная плотность  $\approx 30$  г/дм<sup>3</sup>. Рыхлый. Размер частиц – 0,01–0,001 мм. Плотность 0,6–1,0 г/см<sup>3</sup>.

*Трепел* (нем.: *Tripel*, от названия г. Триполи в Северной Африке, где впервые найдена эта порода) –

Таблица 2.4

Характеристики неуглеродных сорбентов

Минерал	$2 r_{эфф}, \text{ нм}$	Сорбционные характеристики						Катионо-обменная емкость (рН =7), ммоль/г
		по $N_2$ (ВЕТ)		по $H_2O$		по $C_6H_{14}$		
		$S_{\Sigma}, \text{ м}^2/\text{г}$	$V_{\Sigma}, \text{ см}^3/\text{г}$	$S_{\Sigma}, \text{ м}^2/\text{г}$	$V_{\Sigma}, \text{ см}^3/\text{г}$	$S_{\Sigma}, \text{ м}^2/\text{г}$	$V_{\Sigma}, \text{ см}^3/\text{г}$	
Диатомит*	0,98**	17,2	0,58	–	–	–	–	–
	1,32**	14,5	1,6	–	–	–	–	–
	2,0**	10,5	2,4	–	–	–	–	–
Опока*		90	0,43	–	–	–	–	–
		92	0,44	–	–	–	–	–
Трепел*	2,0**	32,6	0,74	–	–	–	–	–
	3,2**	75	0,70	–	–	–	–	–
Вермикулит	1,5–2,0	–	–	471	0,18	14	0,03	1,45
Гидрослюда	0,05–0,1	–	–	157	0,25	125	0,25	0,26
				112	0,13	54	0,07	0,14
Каолинит	1,0–1,5	20	–	11	0,04	10	–	0,01
	0,02–0,5	–	0,35	94	0,23	69	0,17	0,25
Монтмориллонит	0,05–0,5	–	0,12	428	0,37	3,6	0,05	1,0
	0,05–0,3	–	0,13	311	0,30	60	0,07	0,71
Палыгорскит	0,01–0,2		0,48	302	0,45	153	0,29	0,24

\* Кремнистые дисперсные материалы.

\*\* Для дисперсных материалов дан дэкс в мкм.

сорбент, у которого микропоры составляют 70–75% общей пористости, насыпная плотность – 50–80 г/дм<sup>3</sup>. Кусковатый, но куски слабо связаны. Размер частиц – 0,01–0,001 мм. Плотность – 0,6–1,0 г/см<sup>3</sup>.

*Опока* (мергель, серо-белая глина; от «пеку, печь, пещера») – тонкозернистая, размер частиц 0,01–0,001 мм. Сравнительно твердая, но легкая пористая порода. Плотность – 1,0–1,3 г/см<sup>3</sup>.

Все три породы, особенно опока, – сильные адсорбенты.

*Керамзит* (от греч.: *keratos* – глина) получается обжигом глинистых пород при температуре 1100–1200 °С – до их вспучивания. Свойства – см. табл. 4.1.

Слоистые и слоисто-ленточные алюможелезомагниево-силикатные силикаты делятся на силикаты с расширяющейся и жесткой структурой.

С расширяющейся структурой: *вермикулит* (от латинского *vermiculare* – рождать червяков: при быстром нагревании образцы обладают свойством расслаиваться на длинные червеобразные обособления), *монтмориллонит* (по месту находки в Монтмориллоне, Вьенн, Франция).

*Монтмориллонит* – самый эффективный глинистый минерал для очистки воды от разных органических примесей. Удельная поверхность пор 765–835 м<sup>2</sup>/г.

Слоистые сорбенты с жесткой структурой: *каолинит* (от слова «каолин» – искажение китайского Кау-Линг – высокая гора – холм близ г. Яучау-Фу, где встречается эта порода), *гидрослюда* (от латинского (блеск), «глянец»; включает воду).

Поры в сорбентах каолинит и гидрослюда, в основном, представлены мезо- и макропорами. Удельная площадь пор всего 60 м<sup>2</sup>/г.

Слоисто-ленточные сорбенты: *палыгорскит* (по месту находки на Палыгорской станции на р. Поповка на Урале) и подобный ему сепиолит (от греческого «каракатица», так как светлый и пористый материал похож на останки этого животного).

Все эти глинистые материалы при использовании, как правило, активируют прокаливанием при 1000 °С с хлоридом и карбонатом натрия или (бентониты) обработкой 20%-ными растворами серной и соляной кислот. Они обладают некоторой ионо-

обменной способностью, но настолько малой, что их регенерация экономически совершенно бессмысленна.

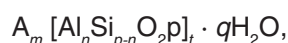
Конечно, применение глинистых пород в водо-подготовке не исчерпывается приведенным выше перечнем. Глины распространены очень широко. К ним относят породы с частицами размером не более 2 мкм. Интервалы 2,0–0,5; 0,5–0,2 и менее 0,2 мкм характеризуют, соответственно, крупно-, средне- и мелкозернистые глины.

## 1.4. Цеолиты

### 1.4.1. Природные цеолиты

Широко применяется особая группа природных минералов – *цеолиты* (от греч. *zeo* – киплю и *lithos* – камень), относящиеся к алюмосиликатам щелочных или щелочноземельных металлов.

Общая формула:



где *A* – Ca, Na, Ba, Sr, K, Mg, Mn;

*m, n, p, t, q* – количества молекул веществ.

Всего в природе обнаружено 39 видов цеолитов, обладающих свойством вспучиваться и выделять воду при нагревании. Чаще всего в состав силикатов цеолитов входят кальций и натрий, реже – барий, стронций, калий и очень редко – магний и марганец. Общее свойство – способность постепенно без разрушения и изменения кристаллической решетки отдавать воду при нагревании и затем вновь поглощать ее при охлаждении, а также обмениваться катионами с окружающим раствором.

Адсорбционные полости природных цеолитов, в которых находится вода, соединяются между собой и внешним пространством входами-окнами. Через них могут проникать только те молекулы, диаметр которых по наименьшей оси молекулы (критический диаметр) уступает диаметру входного окна. Поэтому цеолиты иногда называют молекулярными ситами. Их можно применять для разделения молекул разного размера. Но иногда молекулы большего размера, чем окна, могут все-таки адсорбироваться вследствие эффекта вибрации, изменений давления, температуры и структуры пор.

Наиболее распространенные природные цеолиты:

– *шабазит* (от греч.: «*хабазиос*» – древнее название камня),  $Ca_2[Al_4Si_8O_{24}] \cdot 13H_2O$ , плотность – 2,0–2,1 г/см<sup>3</sup>, размер пор – 0,37–0,50 нм;

– *морденит* (по месту находки близ г. Мордена, Новая Шотландия, Канада),  $Na_8[Si_{40}O_{96}] \cdot 24H_2O$ , плотность 2,0–2,3 г/см<sup>3</sup>, размер пор – 0,67–0,70 нм;

– *натролит* (от лат.: *natrium* (натрий) – по составу),  $Na_{16}[Al_{16}Si_{24}O_{80}] \cdot 16H_2O$ , плотность – 2,2–2,3 г/см<sup>3</sup>, размер пор – 0,26–0,39 нм;

– *гейландит* (назван в честь Дж. Г. Гейланда, английского коллекционера минералов),  $Ca_4[Al_8Si_{28}O_{72}] \cdot 24H_2O$ , плотность – 2,1–2,2 г/см<sup>3</sup>, размер пор – 0,44–0,72 нм;

– *десмин*, синоним – стильбит (в пер. с греч.: «сиять», за перламутровый, до стеклянного, блеск),  $Na_2Ca_4[Al_{10}Si_{26}O_{72}] \cdot 34H_2O$ , плотность 2,1–2,2 г/см<sup>3</sup>, размер пор – 0,41–0,62 нм;

– *клиноптилолит* (в пер. с греч.: «полет, пух», за легкость, пухообразность агрегатов минерала),  $Na_6[Al_6Si_{30}O_{72}] \cdot 24H_2O$ , плотность – 2,1–2,2 г/см<sup>3</sup>, размер пор – 0,44–0,72 нм; используется чаще других природных цеолитов. Измельчаемость – 4,2%, истираемость – 0,75%, прирост перманганатной окисляемости не больше 16 мг/л, то есть минерал химически стоек. Насыпная плотность – 0,85–0,90 кг/м<sup>3</sup>, масса гидратной воды – 13%, кислотостойкий, бактерициден к кишечной палочке, но не обеспечивает хорошую поглощаемость «органики», стоек при повышенной температуре, поглощает крупные катионы, можно регенерировать хлоридом натрия.

Для получения прочных и водостойких фильтрующих материалов из природных цеолитов их, как и глины, нагревают в печах с хлоридом и карбонатом натрия до 1000°C. Поверхность цеолита, если ее обработать кремнийорганическими соединениями, можно сделать гидрофобной (для улучшения сорбции из воды нефтепродуктов).

На территории бывшего СССР есть большие запасы природных цеолитов.

В табл. 2.5–2.8 (цит. по: «Водоснабжение и санитарная техника», 2002, № 7) указаны некоторые свойства цеолитов из наиболее известных месторождений, в том числе органо-модифицированного клиноптилолита ЦЕОПАГ (модифицирован водорастворимым полиамином-полигекса-метил-гуанидином (ПГМГ) в сочетании с эпилхлоридрином (ЭХГ)).

Насыпная плотность цеолитов – 0,62–0,78 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии – 8–15 МПа, удельная теплоемкость – 0,83–1,0 кДж/(кг·К), теплопроводность – 0,5 кДж/(м·ч·К), динамическая влагоемкость – 90–160 мг/см<sup>3</sup>.

Один из природных цеолитов представлен на рынке под торговой маркой «Цеотал». Грязеемкость по взвешенным примесям в 1,3 раза больше грязеемкости кварцевого песка. Цеолит частично (на 85–98%) задерживает бактерии и вирусы.



Таблица 2.5

Свойства природных цеолитов – клиноптилолитсодержащих (КЛПТ) туфов

Месторождение	Содержание КЛПТ*, %	ЭХГ**/ПГМГ***	Обменная емкость по катионам, ммоль/г	Обменная емкость по анионам, ммоль/г	Набухаемость, %
Брянское	23	0,40	–	0,52	230
Холинское	47	0,26	0,98	0,27	42
	–	0,40	–	0,37	130
Фокинское	–	0,20	–	0,23	–
Тедзами	–	0,15	0,98	0,19	5
	–	0,20	–	0,31	40

\* КЛПТ – клиноптилолит;

\*\* ЭХГ – эпилхлоргидрин;

\*\*\* ПГМГ – полиамин–полигекса–метилен–гуанидан.

Таблица 2.6

Показатели механической прочности природного (КЛПТ) и органо-модифицированного (КЛТП-ЦЕОПАГ) клиноптилолитов

Сорбент	Истираемость, %	Измельчаемость, %
Природный КЛПТ	6,83	4,89
КЛТП-ЦЕОПАГ	0,02	1,7

Таблица 2.7

Сравнительные характеристики технологических показателей активного угля марки АГ-3 и клиноптилолита КЛТП-ЦЕОПАГ

Сорбент	Объем пропущенной воды, мл	Нефтепродукты		
		Содержание в исходной воде, мл/л	Сорбировано, мг/г	Содержание в очищенной воде, мг/мл
АУ АГ-3	1530	51,5	42,3	8,5
КЛТП-ЦЕОПАГ	1700	129	89	17,8

Насыпная плотность цеолитов – 0,62–0,78 г/см<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии – 8–15 МПа, удельная теплоемкость – 0,83–1,0 кДж (Нг · К), теплопроводность – 0,5 кДж (м · ч · К), динамическая влагоемкость – 90–160 мг/см<sup>3</sup>.

Таблица 2.8

Некоторые свойства марок клиноптилолита

Показатель	Марка сорбента - клиноптилолита		
	СПУ-1	СПУ-2	СПУ-3
Целевая фракция, мм	0,5–3,6	1,0–2,8	0,5–2,0
Химическая стойкость: прирост массовой концентрации сухого остатка, мг/л, не более	20	20	20
	прирост массовой концентрации веществ, восстанавливающих марганцевокислый калий, мг/л, не более	10	10
Полная обменная емкость по NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , ммоль/л, не менее	2,4	2,4	2,4
Массовая доля клиноптилолита в сорбенте, %, не менее	60	60	60

## 1.4.2. Синтетические цеолиты

### Производство. Строение

Природные цеолиты как молекулярные сита известны с XVIII в. Синтетические цеолиты производят с 1948 г. и создаются направленно, с заранее заданными свойствами. Получают их кристаллизацией смеси силиката и алюмината натрия при 80–100°C. К образовавшемуся кристаллиту (1–15 мкм) добавляют 15–20% пластичной глины, и смесь формируют в виде гранул диаметром 2–4 мм.

При катионном обмене из воды поглощаются кальций и магний, обмениваясь на натрий цеолита.

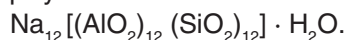
Синтетические цеолиты – кристаллические многопористые материалы. Но кристаллы эти необычны: если у большинства кристаллов, содержащих воду, решетка при нагревании разрушается с удалением воды, то цеолиты, напротив, сохраняют кристаллическую структуру при нагревании и удалении воды. При фильтровании растворов через цеолиты в образовавшиеся поры втягиваются и адсорбируются молекулы растворенных веществ.

Различают молекулярные сита типов А и Х.

### Молекулярные сита типа А

Такое молекулярное сито по структуре представляет собой усеченный октаэдр, сформированный атомами кремния, алюминия и кислорода в соединении с ионами натрия, калия и кальция. Октаэдры объединены в простую форму полого куба, пронизанного со всех шести граней. В одном кристалле могут содержаться тысячи миллионов подобных единичных клеток.

Если в качестве щелочного металла используется натрий, состав соответствует химической формуле:



Внешний диаметр пор в каждой из граней клетки составляет, примерно, 40 нм (или  $4 \text{ \AA} - 4 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ ), и материал называется молекулярным ситом 4А.

Если ион натрия заменяется более крупным ионом калия, диаметр пор сита на каждой из граней уменьшается до  $3 \text{ \AA}$ . Это – молекулярное сито 3А.

В случае замены иона натрия ионами кальция, два атома натрия заменяются одним атомом кальция, и диаметр пор увеличивается примерно до  $5 \text{ \AA}$ . Это – молекулярное сито 5А.

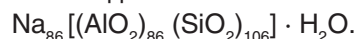
Возможность изменять размер диаметра пор обеспечивает адсорбирование молекул с размером меньше, чем поры. Более крупные молекулы при этом не адсорбируются. Появляется масса

возможностей «просеивать» молекулы различного размера или с различными структурными изомерами.

### Молекулярные сита типа Х

Как и материал типа А, молекулярное сито типа Х состоит из атомов алюминия, кремния и кислорода в соединении со щелочными металлами, организованными в усеченный октаэдр. В данном случае они связаны между собой в структуры с гранью правильной шестиугольной формы. Поры при этом имеют размер больший, чем у материала типа А.

В промышленном производстве применяется только соединение с ионами натрия:



Диаметр пор составляет примерно  $10 \text{ \AA}$ . Материал называется молекулярным ситом 10А (иногда – 13Х).

Каждый кристалл, состоящий из тысяч и миллионов клеток, имеет в поперечнике не более нескольких микрон.

При использовании в адсорбционных колоннах с фиксированным слоем молекулярных сит необходимы частицы от 0,5 до 5 мм.

### Селективность

Молекулярные сита благодаря их уникальным свойствам можно использовать в разнообразных процессах обработки газов и жидкостей. Процесс адсорбции основывается на свойствах молекулярных сит проявлять большую избирательность к одному типу молекул по сравнению с другими.

Селективность определяется такими факторами, как размер и полярность молекулы.

На молекулярном сите могут адсорбироваться молекулы, размер которых меньше размера пор сита.

Например, n- и i-изогексан могут разделяться с помощью молекулярного сита 5А, поскольку n-гексан имеет критический диаметр молекулы  $4,9 \text{ \AA}$  и сорбируется ситом, а i-гексан с размером  $5,6 \text{ \AA}$  – нет.

В табл. 2.9 указаны критические диаметры различных молекул – полезная, но не дающая окончательной рекомендации информация, так как иногда молекулы, размер которых больше размеров пор, могут адсорбироваться по причине эффекта вибрации и изменений структуры молекулярного сита в процессе фильтрования.

Если две молекулы достаточно малы для того, чтобы проникнуть в поры молекулярного сита, преимущество при адсорбции получает молекула с большей полярностью. Классический пример – осушка воздуха, например, при озонировании. Молекулы и азота, и кислорода, и воды меньше диаметра поры молекулярного сита 4А, но большая полярность воды обеспечивает именно ее адсорбцию.

Таблица 2.9

Критический размер молекул веществ, нм

Гелий	0,22	Хлородифторметан	0,49
Аргон	0,34	Дихлородифторметан	0,49
Ацетилен	0,24	Пропан	0,49
Водород	0,27	n-бутан и высшие n-парафины	0,49
Вода	0,28	Полипропилен	0,50
Моноксид углерода	0,39	Метил меркаптан	0,45
Диоксид углерода	0,40	Этил меркаптан	0,51
Азот	0,35	Бензол	0,58
Метан	0,39	i-бутан и высшие i-парафины	0,56
Сульфид водорода	0,36	Циклогексан	0,61
Этилен	0,42	Хлор	0,49
Этан	0,44	Кислород	0,26

### Применение

Молекулярные сита широко применяются в водоподготовке.

В большинстве случаев промышленного применения молекулярные сита используются для обработки газов или жидкостей, проходящих через уплотненный слой гранул молекулярного сита.

Тип молекулярного сита (3A, 4A, 5A, 10A) должен выбираться с учетом размера пор, достаточного для адсорбирования необходимых молекул.

Как ионообменные материалы цеолиты обладают рядом достоинств. У них жесткая, почти не набухающая структура. Кристаллическая структура цеолитов однородная. Модель структуры представлена на рис. 2.3.

Широкому применению природных цеолитов в качестве ионитов препятствуют существенные недостатки: размеры окон и полостей цеолитов ограничены, поэтому к обмену на цеолитах способны только сравнительно небольшие ионы. Часто наблюдается неполный обмен: в цеолитах есть центры, доступные одним и недоступные другим ионам. Степень обмена сильно зависит от температуры. И – еще один недостаток: партии добываемого цеолита могут значительно отличаться по размерам входных окон (по ситовому эффекту) и поэтому разнятся и по ионообменной способности, и по рядам селективности. Если для эффективности цеолита как молекулярного сита такое различие не столь важно, то разность ионообменных свойств от партии к партии затрудняет проектирование, и эксплуатацию ионообменных фильтров.

Обменная емкость наиболее распространенного цеолита (клиноптилолита), определяемая отно-

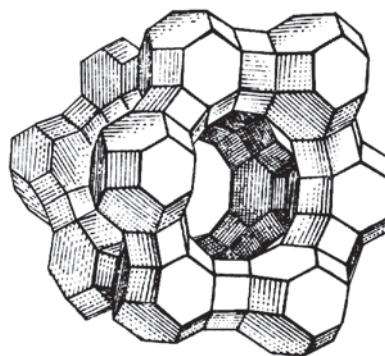
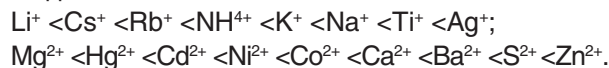


Рис. 2.3. Модель элемента ажурной кристаллической структуры цеолита

шением Si/Al в структуре цеолита, – в среднем не более 2,2 ммоль на 1 г цеолита.

Чаще всего ряды селективности для цеолита А выглядят так:



Для цеолита X:

$\text{Li}^+ < \text{Cs}^+ < \text{Rb}^+ < \text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Ti}^+ < \text{Ag}^+$  – при малых степенях обмена;

$\text{Li}^+ < \text{K}^+ < \text{Na}^+ < \text{Rb}^+ < \text{Cs}^+ < \text{Ti}^+ < \text{Ag}^+$  – при больших степенях обмена.

В то же время клиноптилолит проявляет большую селективность к иону цезия, что обеспечило эффективное его применение в атомной промышленности для обеззараживания радиоактивного цезия  $^{137}\text{Cs}$ .

Перспективно использование цеолита 4А в натриевой форме в качестве компонента моющих средств из-за селективности к ионам кальция и мелкодисперсности. Для окружающей природной среды цеолиты несравненно менее вредны, чем применяемые моющие средства на основе полифосфатов.

Для сравнения обменная емкость некоторых глинистых упомянутых ранее минералов, ммоль/г: монтмориллонит – 0,03–0,10; вермикулит – 1,0–1,4.

#### Производители

Некоторые марки искусственных цеолитов (поставляемые компанией GRACE Davison (Грейс Дэвисон), США; есть также производство в г. Ворсе, Германия) приведены в табл. 2.10.

*Chrystal-Right* (кристалльная чистота) – один из искусственных цеолитов марок CR-100 и CR-200 – катионит.

Применяются в установках умягчения воды, ее обезжелезивания, деманганации и деаммонизации. Коррозионность воды уменьшается, так как материал повышает значения pH.

#### Условия применения:

- температура исходной воды – 5–35 °С;
- pH исходной воды  $\geq 5,5$  (для CR-100) и  $\geq 7,0$  (для CR-200);
- цветность  $\leq 30$  градусов платино-кобальтовой шкалы;
- взвешенные вещества – до 5,0 мг/л;
- жесткость общая – до 20 ммоль/л;
- минерализация – не менее 80 мг/л;
- суммарное содержание двухвалентного железа ( $Fe^{+2}$ ) и марганца ( $Mn^{+2}$ ) – не более 10 мг/л;

- содержание трехвалентного железа ( $Fe^{+3}$ ) – не более 1,0 мг/л;
- растворенный кислород, нефтепродукты и твердые абразивные частицы – должны отсутствовать;
- окисляемость перманганатная – не более 5,0 мгО/л;
- содержание сероводорода ( $H_2S$ ) и сульфидов ( $S^{2-}$ ) – не более 0,2 мг/л;
- рабочая обменная емкость CR-100 – не менее 600 ммоль/л при дозе регенеранта – хлорида натрия – 110–120 г/л;
- рабочая обменная емкость CR-200 – не менее 800 ммоль/л при дозе регенеранта – хлорида натрия – 110–120 г/л;
- расход воды для обратной промывки слоя цеолита – 1,5–6,5 м<sup>3</sup>/ч.

## 1.5. Антрациты

### 1.5.1. Свойства

Для удаления взвешенных частиц и мутности традиционно много лет используются антрациты.

Свойства антрацитов (табл.2.11 и 2.12) указаны по данным фирм-производителей: Sutchlink Carbons, Calgon Carbon Co. (США); НПО «Биотехпрогресс»; ООО ПФК «Синтез»; Rheinkalk Akdolit Wasserbereitung GmbH and Co. KG (Германия); CWG (Германия); Silcarbon (США); Donau Carbon (Германия); Evers Antrazitveredelug (Германия); ООО «Промтехуголь»; НППО «Антрацит».

Таблица 2.10

Характеристики искусственных цеолитов

Марка	Номинальный размер пор, А	Тип цеолита	Диаметр гранул, мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>
562С	3	КА	2,5–5,0	700
564С	3	КА	1,6–3,0	720
564	3	КА	1,6–2,5	720
512	4	NaA	2,5–5,0	700
514	4	NaA	1,6–2,5	720
518	4	NaA	1,2–2,0	730
521	5	CaA	2,5–5,0	700
522	5	CaA	1,6–2,5	700
542	10	NaX	2,5–5,0	620
544	10	NaX	1,6–2,5	640
548	10	NaX	1,2–2,0	650

Таблица 2.11

Технологические свойства антрацитов

Марка антрацита	Содержание углерода, %	Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup>	Влажность, %	Зольность, %	Твердость, %	Истираемость, %	Измельчаемость, %	Грязеёмкость по сравнению с кварц. песком, %	Козф. неоднородности	Выход летучих, %	Пористость, %
Антрацит фирмы Sutchlink Carbons <sup>8</sup>	>90,0	0,72	1,40	<5,0	<5,0	92–95	–	–	–	–	<9,0	–
Граносит-А	>96,0	0,76	1,4	<5,0	<5,0	–	–	–	–	–	<9,0	–
Антрацит фирмы Calgon <sup>1</sup>	>96,0	0,90	1,65	–	–	3,0–3,8 <sup>2</sup>	<1,0	<5,0	–	1,50	–	–
Пуролат-актив <sup>3</sup>	–	≤ 0,60	–	≤10,0	≤10,0	≥60,0	–	–	–	–	–	0,4 см <sup>3</sup> /г
Пуролат-стандарт <sup>5</sup>	–	–	≥1,65	≤4,0 (3,8 – средн.)	≤5;10; 20 <sup>4</sup>	–	≤0,2	≤1,6	470	1,88	2,6	36–60
Пуролат-термо <sup>6</sup>	–	–	–	–	–	–	–	–	243	1,94	–	–
Гидроантрацит Н <sup>6</sup>	~90,0	0,73	1,45	~1,0	~3,5	Износ ~2% в год	–	–	–	–	~5,5	<10
Гидроантрацит Р	–	0,75	2,15	–	–	–	–	–	–	–	–	~33
Гидроантрацит Н <sup>5</sup>	~90,0	0,73	1,35–1,45	1,2	2–4	–	–	–	–	–	6,4	8,5
Фильтроантрацит <sup>7</sup>	–	0,8–0,9	1,60	<3,5	4,5; <sup>4</sup> 8,0	–	≤0,3	≤0,3	–	≤2,0	≤2,0	–
Гидроантрацит А <sup>7</sup>	<96	0,8–0,9	1,60	≤4,0	≤4,0 (2,5)	–	≤0,3	≤2,8	–	≤2,0	≤2,5	–

**Примечания к табл. 2.11**

1. Растворимость в кислотах и щелочах ≤ 1%.
2. Твердость выражена в единицах шкалы Мооса – см. П.1.26.
3. Адсорбционная активность по йоду ≥ 60%.
4. Первое число – для хозяйственно-питьевых нужд, второе – для промышленных вод, третье – для сточных вод.

5. Материал Пуролат-стандарт по ТУ 2164-001-49785509-2003. Массовая доля общей серы ≤ 1,0%. Химическая стойкость (прирост, мг/л, не более: сухого остатка – 8,0; перманганатной окисляемости – 3,86; кремнекислоты – 1,97; оксидов трехвалентных металлов – 0,2). Удельная эффективная активность естественных радионуклидов – не более 105 Бк/кг. Массовая доля фракций, превышающих указанные в табл. 2.11 верхний и нижний пределы – не более 7%. Допущен для обработки питьевой воды.

6. Антрацит термически обработан.

7. Массовая доля общей серы – не более 1%. Химическая стойкость (прирост, мг/л, не более: сухого остатка – 10,0; перманганатной окисляемости – 8,5–9,0; кремнекислоты – 2,0). Допущен для обработки питьевой воды.

8. Компании Sutcliffe, Sutcliffe Spealeman (Великобритания), Barnbey and Sutcliffe (США), которые входили в компанию A Waterlink Company (Великобритания), с 18 февраля 2004 г. входят в Calgon Carbon Co. (США), ее европейский филиал: Chemviron Carbon (Бельгия).

Табл. 2.12 показывает: практически все марки антрацитов имеют сходные свойства. Некоторые производители не сообщают в своих материалах отдельные данные – отсюда прочерки в таблице. Все изготовители по желанию заказчика могут поставлять антрацит с разными гранулометрическими размерами (от 0,6 до 6,0 мм).



Таблица 2.12

Гранулометрический состав антрацитов

Марка антрацита	Размеры гранул			
Антрацит фирмы Sutcliffe Carbons	0,6–1,2	1,2–2,4	2,5–4,0	–
Граносит-А	0,6–1,2	0,8–1,6	1,6–2,5	2,5–6,0
Антрацит фирмы Calgon Carbon Co.	0,60–1,41			
Пуrolат-актив	1 мм ≥ 95,5%; 3 мм ≤ 2,5%; 0,1мм ≤ 2,0%			
Пуrolат-стандарт	0,6–6,0*			
Пуrolат-термо	0,6–6,0			
Гидроантрацит Н	0,8–1,6	1,4–2,5	2,0–4,0	3,5–7,0**
Гидроантрацит Р	0,6–1,6	1,4–2,5	–	–
Гидроантрацит N	0,6–1,6	1,4–2,5	2,0–4,0	4,0–8,0
Фильтроантрацит	0,5–1,2	0,6–1,6	0,8–2,0	1,0–3,0
Гидроантрацит А	0,6–1,6	0,8–2,0	1,0–3,0 (2,0–3,0)	2,0–4,0 (4,0–6,0, 6,0–9,0)

\* Изготовитель рекомендует применять фракции:  
 для однослойных фильтров – 0,8–2,0 мм;  
 для двухслойных – нижний слой 0,8–2,0 мм, верхний – 0,5–1,2 мм;  
 для трехслойных – верхний слой 0,5–1,2 мм, средний – 1,5–2,5 мм, нижний – 3,0–6,0 мм;  
 для поддерживающих слоев – 2,5–5,0 или 3,0–6,0 мм.

\*\* Гранулометрический состав «рабочих» зерен: 0,9–1,0; 1,5–1,6; 2,6–2,7; < 4 мм.

### 1.5.2. Требования к качеству

Согласно «Руководящим указаниям по загрузке дробленым антрацитом механических фильтров и поддерживающих слоев ионитовых фильтров» Минэнерго СССР антрацит должен удовлетворять следующим требованиям:

- зольность до 10%;
- содержание общей серы до 2,0%;
- истираемость до 1%;
- измельчаемость до 5%;
- химическая стойкость (прирост, мг/л, не более: сухой остаток – 10; перманганатная окисляемость – 8; кремниесоединения (по SiO<sub>2</sub>) – 2);
- форма гранул – близкая к кубу. Антрацит с гранулами в виде пластинок не допускается;
- размер гранул (фильтрующий слой – 0,6–1,4 мм; поддерживающий слой – 2-5 мм);
- эквивалентный диаметр гранул  $d_{эКВ} = 0,8–0,9$ мм;

- коэффициент неоднородности  $K_n \leq 2$ ;
- если до фильтров вода обрабатывается коагулянтном (серноокислым алюминием, оксихлоридом алюминия и флокулянтном – полиакриламидом), то рекомендуемый размер гранул фильтрующего слоя – 0,8–1,8 мм,  $d_{эКВ} = 1,1–1,2$  мм,  $K_n \leq 2$ .

– отклонения от предельных размеров зерен (для фильтрующего слоя: ±0,05–0,10 мм; для поддерживающего слоя: ±0,2–0,5 мм).

Методы определения химической стойкости см. П.4.2; истираемости и измельчаемости – П.4.3; примеры расчета эквивалентного диаметра  $d_{эКВ}$  – П.5.11; коэффициента неоднородности гранул  $K_n$  – П.5.12.

### 1.5.3. Условия применения фильтров с антрацитом разных марок

В табл. 2.13 приведены условия применения фильтров с антрацитом разных марок.

Таблица 2.13

Наименование параметра	Марка антрацита					
	Антрацит пенсильанский (США)	Пуралат-стандарт	Гидроантрацит Н	Гидроантрацит Р	Гидроантрацит Н	Гидроантрацит А
Высота фильтрующего слоя, см	60–90	См. табл. 2.14	≥60	≥60	100–200 <sup>1</sup> 150–300 <sup>2</sup>	700–2000
Высота фильтрующего слоя в мультимедийных фильтрах, см	25–45	–	≥50	–	–	–
Расширение слоя, %, не менее	50	50	–	–	–	30–50
Скорость потока воды в рабочем режиме, м/ч	≥12	≥10	3–15 <sup>1</sup> 10–30 <sup>2</sup> ≤50 <sup>3</sup>	5–15 <sup>1</sup> 15–30 <sup>2</sup> ~50 <sup>3</sup> ~100 <sup>4</sup>	5–15 <sup>1</sup> 10–30 <sup>2</sup> ≤50 <sup>3</sup>	30 <sup>5</sup> 40 <sup>6</sup>
То же в режиме обратной промывки, м/ч	32–44	–	–	–	35–55 (<2)	

Примечание к табл. 2.13

- 1 – для открытых фильтров;
- 2 – для закрытых фильтров;
- 3 – для бассейнов;
- 4 – для частных бассейнов;
- 5 – при зернистости антрацита 0,6–1,6 мм;
- 6 – при зернистости антрацита 0,8–2,0 мм.

Таблица 2.14

Рекомендуемая высота фильтрующего слоя для антрацита марки «Пуралат-стандарт»

Фракционный состав, мм	0,6–1,2	0,6–1,8	0,6–2,0	1,5–2,5	2,0–5,0	3,0–6,0
Высота слоя	0,9–1,8	1,2–1,3	1,2–1,3	0,3–0,5	0,4–0,5	0,4–0,5

159

Таблица 2.15

Рекомендуемая высота фильтрующего слоя при двухслойной загрузке для антрацита марки «Гидроантрацит Н»

Наименование	Высота слоя, мм, не менее	
	Открытые фильтры	Закрытые фильтры
Гидроантрацит Н	400	600
Песок кварцевый	600	600

Таблица 2.16

Рекомендуемая высота фильтрующего слоя при двухслойной загрузке для антрацита марки «Гидроантрацит Р»

Наименование	Высота слоя, мм, не менее
Комбинация I: гидроантрацит с зерном 0,8–1,6 мм песок кварцевый с зерном 0,4–0,8 мм	400 400
Комбинация II: гидроантрацит с зерном 1,4–2,5 мм песок кварцевый с зерном 0,63–1,0 мм	1000 600

Таблица 2.17

Рекомендуемая высота фильтрующего слоя и комбинация зернистости при многослойной загрузке для антрацита марки «Гидроантрацит N»

Наименование	Высота слоя, мм, не менее		Комбинация зерен		
	Открытые фильтры	Закрытые фильтры	1	2	3
Гидроантрацит N	600	600–1200	0,6–1,6	1,4–2,5	2,0–4,0 (1,0–1,6)
Песок кварцевый	600	600–1200	0,4–0,8	0,71–1,25	1,0–2,2 (1,5–2,2)
Поддерживающий слой: песок кварцевый гравий			1,0–2,0 (2,0–3,15) 3,15–5,6	2,0–3,15 (3,15–5,6) 5,6–8,0	3,15–5,6 (5,6–8,0) 8,0–12,0

## 1.6. Характеристики фильтрующих материалов

### 1.6.1. Фильтрующий материал марки Filter-Ag (Filter Aggregate, Фильтр-Агрегат)

Поставщик – фирма Clock Corporation (США).

По составу Filter-Ag – безводный алюмосиликат с большой поверхностью фильтрования, гранулированный, вспененный.

Вследствие меньшей плотности – по сравнению с песком и антрацитом – этот материал требует меньше расхода воды для обратной промывки, при его эксплуатации получают меньшие потери давления, чем у большинства фильтрующих загрузок, допустимы большие скорости фильтрования.

При замене песка на Filter-Ag увеличение грязеемкости фильтра возможно до 100%.

*Свойства:*

цвет – светло-серый, почти белый;  
плотность – 0,38–0,42 г/см<sup>3</sup>;  
коэффициент неоднородности гранул – 1,66;  
размер гранул (зерен) – 0,50–1,41 мм;  
задерживает взвешенные примеси размером 20–40 мкм.

*Условия применения:*

наибольшая допускаемая температура фильтруемой воды – 60°C;  
высота фильтрующего слоя – 60–90 см;  
скорость фильтрования в рабочем режиме – 12 м/ч и более (5 GPM/ft<sup>2</sup>);  
скорость воды в режиме обратной промывки – 20–25 м/ч (8–10 GPM/ft<sup>2</sup>);

160

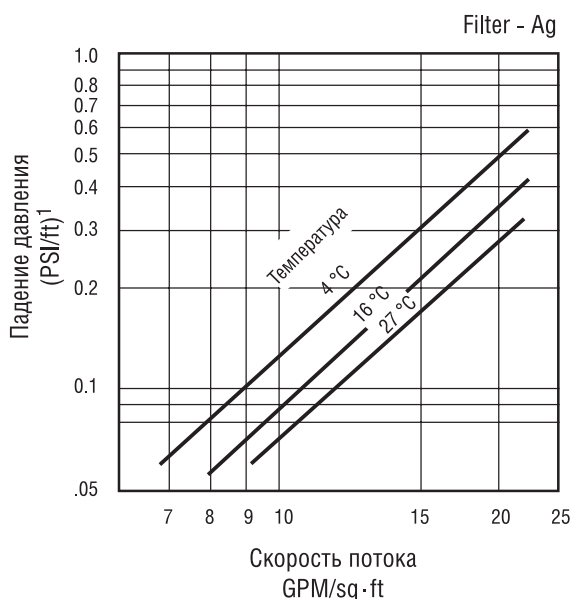


Рис. 2.4. Потери давления в рабочем режиме (1 PSI/ft = 22,62 кПа на 1 метр слоя; 1 GPM/sq·ft = 2245 л/м<sup>2</sup>·ч)

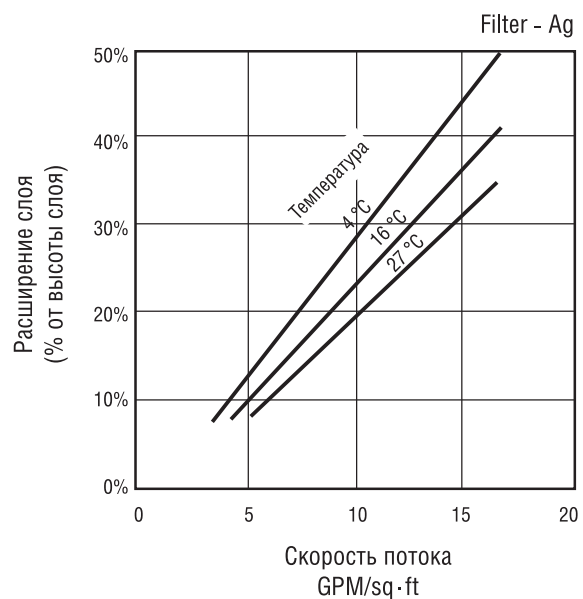


Рис. 2.5. Расширение слоя во время обратной промывки

– расширение фильтрующего слоя при промывке – 35–50%.

Допускается для обработки питьевой воды.

### 1.6.2. Фильтрующий материал марки «Гарнет»

Поставщик – фирма Clock Corporation (США).

Гарнет – немецкоязычное название группы природных минералов гранатов (от лат. *granatum* – гранатовое яблоко). Гранулы «Гарнета» напоминают зерна плода граната. Формула состава группы (в нее входят 14 минералов) выглядит так:

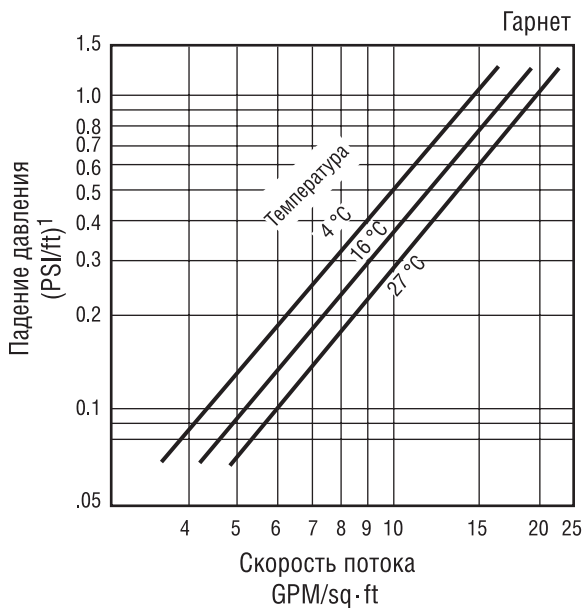


Рис. 2.6. Потери давления в рабочем режиме

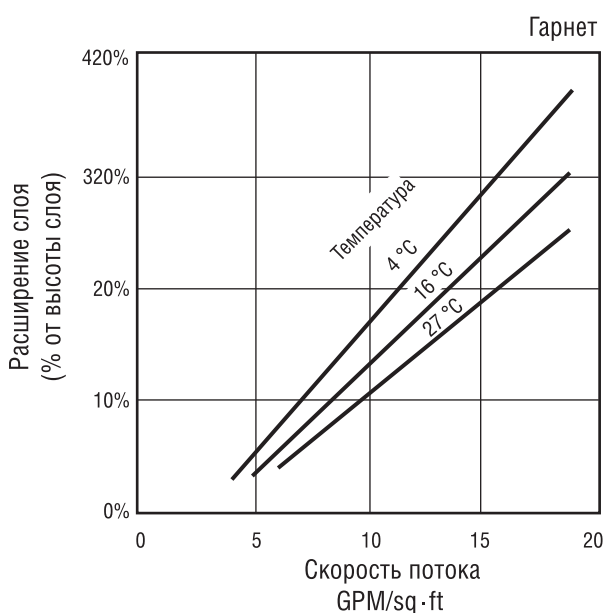


Рис. 2.7. Расширение слоя во время обратной промывки

$A_3B_2 [SiO_4]_3$ , где А –  $[Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca^{2+}]$ , В –  $[Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, Mn^{3+}, Ti^{4+}]$ . Перечисленные элементы присутствуют в разных соотношениях. Могут быть и дополнительные примеси: калий К, натрий Na, фосфор Р, вольфрам W, церий Zr, бериллий Be и др.

Гарнет используется в качестве поддерживающего, а также основного фильтрующего слоя для удаления из воды взвешенных примесей.

В результате обратной промывки гранулы Гарнета с большой плотностью и небольшим размером распределяются в нижней части резервуара, в то время как более крупные гранулы располагаются в верхних частях загрузки. Таким образом достигается более полное удаление взвешенных примесей различного размера. Это обеспечивает высокую скорость фильтрации и более длительную работу в режиме без снижения потерь напора воды.

**Особенность:** для обратной промывки необходима скорость потока, большие по сравнению с другими загрузками.

**Свойства:**

цвет – от светло-коричневого до розово-красного;

плотность насыпная – 1,9–2,4 г/см<sup>3</sup>;

плотность истинная – 2,8–4,2 г/см<sup>3</sup>;

твердость по шкале Мооса – 7,5;

размер гранул – 1,68–2,43 и 0,42–0,60 мм;

коэффициент неоднородности гранул – <1,5 и 1,4.

**Условия применения:**

высота фильтрующего поддерживающего слоя – 8–25 см;

высота фильтрующего слоя – 70–90 см;

скорость фильтрования в рабочем режиме – 12–20 м/ч (5–8 GPM/ft<sup>2</sup>);

скорость потока при обратной промывке – 32–45 м/ч (13–18 GPM/ft<sup>2</sup>);

расширение фильтрующего слоя в режиме обратной промывки – 35–50% объема слоя.

Допускается для обработки питьевой воды.

### 1.6.3. Фильтрующий материал марки «Графил»

Поставщик – ЗАО «Квант Минерал».

Гранитный фильтрующий материал Графил применяется в качестве поддерживающего, а также основного фильтрующего слоя для удаления из воды взвешенных частиц и мутности. Он обладает большой фильтрующей способностью по сравнению с природным кварцевым песком, так как неправильная форма зерна дробленого материала увеличивает поверхность контакта с очищаемой водой и межзерновую пористость до 50%, улучшая качество воды, увеличивая грязеемкость фильтра и удлиняя фильтроцикл.

Выдержанный гранулометрический состав и форма зерна загрузки «Графил» обеспечивают интенсивный вынос из нее загрязнений уже на первых минутах промывки.

Химическая стойкость и механическая прочность предотвращают химическое разрушение, измельчение и вынос материала в процессе эксплуатации фильтров.

*Свойства:*

основная фракция – 0,6–0,8; 0,8–1,2; 0,8–1,6; 1,2–2,0 мм;

поддерживающий слой – 2,0–5,0; 5,0–10,0; 10,0–20,0; 20,0–40,0 мм (по заказу могут быть изготовлены и другие фракции);

эквивалентный диаметр  $d_{\text{экв}}$  – 0,68–0,72; 0,95–1,05; 0,8–1,0; 1,3–1,45 мм;

содержание наиболее крупных частиц – не более 5% по массе;

содержание наиболее мелких частиц – не более 5% по массе;

содержание глинистых и пылевидных частиц менее 0,05 мм – не более 3% по массе;

коэффициент неоднородности  $K_n$  – не более 2,0;

истираемость – не более 0,5% по массе;

измельчаемость – не более 1,0% по массе;

пористость – не менее 45%;

насыпная плотность в состоянии естественной влажности – 1,3–1,35 г/см<sup>3</sup>;

суммарная удельная эффективная активность естественных радионуклидов – не более 250 Бк/кг;

химическая стойкость:

перманганатная окисляемость – не более 10 мгО/л;

содержание кремниесоединений (SiO<sub>2</sub>) – не менее 10 мг/л;

прирост сухого остатка – не более 20 мг/л;

объемная суммарная радиоактивность в водной вытяжке:

альфа-активность – до 0,1 Бк/кг;

бета-активность – до 1,0 Бк/кг;

миграция металлов в водную вытяжку:

медь – до 1,0;

мышьяк – до 0,05;

железо – до 0,3;

цинк – до 5,0;

свинец – до 0,03;

кадмий – до 0,001;

песок-заполнитель не должен содержать посторонних загрязняющих примесей.

#### 1.6.4. Фильтрующий материал марки «Шунгизит»

Производитель – ЗАО «НПП «Биотехпрогресс».

Шунгизит – дробленый обожженный природный минерал шунгит (название по местности Шуньга в Карелии, единственное место в мире где обнаружен шунгит). Иногда шунгит применяется в своем природном (необожженном) состоянии.

Шунгизит по свойствам близок к дробленому ке-рамзиту и употребляется для такой же цели: уменьшение содержания в воде взвешенных примесей.

*Свойства дробленого шунгизита:*

плотность насыпная – 1,5–1,8 г/см<sup>2</sup>;

пористость загрузки – 56–58%;

коэффициент формы зерна – 1,7–2,0.

Допускается при обработке питьевой воды.

#### 1.6.5. Фильтрующий материал марки «Сополимер-8»

Производитель – фирма ЗАО «Токем».

Сополимер-8 – это высокомолекулярное соединение, получаемое сополимеризацией стирола с дивинилбензолом и имеющее гелевую структуру.

Область применения: фильтрование воды от взвесей, нефтепродуктов, фильтрование конденсата от масел, коллоидного железа, окалины.

*Свойства:*

твердое вещество в виде сферических гранул с размером 0,2–0,8 и 0,8–2,0 мм;

массовая доля указанных фракций в поставляемых партиях – 70–80%;

насыпная плотность – 0,58–0,60 г/см<sup>3</sup>;

плотность истинная – 1,05 г/см<sup>3</sup>.

сополимер нерастворим в воде, растворах кислот и щелочей, не токсичен. Набухает в органических растворителях. Горюч, склонен к электризации. Ионообменных групп нет.

Допускается при обработке питьевой воды.



## 2. Каталитические загрузки для удаления из воды железа и марганца

### 2.1. Фильтрующий материал марки Manganese Green Sand (MGS, марганцевый зеленый песок)

Поставщик – фирма Clock Corporation (США).

В основе MGS – природный марганцевый глауконит (от греч. glaukos – голубовато-зеленый – за цвет), обогащенный оксидом марганца.

Приблизительный состав:  $(K, Na, Ca)_{<1}(Al, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn, Mg)_2[(OH)_2 Al_{0,35} Si_{3,65} O_{10}]$ .

Применяется для обезжелезивания, деманганации воды и удаления из нее сероводорода. Окисляет и осаждает растворенные в воде железо и марганец за счет их контакта с высшими оксидами марганца на гранулах MGS. Железо окисляется до  $Fe^{3+}$ , марганец – до  $Mn^{4+}$ , сероводород – до серы S. Осадки задерживаются и удаляются из MGS при обратной промывке.

Восстановление окислительной способности MGS производится раствором перманганата калия – 2–4 г  $KMnO_4$  (сухого вещества) на 1  $дм^3$  фильтрующего материала. Эксплуатирование материала без регенерации после уменьшения его окисляющей способности сокращает срок его службы. Регенерация нужна и при вводе фильтра в эксплуатацию.

В некоторых случаях нужна последовательная обработка фильтрующего материала растворами хлора и перманганата калия. MGS может применяться в двух вариантах: с периодической или непрерывной регенерацией. Выбор технологии зависит от уровня концентрации марганца и железа в исходной воде.

При непрерывной регенерации, когда используется только перманганат калия, его необходимое количество может быть рассчитано следующим образом:

$$n \text{ мг } KMnO_4/л = \text{мг } Fe^{2+}/л + \text{мг } Mn/л.$$

Если вместе с перманганатом калия используется хлор ( $Cl_2$ ), доза рассчитывается по таким соотношениям:

$$\text{мг } Cl_2/л = 1 \cdot \text{мг/л } Fe;$$

$$n \text{ мг } KMnO_4/л = 0,2 \cdot \text{мг } Fe^{2+}/л + \text{мг } Mn/л.$$

*Свойства:*

цвет – от зеленовато-черного до черного;  
плотность насыпная – 1,4 г/см<sup>3</sup>;  
плотность истинная – 2,3–3,0 г/см<sup>3</sup>;  
коэффициент неоднородности гранул  $K_n = 1,6$ ;  
размер гранул – 0,25–1,20 мм;  
истираемость –  $\leq 2\%$  в год.

*Условия применения:*

температура исходной воды – до 27°C;

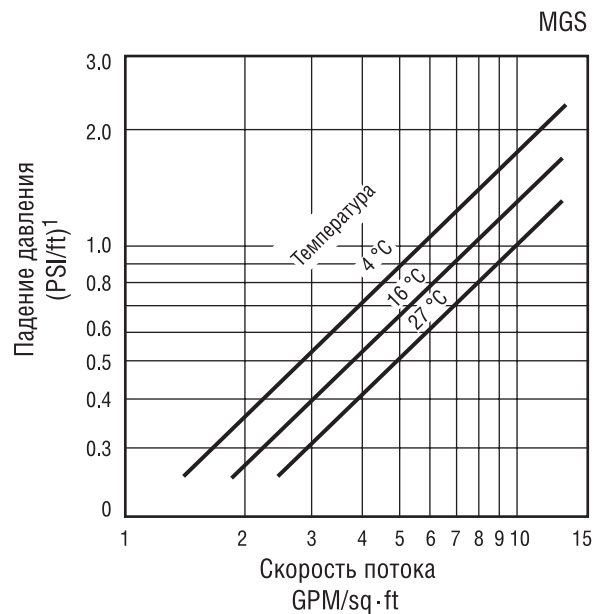


Рис. 2.8. Потери давления в рабочем режиме

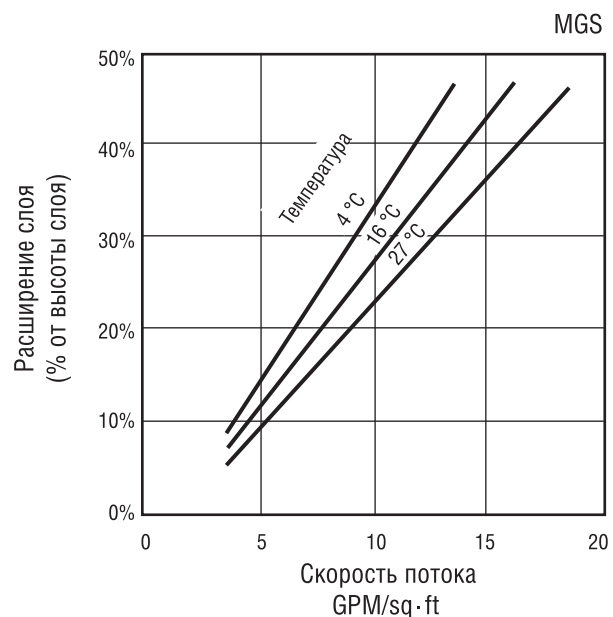


Рис. 2.9. Расширение слоя во время обратной промывки

pH исходной воды – 6,2–8,8, (при pH < 6,8 – необходимо дозирование окислителя, например хлора);

окисляемость перманганатная – до 5 мгО/л;

нефтепродукты должны отсутствовать;

наибольшее содержание в исходной воде железа (Fe) до 15 мг/л, марганца (Mn) – до 4 мг/л, сероводорода (H<sub>2</sub>S) – до 5 мг/л;

ресурс по железу – 1335 л воды с концентрацией железа (Fe) 1 мг/л на 1 дм<sup>3</sup> материала;

ресурс по железу и марганцу – 935 л воды с концентрацией каждого по 0,5 мг/л на 1 дм<sup>3</sup> материала;

ресурс по сероводороду – 400 л воды с концентрацией H<sub>2</sub>S – 1 мг/л на 1 дм<sup>3</sup> материала;

высота фильтрующего слоя – 75 см;

скорость фильтрования в рабочем режиме – 12–24 м/ч (5–10 GPM/ft<sup>2</sup>);

скорость потока при обратной промывке – 20–30 м/ч (8–12 GPM/ft<sup>2</sup>);

расширение слоя при обратной промывке – 35–50% объема слоя;

доза регенеранта KMnO<sub>4</sub> – 2,0–4,0 г на 1 дм<sup>3</sup> MGS.

Допускается для обработки питьевой воды.

давлением по сравнению с Manganese Greensand. Это преимущество дает возможность увеличить период между промывками фильтра и предотвратить прорыв загрязнителя.

Свойства и условия применения аналогичны MGS, кроме:

цвет – пурпурно-черный;

температура исходной воды – до 40°C;

Допускается для обработки питьевой воды.

### 2.3. Фильтрующий материал марки МТМ

Поставщик – фирма Clock Corporation (США).

Гранулированный вспененный фильтрующий материал МТМ – химический аналог MGS. Состав материала гранул изготовитель не указывает, на поверхность гранул нанесена пленка оксида марганца.

МТМ применяется для обезжелезивания, деманганации воды и удаления из нее сероводорода.

Активная поверхность гранул МТМ окисляет железо и марганец, сероводород окисляется до серы. Осадок задерживается слоем фильтрующей загрузки и удаляется при обратной промывке.

*Особенность:* небольшая плотность по сравнению с другими фильтрующими материалами дает возможность промывать фильтр относительно небольшим потоком воды.

Для восстановления окислительного потенциала гранул МТМ – регенерация раствором перманганата калия (KMnO<sub>4</sub>). Доза перманганата калия – 1,5–2,0 г сухого вещества на 1 дм<sup>3</sup> фильтрующего материала. Перед вводом в эксплуатацию фильтров с МТМ необходимо провести обратную промывку и регенерацию раствором KMnO<sub>4</sub>. Иногда требуется регенерация последовательной обработкой гранул материала растворами хлора и перманганата калия (KMnO<sub>4</sub>). МТМ используется с периодической или постоянной схемой регенерации для восстановления окислительной способности.

*Свойства:*

цвет – темно-коричневый;

плотность насыпная – 0,43 г/см<sup>3</sup>;

плотность истинная – 1,7 г/см<sup>3</sup>;

коэффициент неоднородности гранул K<sub>n</sub> = 1,9;

размер гранул – 0,5–1,7 мм.

*Условия применения:*

температура исходной воды – до 38°C;

pH исходной воды – 6,2–8,8 (при pH < 6,8 – необходимо дозирование окислителя, например хлора);

### 2.2. Фильтрующий материал марки Green Sand Plus

Производитель – фирма Inversand Company (США).

Green Sand Plus – среда, предназначенная для удаления из воды растворенных железа, марганца, сероводорода, мышьяка и радия. Greensand Plus имеет кремниевую основу, на которую диоксид марганца наносится под воздействием высокой температуры, в то время как Manganese Greensand имеет глауконитовую основу с диоксидом марганца, нанесенным другим методом. Greensand Plus является аналогом Manganese Greensand и может быть использован в установках с непрерывной регенерацией и периодической регенерацией раствором перманганата калия.

*Особенности:*

Различие между Manganese Greensand и Green Sand Plus состоит в структуре основания зерна и в методе нанесения диоксида марганца на основу.

Кремниевая основа зерен Greensand Plus делает возможным его использование при обработке воды с низкими содержанием кремния, общим солейсодержанием и жесткостью.

Greensand Plus может работать с водой с более высокими температурой и дифференциальным

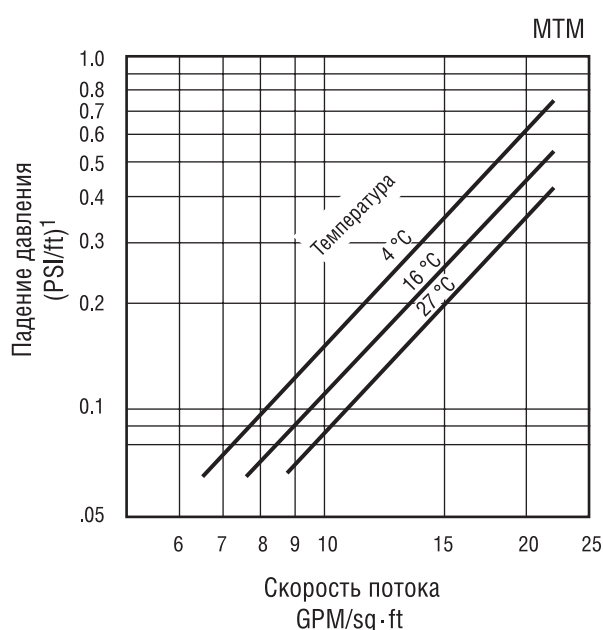


Рис. 2.10. Потери давления в рабочем режиме

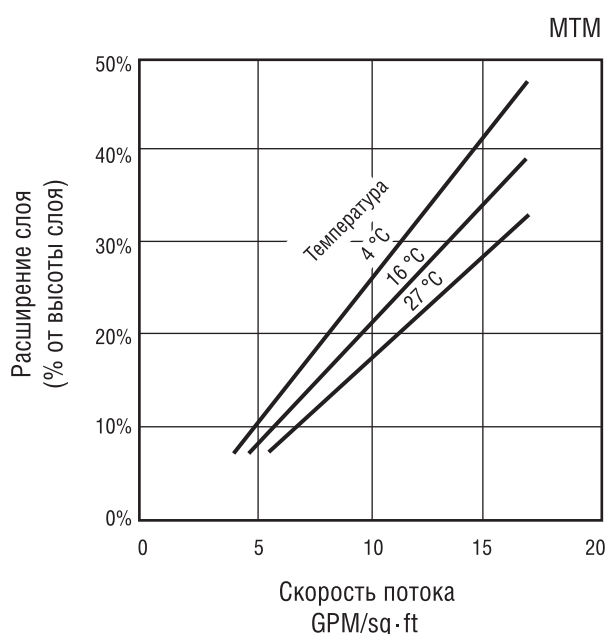


Рис. 2.11. Расширение слоя во время обратной промывки

нефтепродукты и полифосфаты должны отсутствовать;  
 емкость, мг на 1 дм<sup>3</sup> МЖМ: железо (Fe<sup>2+</sup>) – 350;  
 марганец (Mn<sup>2+</sup>) – 175; сероводород (H<sub>2</sub>S) – 105;  
 высота фильтрующего слоя – 65–95 см;  
 скорость фильтрования в рабочем режиме – 7,5–12 м/ч (3–5 GPM/ft<sup>2</sup>);  
 скорость потока при обратной промывке – 19–24 м/ч (8–10 GPM/ft<sup>2</sup>);

расширение фильтрующего слоя при обратной промывке – 20–40% объема слоя;  
 доза регенеранта KMnO<sub>4</sub> – 1,5–2,0 г на 1 дм<sup>3</sup> МЖМ.

Допускается для обработки питьевой воды.

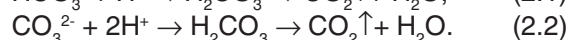
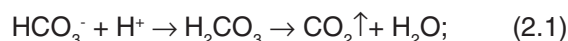
## 2.4. Фильтрующий материал марки «МЖФ»

Производитель – фирма «Альянс-Нева».

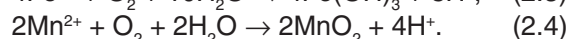
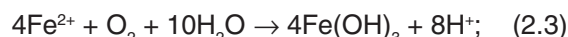
МЖФ – природный пористый материал, состоящий, в основном, из смеси оксидов и карбонатов кальция и магния, включающий также в незначительных количествах оксиды алюминия, кремния, железа, марганца. Исходное сырье – один из видов доломитов. При изготовлении МЖФ сырье подвергается термохимической и химико-механической обработке. Применяется для обезжелезивания, деманганации воды и удаления сероводорода.

В порах равномерно по всей грануле закреплен диоксид марганца (MnO<sub>2</sub>).

МЖФ очищает воду от железа до норм СанПиН 2.1.4.1074-01 при исходной его концентрации до 50 мг/л и при значениях pH ≥ 6. При этом МЖФ корректирует значение pH, которое не должно быть меньше (при вводе окислителей) 7, за счет своего состава:



Ионы водорода, понижающие значение pH, образуются в результате реакций:



При фильтровании через МЖФ, независимо от pH исходной воды и содержания в ней железа и марганца, значение pH очищенной воды находится в пределах 7–8.

МЖФ не теряет активности при истирании, так как его химический и фазовый состав одинаков во всем объеме гранулы.

При пониженном содержании кислорода в воде реакции (2.3) и (2.4) идут медленно. Есть данные, что МЖФ не слеживается даже при 100%-ном заполнении межгранульного пространства продуктами гидролиза, то есть Fe(OH)<sub>3</sub> и Mn(OH)<sub>4</sub>.

*Свойства:*

цвет – буро-коричневый;

размер гранул – 0,5–1,6 мм;

геометрическая форма гранул – неправильная;  
 коэффициент неоднородности  $K_n \leq 2,2$ ;  
 насыпная плотность  $\leq 1,4 \text{ г/см}^3$ .

*Условия применения:*

при содержании железа в исходной воде:  
 до 5–8 мг/л – можно ограничиться подачей воды изливом (например, тарельчатым аэратором);  
 до 40 мг/л – лучше подавать воздух эжектором;  
 более 40 мг/л – необходим компрессор;  
 скорость фильтрования исходной воды – до 18 м/ч (7,0 GPM/ft<sup>2</sup>);  
 скорость потока при обратной промывке – не менее 30 м/ч (12 GPM/ft<sup>2</sup>);  
 расширение слоя при обратной промывке ~ 20% объема слоя;

при концентрации железа в исходной воде более 10 мг/л промывка рекомендуется очищенной (после фильтра) водой;

в начале эксплуатации – после загрузки материала в фильтр необходимо промыть загрузку обратным током воды в течение 60–90 мин;  
 регенерация – промывка водой;

гряземкость МЖФ (количество задержанных гидроксидов железа и марганца), зависящая от состава исходной воды, в том числе от соотношения Fe/Mn и режима эксплуатации, колеблется в пределах 1,2–7,0 г на 1 дм<sup>3</sup> материала.  
 Допускается для обработки питьевой воды.

плотность насыпная – 0,7–0,8 г/см<sup>3</sup>;

плотность истинная – 2,0 г/см<sup>3</sup>;

коэффициент неоднородности гранул  $K_n = 1,96$ ;

размер гранул – 0,42–2,0 мм.

*Условия применения:*

температура воды – 5–40°C;

pH исходной воды – 6,8–9,0, в том числе:  
 8,0–9,0 – при удалении марганца; 6,8–8,5 – при удалении железа (при pH > 8,5 возможно образование трудноудаляемого коллоидного железа); 8,0–8,5 – при совместном удалении железа и марганца;

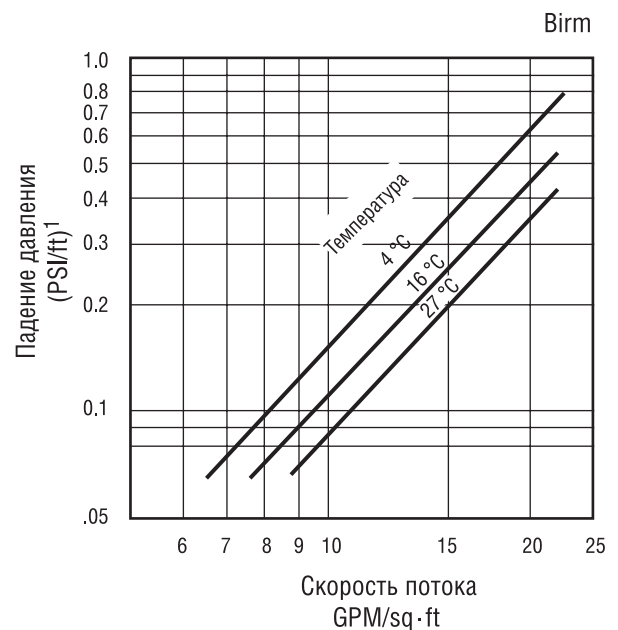


Рис. 2.12. Потери давления в рабочем режиме

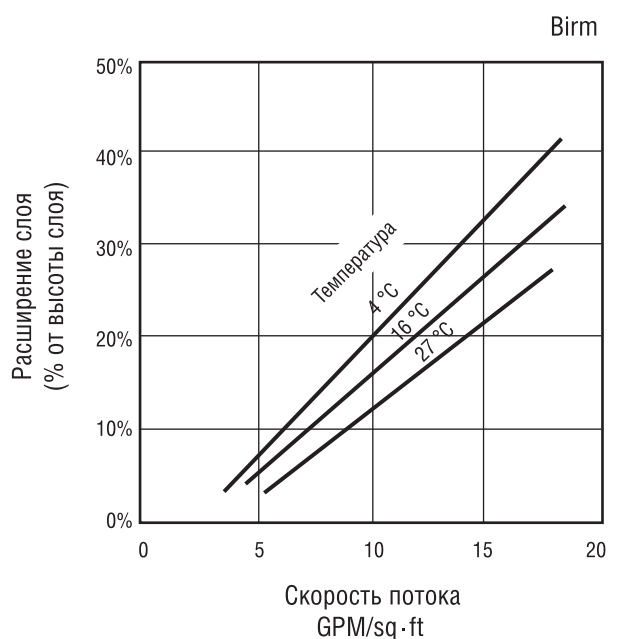


Рис. 2.13. Расширение слоя во время обратной промывки

## 2.5. Фильтрующий материал марки Birm («Бирм»)

Поставщик – фирма Clock Corporation (США).

Birm – катализатор реакции окисления соединений железа и марганца растворенным в воде кислородом. Получающиеся нерастворимые соединения железа и марганца осаждаются и отфильтровываются в слое загрузки. Затем осадок удаляется обратной промывкой. Химических реагентов для восстановления каталитической способности материала не требуется. Наличие растворенного кислорода в достаточном количестве необходимо.

Применяется для обезжелезивания и деманганации воды.

Состав материала изготовитель не указывает. Судя по физико-химическим и технологическим свойствам материала, возможно, что основа его – один из модифицированных видов алюмосиликатов (цеолитов). Материал модифицирован оксидами железа, марганца и кремния.

*Свойства:*

цвет – черный;

окисляемость перманганатная  $\leq 4-5$  мгО/л;  
 концентрация растворенного кислорода – на 15% больше суммы концентраций железа (Fe) и марганца (Mn);  
 щелочность ( $\text{HCO}_3^-$ ), ммоль/л, – в два раза больше суммы концентраций сульфатов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) и хлоридов ( $\text{Cl}^-$ ), ммоль/л;  
 щелочность ( $\text{HCO}_3^-$ ) больше 2,5 ммоль/л;  
 концентрация свободного хлора – до 0,5 мг/л;  
 сероводород и нефтепродукты должны отсутствовать;  
 максимальное содержание в исходной воде: железо общее (Fe) – до 7 мг/л, в том числе  $\text{Fe}^{2+}$  не менее 70% общего количества железа; марганец общий (Mn) – до 0,5 мг/л; содержание железа в воде на 30% (по массе) больше содержания марганца;  
 высота фильтрующего слоя – 75–90 см;  
 скорость фильтрования в рабочем режиме – 8,5–12 м/ч (3,5–5 GPM/ft<sup>2</sup>);  
 скорость потока при обратной промывке – 25–30 м/ч (10–12 GPM/ft<sup>2</sup>);  
 расширение фильтрующего слоя при обратной промывке – 35–50% объема слоя.  
 Допускается при обработке питьевой воды.

## 2.6. Фильтрующий материал марки Pyrolox («Пиролокс»)

Поставщик – фирма Clock Corporation (США).

Pyrolox – природный минерал на основе диоксида марганца, который используется в процессе очистки воды уже более 75 лет. Удаляет железо, марганец и сероводород.

Окисляет сероводород, железо и марганец, и их нерастворимые соединения задерживаются в загрузке с последующим удалением при обратной промывке.

Использование дополнительных химических продуктов при регенерации не требуется.

Pyrolox может быть использован при аэрации, хлорировании, озонировании и других методах дополнительной обработки в случаях, когда исходная вода содержит большие концентрации загрязнений.

*Особенность:* материал – тяжелый, поэтому очень важно, чтобы промывка фильтров обеспечивала достаточное расширение слоя и полное удаление осадка. Только в этом случае обеспечивается продолжительный срок службы.

*Свойства:*

цвет – черный;  
 содержание активного компонента ( $\text{MnO}_2$ ) – 75–85%;

плотность насыпная – 2,0 г/см<sup>3</sup>;  
 размер гранул – 2,8–0,84 мм;  
 эффективный размер – 1,51 мм;  
 коэффициент неоднородности  $K_n = 1,7$ ;  
 истинная плотность – 3,8 г/см<sup>3</sup>.

*Условия применения:*

pH = 6,5–9,0;  
 высота слоя (зависит от применения) – от 60 см;  
 скорость в рабочем режиме – 10–15 м/ч (4–6 GPM/ft<sup>2</sup>);  
 скорость потока при обратной промывке 60–75 м/ч (25–30 GPM/ft<sup>2</sup>);  
 расширение слоя при обратной промывке – 30–50% объема слоя.

## 2.7. Фильтрующий материал марки FILOX-R («Филокс-Р»)

*FILOX-R* – специально обработанная и просеянная природная руда с большим (около 75–85%) содержанием диоксида марганца ( $\text{MnO}_2$ ), окисляющая сероводород, железо, марганец и задерживающая их нерастворимые соединения в загрузке с последующим удалением при обратной промывке.

Использование дополнительных химических продуктов при регенерации не требуется.

Благодаря высокому содержанию диоксида марганца FILOX-R способен эффективно удалять из воды железо, марганец и сероводород даже при их весьма значительной концентрации.

*Особенность:* так как материал тяжелый, очень важно, чтобы промывка фильтров обеспечивала достаточное расширение слоя и полное удаление осадка. Только в этом случае обеспечивается продолжительный срок эксплуатации.

*Свойства:*

цвет – темно-серый;  
 содержание активного компонента ( $\text{MnO}_2$ ) – 75–85%;  
 размер гранул – 1,7–0,42 мм;  
 плотность насыпная – 1,84 г/см<sup>3</sup>;  
 коэффициент неоднородности  $K_n = 1,4-1,6$ .

*Условия применения:*

pH = 6,0–9,0;  
 высота слоя (зависит от применения) – от 60 см;  
 скорость фильтрования в рабочем режиме – 10–15 м/ч (4–6 GPM/ft<sup>2</sup>);  
 скорость потока при обратной промывке – 30–38 м/ч (12–15 GPM/ft<sup>2</sup>);  
 расширение слоя при обратной промывке – 30–50% объема слоя.



## 2.8. Фильтрующий материал марки «Пиролюзит»

Производитель – фирма «НПО «Экологические технологии». ТУ 5711-005-13291795-01.

Пиролюзит (от греч.: *pyrolusite* – «огонь» и «удалять» – за то, что его можно использовать для обесцвечивания зеленоватого оттенка стекла благодаря окисляющему действию железа) – природный минерал, диоксид марганца ( $MnO_2$ ). Используется для уменьшения содержания в воде железа, марганца и сероводорода.

Осадки отфильтровываются в фильтрующих слоях.

Дополнительных химических веществ при регенерации не требуется.

*Свойства:*

цвет – черный;

содержание активного компонента ( $MnO_2$ ) – 55–60%;

плотность насыпная – 1,0–1,2 г/см<sup>3</sup>;

размер гранул – 0,63–3,0 мм;

эффективный размер зерен – 0,9 мм;

коэффициент неоднородности  $K_H = 2,4$ .

*Условия применения:*

водородный показатель pH = 5,1–9,0;

температура воды – до 60°C;

окисляемость перманганатная – не более 3,0 мгО/л;

содержание кислорода в воде (по массе) на 2% больше содержания железа по массе;

емкость, мг железа ( $Fe^{2+}$ ) на 1 дм<sup>3</sup> пиролюзита – 3300;

высота фильтрующего слоя – 30–90 см;

скорость фильтрования в рабочем режиме – 8,5–12,2 м/ч (3,5–5 GPM/ft<sup>2</sup>);

скорость обратной промывки – 57–64 м/ч (23–27 GPM/ft<sup>2</sup>).

Допускается для обработки питьевой воды.

## 2.9. Фильтрующий материал марки Quantum DMI-65

Производитель – фирма Quantum Filtration (Австралия).

Quantum DMI-65 – среда, предназначенная для удаления из воды железа и марганца.

Quantum DMI-65 не участвует в реакциях окисления, он только инициирует и ускоряет их. Получающиеся нерастворимые соединения железа и марганца осаждаются и отфильтровываются в слое загрузки. Затем осадок удаляется обратной промывкой. Использование дополнительных реагентов при регенерации не требуется. Активация происходит в процессе постоянного контакта с гипохлоритом

натрия (непрерывного дозирования реагента). Концентрация гипохлорита натрия – 0,1–0,3 мг/л.

*Особенность:* Благодаря микропористой структуре DMI-65 позволяет эффективно снижать содержание железа до значения 0,005 мг/л, марганца – до 0,001 мг/л.

DMI-65 эффективно функционирует при высокой скорости прохождения воды через толщу загрузки, что позволяет существенно повысить производительность системы водоподготовки.

Загрузка также позволяет удалять мышьяк в сочетании с растворенным железом. При удалении железа с низкой концентрацией, что в большинстве случаев затруднительно, возможна предварительная обработка исходной воды раствором железистой соли.

Дополнительных химических веществ при регенерации не требуется.

*Свойства:*

цвет – черно-коричневый;

плотность насыпная – 1,46 г/см<sup>3</sup>;

плотность истинная – 2,69 г/см<sup>3</sup>;

размер гранул – 0,48 мм;

истираемость – 1–5% в год;

коэффициент неоднородности  $K_H = 1,34$ .

*Условия применения:*

водородный показатель pH = 5,8–8,6;

температура воды – до 45°C;

высота фильтрующего слоя – 60 см;

скорость фильтрования в рабочем режиме – 5,0–29 м/ч (2–12 GPM/ft<sup>2</sup>);

скорость обратной промывки – 24–49 м/ч;

расширение слоя при обратной промывке – 15–50%.

Допускается для обработки питьевой воды.

## 2.10. Сорбент марки «МИУ-С»

Производитель – фирма ООО «МИУ-Сорб».

Сорбент МИУ-С (мезо-изопористый уголь-сорбент) изготавливается из специфичного молодого каменного угля.

По характеру воздействия на двухвалентное железо МИУ-С – реагент, сорбирующий  $Fe^{2+}$  по типу ионного обмена. Дополнительным катализатором окислительного процесса – получения  $Fe^{3+}$  – становится постепенно образующийся в толще загрузки осадок из  $Fe(OH)^3$ .

При фильтровании воды через слой МИУ-С уменьшается содержание в воде нефтепродуктов, ионов тяжелых металлов от 0,5–1,0 до 0,03–0,30 мг/л, нитратов от 0,5–5,0 до 0,2–2,0 мг/л, аммония от 0,6 до 0,3 мг/л. При контакте с МИУ-С

уменьшается (с 10,5 до 8,5) рН воды, а кислая среда – подщелачивается.

Для образования каталитической пленки на зернах сорбента требуется примерно 5 ч. Так как ионообменная емкость МИУ-С невелика, его не регенерируют, и основную нагрузку по обезжелезиванию несет каталитическая пленка. При значительном содержании в воде сероводорода этот период будет удлиняться, поскольку сероводород вызывает пептизацию (расщепление-измельчение) осадка.

*Свойства:*

поры сорбента – 3–4 нм;

активная поверхность – 50–110 м<sup>2</sup>/г;

плотность сухого сорбента – 0,7 г/см<sup>3</sup>;

кажущаяся масса в воде – 1,35–1,40 г/см<sup>3</sup>.

*Условия применения:*

скорость фильтрования в рабочем режиме – до 8 м/ч (3 GPM/ft<sup>2</sup>);

высота слоя: при начальном содержании железа до 3 мг/л – 1 м; при содержании железа 6 мг/л – 2 м;

требуемая высота слоя при наличии в воде марганца – не менее 1,2 м;

ресурс работы фильтра до промывки – 120–200 объемов воды на 1 объем загрузки, в зависимости от исходной загрязненности воды; скорость потока в режиме обратной промывки – 20 м/ч (8 GPM/ft<sup>2</sup>);

расширение слоя фильтрующего слоя в режиме обратной промывки – 20% объема материала.

Продолжительность работы сорбента – не менее трех лет.

На российском рынке присутствуют также фильтрующие материалы, являющиеся аналогами описанных фильтрующих сред или близкими по механизму удаления загрязнений: Birm – Techlite BW, Магнофилт BW; Magno-DO; MGS – MZ-10, M-50, Techlite MN; Pyrolox – Aqua-Mandix, Catalox, AMDX, Metal easy, Hydro-Calzit, Hydrolit-Ca, Akdolit-Cran, Hydro-Carbonat, Hydro-Filt, Magimo-Filt, Hydrolit-MN, Hydrofilt BS и др.

## 3. Фильтрующие материалы для корректировки водородного показателя (pH) среды

### 3.1. Фильтрующий материал марки Corosex («Коросекс»)

Поставщик – фирма Clock Corporation (США).

Corosex – специально обработанный гранулированный оксид магния (MgO), использующийся в фильтрах для нейтрализации кислотности и повышения pH.

Поскольку Corosex растворяется в кислой среде, его необходимо периодически добавлять в фильтр.

При высоких скоростях потока применение этой среды наиболее эффективно. Нейтрализации кислотности среды сопутствует увеличение жесткости воды.

Возможно совместное применение Corosex и Calcite (кальцита).

При малых скоростях фильтрования может произойти уплотнение Corosex и защелачивание воды. Во избежание этого следует обеспечить своевременную обратную промывку.

*Свойства:*

цвет – коричневатый-белый;

содержание активного компонента (MgO) – 99%;

размер гранул – 4,5–1,19 мм (эффективный размер – 1,4 мм);

плотность – 1,2 г/см<sup>3</sup>;

коэффициент неоднородности  $K_H = 1,7$ .

*Условия применения:*

при значении жесткости до 1,7 ммоль/л или при сочетании Corosex и кальцита 1:1 рабочий поток может идти сверху вниз. Для воды с жесткостью более 1,7 ммоль/л рекомендуется поток снизу вверх;

pH исходной воды – 4,5–6,0;

высота фильтрующего слоя – 60–80 см;

скорость фильтрования в рабочем режиме – 12–15 м/ч (5–6 GPM/ft<sup>2</sup>);

скорость потока при обратной промывке – 25–30 м/ч (10–12 GPM/ft<sup>2</sup>);

расширение слоя при обратной промывке – 50% объема слоя;

### 3.2. Фильтрующий материал Calcite (кальцит)

Поставщик – фирма Clock Corporation (США).

Кальцит – природный карбонат кальция, используемый в фильтрах для нейтрализации кислотности и повышения pH.

Растворяется в кислой среде, поэтому его необходимо периодически добавлять в фильтр.

Наиболее эффективно применение этого материала при малых скоростях потока.

Нейтрализация кислотности среды вызывает увеличение жесткости воды.

Возможно совместное применение Calcite и Corosex.

*Свойства:*

цвет – белый;

состав – CaCO<sub>3</sub> – не менее 95%, MgCO<sub>3</sub> – не более 3,0%;

размер гранул – 1,19–0,42 мм;

плотность – 1,44 г/см<sup>3</sup>;

коэффициент неоднородности  $K_H = 1,5$ ;

твердость по шкале Мооса – 3,0.

*Условия применения:*

pH исходной воды – 5–7;

высота фильтрующего слоя – 60–80 см;

скорость фильтрования в рабочем режиме – 7,5–15 м/ч (3–6 GPM/ft<sup>2</sup>);

скорость потока при обратной промывке – 20–30 м/ч (8–12 GPM/ft<sup>2</sup>);

расширение слоя при обратной промывке – 35% объема слоя.

## 4. Иониты

### 4.1. Неорганические иониты

**И**ониты образуют большой класс фильтрующих ионообменных материалов. Применяются для умягчения, деминерализации, обескремнивания воды, выделения из водных растворов отдельных веществ и т. п.

Иониты – твердые, практически нерастворимые полиэлектролиты, природные, искусственные или синтетические. Состоят из каркаса (матрицы), несущего положительный или отрицательный заряд, и подвижных противоположно заряженных ионов, которые компенсируют своим зарядом заряд каркаса и могут стехиометрически обмениваться на ионы того же заряда, содержащиеся в водном растворе.

По знаку заряда обменивающихся ионов иониты подразделяются на катиониты, аниониты и амфолиты. По химической природе каркаса – на неорганические, органические и минерально-органические.

Неорганические природные иониты могут быть кристаллическими и слоистыми. Наиболее характерные природные неорганические иониты (цеолиты) рассмотрены ранее (см. ч. 2, п. 1.4). К ним также можно отнести глины, слюду, оксиды графита, соли поликислот титана, ванадия и др. Природные иониты, в основном, – катиониты. Анионитов известно немного: апатит (от греч.: *apatao* – обманываю, так как этот минерал часто путали с другими, в том числе драгоценными, минералами),  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaClF}$ ; меркарбид  $[\text{C}_6\text{Hg}_6\text{O}_2]\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; гидроксид циркония. Есть и амфотерные иониты, которые, в зависимости от кислотности среды и условий образования, обладают катионо- или анионообменными свойствами.

### 4.2. Синтетические ионообменные материалы – ионообменные смолы

#### 4.2.1. Структура

Синтетические иониты на органической основе – высокомолекулярные соединения, молекулы которых содержат ионогенные группы, способные к диссоциации и обмену подвижных ионов на другие ионы, содержащиеся в растворе.

Макромолекула такого ионита состоит из гибких полимерных углеводородных цепей, скрепленных (сшитых) поперечными связями – углеводородными мостиками. Макромолекула представляет собою трехмерную сетку, в отдельных узлах которой зафиксированы заряженные функциональные группы с нейтрализующими их ионами с зарядами противоположного знака – противоположно заряженными.

Зерно ионита и фрагмент структуры зерна показаны на рис. 2.14.

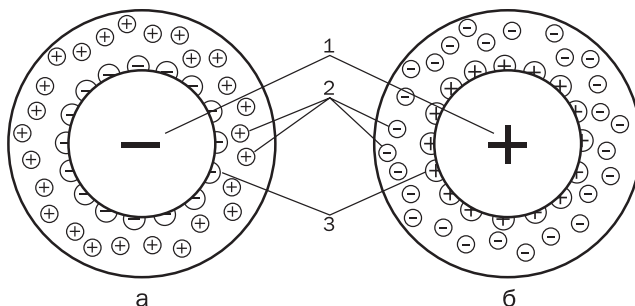


Рис. 2.14. Схема структуры зерен ионита:

а – катионит; б – анионит; 1 – твердый многоатомный каркас ионита; 2 – связанные с каркасом неподвижные ионы активных групп; 3 – ограниченно подвижные ионы активных групп, способные к обмену

На рис. 2.15 изображен фрагмент схемы ионита, где со звеном П линейной цепи полимерной основы или со звеном Q сшивающей эти цепи сшивки (мостик или кросс-агент) связан катион  $\Phi^+$  функциональной группы. Анион  $A^-$  может замещаться любым другим анионом.

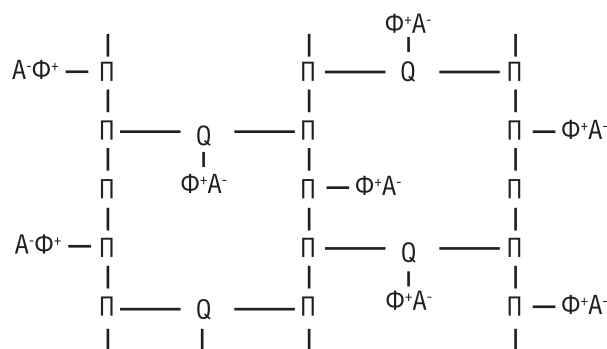


Рис.2.15. Фрагмент схемы ионита

Схема катионита выглядит так же.

Свойства ионитов определяются характером функциональных групп:

в катионитах:  $-\text{SO}_3^{2-}$ ;  $-\text{COO}^-$ ;  $-\text{PO}_3^{2-}$ ;  $\text{AsO}_3^{2-}$ ;

в анионитах:  $-\text{NH}_3^-$ ;  $=\text{NH}_2^+$ ; (4 связи)  $\text{N}^+$ ; (4 связи)  $\text{P}^+$ ;  $\equiv \text{S}^+$ .

Здесь не рассматриваются иониты, в чью матрицу включены функциональные группы, обладающие комплексообразующими (комплекситы) или окислительно-восстановительными (редокситы) свойствами.

#### 4.2.2. Полимерная основа ионитов

Ионообменные смолы синтезируют в виде мелких зерен (гранул) разных размеров и форм на основе реакций полимеризации или поликонденсации. Гранулы, полученные полимеризацией, имеют форму почти идеальных шариков. Гранулы поликонденсационных смол – неправильной формы. Размеры гранул – от десятка микрометров до 1–2 мм.

Сферическая форма предпочтительнее, так как в этом случае обеспечивается наименьшее сопротивление слоя ионита потоку обрабатываемой в фильтре жидкости, уменьшаются потери ионита и облегчается возможность осуществления проточных процессов в фильтре.

#### 4.2.3. Иониты гелевые и макропористые

По структуре полимерного каркаса иониты делятся на две группы: гелевые (непористые) и макропористые.

Гелевые иониты проявляют ионообменные свойства только в набухшем состоянии, в этих условиях их объем увеличивается в 1,5–3 раза. При малой набухаемости, зависящей от количества со-

держатых мостиков («сшивок»), иониты не проявляют ионообменные свойства по отношению к ионам больших размеров.

При особых условиях синтеза гелевых ионитов получают изопористые иониты (равномерное распределение мостиков по всей массе ионита) или иониты с повышенной проницаемостью (сильно набухающие).

При набухании гелевого ионита его гранула как бы раскрывает скрытые в сухом ионите поры. Но применительно к гелевому иониту о порах можно говорить лишь условно, поскольку его трехмерная молекулярная сетка с нитями толщиной в одну молекулу не имеет пор со сплошными стенками, как у каналов. Структура гелевого ионита в двумерном и немасштабном изображении показана на рис. 2.16, а, б.

Сетка обычного гелевого ионита неоднородна, причем у поликонденсационных ионитов – значительно. Неоднородность сетки – недостаток, выявляющийся при сорбции больших, особенно высокомолекулярных органических, ионов и соединений. Они «запутываются» в более мелких ячейках («порах») сетки и загораживают проходы в более крупные ячейки, препятствуя сорбции других, даже более мелких, ионов и молекул. Десорбция крупных ионов из ионита затруднена. Это как раз тот случай, когда говорят об «отравлении» ионита, особенно анионита, органическими примесями воды («органикой»).

Удельная площадь поверхности пор у гелевых ионитов – не более  $5 \text{ м}^2$  в 1 г ионита, а размер ячеек (условно – пор) – 0,5–2,0 нм.

В последние годы больше производят макропористые иониты, мало набухающие, но, вследствие изначально развитой поверхности пор, очень активные в сорбционных и обменных реакциях. Удельная площадь поверхности пор макропористых ионитов –  $20\text{--}130 \text{ м}^2$  в 1 г ионита. Средний диаметр – пор  $20\text{--}100 \text{ нм}$ . Макропористые иониты отличаются также повышенной жесткостью и прочностью. Их структура представлена на рис. 2.16, в.

Ионообмен в макропористых ионитах проходит быстрее, чем в гелевых. Путь в порах, который должен пройти ион до встречи с активной группой матрицы, примерно равен: в макропористых ионитах – до 100 мкм, в гелевых – до 500.

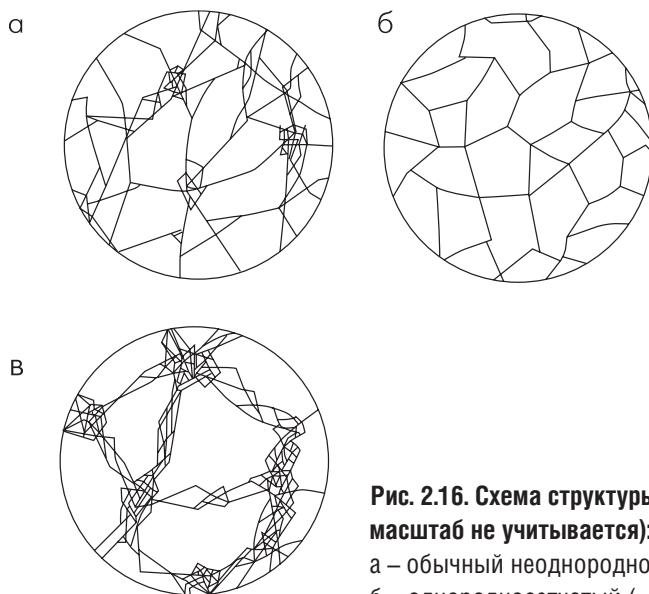


Рис. 2.16. Схема структуры сеток у различных видов полимерных ионитов (реальный масштаб не учитывается):

а – обычный неоднородносетчатый («гетеропористый») ионит;

б – однородносетчатый («изопористый») ионит;

в – явнопористый («макропористый») ионит



Поры гелевых ионитов – естественного происхождения, у макропористых – образованы введенными при синтезе ионитов спиртами, гептаном, жирными кислотами, которые затем удаляются.

Для водоподготовки матрицу ионита чаще всего получают сополимеризацией полистирола или полиакрилата с дивинилбензолом (ДВБ), играющим роль сшивающего агента (4–16% массы ионита). В частности, так получается описанный ранее «Сополимер-8» (ч. 2, п. 1.6.5). В полученный сополимер вводят функциональные группы с подвижным катионом, способным вступать в обменные реакции.

Для получения катионитов, используемых в водоподготовке, применяются полиакриловые иониты с карбоксильными группами COOH (слабокислотные катиониты) и полистирольные иониты с сульфогруппами SO<sub>3</sub>H (сильнокислотные катиониты).

При получении анионитов функциональными служат группы, обладающие основными свойствами: аминогруппа – NH<sub>2</sub>, иминогруппа = NH, ≡ N. Аниониты с такими группами называются слабоосновными.

Если заместить в молекуле NH<sub>4</sub>OH ионы водорода органическими четвертичными алкиламмониевыми радикалами, то основность соединения (ионита) резко увеличивается – получается сильноосновный анионит.

Таким образом, основность анионитов изменяется в зависимости от концентрации аминов.

В полистирольных ионитах при введении одной аминогруппы получается редко используемый очень слабоосновный анионит. При введении вторичных и третичных аминов основность несколько больше. Если введены только третичные амины, основность еще больше. Такие аниониты называют среднеосновными (промежуточно-основными).

Сильноосновные аниониты подразделяются в зависимости от типа активных групп:

*тип I – бензилтриметиламмоний, тип II – бензилдиметилэтанолламмоний.*

Иониты типа I более сильноосновные и эффективнее (особенно при повышенных до 50 °С температурах) для удаления анионов слабых кислот (в том числе кремниевой), чем иониты типа II. Обменная емкость ионитов типа II на 20% больше, чем у типа I, они меньше загрязняются «органикой».

На основе полиакриловых ионитов также можно получать слабоосновный анионит (присоединение вторичных и третичных аминов) и сильноосновный анионит (присоединение к слабоосновному аниониту хлор-метана или диметил-сульфата).

Полиакриловые иониты сочетают некоторые преимущества полистирольных ионитов типов I и II: высокая обменная емкость, возможность сорбиро-

вать кремниевые соединения, хорошая отмывка от органических веществ; достаточная механическая прочность; приемлемая эффективность регенерации, но несколько меньшая – до 35 °С – допустимая температура потоков воды и раствора регенеранта.

Сравнение разных видов и типов ионитов покажет:

- макропористые иониты прочнее гелевых;
  - гелевые аниониты менее прочны, чем гелевые катиониты;
  - полистирольные иониты слабее акриловых;
  - увеличение количества сшивающих агентов (ДВБ у гелевых > 8%, у макропористых > 15%) ионитов, имеющих трещины, вызывает раскалывание гранулы на мелкие осколки.
- Рабочий диапазон pH воды для ионитов:*
- слабокислые катиониты > 5;
  - сильнокислые катиониты 0–14 (1–14);
  - слабоосновные аниониты < 8–9;
  - сильноосновные аниониты 0–14 (1–14).

## 4.3. Свойства ионитов

### 4.3.1. Гранулометрический состав

Процесс ионного обмена приблизительно можно представить в виде составляющих:

- перенос ионов раствора к поверхности гранулы ионита;
- диффузия ионов внутри гранулы;
- протекание реакции ионного обмена;
- диффузия вытесняемого из гранулы противоиона изнутри к поверхности гранулы;
- перенос противоиона от поверхности гранулы ионита в объем раствора.

Общая скорость всего ионообменного процесса определяется наиболее медленной из последовательных стадий, обычно – диффузией ионов внутри зерна.

Существует оптимальное соотношение среднего размера гранул и толщины слоя для различного применения. Уменьшение размера зерна-гранулы ионита (в пределе – до порошкообразного состояния, размер частиц – 0,04–0,07 мм) приводит к увеличению гидравлического сопротивления до неприемлемых значений. Например, намывные фильтры формируются из порошкообразного ионита; толщина слоя должна быть ограничена 3–10 мм.

При большой площади поперечного сечения фильтрующего слоя не удастся обеспечить равномерное распределение потока по всей его площади, и часть ионита используется недоста-

точно. Уменьшение площади фильтрования вынуждает – для сохранения необходимого объема ионита – увеличивать толщину фильтрующего слоя – с неизбежным ростом гидравлического сопротивления фильтра.

Таким образом, существует технологически и экономически оптимальный гранулометрический состав ионитов:

0,3–1,3 мм – гранулы полимеризационных ионитов со средним размером 0,5–0,6 мм,

0,4–2,0 мм – гранулы поликонденсационных ионитов со средним размером 0,7–0,8 мм.

Большое значение имеет высокая однородность гранул, особенно в технологии ионирования с противоположными по направлению потоками обрабатываемой воды и регенерирующего раствора (см. ч. 1, п. 4.9.4).

В настоящее время часть ионитов производится моносферными, то есть основная (не менее 90%) масса гранул имеет отклонения от диаметра не более  $\pm 0,05$  мм.

Гранулометрический состав ионитов, подобно другим зернистым фильтрующим материалам, характеризуется следующими параметрами.

Эффективный диаметр зерен  $d_{эфф} = d_{10}$ , мм – равен калибру сита, через которое проходит 10% ионита при его исследовании.

Эквивалентный диаметр зерен  $d_{эКВ}$  (мм) определяют по формуле

$$d_{эКВ} = 100 / \sum P_i / d_i, \quad (2.5)$$

где  $P_i$  – количество зерен определенной фракции, оставшихся на сите калибром  $d_i$ , % общего количества;  $d_i$  – калибр сита, то есть размер отверстия в сите, мм.

Средний размер зерен  $d_{ср}$  (мм) – это размер зерен более крупных, чем 50% всех зерен ионита.

Коэффициент неоднородности

$$K_H = d_{80} / d_{10}, \quad (2.6)$$

где  $d_{80}$ ,  $d_{10}$  – диаметр зерен, мм, соответствующий калибру сита, через которое просеивается, соответственно, 80 и 10% ионита.

Упомянутые показатели, используемые для характеристики гранулометрического состава ионитов, связаны формулой

$$d_{ср} \approx 0,9 \cdot K_H \cdot d_{10}. \quad (2.7)$$

Здесь под зерном понимается и гранула гранульного ионита, и зерно дробленого ионита.

При гранулометрическом анализе зернистых ионитов производят рассев 200 г ионита на наборе

предварительно калиброванных сит с отверстиями, размеры которых могут отличаться у разных производителей ионитов. Набор, применяющийся чаще всего:

0,25; 0,5; 0,6; 0,75; 1,0; 1,25; 1,50; 1,75; 2,0 мм.

Гранулометрический состав моносферных ионитов определяется не традиционным рассевом, описанным выше, а по специальной технологии, позволяющей сразу получить гранулы необходимого размера (не менее 90–92% общего количества).

### 4.3.2. Насыпная масса и насыпной объем

Насыпная масса ионита характеризуется: катиониты – 0,5–0,9 т/м<sup>3</sup>, аниониты – 0,3–0,8 т/м<sup>3</sup>. Насыпной объем – величина, обратная насыпной массе, м<sup>3</sup>/т. Различают значения насыпной массы в сухом (воздушно-сухом) и влажном состояниях.

Полное высушивание ионита разрушает его химическую структуру, поэтому характеристики ионита определяют для ионита в воздушно-сухом состоянии – при высушивании на воздухе, когда в зернах остается 5–10% (массовых) воды.

Насыпная масса во влажном состоянии – это масса воздушно-сухого ионита в единице объема влажного (набухшего) ионита.

Знание значения насыпной массы ионита в воздушно-сухом состоянии необходимо для определения размеров склада хранения ионитов. Значение насыпной массы набухшего ионита определяет размеры и количество ионитных фильтров. Влажность (в процентах массы ионита) имеет значение при расчетах за приобретаемый ионит, так как цена ионита устанавливается с учетом определенной нормируемой влажности.

### 4.3.3. Механическая прочность

Механическая прочность зерен ионитов характеризуется двумя понятиями: прочность на истирание и прочность на раздавливание.

Невозможно избежать соударения и «потирания» зерен между собой и о стенки фильтров во время рабочего и регенерационного процессов. Мерой прочности ионита на истирание служат данные об изменении фракционного состава ионитной загрузки после эксплуатации в конкретных условиях, в частности сведения о количестве материала, прошедшего через сито с калибром (размером отверстий) 0,25 мм. Для гранулированных ионитов (гранулятов) считается хорошим показателем: истираемость – 2–3% (лучшие сорта ионитов – 0,5%).

Прочность на раздавливание в рабочих условиях фильтрования проявляется при наложении дав-

ления на зёрна от потока воды. Этот показатель имеет лишь умозрительное значение, так как в реальных условиях фильтрования давление воды не превышает 0,6 МПа (пробное давление – 0,9 МПа). Для сравнения: зерно не раздавливается даже при 1,0 МПа (если наступить на зерно – для него не будет никаких последствий).

#### 4.3.4. Осмотическая прочность

Действие осмотических сил проявляется при изменении степени набухания ионитов. При увеличении степени набухания зерен их размер увеличивается, при уменьшении набухания – зерно уменьшается. Попеременное растягивание и сжатие структуры зерна сопровождаются разрывами цепей матрицы в местах наибольших напряжений. Микроскопические разрывы постепенно превращаются в трещины, а затем – приводят к растрескиванию зерен, образованию осколков. Проверяют иониты на осмотическую прочность, подвергая зёрна (ГРАНУЛЫ) 150 циклам обработки растворами кислоты и щелочи с промежуточной отмывкой дистиллированной водой.

Иониты гелевой структуры по осмотической прочности хуже макропористых ионитов, осмотическая прочность которых увеличивается с ростом количества «сшивок» (уменьшается набухаемость).

Полностью предотвратить воздействие осмотических сил на зерно ионита нельзя. Но нужно избегать условий, когда зерно особенно испытывает действие осмотических сил. Так, не следует допускать высыхания ионитов, поставляющихся изготовителями во влажном (набухшем) состоянии. Воздушно-сухие иониты, во избежание быстрого набухания (осмотический удар), нужно сначала замачивать не в воде, а в концентрированном (20–25%) растворе хлорида натрия, при этом концентрация соли будет соизмерима с концентрацией функциональных групп ионита.

#### 4.3.5. Химическая стойкость

Химическая стойкость ионитов оценивается по их растворимости в воде и водных растворах реагентов. В кислотных и щелочных регенерационных растворах органические иониты обладают удовлетворительной стойкостью.

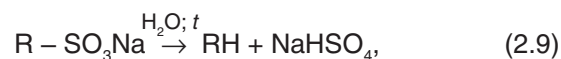
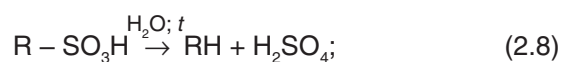
Окислители – кислород, хлор, озон, перекись водорода – разрушительно действуют на иониты, причем железо и другие тяжелые металлы служат в этих окислительных процессах катализаторами. В результате окисления ослабевают связи между группами в матрице, и возникают разрывы сетки полимера ионита. По мере уменьшения степени

сшивки ионит становится мягче и может превратиться в гель. Оптимальная степень сшивки – 8% ДВБ.

Применение для умягчения и деминерализации воды природных неорганических материалов, обладающих малой ионообменной способностью, имеет больше исторический интерес. Именно потому, что они (цеолиты, глауконит) легко разлагаются в регенерационных растворах.

#### 4.3.6. Термическая стойкость

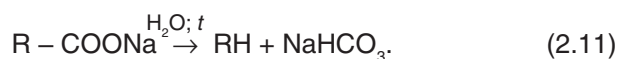
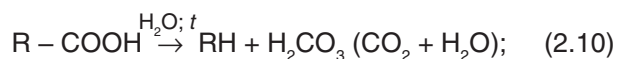
В водных растворах термическому разрушению подвергаются полярные связи функционально активных групп. У сульфокатионитов происходит отщепление сульфогрупп:



где R – условное обозначение не участвующего в ионном обмене каркаса ионита.

Из уравнений (2.8) и (2.9) следует: если катионит в водородной форме, то под действием повышенной температуры воды в среду, окружающую зерно, поступает серная кислота или гидросульфат натрия.

Когда катионит карбоксильный, происходит отщепление карбоксильных групп:



Сильноосновные аниониты также могут термически разлагаться с образованием низко- и высокомолекулярных спиртов и третичных аминов.

Как для катионитов, так и для анионитов отщепление функционально активных групп, выполняющих роль фиксированных в матрице ионов, означает постепенную потерю ионообменных свойств. Так, в процессе деградации анионитов происходит снижение основности ионита: монофункциональный сильноосновный анионит становится полифункциональным среднеосновным, затем – слабоосновным. Поэтому в технических условиях на поставку ионитов всегда указывается верхний предел допустимой температуры.

В фильтрах с намывным порошкообразным ионитом, каждая порция которого используется однократно (не регенерируется, и срок его эксплуатации непродолжительный – тонкий слой ионита), допускаются повышенные температуры.

Катиониты, как правило, более термостойки, чем аниониты, а солевые формы ионитов более стойки, чем их водородные и гидроксильные формы (разность температур начала разложения доходит до 50°C).

Для большинства сульфокатионитов допустимые температуры (в насыпных фильтрах) – 80–90°C, у некоторых до 120°C, для анионитов – 35–50°C; в намывных фильтрах: сульфокатиониты – 120–130°C, аниониты – 100–110°C.

#### 4.3.7. Ионообменные свойства

В технических условиях и паспортах ионитов часто указываются разные показатели ионообменных свойств ионитов, что затрудняет выбор ионитов, их сопоставление.

Обменная емкость ионитов может быть представлена такими показателями: полная, рабочая, статическая (равновесная), динамическая.

*Полная (общая) обменная емкость (ПОЕ)* – общее количество ионообменных групп в единице объема влажного или массы сухого ионита. ПОЕ не зависит от концентрации и природы обмениваемых ионов, постоянна для данного ионита, но изменяется под термическим, химическим и ионизирующим воздействием. Эта величина имеет, скорее, теоретическое значение. ПОЕ «сухих» катионитов около 5,0 ммоль/г.

*Рабочая обменная емкость (РОЕ)* – основная технологическая характеристика ионита, емкость, восстанавливаемая в процессе регенерации. Эту величину можно измерять до проскока сорбируемого иона в фильтрат. Обычно  $РОЕ = РОЕ_{пр}$ .

ПОЕ учитывается для нового («свежего») ионита, РОЕ – для отрегенированного.

Обменная емкость может измеряться в статических и динамических условиях – методы определения указаны в П.4.4.

Определить  $РОЕ_{пр}$  в лабораторных условиях или предварительно расчетом при проектировании можно лишь приблизительно. Точные значения устанавливают в конкретных условиях реального объекта.

Рабочая обменная емкость зависит от:

- природы ионита;
- его гранулометрической характеристики;
- качества исходной воды, причем зависимость определяется не только общим количеством улавливаемых ионов, но и их соотношением друг с другом, наличием в исходной воде железа, марганца, органических примесей;
- значения pH исходной воды, ее температуры и температуры регенерационного раствора;
- природы регенеранта, его чистоты, концентрации, удельного расхода;

требуемых показателей качества получаемой после фильтрования через ионит воды;

высоты слоя ионита;

скорости рабочего, регенерационного и взрыхляющего фильтрования;

удельного расхода отмывочной воды;

площади фильтрования (площади горизонтального сечения фильтра);

применяемых интенсификаторов ионного обмена (если они применяются): магнитная обработка исходной воды и раствора регенеранта, добавление к регенерационному раствору комплексообразователей и др. Поэтому указываемые в технических условиях значения обменной емкости нужно проверять в лаборатории или пробной эксплуатацией.

Изготовители ионитов предусматривают экономически оптимальные расходы регенерантов, имея в виду, что рабочая обменная емкость должна достигать хотя бы 50–60% полной обменной емкости.

Обменная емкость измеряется в молях ионов, обмениваемых в 1 м<sup>3</sup> ионита в его влажном (набухшем) состоянии: моль/м<sup>3</sup> или ммоль/л. Так, например, если обменная емкость ионита равна 800 моль/м<sup>3</sup>, это означает: 1 м<sup>3</sup> такого ионита может извлечь 800 моль ионов. Иногда обменную емкость выражают в молях ионов на 1 кг воздушно-сухого ионита – моль/кг.

#### 4.3.8. Селективность

Одно из важных свойств ионитов – селективность, то есть способность избирательно сорбировать из растворов некоторые ионы или группы ионов. Селективность ионитов определяется типом ионогенных групп, количеством сшивок, размером пор ионита и составом раствора, находящегося в контакте с ионитом. Ее приходится учитывать при выборе ионитов, определении технологических параметров деминерализации воды и т. д.

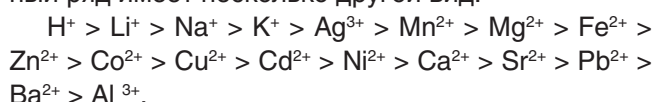
Селективность ионитов, как правило, возрастает с увеличением заряда ионов, а в ряду ионов одинакового заряда – с увеличением радиуса негидратированного иона. Так, ионы Fe<sup>3+</sup> сорбируются сильнее ионов Mg<sup>2+</sup>, а Mg<sup>2+</sup> – сильнее ионов Na<sup>+</sup>. Селективность называют еще «сродством иона к иониту».

Для сульфокатионитов (сильнокислотных катионитов) характерен следующий лиотропный ряд. Сродство к иониту катионов, стоящих в этом ряду, возрастает слева направо, то есть «левые» поглощаются ионитом хуже катионов, стоящих справа (подразумевается, что концентрации ионов равны):

$Li^+ > H^+ > Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Rb^+ > Cs^+ > Ag^+ > Ti^{4+} > Mn^{2+} > Mg^{2+} > Zn^{2+} > Co^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Ni^{2+} > Ca^{2+} > Sr^{2+} > Rb^{2+} > Ba^{2+} > Fe^{2+} > Fe^{3+} > Al^{3+} > Se^{3+} > J^{3+} > Eu^{3+} > Sm^{3+} > Nd^{3+} > Pr^{3+} > Ce^{3+} > La^{3+}$ . (По Ю.А. Кокотову.)



По материалам фирмы «Ром и Хаас» лиотропный ряд имеет несколько другой вид:

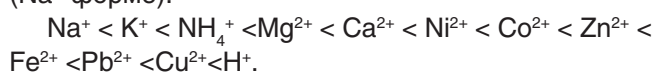


В частности, для водоподготовки это означает, что – при одинаковой концентрации в растворе – иониты лучше поглощают ионы железа, причем  $\text{Fe}^{3+}$  лучше, чем  $\text{Fe}^{2+}$ , несколько хуже  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Mn}^{2+}$  и еще меньше ионы калия и натрия. Кальций поглощается в 2,0–2,25 больше, чем натрий. Отсюда вытекают два следствия для технологии водоподготовки: если ионит предназначен для умягчения или деминерализации воды, то в исходной воде должно быть как можно меньше железа и марганца; при умягчении воды и при регенерации ионита раствором натрий хлорида вынужденно приходится тратить реагента намного больше, чем требуется по стехиометрическому соотношению.

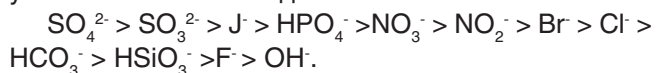
Когда концентрации различных ионов не одинаковы, ионитом – по закону действующих масс – поглощаются ионы, присутствующие в наибольшей концентрации. Поэтому, к примеру, несмотря на меньшее сродство к катиониту иона натрия по сравнению с ионами кальция и магния, удастся регенерировать катионит – вытеснить из него ионы  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , создавая большой избыток ионов натрия – для регенерации используется концентрированный раствор хлорида натрия.

Аналогичные суждения могут быть отнесены и к процессам последних стадий обессоливания воды, когда нужно извлечь ионы натрия (и калия). Необходимо затратить кислоту (ионы  $\text{H}^+$ ) в несколько большем количестве, чем следует по стехиометрии.

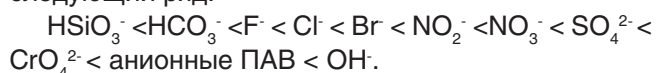
Обратный ряд селективности (при  $\text{pH}=7$ ) для карбоксильных (слабокислотных) катионитов в ( $\text{Na}^+$ -форме):



Селективность сильноосновных анионитов уменьшается в последовательности:



Для слабоосновных анионитов в  $\text{OH}^-$  – форме следующий ряд:



Сильноосновные аниониты проявляют пониженную избирательность к иону гидроксида  $\text{OH}^-$ , то есть другие ионы вытесняются гидроксидом из ионита при создании в воде концентрации иона  $\text{OH}^-$  больше концентрации упомянутых ионов в ионите.

Приведенные выше ряды селективности ионитов характерны для суммарного содержания ионов

в воде не более 1000–1500 мг/л. При больших концентрациях, например при 10%-ной, ряды «обращаются»: сильнокислотный катионит более избирателен к иону натрия, а не кальция и т.п. То же характерно и для анионитов.

### 4.3.9. Плотность

Плотность ионита – показатель, определяющий гидродинамическое поведение ионита в противоточных фильтрах и в двухслойных фильтрах, например, при загрузке фильтров сильно- и слабоосновными анионитами.

Плотность ионитов находится в следующих пределах (в скобках – чаще всего), г/см<sup>3</sup>:

- 1,18–1,38 (1,28) – сильнокислотные катиониты;
- 1,13–1,20 (1,18) – слабокислотные катиониты;
- 1,07–1,12 (1,10) – сильноосновные аниониты;
- 1,02–1,10 (1,05) – слабоосновные аниониты.

### 4.3.10. Показатели качества исходной воды, влияющие на обменную емкость ионитов

#### *Взвешенные примеси*

Иониты вследствие наличия развитой структуры пор – хорошие сорбенты, в том числе и для неполярных веществ, а ионообменные фильтры – из-за хорошей дисперсности ионитной загрузки – задерживают большую часть грубо- и коллоидно-дисперсных частиц: глину, песок, карбонат кальция, гидроксиды железа, алюминия, кремниевые соединения, микроорганизмы, масла, жиры и др. Все эти вещества обволакивают зерна ионитов, заполняют поры и, таким образом, блокируют ионообменные центры ионитов, следствием чего становятся уменьшение производительности фильтров и увеличение потерь давления.

Предельные значения мутности исходной воды, которые допускают технические условия на поставку ионитов, – 2–5 мг/л (по  $\text{SiO}_2$ ), а зарубежные производители требуют – даже – не более 1 мг/л.

#### *Железо и марганец*

Выше было сказано о том, что железо содержится в природной воде практически всегда и в разных формах. Когда на ионит попадают нерастворимые формы железа – гидроксид железа (III)  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  или коллоидные формы, они действуют, как вышеописанные взвешенные примеси.

Если железо содержится в растворенном виде, то, в соответствии с рядом селективности катионитов, железо  $\text{Fe}^{2+}$  при умягчении воды задерживается раньше и лучше ионов кальция и магния и хуже (труднее) вымывается из ионита при его регенерации хлоридом натрия.



Когда железо присутствует в исходной воде в виде гуматов (солей гуминовых кислот), трудности возникают в работе анионитных фильтров, где эти соединения поглощаются и плохо вымываются при регенерации.

Железо попадает в воду не только в природных условиях, но и в результате коррозии аппаратов и трубопроводов водоподготовки. И в этих случаях железо может находиться в ионной, коллоидной и грубодисперсной формах.

Аналогичные сведения могут быть представлены и в отношении марганца.

Во избежание ухудшения технологических свойств ионитов фирмы-производители ионитов нормируют содержание железа и марганца в воде перед ионитами.

По российским нормам содержание железа в исходной воде перед натрий-катионитными фильтрами не должно быть больше 0,3 мг/л, а перед водород-катионитными фильтрами – не более 0,5 мг/л. Зарубежные фирмы устанавливают еще более строгие нормы: перед натрий-катионитными фильтрами – 0,1 мг/л, перед водород-катионитными – не более 0,3 мг/л, а в станциях очистки парового конденсата, где ионообменные фильтры часто служат и осветлительными фильтрами, содержание железа между двумя регенерациями или промывками допускается не более 0,5 мг на 1 л влажного ионита.

Рекомендуемое содержание марганца в исходной воде – не более 0,1 мг/л.

#### Алюминий

Опасность алюминия для ионитов имеет смысл учитывать, когда в качестве предварительной очистки воды предусматривается коагулирование солями алюминия. Тогда тоже – при нарушениях технологического режима коагулирования – возможно попадание растворимых и нерастворимых соединений алюминия на иониты.

Поэтому для алюминия ограничивается его содержание в воде перед ионитными фильтрами – не более 0,1 мг/л.

#### Хлор, кислород, озон

Как указывалось выше, сильные окислители, содержащиеся в воде, разрушают органическую матрицу (каркас) ионита, что особенно заметно в отношении гелевых сильнокислотных катионитов. При этом железо еще более усиливает (катализирует) разрушительное действие окислителей.

Макропористые и слабокислотные катиониты несколько меньше подвержены действию этих окислителей.

Из анионитов наименее стойкие в воде с содержанием хлора и других окислителей сильноосновные аниониты, немного более стойкие – слабоосновные аниониты.

**Таблица 2.17**

Содержание хлора ( $Cl_2$ ) в воде перед ионообменными фильтрами, мг/л, не более

Иониты	Умягчение воды			Деминерализация воды
	Температура воды, °C			
	< 15	15-25	> 25	
Гелевые сильнокислотные катиониты	0,3	0,2	0,1	0,1
Макропористые сильнокислотные катиониты	0,5	0,4	0,3	0,3
Аниониты	–	–	–	0,05

#### Органические вещества

Органические вещества исходной воды адсорбируются анионитами, снижая тем самым обменную емкость анионита по ионам солей.

Предсказать степень «отравления» анионитов органическими веществами невозможно: нужны испытания ионита на воде конкретного состава. В природной воде обнаружено не менее пяти видов гумусов. Значительно многочисленнее виды техногенных и антропогенных органических веществ.

Таким образом, по отношению анионитов к органическим веществам аниониты можно констатировать:

- макропористые слабоосновные аниониты хорошо сорбируют органические природные вещества и хорошо десорбируются щелочью;
- сильноосновные аниониты (тип I) и аниониты смешанной основности (тип II) также задерживают «органику» (тип I загрязняется больше типа II), но десорбция гуминовых кислот щелочью проходит не полностью – необходимо совместное действие щелочи и хлорида натрия;
- макропористые аниониты лучше гелевых с той же активной группой;
- полиакриловые аниониты могут больше поглощать «органику» сравнительно с полистирольными анионитами.

При фильтровании воды с органическими веществами аниониты постепенно загрязняются: хотя вытеснение органических примесей из анионита регенерационными растворами происходит с такой же скоростью, как и насыщение анионита «органикой», но времени регенерации недостаточно для полного очищения.

Потенциальная загрязняемость анионитов органическими веществами оценивается показателем загрязнения  $N$ , который определяется делением количества органических веществ (значение перманганатной окисляемости воды, мг  $\text{KMnO}_4/\text{л}$ ) на количество всех анионов воды (в пересчете на  $\text{CaCO}_3$ ), ммоль/л.

При прочих равных условиях увеличение минерализации воды приводит к возможности роста допустимой органической нагрузки анионита. Показатель  $N$  фирмы-производителя для многих анионитов указывают.

Допустимая органическая нагрузка анионита в течение одного цикла фильтрования – это количество органических примесей в воде перед анионитным фильтром, но необязательно полностью задержанных фильтром. Единица измерения: значение перманганатной окисляемости в кг  $\text{KMnO}_4$  на  $1 \text{ м}^3$  влажного (набухшего) анионита. Органическая нагрузка разных анионитов колеблется от 2 до 25 кг  $\text{KMnO}_4/\text{м}^3$ .

Компания *Bayer AG* («Байер АГ») приводит значения допустимой органической нагрузки (перманганатной окисляемости в кг  $\text{KMnO}_4$  на  $1 \text{ м}^3$  анионита) для некоторых марок типа Lewatit (Леватит), не более:

сильноосновный гелевый полистирольный М610, М511\* – 2 (3\*);

сильноосновный макропористый полистирольный МР600 – 2;

сильноосновный макропористый полистирольный МР500\* – 5 (6\*);

слабоосновный макропористый полистирольный МР64 – 10;

слабо-сильноосновный макропористый/гелевый полистирольный (двухслойный) МР64/М610 – 3;

слабо-сильноосновный макро-макропористый полистирольный (двухслойный) МР64/МР600 – 3;

слабо-сильноосновный макропористый/гелевый полистирольный (двухслойный) МР64/М511\* – 4 (5\*);

слабо-сильноосновный макро-макропористый полистирольный МР64/МР500\* – 8 (10\*).

\* Повышенные значения – при периодическом проведении регенерации анионита раствором щелочи и хлорида натрия.

Компания *Rohm and Haas* («Ром и Хаас») рекомендует следующие допустимые значения (кг  $\text{KMnO}_4/\text{м}^3$ ) для марок анионита, не более:

сильноосновный гелевый полистирольный типа 1 Амберджет 4200 СI – 2;

сильноосновный гелевый полистирольный типа 1 Амберджет 4400 СI – 1;

сильноосновный гелевый полистирольный типа 2 Амберджет 4600 СI – 3;

сильноосновный гелевый полистирольный типа 1 Амберлайт IRA 402 СI – 2;

сильноосновный гелевый полистирольный типа 1 Амберлайт IRA 405 СI – 5;

сильноосновный гелевый полистирольный типа 2 Амберлайт IRA 410 СI – 3;

сильноосновный гелевый полиакриловый Амберлайт IRA 458 СI – 8;

сильноосновный макропористый полистирольный типа 1 Амберлайт IRA 900 СI (органопоглотитель – скавенджер) – 4 (нагрузка не более 3 кг  $\text{KMnO}_4/\text{м}^3$  за цикл);

сильноосновный макропористый полиакриловый Амберлайт IRA 958 СI (органопоглотитель – скавенджер) – 25;

слабоосновный гелевый полиакриловый Амберлайт IRA 67 (органопоглотитель – скавенджер) – 25;

слабоосновный гелевый полиакриловый Амберлайт IRA 70 RF (органопоглотитель – скавенджер) – 20;

слабоосновный макропористый полистирольный Амберлайт IRA 96 – 12;

сильно-слабоосновный гелевый полиакриловый Амберлайт IRA 478 RF СI – 10.

Компания *Purolite* («Пьюролайт») предлагает выбирать аниониты типа Purolite в условиях оптимального содержания в исходной воде органических веществ по формуле

$$N = \text{ООУ} \cdot K_1 / \sum A_n = \text{ПО}_0 \cdot K_2 / \sum A_n, \quad (2.12)$$

где  $N$  – фактор безразмерный, принимается по табл. 2.18;

$\sum A_n$  – сумма неорганических анионов, мг  $\text{CaCO}_3/\text{л}$ , соотношение между массовыми значениями содержания в воде разных (наиболее характерных) веществ – в табл. 2.19;

ООУ – значение общего органического углерода, мг/л;

$\text{ПО}_0$  – значение перманганатной окисляемости, мг/л;  $\text{ООУ} = (0,33 - 0,40) \text{ ПО}_0$ ;

$K_1 = 900$  (безразмерный);

$K_2 = (0,33 - 0,40) \cdot K_1 = (0,33 - 0,40) \cdot 900 \approx (300 - 360)$ .

Таблица 2.18

Тип, марка анионита	Значение <i>N</i>
Сильноосновный гелевый полистирольный типа I A 400	< 1
Сильноосновный гелевый полистирольный типа II A 200	< 1
Сильноосновный макропористый полистирольный типа I A 500	1–2
Сильноосновный макропористый полистирольный типа II A 510	2–3
Сильноосновный гелевый полиакриловый типа I A 850	3–4
Слабо-сильноосновный гелевый полиакриловый A 870	3–4
Слабоосновный макропористый полистирольный A 100	4–6
Слабоосновный гелевый полиакриловый A 845	6–8
Сильноосновный макропористый полистирольный типа 1 A 500 P (органопоглотитель – скавенджер)	> 8
Сильноосновный макропористый полиакриловый A 860 (органопоглотитель – скавенджер)	> 8

Таблица 2.19

Анион	Ионная масса, мг/л	Эквивалентная масса, мг/экв	Эквивалент аниона в переводе в массовые единицы CaCO <sub>3</sub> , мг/л
1	2	3	4
Бикарбонат, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	61,0	61,0	0,82
Карбонат, CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	60,0	30,0	1,67
Сульфат, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	96,1	48,0	1,04
Хлорид, Cl <sup>-</sup>	35,5	35,5	1,41
Сульфит, SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	80,1	40,0	1,25
Сульфид, S <sup>2-</sup>	32,1	16,0	3,13
Йодид, J <sup>-</sup>	126,9	126,9	0,39
Гидроксид, OH <sup>-</sup>	17,0	17,0	2,94
Фторид, F <sup>-</sup>	19,0	19,0	2,63
Нитрат, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	62,0	62,0	0,81
Фосфат, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	95,0	31,7	1,58
Фосфат, HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	96,0	48,0	1,04
Фосфат, H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	97,0	97,0	0,52

*Примечание к табл. 2.19*

Чтобы эквивалентно перевести данные химического анализа содержания в воде анионов, выраженные в мг/л, в значения  $\text{CaCO}_3$ , мг/л, нужно аналитические значения умножить на коэффициенты из 4-й колонки.

В последние годы разные фирмы стали активно внедрять аниониты-органопоглотители, так называемые скавенджеры.

Эффективность таких ионитов по задержанию органики – 50–90% (данные разных исследователей в зависимости от качества исходной воды).

Регенерацию органопоглотителей проводят водным раствором с содержанием (по массе) 10% хлорида натрия и 2% едкого натра. Часто пытаются регенерировать ионит хлоридом натрия без щелочи, но эффективность регенерации, то есть восстановление обменной емкости ионита по «органике», значительно уменьшается, что можно объяснить следующими особенностями органических примесей.

Основное количество природных органических веществ присутствует в воде в виде ассоциатов с молекулярной массой – в зависимости от минерализации и состава солей – 2500–7500, причем часть – коллоиды – соединения гумусов с железом и алюминием. Макропористый анионит хорошо сорбирует ассоциаты и коллоиды, но для удаления из пор требуется их растворить, в данном случае – в щелочи. После растворения эти вещества переходят в ионодисперсное состояние, и вследствие большой концентрации хлоридов в регенерационном растворе ионам «органики» не удается присоединиться к ионогенным группам ионита: хлорид-ионы как бы отталкивают ионы «органики».

В регенерационном растворе щелочь выполняет еще одну функцию – нейтрализацию кислотных групп гумусов, например гуминовых кислот. Анионы этих кислот можно отнести к сильным (примерно соответственно 0,05–0,10 Н НСl). Поэтому задержанные анионитом в ионном виде и нейтрализованные щелочью, они позволяют лучше осуществлять регенерацию хлоридом натрия.

По российским нормам перманганатная окисляемость исходной воды не должна быть больше 5–7 мгО/л в зависимости от применяемой технологии.

Температура регенерационного раствора не должна быть меньше 35°C. Для улучшения эффективности регенерации желательно повышение до температуры 50–60°C.

**Бактерии**

Иониты – хорошая среда для развития бактерий, водорослей, грибов. Большая их часть при регенерациях и промывках погибает и (или) вымывается из слоя ионита. Однако при нерегулярной

эксплуатации фильтров и длительных перерывах в работе начинается бурный рост микроорганизмов, особенно на анионитах, чьи аминные группы благоприятствуют жизнедеятельности бактерий.

Самая эффективная форма очистки – обработка исходной воды хлором, озоном, другими сильными окислителями, ультрафиолетовыми лучами. В случае планового длительного простоя фильтра желательна консервация раствором формалина или концентрированным раствором хлорида натрия.

Перед включением в работу (независимо от консервационных – проведенных или непроведенных – мероприятий) следует слить в канализацию двукратное (по отношению к объему ионита) количество воды, если фильтр катионитный. И пятикратное – если фильтр анионитный или содержит смесь катионита и анионита.

Основные производители ионитов представлены в Приложении 7.

**4.4. Номенклатура ионитов**

Общепринятая система обозначения марок ионитов отсутствует.

Обозначения ионитов зарубежных фирм не отражают специфику марок, большая часть обозначений – торговая марка.

Российские марки ионитов имеют обозначения, частично сообщающие химический состав ионитов.

КУ-2-8 – катионит универсальный (сульфокаатионит сильнокислотный); 2 – порядковый номер разработанной марки; 8 – число процентов сшивающего агента – дивинилбензола. Если после цифр стоят буквы Г или П, это обозначает гранульную или пористую модификацию.

Иногда для маркировки используется сырьевая основа ионита. ЭДЭ – ионит на основе этиленполиамин и эпилхлоргидрина.

АВ-17-8 – анионит высокоосновный, 17-я разработка, 8 – число процентов ДВБ.

Если после цифры ДВБ стоят буквы Ч, ПЧ, ХЧ, это обозначает особую чистоту ионита (разрешено для обработки питьевой воды и в пищевой промышленности): Ч – чистый, ПЧ – пищевой чистоты, ХЧ – химической чистоты.

КБ – ионит буферный (слабокислотный карбоксильный).

В мире около 15 фирм производят примерно сто марок ионитов, большую часть которых можно применять для водоподготовки. Количество марок ионитов, принципиально отличающихся друг от друга, не так уж и велико. Сопоставление некоторых марок ионитов разных производителей представлено в табл. 2.20–2.24.

**Таблица 2.20**

Характеристики катионитов

Тип катионита		Полная обменная емкость (Н+), ммоль/мл	Кэффициент неоднородности	Максим. рабочая температура, °С	Наиболее распространенные марки катионитов, выпускаемые мировыми производителями					
					СНГ	Dow Chemical	Purolite	Rohm & Haas	Bayer	
Сильнокислотные										
Полистирольные	Макропористые	Гелевые	1,8	1,4–1,7	120	KV-2-8	Dowex HCR-S	Purolite C 100	Амберлайт ГОЛ 20	Lewatit S100
		Макропористые	1,6	1,4–1,8	150	KV-23	Dowex MSC-1	Purolite C-150	Амберлайт 252	Lewatit S112
	Полидисперсные	Гелевые	1,8–2,0	1,1–1,2	120–130	Не выпуск.	Dowex Marathon C Monosphere	Не выпуск.	Амберджет 1200	Lewatit S100 Mono Plus
		Макропористые	1,6	1,1	150	Не выпуск.	Dowex Marathon MSC	Не выпуск.	Не выпуск.	Не выпуск.
Слабокислотные										
Полидисперсные	Полиакриловые	Гелевые	2,5–4,2	1,4–2,5	120–130	КБ-2	Не выпуск.	Purolite C-105	Амберлайт IRC86	Не выпуск.
		Пористые	3,8–4,5	1,4–1,8	120	Не выпуск.	Dowex MAC-3	Purolite C-104	Не выпуск.	Lewatit CNP 80
	Полиметакриловые	Гелевые	3,5	2,3	150	КБ-4	Не выпуск.	Не выпуск.	Не выпуск.	Не выпуск.
		Пористые	3,5	1,8	120	Не выпуск.	Не выпуск.	Purolite C-115E	Не выпуск.	Не выпуск.

*Примечание к табл. 2.20*

К классу «монодисперсные» отнесены только иониты, синтезированные по специальной технологии, а не полученные рассевом. Они называются также моносферными. Полидисперсные иониты – то же, что и гетеросферные.



Таблица 2.21

Характеристики сильноосновных анионитов

Тип анионита		Полная обменная емкость (Н+), ммоль/мл	Козф-фициент неоднородности	Удельный расход воды на промывку, об/об	Максим. рабочая температура, °С он/а	Максим. нагрузка по органике г KMnO <sub>4</sub> /л	Полистирольные I типа типатипа типа типа					
							СНГ	Dow Chemical	Purolite	Rohm & Haas	Bayer	
Полидисперсные	Полистирольные I типа	Гелевые	1,1–1,3	1,2–1,8	4–6	60–70/100	3	AB-17x8 AM	Dowex SBR-P	Purolite A 400	Амберлайт IRA 402	Lewatit M 504
		Макропористые	0,8–1,15	1,4–1,8	5–7	60–70/100	5	AB-17П AM-п	Dowex MSA-1	Purolite A 500	Амберлайт IRA 900	Lewatit MP 500
	Полистирольные II типа	Гелевые	1,3–1,4	1,2–1,7	3–6	35-40/70	1	Не выпуск.	Dowex SAR	Purolite A 300.	Амбелайтт IRA 410	Lewatit M 610
		Макропористые	0,9–1,2	1,4–1,8	3–5	35–45/70	7	AB-29-12П	Dowex MSA-2	Purolite A 510	Амбелайтт IRA 910	Lewatit MP 600
Монодисперсные	Полидисперсные I типа	Гелевые	1,3	1,1–1,2	2–5	60-70/100	3	Не выпуск.	Dowex Marathon A Mono-sphere	Не выпуск.	Амберджет 4200	Lewatit M 500 Mono Plus
		Пористые	1,1	1,1	5–7	60/100	5	Не выпуск.	Dowex Marathon MSA	Не выпуск.	Не выпуск.	Lewatit VPOC 1955
	Полистирольные II типа	Гелевые	1,2—1,25	1,1	3–6	35–40/70	5	Не выпуск.	Dowex Marathon A 2	Не выпуск.	Амберджет 4600	Lewatit VPOC 1900
Полиакриловые	Гелевые	1,25	1,4–1,8	5–10	35-40/70	8	Не выпуск.	Не выпуск.	Purolite A 850	Амберлайтт IRA 458	Не выпуск.	
	Пористые	0,8-1,3	1,4–1,9	5–10	35–40/70	8	Не выпуск.	Не выпуск.	Purolite A 850	Не выпуск.	Lewatit AP 246	

**Таблица 2.22**

Характеристики слабоосновных анионитов

Тип анионита		Полная обменная емкость (Н+), ммоль/мл	Козф-фициент неоднородности	Удельный расход воды на промывку, об/об	Максим. рабочая температура, °С он/а	Максим. нагрузка по органике г КМnO <sub>4</sub> /л	Полистирольные I типа типатипа типа типа				
							СНГ	Dow Chemical	Purolite	Rohm & Haas	Bayer
Полистирольные	Полидисперсные пористые	1,0–1,7	1,4–1,8	3–5	60/100	20	АН-221 АН-511	Dowex MWA-1	Purolite A 100 <sub>5</sub>	Амберлайт ША 96	Lewatit MP 62
	Монодисперсные пористые	1,3–1,7	1,1	2–4	60/100	25	Не выпуск.	Marathon WBA, WBA-2	Не выпуск.	Не выпуск.	Lewatit VPOC 1094
Полиакриловые	Гелевые	1,6–2,7	1,4–1,8	8–16	35–40/75	25	Не выпуск.	Не выпуск.	Purolite A 830	Амберлайт IRA 67	Не выпуск.
	Пористые	1,0–1,3	1,4–1,9	10–16	30–35/75	25	Не выпуск.	Не выпуск.	Purolite A 835	Не выпуск.	Lewatit AP 49
Полиэтилен-полиаминные гелевые		2,6	–	–	100	–	АН-31	Не выпуск.	Не выпуск.	Не выпуск.	Не выпуск.

**Таблица 2.23**

Таблица аналогов ионитов «Пьюролайт» и НИИПМ

Группы ионитов	«Пьюролайт»	НИИПМ*
Сильнокислотные катиониты	С 100, С100Е, С 1200Е	КУ-2-8, КУ-2-8чС
	С 100х10	КУ-2-8 ФСД
	С 150, С 160	КУ-23 10/100 и 15/100
	По заказу	КУ-2-4
	По заказу	КУ-2-20
Сильноосновные аниониты	А 400, А 600	АВ-17-8, АВ-17-8чС
	А 200, А 300	АВ-29-12П
	А 500, А 500Р, А 505, А 510, А 850, А 860, А 870	АВ-17-10П/0,8
	А 500Р	АВ-17-2П
	А 860	АВ-17-2П
Слабокислотные катиониты	С 104, С 106, С 107Е	КБ-4, КБ-4П-2
	С 106	КБ-2, КБ-2Н-2,5
	С 115Е	КБ-2, КБ-2Н-2,5
Слабоосновные аниониты	А 100, А 103S, А 835, А 845, А 847	АН-18-10П, АН-511, АН-31
	А 830W	АН-31, ЭДЭ-10П
Иониты ядерного класса	NRW 100, NRW 150	КУ-2-8чС, КУ-2-АЭС
	NRW 400, NRW 505, NRW 600	АВ-17-8ЯК, АВ-17-АЭС
Иониты специального назначения	С 100Е Ag	КЕ-23С
	А 501Р, А 860S, А 420S	АВ-17-2П
	По заказу	АВ-17 Тч

\* НИИПМ – научно-исследовательский институт пластмасс.

Таблица 2.24

Ближайшие аналоги основных ионитов

Duolite	Amberlite	Imac	Lewatit	Dowex	Kastel	Ionac	Relite	Diaion	Purolite	СНГ
<b>Слабокислотные катиониты</b>										
C433	IRC84			CCR2	C 100		CC	WK20	C105	КБ4
C462	IRC50							WK10		
C464				MWC2					C106	
C468			ATP202							
C476	IRC76	Z5	CNP80							
<b>Сильнокислотные катиониты. Гелевого типа</b>										
C20	IR120	C12	S100	HCR W2	C 300	C267	CF	SK1B	C100	КУ-2-8
C225										
C20S	IR120 PLUS			HCR S		C249			C100E	
C206		C37							C120E	
C255	IR122,132	C14	S115	HGR W2		C250		SK110	C100x	10
<b>Макропористого типа</b>										
C3			DN							КУ-23
C26	252	C8P	SP112	88	C300 P	CFP 110	CFS	PK220	C150	
C264	200	C16P	SP120	MSC1			CFZ	PK228		КУ-23
C265						C360				
<b>Слабоосновные аниониты</b>										
A30B		A327		WGR2	A100	A305		GR40		АН-31
A368S		A24	MP62	66		AHP 329	4MS	WA21		
A369	IRA94S	A20SU			A101S				A105	
A374					A102		MG1			
A375	IRA67	A28	AP49					WA11		
A378	IRA93SP	A20S	MP64	MWA1	A101	A328	WBS	WA30	A100	
<b>Сильноосновные аниониты. Гелевого типа</b>										
A 101	IRA402	S5-40							A450	АВ-17-8
A 102		S5-42					2A		A250	
A 104	IRA410								A300	
A 109	IRA440			SBR		ASB1			A600	
A 113	IRA420		M500	SBR P	A500	ASB1P	3A	SA10A	A400	
A 116	IRA416		M600	SAR	A300	ASB2		SA20A	A200	
A 132	IRA458	A35								
	IRA468									
A 134	IRA478		AP246							
A 147	IRA401S	A34	M500Z		A501D			SA11A		
<b>Макропористого типа</b>										
A161	IRA900	S5-50		MSA1	A500P	A641		PA312	A500	
A162	IRA910	A32	MP600	MSA2	A300P	A651	2AS	PA412	A510	
A165			MP500			A642	3AS			
A171	IRA901		MP500							
A	11	A501P		3AZ	PA308					
A173	IRA958	A31	AP247A							

## 4.5. Выбор ионитов

Выбор ионитов производится на основе технических условий изготовителей, требований потребителей очищенной воды и, конечно, с учетом экономических показателей.

Некоторые общие рекомендации для выбора ионитов:

температура обрабатываемой воды и регенерационного раствора: для полистирольных высокоосновных анионитов типа I – не более 45°C, для полиакриловых слабоосновных анионитов и полистирольных сильноосновных типа II – не более 35°C, для полистирольных сильнокислотных катионитов – не более 120°C, полиакриловых слабокислотных катионитов – до 150°C;

в присутствии окислителей следует отдать предпочтение макропористым ионитам с большей, по сравнению с гелевыми ионитами, долей ДВБ (сшивающего агента);

для фильтров с большими скоростями фильтрации, например при противоточной технологии, рекомендуется применение моносферных ионитов с крупными зернами;

малый пропуск ионов обеспечивается ионитами с большим количеством сшивок – высокой селективностью, но при этом требуется большой расход регенеранта;

краткие циклы фильтрации означают частые осмотические удары по ионитному зерну. В этих условиях макропористые иониты устойчивее гелевых. Осмотический шок возникает и при применении концентрированных регенерационных растворов. Поэтому, если есть возможность, следует применять многоступенчатую регенерацию: сначала раствором малой концентрации, затем – большей;

технология фильтрации с частым периодическим транспортированием ионита в специальную емкость для взрыхления и очистки также требует применения прочных на истирание ионитов;

для предотвращения «отравления» анионитов органическими примесями желательна установка предвключенных фильтров с органопоглотителями;

у слабокислотных гелевых катионитов обменная емкость в сопоставимых условиях обычно больше, чем у слабокислотных макропористых, но механическая прочность меньше. Поэтому во время работы с ионными парами  $H^+ - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$ , где осмотическое напряжение не очень большое, мож-

но использовать гелевые катиониты. При работе с ионными парами  $(Na^+ \text{ или } NH_4^+) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$  осмотическое давление будет больше, поэтому лучше выбирать макропористые катиониты (небольшая степень набухания);

когда требуется использование сильнокислотных катионитов, чаще применяют гелевые катиониты с сшивками ДВБ – 8% (для деминерализации и умягчения воды); если нужно только умягчение, то можно катиониты с 6% ДВБ, для получения особо чистой воды – 10–12% ДВБ.

Реже применяются макропористые сильнокислотные катиониты;

полиакриловые иониты, в том числе органопоглотители, имеют большую обменную емкость и хорошую осмотическую стабильность, но требуют после регенерации большого расхода воды для отмычки.

При необходимости противостоять загрязнению анионитов органическими веществами лучшие результаты показала технология АПКОРЕ с двухслойной загрузкой из слабоосновного и сильноосновного политистироляного анионита. При этом оценивалась как способность анионита допускать значительную органическую нагрузку, так и возможность хорошей регенерации (вымывания «органики») ионита.

## 4.6. Сульфуголь

Некоторые сорта каменного угля подвергают обработке серной кислотой (сульфированию) и получают сульфуголь. В результате сульфуголь обладает активной функциональной группой  $SO_3H$ , но из-за неполного сульфирования сохраняются и карбоксильные группы  $COOH$ . Поэтому сульфуголь условно считается среднекислотным катионом. Он широко применялся 20–30 лет назад для смягчения воды

Сегодня, когда рынок насыщен самыми разными полимерными ионообменными материалами с отличными технологическими свойствами, сульфуголь используется очень мало. Прежде всего потому, что динамическая обменная емкость невысока, и потому, что разные партии сульфуголя отличаются гранулометрическим составом и технологическими свойствами.

По ГОСТ 5698-74 сульфуголь должен соответствовать показателям, отраженным в табл. 2.25.

Таблица 2.25

Показатели	Сорт сульфогля			
	СК-1	СК-2	СМ-1	СМ-2
Динамическая обменная емкость, ммоль/м <sup>3</sup> (г-экв./м <sup>3</sup> )	268	232	310	290
Гранулометрический состав:				
Зерна размером 0,5–1,25 мм, %, не менее	65	65	–	–
То же более 1,25 мм, %, не более	10–25	10–25	–	–
То же 0,25–0,7 мм, %, не менее	–	–	80	80
То же более 0,7 мм, %, не более	–	–	15	15
То же менее 0,5 мм, %, не более	10	10	–	–
То же менее 0,25 мм, %, не более	5	5	–	–
Содержание влаги, %	29–40	29–40	29–40	29–40
Насыпная масса (не нормируется), г/дм <sup>3</sup>	675–697	689–785		

*Примечания к табл. 2.25*

1. СК – сульфуголь крупный; СМ – сульфуголь мелкий.
2. Для использования при обработке питьевой воды не разрешен.

*Технические характеристики по ТУ 2162-0780-0501582-2001*

Динамическая обменная емкость с полной регенерацией, моль/м<sup>3</sup> – не менее 180;  
 статическая обменная емкость по 0,1 Н NaOH, ммоль/см<sup>3</sup> – не менее 1,0–1,2;  
 допускаемая рабочая температура – до 50°С;  
 осмотическая стабильность – низкая;  
 насыпная плотность, кг/м<sup>3</sup> – 650–700;  
 удельный объем, см<sup>3</sup>/г – 2,3–3,6;  
 влажность, % – 30–40;  
 гранулометрический состав: 0,25–1,25 мм и более; пыль (< 0,25 мм) – не более 5%.



# Приложения

## Приложение 1

### Единицы измерения величин

**Е**диницы измерения величин стандартизованы в Международной системе единиц измерения величин (СИ). Стандарты СИ признаны международным сообществом (Международная организация стандартизации – ИСО). Россия – член ИСО, а русский язык – один из трех официальных языков этого объединения (также английский и французский).

СИ может быть также названа системой МКСА (метр, килограмм, секунда, ампер).

В российской и зарубежной технической, коммерческой литературе и документации (в частности, англоязычной) продолжают использовать устаревшие и внесистемные единицы измерения. Те из них, которые имеют хотя бы небольшое отношение к водоподготовке, приведены ниже с переводом в единицы СИ.

### П.1.1. Температура

Способ задания значений температуры – температурная шкала.

Известно несколько температурных шкал.

*Шкала Кельвина* (по имени английского физика У. Томсона, лорда Кельвина).

Обозначение единицы: К (не «градус Кельвина» и не °К).

$1 \text{ К} = 1/273,16$  – часть термодинамической температуры тройной точки воды, соответствующей термодинамическому равновесию системы, состоящей из льда, воды и пара.

*Шкала Цельсия* (по имени шведского астронома и физика А. Цельсия).

В этой шкале температура таяния льда при нормальном давлении принята равной 0°C, температура кипения воды – 100°C.

Шкалы Кельвина и Цельсия связаны уравнением:

$$t (\text{°C}) = T (\text{К}) - 273,15.$$

*Шкала Фаренгейта* (Д. Г. Фаренгейт – немецкий физик).

Обозначение единицы: °F. Применяется широко, в частности, в США.

Таблица П.1.1

Основные температурные показатели в единицах измерения разных шкал

Показатели	°C	К	°R (Реомюр)	°F	°R (Рэнкин)
Температура кипения воды*	100	373,16	80	212	671,67
Температура плавления льда	0	273,16	0	32	491,67
Ноль шкалы Фаренгейта	-17,8	255,4	-14,2	0	459,72
Абсолютный ноль	-273,16	0	-218,52	-459,67	0

\* При нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.).

Шкала Фаренгейта и шкала Цельсия связаны:  
 $t (^{\circ}\text{F}) = 1,8 \cdot t (^{\circ}\text{C}) + 32^{\circ}\text{C}$ .

По абсолютному значению  $1 (^{\circ}\text{F}) = 1 (^{\circ}\text{C})$ .

**Шкала Реомюра** (по имени французского физика Р.А. Реомюра).

Обозначение:  $^{\circ}\text{R}$  и  $^{\circ}\text{r}$ . Эта шкала почти вышла из употребления.

Соотношение с градусом Цельсия:

$$t (^{\circ}\text{R}) = 0,8 \cdot t (^{\circ}\text{C}).$$

**Шкала Рэнкина** (Ранкина) – по имени шотландского инженера и физика У. Дж. Ранкина.

Обозначение такое же, как и для градуса Реомюра:  $^{\circ}\text{R}$  (иногда:  $^{\circ}\text{Rank}$ ).

Шкала также применяется в США.

Температура по шкале Рэнкина соотносится с температурой по шкале Кельвина:

$$t (^{\circ}\text{R}) = 9/5 \cdot T (\text{K}).$$

Связь значений температурных показателей по разным шкалам представлена в табл. П.1.1.

### П.1.2. Длина

Единица измерения в СИ – метр (м).

Кратные и дольные единицы рекомендуемые: км, см, мм, мкм; единица допускаемая: дм; 1 дм = 0,1 м.

Внесистемная единица: Ангстрем ( $\text{\AA}$ ).  
 $1 \text{\AA} = 1 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

Дюйм (от голл. *duim* – большой палец); inch; in; ''; 1' = 25,4 мм.

Хэнд (англ. *hand* – рука); 1 hand = 101,6 мм.

Линк (англ. *link* – звено); 1 li = 201,168 мм.

Спэн (англ. *span* – пролет, размах); 1 span = 228,6 мм.

Фут (англ. *foot* – нога, feet – футы); 1 ft = 304,8 мм.

Ярд (англ. *yard* – двор, загон); 1 yd = 914,4 мм.

Фатом, фэсом (англ. *fathom* – мера длины (= 6 ft), или мера объема древесины (=  $216 \text{ ft}^3$ ), или горная мера площади (=  $36 \text{ ft}^2$ ), или морская сажень (Ft)); fath или fth, или Ft, или ffm; 1 Ft = 1,8288 м.

Чейн (англ. *chain* – цепь); 1 ch = 66 ft = 22 yd = 20,117 м.

Фарлонг (англ. *furlong*) – 1 fur = 220 yd = 1/8 мили.

Миля (англ. *mile*; международная).

1 ml (mi, MI) = 5280 ft = 1760 yd = 1609,344 м.

### П.1.3. Площадь

Единица измерения в СИ – м<sup>2</sup>.

Кратные и дольные единицы рекомендуемые: км<sup>2</sup>, см<sup>2</sup>, мм<sup>2</sup>; единица допускаемая: гектар (га); 1 га = 10<sup>4</sup> м<sup>2</sup>.

Квадратный фут; 1 ft<sup>2</sup> (также sq ft) = 929,03 см<sup>2</sup>.

Квадратный дюйм; 1 in<sup>2</sup>(sq in) = 645,16мм<sup>2</sup>.

Квадратный фатом (фэсом); 1 fath<sup>2</sup> (ft<sup>2</sup>; Ft<sup>2</sup>; sq Ft) = 3,34451 м<sup>2</sup>.

Квадратный ярд; 1 yd<sup>2</sup> (sq yd) = 0,836127 м<sup>2</sup>.

Sq (square) – квадратный.

### П.1.4. Объем, вместимость

Единица измерения в СИ – м<sup>3</sup>.

Дольные единицы рекомендуемые: см<sup>3</sup>, мм<sup>3</sup>; единицы допускаемые: дм<sup>3</sup>, л; 1 л = 1 дм<sup>3</sup> = 10<sup>-3</sup> м<sup>3</sup>.

Кубический фут; 1 ft<sup>3</sup> (также cu ft) = 28,3169 дм<sup>3</sup>.

Кубический фатом; 1 fath<sup>3</sup> (fth<sup>3</sup>; Ft<sup>3</sup>; cu Ft) = 6,11644 м<sup>3</sup>.

Кубический ярд; 1 yd<sup>3</sup> (cu yd) = 0,764555 м<sup>3</sup>.

Кубический дюйм; 1 in<sup>3</sup> (cu in) = 16,3871 см<sup>3</sup>.

Бушель (Великобритания); 1 bu (uk, также UK) = 36,3687 дм<sup>3</sup>.

Бушель (США); 1 bu (us, также US) = 35,2391 дм<sup>3</sup>.

Галлон (Великобритания); 1 gal (uk, также UK) = 4,54609 дм<sup>3</sup>.

Галлон жидкостный (США); 1 gal (us, также US) = 3,78541 дм<sup>3</sup>.

Галлон сухой (США); 1 gal dry (us, также US) = 4,40488 дм<sup>3</sup>.

Джилл (gill); 1 gi = 0,12 л (США), 0,14 л (Великобритания).

Баррель (США); 1 bbl = 0,16 м<sup>3</sup>.

UK – United Kingdom – Соединенное Королевство (Великобритания);

US – United States (США).

### П.1.5. Масса

Единица измерения в СИ – кг.

Дольные единицы рекомендуемые: г, мг, мкг; единица допускаемая: тонна (т), 1т = 1000 кг.

Фунт (торговый) (англ. *libra*, *pound* – взвешивание, фунт); 1 lb = 453,592 г; lbs – фунты. В системе старых русских мер 1 фунт = 409,512 г.

Гран (англ. *grain* – зерно, крушина, дробина); 1 gr = 64,799 мг.

Стоун (англ. *stone* – камень); 1 st = 14 lb = 6,350 кг.

### П.1.6. Плотность (в т.ч. насыпная)

Единица измерения в СИ – кг/м<sup>3</sup>.

Дольные единицы рекомендуемые: г/м<sup>3</sup>, г/см<sup>3</sup>; единицы допускаемые: т/м<sup>3</sup>, кг/дм<sup>3</sup> (кг/л);

1 т/м<sup>3</sup> = 1000 кг/м<sup>3</sup>; 1 кг/дм<sup>3</sup> = 10<sup>-3</sup> кг/м<sup>3</sup>.

Фунт/фут<sup>3</sup>; 1 lb / ft<sup>3</sup> = 16,0185 кг/м<sup>3</sup>.

### П.1.7. Линейная плотность

Единица измерения в СИ – кг/м.

Фунт/фут; 1 lb / ft = 1,48816 кг/м.

Фунт/ярд; 1 lb / yd = 0,496055 кг/м.

### П.1.8. Поверхностная плотность

Единица измерения в СИ – кг/м<sup>2</sup>.

Фунт/фут<sup>2</sup>; 1 lb / ft<sup>2</sup> (также lb / sq ft – pound per square foot) = 4,88249 кг/м<sup>2</sup>.

Фунт/ярд<sup>2</sup>; 1 lb / yd<sup>2</sup> (также lb / sq in – round per square inch) = 0,542492 кг/м<sup>2</sup>.

### П.1.9. Удельный объем

Единица измерения в СИ – м<sup>3</sup>/кг.  
Фут<sup>3</sup>/фунт; 1 ft<sup>3</sup> / lb = 62,428 дм<sup>3</sup>/кг.

### П.1.10. Скорость (линейная)

Единица измерения в СИ – м/с.  
Фут/ч; 1 ft / h = 0,3048 м/ч.  
Фут/с; 1 ft / s = 0,3048 м/с.

### П.1.11. Ускорение

Единица измерения в СИ – м/с<sup>2</sup>.  
Фут/с<sup>2</sup>; 1 ft / s<sup>2</sup> = 0,3048 м/с<sup>2</sup>.

### П.1.12. Массовый расход

Единица измерения в СИ – кг/с.  
Фунт/ч; 1 lb / h = 0,453592 кг/ч.  
Фунт/с; 1 lb / s = 0,453592 кг/с.

### П.1.13. Объемный расход

Единица измерения в СИ – м<sup>3</sup>/с.  
Фут<sup>3</sup>/мин; 1 ft<sup>3</sup> / min = 28,3168 дм<sup>3</sup>/мин.  
Ярд<sup>3</sup>/мин; 1 yd<sup>3</sup> / min = 0,764555 дм<sup>3</sup>/мин.  
Галлон/мин; 1 gal / min (также GPM – gallon per min) = 3,78541 дм<sup>3</sup>/мин.

### П.1.14. Сила, вес

Единица измерения в СИ – Н.  
Фунт-сила; 1 lbf – 4,44822 Н. (Аналог названия единицы измерения: килограмм-сила, кгс. 1 кгс = 9,80665 · Н (точно). 1 lbf = 0,453592 (кг) · 9,80665 Н = 4,44822 Н · 1Н=1 кг · м/с<sup>2</sup>  
Паундаль (англ.: *poundal*); 1 pdl = 0,138255 Н.  
Паундаль – сила, сообщающая массе в один фунт ускорение в 1 фут/с<sup>2</sup>, lb · ft/ c<sup>2</sup>.

### П.1.15. Удельный вес

Единица измерения в СИ – Н/м<sup>3</sup>.  
Фунт-сила/фут<sup>3</sup>; 1 lbf/ft<sup>3</sup> = 157,087 Н/м<sup>3</sup>. Паундаль/фут<sup>3</sup>; 1 pdl/ ft<sup>3</sup> = 4,87985 Н/м<sup>3</sup>.

### П.1.16. Давление

Единица измерения в СИ – Па, кратные единицы: МПа, кПа.

Специалисты в своей работе продолжают применять устаревшие, отмененные или ранее факкультативно допускаемые единицы измерения давления: кгс/см<sup>2</sup>; бар; атм. (физическая атмосфера); ат (техническая атмосфера); ата; ати; м вод. ст.; мм рт. ст.; торр. Используются понятия: «абсолютное давление», «избыточное давление».

Встречаются ошибки при переводе некоторых единиц измерения давления в Па и в его кратные

единицы. Нужно учитывать, что 1 кгс/см<sup>2</sup> равен 98066,5 Па (точно), то есть для небольших (примерно до 14 кгс/см<sup>2</sup>) давлений с достаточной для работы точностью можно принять:

1 Па = 1 кг/(м · с<sup>2</sup>) = 1 Н/м<sup>2</sup>.  
1 кгс/см<sup>2</sup> ≈ 105 Па = 0,1 МПа.

Но уже при средних и высоких давлениях:  
24 кгс/см<sup>2</sup> ≈ 23,5 · 105 Па = 2,35 МПа;  
40 кгс/см<sup>2</sup> ≈ 39 · 105 Па = 3,9 МПа;  
100 кгс/см<sup>2</sup> ≈ 98 · 105 Па = 9,8 МПа и т.д.

*Соотношения:*

1 атм (физическая) ≈ 101325 Па ≈ 1,013 · 105 Па ≈ 0,1 МПа.

1 ат (техническая) = 1 кгс/см<sup>2</sup> = 980066,5 Па ≈ 105 Па ≈ 0,09806 МПа ≈ 0,1 МПа.

0,1 МПа ≈ 760 мм рт. ст. ≈ 10 м вод. ст. ≈ 1 бар.

1 Торр (тор, tor) = 1 мм рт. ст.

Фунт-сила/дюйм<sup>2</sup>; 1 lbf/ in<sup>2</sup> = 6,89476 кПа (см. ниже: PSI).

Фунт-сила/фут<sup>2</sup>; 1 lbf/ft<sup>2</sup> = 47,8803 Па.

Фунт-сила/ярд<sup>2</sup>; 1 lbf/ yd<sup>2</sup> = 5,32003 Па.

Паундаль/фут<sup>2</sup>; 1 pdl/ ft<sup>2</sup> = 1,48816 Па.

Фут водяного столба; 1 ft H<sub>2</sub>O = 2,98907 кПа.

Дюйм водяного столба; 1 in H<sub>2</sub>O = 249,089 Па.

Дюйм ртутного столба; 1 in Hg = 3,38639 кПа.

PSI (также psi) – pounds (P) per square (S) inch (l) – фунты на квадратный дюйм; 1 PSI = 1 lbf/in<sup>2</sup> = 6,89476 кПа.

Иногда в литературе встречается обозначение единицы измерения давления lb/in<sup>2</sup> – в этой единице учтено не lbf (фунт-сила), а lb (фунт-масса). Поэтому в численном выражении 1 lb/in<sup>2</sup> несколько отличается от 1 lbf/in<sup>2</sup>, так как при определении 1 lbf учтено: g = 9,80665 м/с<sup>2</sup> (на широте Лондона).

1 lb/in<sup>2</sup> = 0,454592 кг/(2,54 см)<sup>2</sup> = 0,07046 кг/см<sup>2</sup> = 7,046 кПа. Расчет 1 lbf – см. выше.

1 lbf/in<sup>2</sup> = 4,44822 Н/(2,54 см)<sup>2</sup> = 4,44822 кг · м/(2,54 · 0,01 м)<sup>2</sup> · с<sup>2</sup> = 6894,754 кг/(м · с<sup>2</sup>) = 6894,754 Па ≈ 6,895 кПа.

Для практических расчетов можно принять: 1 lbf/in<sup>2</sup> ≈ 1 lb/in<sup>2</sup> ≈ 7 кПа. Но, по сути, равенство неправомерно, как и 1 lbf = 1 lb, 1 кгс = 1 кг.

PSI<sub>g</sub> (psig) – то же, что PSI, но указывает избыточное давление;

PSI<sub>a</sub> (psia) – то же, что PSI, но акцентирует: давление абсолютное;

a – absolute, g – gauge (мера, размер).

### П.1.17. Напор воды

Единица измерения в СИ – м.

Напор в футах (feet-head); 1 ft hd = 0,3048 м.

**П.1.18. Удельный объемный расход**

GPM/(sq·ft) – gallon (G) per (P) minute (M)/(square (sq) · foot (ft)) – галлон в минуту на квадратный фут;  
 1 GPM/(sq · ft) = 2445 л/(м<sup>2</sup> · ч) · 1 л/(м<sup>2</sup> · ч) = 10<sup>-3</sup> м/ч.  
 gpd – gallons per day – галлоны в день (сут);  
 1 gpd = 0,1577 дм<sup>3</sup>/ч.  
 gpm – gallons per minute – галлоны в минуту;  
 1 gpm = 0,0026 дм<sup>3</sup>/мин.  
 gps – gallons per second – галлоны в секунду;  
 1 gps = 438 · 10<sup>-6</sup> дм<sup>3</sup>/с.

**П.1.19. Потери давления во время фильтрации**

PSI/ft – pounds (P) per square (S) inch (I)/foot (ft) – фунты на квадратный дюйм/фут;  
 1 PSI/ft = 22,62 кПа на 1 м фильтрующего слоя.

**П.1.20. Расход сорбата (например, С<sub>1</sub>) при фильтровании через слой сорбента (например активного угля)**

Gals/cu ft (gal/ft<sup>3</sup>) – gallons/cubic foot (галлоны на кубический фут);  
 1 Gals/cu ft = 0,13365 дм<sup>3</sup> на 1 дм<sup>3</sup> сорбента.

**П.1.21. Работа, энергия, количество теплоты**

Единица измерения в СИ – Джоуль (по имени английского физика Дж. П. Джоуля).

1 Дж – механическая работа силы 1 Н при перемещении тела на расстояние 1 м.

Ньютон (Н) – единица силы и веса в СИ; 1 Н равен силе, сообщающей телу массой 1 кг ускорение 1 м<sup>2</sup>/с в направлении действия силы.

1 Дж = 1 Н · м.

В теплотехнике продолжают применять отмененную единицу измерения количества теплоты – калорию (кал, cal).

1 Дж (J) = 0,23885 кал.

1 кДж = 0,2388 ккал.

1 lbf · ft (фунт-сила-фут) = 1,35582 Дж.

1 pdl · ft (паундаль-фут) = 42,1401 мДж.

1 Btu (британская единица теплоты) = 1,05506 кДж (1 кДж = 0,2388 ккал).

1 Therm (терма – британская большая калория) = 1 · 10<sup>-5</sup> Btu.

**П.1.22. Мощность, тепловой поток**

Единица измерения в СИ – Ватт (Вт) – по имени английского изобретателя Дж. Уатта – механическая мощность, при которой за время 1 с совершается работа в 1 Дж, или тепловой поток, эквивалентный механической мощности в 1 Вт.

1 Вт (W) = 1 Дж/с = 0,859985 ккал/ч (kcal / h).

1 lbf · ft / s (фунт-сила-фут/с) = 1,33582 Вт.

1 lbf · ft / min (фунт-сила-фут/мин) = 22,597 мВт.

1 lbf · ft / h (фунт-сила-фут/ч) = 376,616 мкВт.

1 pdl · ft / s (паундаль-фут/с) = 42,1401 мВт

1 hp (лошадиная сила британская / с) = 745,7 Вт.

1 Btu/s (британская единица теплоты / с) = 1055,06 Вт.

1 Btu/h (британская единица теплоты / ч) = 0,293067 Вт.

**П.1.23. Поверхностная плотность теплового потока**

Единица измерения в СИ – Вт/м<sup>2</sup>.

1 Вт/м<sup>2</sup> (W/м<sup>2</sup>) = 0,859985 ккал / (м<sup>2</sup> · ч) (kcal / (m<sup>2</sup> · h)).

1 Btu/(ft<sup>2</sup> · ч) = 2,69 ккал/(м<sup>2</sup> · ч) = 3,1546 кВт/м<sup>2</sup>.

**П.1.24. Вязкость**

Динамическая вязкость (коэффициент вязкости), η.

Единица измерения в СИ – Па · с.

1 Па · с = 1 Н · с/м<sup>2</sup>; внесистемная единица – пуаз (П).

1 П = 1 дин · с/м<sup>2</sup> = 0,1 Па · с.

Дина (dyn) – (от греч. *dynamic* – сила). 1 дин = 10<sup>-5</sup> Н = 1 г · см/с<sup>2</sup> = 1,02 · 10<sup>-6</sup> кгс.

1 lbf · h / ft<sup>2</sup> (фунт-сила-ч/фут<sup>2</sup>) = 172,369 кПа · с.

1 lbf · s / ft<sup>2</sup> (фунт-сила-с/фут<sup>2</sup>) = 47,8803 Па · с.

1 pdl · s / ft<sup>2</sup> (паундаль-с/фут<sup>2</sup>) = 1,48816 Па · с.

1 slug / (ft · s) (слаг/(фут · с)) = 47,8803 Па · с.

Slug (слаг) – техническая единица массы в английской системе мер.

Кинематическая вязкость, ν.

Единица измерения в СИ – м<sup>2</sup>/с;

Единица см<sup>2</sup>/с называется «Стокс» (по имени английского физика и математика Дж. Г. Стокса).

Кинематическая и динамическая вязкости связаны равенством:

$\nu = \eta / \rho$ , где ρ – плотность, г/см<sup>3</sup>.

1 м<sup>2</sup>/с = Стокс / 10<sup>4</sup>.

1 ft<sup>2</sup> / h (фут<sup>2</sup>/ч) = 25,8064 мм<sup>2</sup>/с.

1 ft<sup>2</sup> / s (фут<sup>2</sup>/с) = 929,030 см<sup>2</sup>/с.

**П.1.25. Напряженность магнитного поля**

Единица напряженности в СИ – А/м (Ампер/метр).

Ампер (А) – фамилия французского физика А.М. Ампера. Ранее применялась единица Эрстед (Э) – по имени датского физика Х.К. Эрстеда.

1 А/м (A/m, At/m) = 0,0125663 Э (Oe).

**П.1.26. Твердость**

Сопrotивление раздавливанию и истиранию минеральных фильтрующих материалов и вообще всех минералов и горных пород косвенно определяют по шкале Мооса (Ф. Моос – немецкий минералог).

В этой шкале числами в возрастающем порядке обозначают минералы, расположенные таким образом, чтобы каждый последующий был способен ос-

тавлять царапину на предыдущем. Крайние вещества в шкале Мооса: тальк (единица твердости – 1, самый мягкий) и алмаз (10, самый твердый).

Твердость 1–2,5 (чертятся ногтем): волконкоит, вермикулит, галит, гипс, глауконит, графит, глинистые материалы, пиролюзит, тальк и др.

Твердость > 2,5–4,5 (не чертятся ногтем, но чертятся стеклом): ангидрит, арагонит, барит, глауконит, доломит, кальцит, магнезит, мусковит, сидерит, халькопирит, шабазит и др.

Твердость > 4,5–5,5 (не чертятся стеклом, но чертятся стальным ножом): апатит, вернадит, нефелин, пиролюзит, шабазит и др.

Твердость > 5,5–7,0 (не чертятся стальным ножом, но чертятся кварцем): вернадит, гранат, ильменит, магнетит, пирит, полевые шпаты и др.

Твердость > 7,0 (не чертятся кварцем): алмаз, гранаты, корунд и др.

Твердость минералов и горных пород можно определять также по *шкале Кнупа* (А. Кнуп – немецкий минералог). В этой шкале значения определяются по размеру отпечатка, оставляемого на минерале при вдавливании в его образец алмазной пирамиды под определенной нагрузкой.

Соотношения показателей по шкалам Мооса (М) и Кнупа (К):

М	10 – Алмаз	9 – Корунд	8 – Топаз	7 – Кварц	6 – Ортоклаз	5 – Апатит	4 – Флюорит	3 – Кальцит	2 – Гипс	1 – Тальк
К	7000	1800	1340	820	560	430	163	135	32	1

Цит. по: Единицы измерений и соотношения между ними. С англ. М.: ООО «Изд-во АСТ»; ООО «Изд-во Астрель», 2004. – 255 с.

### П.1.27. Радиоактивность элементов

Единица измерения в СИ – Бк (Беккерель, названный в честь французского физика А.А. Беккереля).

Бк (Bq) – единица активности нуклида в радиоактивном источнике (активность изотопа). 1 Бк равен активности нуклида, при которой за 1 с происходит один акт распада.

Концентрация радиоактивности: Бк/м<sup>3</sup> или Бк/л.

Активность – это число радиоактивных распадов в единицу времени. Активность, приходящаяся на единицу массы, называется удельной.

Кюри (Ки, Ci, Cu) – единица активности нуклида в радиоактивном источнике (активности изотопа). 1 Ки – это активность изотопа, в котором за 1 с происходит  $3,7000 \cdot 10^{10}$  актов распада.

$1 \text{ Ки} = 3,7000 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

Резерфорд (Рд, Rd) – устаревшая единица активности нуклидов (изотопов) в радиоактивных источниках, названная в честь английского физика Э. Резерфорда.

$1 \text{ Рд} = 1 \cdot 10^6 \text{ Бк} = 1/37000 \text{ Ки}$ .

### П.1.28. Доза излучения –

энергия ионизирующего излучения, поглощенная облучаемым веществом и рассчитанная на единицу его массы (поглощенная доза). Доза накапливается со временем облучения. Мощность дозы = Доза/время.

Единица поглощенной дозы в СИ – Грэй (Гр, Gy).

Внесистемная единица – Рад (rad), соответствующая энергии излучения в 100 эрг, поглощенной веществом массой 1 г.

Эрг (erg – от греч.: *ergon* – работа) – единица работы и энергии в нереконструируемой системе СГС.

$1 \text{ эрг} = 10^{-7} \text{ Дж} = 1,02 \cdot 10^{-8} \text{ кгс} \cdot \text{м} = 2,39 \cdot 10^{-8} \text{ кал} = 2,78 \cdot 10^{-14} \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ .

$1 \text{ рад (rad)} = 10^{-2} \text{ Гр}$ .

$1 \text{ рад (rad)} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Гр} = 2,388 \cdot 10^{-6} \text{ кал/г} = 10^{-2} \text{ Дж/кг}$ .

Керма (сокр. англ.: *kinetic energy released in matter*) – кинетическая энергия, освобожденная в веществе, измеряется в грэях.

Эквивалентная доза определяется сравнением излучения нуклидов с рентгеновским излучением. Коэффициент качества излучения (К) показывает, во сколько раз радиационная опасность в случае хронического облучения человека (в сравнительно малых дозах) для данного вида излучения больше, чем в случае рентгеновского излучения при одинаковой поглощенной дозе. Для рентгеновского и  $\gamma$ -излучения  $K = 1$ . Для всех других видов излучений  $K$  устанавливается по радиобиологическим данным.

$D_{\text{экв}} = D_{\text{погл}} \cdot K$ .

Единица поглощенной дозы в СИ – 1 Зв (Зиверт) = 1 Дж/кг =  $10^2$  бэр.

БЭР (бэр, rem – до 1963 г. определялась как биологический эквивалент рентгена) – единица эквивалентной дозы ионизирующего излучения.

Рентген (Р, R) – единица измерения, экспозиционная доза рентгеновского и  $\gamma$ -излучения.

$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ .

Кулон (Кл) – единица в системе СИ, количество электричества, электрический заряд.

$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Дж/кг}$ .

Мощность эквивалентной дозы – Зв/с.

### П.1.29. Проницаемость пористых сред (в том числе горных пород и минералов)

Дарси (Д) – по имени французского инженера А. Дарси,  $darcy (D) \cdot 1 \text{ Д} = 1,01972 \text{ мкм}^2$ .



1 Д – проницаемость такой пористой среды, при фильтрации через образец которой площадью 1 см<sup>2</sup>, толщиной 1 см и перепаде давления 0,1 МПа расход жидкости вязкостью 1 сП равен 1 см<sup>3</sup>/с.

### П.1.30. Размеры частиц, зерен (гранул) фильтрующих материалов по СИ и стандартам других стран

В США, Канаде, Великобритании, Японии, Франции и Германии размеры зерен оценивают в *мешах* (англ. *mesh* – отверстие, ячейка, сеть), то есть по количеству (числу) отверстий, приходящихся на один дюйм самого мелкого сита, через которое могут пройти зерна. И эффективным диаметром зерен считается размер отверстия в мкм.

В последние годы чаще применяются системы мешей США и Великобритании.

### П.1.31. Концентрация растворов

Содержание вещества в определенном объеме или массе раствора или растворителя называется концентрацией вещества в растворе.

Наиболее часто применяют следующие способы выражения концентрации растворов.

#### Массовая доля

Массовая доля показывает, какое массовое количество вещества содержится в 100 массовых частях раствора.

Единицы измерения: доли единицы; проценты (%); промилле (‰); миллионные доли (млн<sup>-1</sup>).

#### Концентрация растворов и растворимость

Концентрацию раствора нужно отличать от растворимости – концентрации насыщенного раствора, которая выражается массовым количеством вещества в 100 массовых частях *растворителя* (например г/100 г).

#### Объемная концентрация

Объемная концентрация – это массовое количество растворенного вещества в определенном объеме раствора (например: мг/л, г/м<sup>3</sup>).

#### Молярная концентрация

Молярная концентрация – количество молей данного вещества, растворенного в определенном объеме *раствора* (моль/м<sup>3</sup>, ммоль/л, мкмоль/мл).

#### Моляльная концентрация

Моляльная концентрация – число молей вещества, содержащегося в 1000 г *растворителя* (моль/кг).

Таблица П.1.2

Соотношение между единицами измерения размеров зерен (гранул) фильтрующих материалов по СИ и стандартам других стран

Размер отверстия, мкм	Меш по стандартам стран			
	США и Канада	Великобритания	Япония	Франция и Германия
6300	1/4	1/4	–	–
4750	3	3	–	–
4000	5	4	–	–
3350	6	5	–	–
2800	7	6	–	–
2360	8	7	–	–
2000	10	8	9,2	34
1680	12	10	–	–
1410	14	12	–	–
1190	16	14	–	–
1000	18	16	–	–
841	20	18	20	–
800	–	–	–	30
707	25	–	–	–
595	30	25	28	–
500	35	–	–	28
420	40	36	36	–
400	–	–	–	27
354	45	–	–	–
315	–	–	–	26
297	50	52	48	–
250	60	60	55	25
210	70	72	65	–
200	–	–	–	24
177	80	85	80	–
160	–	–	–	23
149	100	100	100	–
125	120	120	120	22
105	140	150	145	–
100	–	–	–	21
88	170	170	170	–
80	–	–	–	20
74	200	200	200	–
63	230	240	250	19
53	270	300	280	–
50	–	–	–	18
44	325	350	325	–
40	–	–	–	17
37	400	–	–	–

Цит. по: Гордон А., Форд Р. С англ. Спутник химика. М.: Мир, 1976. – 542 с.

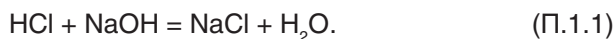
### Нормальный раствор

Нормальным называется раствор, содержащий в единице объема один эквивалент вещества, выраженный в массовых единицах:  $1Н = 1 \text{ мг} \cdot \text{экв/л} = 1 \text{ ммоль/л}$  (с указанием эквивалента конкретного вещества).

### Эквивалент

Эквивалент равен отношению части массы элемента (вещества), которая присоединяет или замещает в химическом соединении одну атомную массу водорода или половину атомной массы кислорода, к 1/12 массы углерода<sup>12</sup>. Так, эквивалент кислоты равен ее молекулярной массе, выраженной в граммах, деленной на основность (число ионов водорода); эквивалент основания – молекулярная масса, деленная на кислотность (число ионов водорода, а у неорганических оснований – деленная на число гидроксильных групп); эквивалент соли – молекулярная масса, деленная на сумму зарядов (валентность катионов или анионов); эквивалент соединения, участвующего в окислительно-восстановительных реакциях, – это частное от деления молекулярной массы соединения на число электронов, принятых (отданных) атомом восстанавливающегося (окисляющегося) элемента.

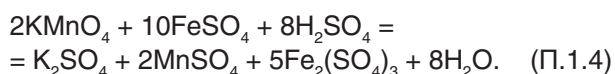
Несколько примеров:



Эквивалентные массы соляной кислоты и едкого натра в этой реакции равны молекулярным массам этих веществ, так как в реакции участвует один ион водорода:



В реакции (П.1.2) нейтрализации  $\text{H}_3\text{PO}_4$  эквивалентная масса фосфорной кислоты равна ее молекулярной массе – 98 (участвует один ион водорода), в реакции (П.1.3) – половине молекулярной массы – 49 (участвуют два иона водорода). Следовательно, одно и то же вещество может иметь разные эквивалентные массы в зависимости от вида реакции.



В этой реакции семивалентные ионы марганца превращаются в двухвалентные:

$\text{Mn}^{+7} + 5\text{e}^- \rightarrow \text{Mn}^{2+}$  – к каждому иону марганца присоединяются пять электронов. Эти электроны «приобретаются» у двухвалентных ионов железа, преобразующихся в трехвалентные:  $\text{Fe}^{2+} - \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ .

Всего в реакции участвуют десять электронов (десять молекул  $\text{FeSO}_4$ ). Одному электрону соответствуют 2/10 молекулярной массы  $\text{KMnO}_4$  и 10/10 молекулярной массы  $\text{FeSO}_4$ . Значит, в этой реакции эквивалентная масса  $\text{KMnO}_4$  равна 1/5 молекулярной массы, а эквивалентная масса  $\text{FeSO}_4$  равна молекулярной массе.

### Соотношения между единицами измерения концентрации растворов

Таблица П.1.4

Формулы перехода от одних выражений концентраций растворов к другим

Обозначение концентраций	A, мг/л	B, мг/кг	C, %	M, моль/л	L, моль/кг	N, г-экв/л
A, мг/л	A	B ρ	10 000 ρ C	1000 m M	$\frac{1000 \text{ m } \rho \text{ L}}{1+0,001 \text{ m L}}$	1000 Э N
B, мг/кг	$\frac{A}{\rho}$	B	10 000 C	1000 m M	$\frac{1000 \text{ m L}}{1+0,001 \text{ m L}}$	$\frac{1000 \text{ Э N}}{\rho}$
C, %	$\frac{A}{10\,000 \rho}$	$\frac{B}{10\,000 \rho}$	C	$\frac{\text{m M}}{10 \rho}$	$\frac{\text{m L}}{1+0,001 \text{ m L}}$	$\frac{\text{Э N}}{10 \rho}$
Молярная, M, моль/л	$\frac{A}{10\,000 \text{ m}}$	$\frac{B \rho}{10\,000 \text{ m}}$	$\frac{10 \rho C}{\text{m}}$	M	$\frac{\rho \text{ L}}{1+0,001 \text{ m L}}$	$\frac{\text{Э N}}{\text{m}}$
Моляльная L, моль/кг	$\frac{A}{\text{m} (1000 \rho - 0,001 A)}$	$\frac{B}{\text{m} (1000 - 0,001 B)}$	$\frac{10 C}{\text{m} (1 - 0,01 C)}$	$\frac{M}{\rho - 0,001 \text{ m M}}$	L	$\frac{\text{Э N}}{\text{m} (\rho - 0,001 \text{ Э N})}$
Нормальная, N, г-экв/л	$\frac{A}{1000 \text{ Э}}$	$\frac{B \rho}{10\,000 \text{ Э}}$	$\frac{10 \rho C}{\text{Э}}$	$\frac{\text{m M}}{\text{Э}}$	$\frac{\text{m } \rho \text{ L}}{\text{Э} (1+0,001 \text{ m L})}$	N

Цит. по Ф.И. Белану.

Принятые обозначения:

$\rho$  – плотность раствора, г/см<sup>3</sup>;

$m$  – молекулярная масса растворенного вещества, г/моль;

$\mathcal{E}$  – эквивалентная масса растворенного вещества, то есть количество вещества в граммах, взаимодействующее в данной реакции с одним грамм-атомом водорода или отвечающее переходу одного электрона.

### П.1.32. Жесткость и щелочность воды

Согласно ГОСТ 8.417-2002 единица количества вещества установлена: моль, кратные и дольные единицы (кмоль, ммоль, мкмоль). Единица измерения жесткости в СИ – ммоль/л; мкмоль/л.

В разных странах часто продолжают использовать отмененные единицы измерения жесткости воды:

Россия и страны СНГ – мг-экв/л, мкг-экв/л, г-экв/м<sup>3</sup>;

Германия, Австрия, Дания и некоторые другие страны германской группы языков – 1 немецкий градус – (H° – Harte – жесткость)  $\equiv$  1 ч. CaO/100 тыс. ч. воды  $\equiv$  10 мг CaO/л  $\equiv$  7,14 мг MgO/л  $\equiv$  17,9 мг CaCO<sub>3</sub>/л  $\equiv$  28,9 мг Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>/л  $\equiv$  15,1 мг MgCO<sub>3</sub>/л  $\equiv$  0,357 ммоль/л.

1 французский градус  $\equiv$  1 ч. CaCO<sub>3</sub>/100 тыс. ч. воды  $\equiv$  10 мг CaCO<sub>3</sub>/л  $\equiv$  5,2 мг CaO/л  $\equiv$  0,2 ммоль/л.

1 английский градус  $\equiv$  1 гран/1галлон воды  $\equiv$  1 ч. CaCO<sub>3</sub>/70 тыс. ч. воды  $\equiv$  0,0648 г CaCO<sub>3</sub>/4,546 л  $\equiv$  100 мг CaCO<sub>3</sub>/7 л  $\equiv$  7,42 мг CaO/л  $\equiv$  0,285 ммоль/л.

Иногда английский градус жесткости обозначают *Clark*.

1 американский градус  $\equiv$  1 ч. CaCO<sub>3</sub>/1 млн ч. воды  $\equiv$  1 мг CaCO<sub>3</sub>/л  $\equiv$  0,52 мг CaO/л  $\equiv$  0,02 ммоль/л.

Здесь: ч. – часть; перевод градусов в соответствующие им количества CaO, MgO, CaCO<sub>3</sub>, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, MgCO<sub>3</sub> показан в качестве примеров в основном для немецких градусов; размерности градусов привязаны к кальцийсодержащим соединениям, так как в составе ионов жесткости кальций, как правило, составляет 75–95%, в редких случаях – 40–60%. Числа округлены в основном до второго знака после запятой.

И Международная организация стандартов (ISO – ИСО), и Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC – ИЮПАК) соответственно с 1973 и 1975 г. не включают в свои издания единицу измерения «грамм-эквивалент». А градусы жесткости и ранее отсутствовали в рекомендациях этих организаций.

Мнимое это противоречие давно разрешено. И ИСО, и ИЮПАК, и Научный совет по аналитической химии б. АН СССР («Журнал аналитической химии», т. XXXXVII, вып. 5, с. 946–961) установи-

ли: ммоль – это количество вещества – в данном контексте – в растворе, которое содержит такое же количество структурных единиц, какое содержится в 12 г углерода<sup>12</sup>. И установлено: количество всех единиц – и реальных, и условных – измеряется в молях. Структурные реальные единицы: атомы, ионы, радикалы, электроны, молекулы, комплексы. Структурные условные единицы: эквиваленты веществ, например 1/2 Ca<sup>2+</sup>, 1/2 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> и т.д.

Следовательно, численно «моль» равен «г-экв». В то же время понятие эквивалентности, конечно, сохраняется. И поэтому нужно указывать, о какой структурной единице идет речь.

Например,  $n[\text{Na}^+] = 1$  ммоль/л;  $n[1/2\text{Ca}^{2+}] = 4$  ммоль/л;  $n[1/3\text{Al}^{3+}] = 5$  ммоль/л и т.п.

В записи после числа единица «моль» по падежам не склоняется.

ГОСТ 6055-86 «Вода. Единицы жесткости» также однозначно устанавливает: единица жесткости – моль/м<sup>3</sup>. Общая жесткость – сумма молярных концентраций эквивалентов ионов Ca (1/2 Ca<sup>2+</sup>) и Mg (1/2 Mg<sup>2+</sup>). Количество вещества эквивалента – количество вещества в молях, в котором частицами являются эквиваленты.

Соотношение между упомянутыми единицами измерения жесткости воды:

1 ммоль/л = 1 мг · экв/л = 2,80°H (немецкий градус) = 5,00 французского градуса = 3,51 английского градуса = 50,04 американского градуса.

С 1 января 2005 г. действует ГОСТ Р 52029-2003 «Вода. Единица жесткости». ГОСТ распространяется на природную и питьевую воду. В противоречие с правилами ИСО этот ГОСТ вводит новую единицу измерения жесткости воды – российский градус жесткости – °Ж, определяемый как концентрация щелочноземельного элемента (преимущественно Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>), численно равная 1/2 его моля в мг/дм<sup>3</sup> (г/м<sup>3</sup>).

Единицы измерения *щелочности* – ммоль, мкмоль.

### П.1.33. Удельные электропроводимость и электросопротивление

Единица измерения электропроводимости в СИ – мкСм/см.

Электропроводимость растворов и обратное ей электросопротивление характеризуют минерализацию растворов, но только – наличие ионов. При измерении электропроводимости не могут быть учтены неионогенные органические вещества, нейтральные взвешенные примеси, помехи, искажающие результаты, – газы и др. Невозможно расчетным путем точно найти соответствие между значениями удельной электропроводимости и сухим остатком или даже суммой всех отдельно определенных веществ раствора, так как в природной

воде разные ионы имеют разную удельную электропроводимость, которая одновременно зависит от минерализации раствора и его температуры. Чтобы установить такую зависимость, необходимо несколько раз в году экспериментально устанавливать соотношение между этими величинами для каждого конкретного объекта.

$$1 \text{ мкСм/см} = 1 \cdot \text{МОм} \cdot \text{см}; \quad 1 \text{ См/м} = 1 \cdot \text{Ом} \cdot \text{м}.$$

Для чистых растворов хлорида натрия (NaCl) в дистилляте приблизительное соотношение:

$$1 \text{ мкСм/см} \approx 0,5 \text{ мг NaCl/л}.$$

Это же соотношение (приблизенно) с учетом приведенных оговорок может быть принято для большей части природных вод с минерализацией до 500 мг/л (все соли пересчитываются на NaCl).

При минерализации природной воды 0,8–1,5 г/л можно принять:

$$1 \text{ мкСм/см} \approx 0,65 \text{ мг солей/л},$$

$$\text{а при минерализации} - 3-5 \text{ г/л:}$$

$$1 \text{ мкСм/см} \approx 0,8 \text{ мг солей/л}.$$

### П.1.34. Содержание в воде взвешенных примесей, прозрачность и мутность воды

Содержание взвешенных примесей измеряется в мг/л, прозрачность – в см.

Мутность воды выражают в единицах:

JTU (Jackson Turbidity Unit) – единица мутности по Джексону;

FTU (Formasin Turbidity Unit, обозначается также ЕМФ) – единица мутности по формазину;

NTU (Nephelometric Turbidity Unit) – единица мутности нефелометрическая.

Дать точное соотношение единиц мутности и содержания взвешенных веществ невозможно. Для каждой серии определений нужно строить калибровочный график, позволяющий определять мутность анализируемой воды по сравнению с контрольным образцом. Приблизительно можно представить:

$$1 \text{ мг/л (взвешенных веществ)} \approx 1-5 \text{ единиц NTU}.$$

Если у замутняющей смеси (диатомовая земля) крупность частиц – 325 меш, то: 10 ед. NTU  $\approx$  4 ед. JTU.

ГОСТ 3351-74\* и СанПиНы 2.1.4.1074-01 приравнивают 1,5 ед. NTU (или 1,5 мг/л по кремнезему или каолину) 2,6 ед. FTU (ЕМФ).

Таблица П.1.6

Соотношение между прозрачностью по шрифту и мутностью

Прозрачность по шрифту Снеллена, см	Мутность, мг/л
>20	<15
>30	<10
>40	<5

Таблица П.1.5

Соотношение между прозрачностью по «кресту» (в см) и мутностью (в мг/л)

Прозрачность, см	Мутность, мг/л	Прозрачность, см	Мутность, мг/л	Прозрачность, см	Мутность, мг/л	Прозрачность, см	Мутность, мг/л
3,5	270	29	31,5	65	14,2	116	7,9
4,0	235	30	30,5	66	14,0	118	7,75
4,5	205	31	29,5	67	13,8	120	7,65
5,0	185	32	28,6	68	13,6	122	7,55
5,5	170	33	27,7	69	13,4	124	7,45
6,0	155	34	26,9	70	13,2	126	7,35
6,5	142	35	26,1	71	13,0	128	7,25
7,0	130	36	25,4	72	12,8	130	7,15
7,5	122	37	24,8	73	12,6	133	7,05
8,0	114	38	24,2	74	12,4	134	6,9
8,5	108	39	23,6	75	12,2	136	6,8
9,0	102	40	23,0	76	12,05	138	6,7
9,5	97	41	22,4	77	11,9	140	6,6
10,0	92	42	21,8	78	11,75	145	6,3
10,5	87	43	21,2	79	11,6	150	6,1
11,0	83	44	20,7	80	11,45	155	5,9
11,5	79	45	20,2	81	11,3	160	5,75
12,0	76	46	19,7	82	11,05	165	5,6
12,5	73	47	19,3	83	11,0	170	5,45
13,0	70	48	18,9	84	10,85	175	5,3
13,5	67,5	49	18,5	85	10,7	180	5,15
14,0	65,0	50	18,4	86	10,35	185	5,0
14,5	63,0	51	17,9	89	10,3	190	4,85
15,0	61,0	52	17,6	90	10,1	195	4,75
16	56,4	53	17,3	92	9,9	200	4,6
17	53,1	54	17,0	94	9,7	210	4,4
18	50,4	55	16,7	96	9,5	220	4,2
19	48,0	56	16,4	98	9,3	230	4,0
20	45,5	57	16,1	100	9,1	240	3,85
21	43,3	58	15,8	102	8,9	250	3,7
22	41,4	59	15,5	104	8,7	260	3,55
23	39,6	60	15,2	106	8,5	270	3,45
24	38,0	61	15,0	108	8,3	280	3,5
25	36,5	62	14,8	110	8,2	290	3,2
26	35,1	63	14,6	112	8,1	300	3,1
27	33,8	64	14,4	114	8,0	310	3,0
28	32,6						

Цит. по Л.А. Кульскому.

### П.1.35. Минерализация

Единица измерения в СИ – мг/л, г/м<sup>3</sup>, мкг/л.

В США и в некоторых других странах минерализацию выражают в относительных единицах (иногда в гранах на галлоны, gr/gal):

ppm (parts per million) – миллионная доля ( $1 \cdot 10^{-6}$ ) единицы; иногда ppt (parts per mille) обозначают и тысячную долю ( $1 \cdot 10^{-3}$ ) единицы;

ppb – (parts per billion) биллионная (миллиардная) доля ( $1 \cdot 10^{-9}$ ) единицы;

ppt – (parts per trillion) триллионная доля ( $1 \cdot 10^{-12}$ ) единицы;

‰ – промилле (применяется и в России) – тысячная доля ( $1 \cdot 10^{-3}$ ) единицы.

Соотношение между единицами измерения минерализации:

$$1 \text{ мг/л} = 1 \text{ ppm} = 1 \cdot 10^3 \text{ ppb} = 1 \cdot 10^6 \text{ ppt} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ ‰} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ ‰}; 1 \text{ gr/gal} = 17,1 \text{ ppm} = 17,1 \text{ мг/л} = 0,142 \text{ lb/1000 gal}.$$

Для измерения минерализации соленых вод, рассолов и соледоержания конденсатов правильнее применять единицы: мг/кг. В лабораториях пробы воды отмеряют объемными, а не массовыми долями, поэтому целесообразно в большинстве случаев количество примесей относить к литру. Но для больших или очень малых значений минерализации ошибка будет чувствительной.

По СИ объем измеряется в дм<sup>3</sup>, но допускается и измерение в литрах, потому что 1 л = 1,000028 дм<sup>3</sup>. С 1964 г. 1 л приравнен к 1 дм<sup>3</sup> (точно).

Для соленых вод и рассолов иногда применяют единицы измерения солёности в градусах Боме (для минерализации > 50 г/кг):

1°Be соответствует концентрации раствора, равной 1% в пересчете на NaCl.

$$1\% \text{ NaCl} = 10 \text{ г NaCl/кг}.$$

### П.1.36. Сухой и прокаленный остаток

измеряются в мг/л.

Сухой остаток не в полной мере характеризует минерализацию раствора, так как условия его определения (кипячение, сушка твердого остатка в печи при температуре 102–110°С до постоянной массы) искажают результат: в частности, часть бикарбонатов (условно принимается – половина) разлагается и улетучивается в виде CO<sub>2</sub>.

### П.1.37. Характеристики текстильных волокон

Метрический номер (N – устар.) – отношение длины нити (текстильного волокна) в метрах к ее массе в граммах, м/г.

Текс (Т) (от лат.: *texo* – тку, сплетаю) – отношение массы нити (волокна) в граммах к ее длине в километрах, г/км.

$$T = 1000 / N \cdot T = 10^{-6} \text{ кг/м}.$$

Номер крученой пряжи обозначается дробью: числитель – номер отдельной нити, знаменатель – число нитей в пряжи (стренге). Пример: фильтродиагональ N 20/5 – пряжа скручена из первичных нитей № 20 и состоит из 5 сложений.

### П.1.38. Десятичные кратные и дольные единицы измерения величин,

а также их наименования и обозначения следует образовывать с помощью множителей и приставок, приведенных в табл. П.1.7.

Таблица П.1.7

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований

Множитель	Приставка	Обозначение приставки		Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
10 <sup>18</sup>	Экса	E	Э	10 <sup>-1</sup>	Деци	d	д
10 <sup>15</sup>	Пета	P	П	10 <sup>-2</sup>	Санتي	c	с
10 <sup>12</sup>	Тера	T	Т	10 <sup>-3</sup>	Милли	m	м
10 <sup>9</sup>	Гига	G	Г	10 <sup>-6</sup>	Микро	μ	мк
10 <sup>6</sup>	Мега	M	М	10 <sup>-9</sup>	Нано	n	н
10 <sup>3</sup>	Кило	k	к	10 <sup>-12</sup>	Пико	p	п
10 <sup>2</sup>	Гекто	h	г	10 <sup>-15</sup>	Фемто	f	ф
10 <sup>1</sup>	Дека	da	да	10 <sup>-18</sup>	Атто	a	а



## Приложение 2

### Термины и определения

1. *Автономная система питьевого водоснабжения* – комплекс устройств, сооружений, трубопроводов для забора, подготовки (или без нее), хранения, подачи к местам потребления питьевой воды, находящаяся в пользовании физических лиц и закрытая для общего пользования (ГОСТ 30813-2002).

2. *Адгезия* – сцепление (слипание) приведенных в контакт разнородных твердых или жидких тел, обусловленное межмолекулярной или химической связью. Химическая связь – связь между атомами в молекуле или молекулярном соединении. Основные типы этой связи: ионная и ковалентная.

3. *Азеотропная возгонка* – возгонка (кипячение) *азеотропных смесей*, то есть смесей жидких веществ, которые при определенных температуре и давлении вскипают в равной степени: образующийся концентрат пара имеет такой же состав, как исходная смесь. Около 50% изученных жидких смесей – азеотропы. Смеси можно разделять, изменяя температуру и давление кипения – азеотропная смесь при одних условиях будет неазеотропной при других условиях.

4. *Бактерии* – группа одноклеточных микроорганизмов с примитивной клеточной структурой. Формы: шаровидные (кокки), палочковидные (бактерии, бациллы) и извитые (вибрионы, спириллы). Размеры: диаметр шаровидных – 0,5–1,0 мкм; длина палочковидных – 1–8 мкм, ширина – 0,5–2,0 мкм; вибрионы и спириллы: длина и толщина – до 40–50 и 0,06–0,1 мкм. Некоторые бактерии (бациллы) могут образовывать споры, разрушение которых возможно с помощью озона или ультрафиолетовых лучей и невозможно хлором – при применяемых дозах.

5. *Бытовые водоочистные устройства* – устройства, эксплуатируемые и обслуживаемые самими потребителями (ГОСТ 30813-2002).

6. *Ван-дер-Ваальсовы силы* – силы взаимодействия, возникающие между электрически нейтральными атомами и молекулами.

7. *Взвешенные вещества* – вещества, выделяемые из воды фильтрованием и (или) центрифугированием (ГОСТ 30813-2002); также вещества, выделяемые седиментацией (отстаиванием), коагулированием, флокулированием.

8. *Вирусы* – мельчайшие возбудители инфекционных заболеваний человека, животных, растений

и бактерий, являющиеся внутриклеточными паразитами, не способными к жизнедеятельности вне живых клеток. Размеры: от десятков нанометров (возбудители энцефалита, полиомиелита, ящура) до 400–700 нм (возбудитель оспы).

9. *Водоочистные устройства* – технические изделия, предназначенные для очистки, доочистки, обеззараживания воды с целью улучшения качества воды для питьевых и бытовых нужд человека (ГОСТ 30813-2002).

10. *Водоподготовка* – технологические процессы обработки воды для приведения ее качества в соответствие с требованиями потребителей (ГОСТ 25151-82).

11. *Водопотребление* – комплекс мероприятий и устройств (сооружений) по изъятию воды из водисточника. *Водопользование* – то же без изъятия воды.

12. *Восстановление* – присоединение электронов от одних атомов к другим.

13. *Гербициды* – химические средства для борьбы с сорняками.

14. *Гидратация* – взаимодействие веществ с водой, при котором молекулы воды не разрушаются (в отличие от гидролиза и других реакций с участием воды). Соединения – *гидраты*. *Дегидратация* – обезвоживание веществ (например твердых) при нагревании, испарении воды.

15. *Гидробионты* – живые существа – водные обитатели.

16. *Гидролиз* – обменная реакция между каким-либо веществом и водой. При гидролизе образуются кислоты и основания (щелочи).

17. *Гумус* (от лат. *humus* – земля, почва, перегной) – высокомолекулярные, темноокрашенные органические вещества почвы, торфа, бурых углей. Состоит из гуминовых кислот, фульвокислот и др. *Гуминовые кислоты* (до 20% состава гумуса, до 60% торфа, 20–40% бурых углей) – их химическая структура: высокомолекулярные оксикарбоновые ароматические кислоты (могут содержать также карбонильные и метоксильные группы). Элементарный состав: 50–60% углерода, 4–6% водорода, 25–40% кислорода. Гуминовые кислоты растворяются в разбавленном щелочном растворе, но осаждаются при подкислении. В составе гумуса также *фульвокислоты* – группа органических соединений, ароматическая связь которых слабее, чем в гуминовых кислотах. Эти кислоты более диссоциированы и присутствуют в воде в коллоидной или истинно растворенной формах. Фульвокислоты растворимы как в растворе кислоты, так и в растворе щелочи. Фульвокислоты – основная часть водного гумуса. *Гуматы* и *фульваты* – соли соответствующих кислот.

18. *Деионизированная вода* – вода с уменьшенным содержанием ионов (ГОСТ 30813-2002).

19. *Диссоциация* – распад молекулы, радикала, иона на несколько имеющих меньшую молекулярную или ионную массу частей. *Электролитическая диссоциация* – распад под влиянием электрического тока.

20. *Дистилляция* – перегонка, разделение жидких смесей, при котором состав получаемого конденсата пара отличается от состава жидкости (ср. с азеотропной возгонкой). В водоподготовке из природной воды дистилляцией можно получить маломинерализованную воду.

21. *Диффузия* – перенос (распространение) вещества, обусловленный выравниванием его концентрации в первоначально неоднородной среде.

22. *Измельчаемость фильтрующих материалов* (%) – износ вследствие растрескивания зерен.

23. *Ион* – электрически заряженная частица, образующаяся при потере или присоединении электронов атомом или молекулой. Ион с положительным электрическим зарядом – катион, с отрицательным – анион.

24. *Истираемость фильтрующих материалов* (%) – износ вследствие трения зерен друг о друга и о стенки фильтров во время рабочего и промывочного циклов.

25. *Каптаж* – сооружение (каменная наброска, колодец, траншея) для перехвата и сбора подземных вод в местах их выхода на поверхность.

26. *Катализатор* – вещество, изменяющее скорость химических реакций. Катализаторы вступают в промежуточное взаимодействие с реагирующими веществами, но восстанавливают к концу реакции свой состав, то есть почти не расходуются.

27. *Кальцит* ( $\text{CaCO}_3$ ) – природный минерал. Твердость по шкале Мооса – 3, плотность – 2720–2800 кг/м<sup>3</sup>. Главная составляющая известняков, мергелей, мела, мрамора и др.

28. *Кислотность воды* – способность воды реагировать с гидроксильными ионами. В водных объектах определяется наличием свободных минеральных кислот (угольная, серная) и органических кислот (главным образом, гуминовых и фульвокислот).

29. *Кларк* – единица измерения количества ионов жесткости воды (также и других химических элементов) – получила такое наименование в честь американского геохимика Ф.У. Кларка, много сделавшего для классификации веществ земной коры.

30. *Коагулирование* – технологический способ укрупнения коллоидных и взвешенных веществ (ГОСТ 30813-2002), слипание частиц в коллоидных системах. *Коагуляция* – процесс во время коагулирования.

31. *Коли-титр* – показатель бактериального загрязнения воды, соответствующий объему исследуемой воды, приходящемуся на одну кишечную палочку. *Коли-индекс* – величина, обратная коли-титру, то есть показывающая количество кишечных палочек, содержащихся в 1 см<sup>3</sup> воды.

32. *Коллоиды* – дисперсные системы с частицами дисперсной фазы условным диаметром от 10<sup>-5</sup> до 10<sup>-6</sup> см. Частицы водных коллоидов практически не оседают.

33. *Лиотропные ряды (ряды Гофмейстера)* – ряды ионов, расположенных в порядке усиления или ослабления их влияния на свойства растворителя (вязкость, поверхностное натяжение, растворяющая способность и др.), а также на скорость и глубину химических реакций и физико-химических процессов в данном растворителе (например ионообменная способность). При изменении состава растворителя, значения водородного показателя (рН), температуры последовательность ионов в ряду может меняться вплоть до полного обращения ряда.

34. *Лямблии* – простейшие, паразитирующие в тонкой кишке, иногда в желчном пузыре. *Цисты* – неподвижная, временно пассивная форма лямблий.

35. *Метилоранж* (п-диметиламиноазобензол-2-карбоновая кислота) – кислотно-основный индикатор: при рН = 3,1–3,5 окраска водного раствора переходит от красной к оранжевой; при рН = 3,5–4,0 – окраска оранжевая; при рН = 4,0–4,4 окраска раствора переходит от оранжевой к желтой; при рН > 4,4 – окраска желтая.

36. *Микроорганизмы* – организмы, не видимые невооруженным глазом. Невооруженный глаз видит частицы размером  $\geq 100$  мкм; с помощью оптического микроскопа  $\geq 0,2$  мкм; с помощью электронного микроскопа  $\geq 0,001$  мкм.

37. *Минеральная вода* – природная подземная вода, характеризующаяся постоянным водно-солевым составом, содержащая биологически активные компоненты и имеющая специфические свойства. Чаще всего имеет повышенную минерализацию и может обладать лечебными свойствами (ГОСТ 30813-2002).

38. *Молекула* – наименьшая частица вещества, определяющая его свойства и способная к самостоятельному существованию. В молекуле может быть один атом (благородные газы), два –  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ , др., три –  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , др. и более – до многих сотен и тысяч атомов (органические вещества и полимеры). Соответственно размеры молекул – от десятых долей до тысяч и миллионов нанометров.

39. *Мономеры* – низкомолекулярные соединения, молекулы которых способны реагировать

между собой или с молекулами других соединений с образованием полимеров.

40. *Нефтепродукты* – экстрагированные неполярные и малополярные углеводороды (ГОСТ 30813-2002).

41. *Нецентрализованная система питьевого водоснабжения* – комплекс устройств, сооружений для забора питьевой воды без подачи и подготовки и открытая для общего пользования.

42. *Окисление* – отдача электронов от одних атомов к другим; окислитель, отдавая электроны, восстанавливается (важнейшие окислители: кислород, озон, перекись водорода, хлор, фтор, перманганат калия и др.).

43. *Опреснение воды* – деминерализация воды до таких концентраций веществ, при которых вода становится пригодной для питьевого водоснабжения (ГОСТ 25151-82).

44. *Остаточный хлор* – хлор, оставшийся в виде свободного или связанного хлора или в обоих вместе. *Свободный хлор* – хлор в виде хлорноватистой кислоты и (или) гипохлорит-иона. *Связанный хлор* – хлор в виде хлораминов (ГОСТ 30813-2002).

45. *Паллета* (англ. *Pallet*) – поддон, транспортный стеллаж.

46. *Пена* – дисперсная система с жидкой дисперсионной средой и газовой дисперсной средой.

47. *Пептизация* – распад агрегатов частиц в дисперсных системах (в водоподготовке – не совсем верно – разложение, растворение твердых фильтрующих материалов, переход в коллоидное состояние); процесс, обратный коагуляции.

48. *Пестициды* – химические средства для борьбы с вредителями и болезнями растений.

49. *Питательная вода* – вода, подготовленная для питания паровых котлов. Может состоять из добавочной воды и конденсата. *Добавочная вода* – часть питательной воды, приготовленная на станции водоподготовки из природной воды и очищенная от примесей в соответствии с нормами. *Конденсат* – часть питательной воды, полученная при конденсации пара и очищенная (при необходимости) в соответствии с нормами.

50. *Подпиточная вода* – вода, пополняющая убыль воды (утечки, испарения, унос капель ветром) из систем теплоснабжения и оборотного водоснабжения.

51. *Поликонденсация* – процесс получения полимеров из мономеров, сопровождающийся выделением продуктов реакции – низкомолекулярных веществ, то есть состав полученного высокомолекулярного продукта отличается от состава исходных продуктов. Если в процессе поликонденсации принимают участие два или более различных ис-

ходных веществ, то процесс называется *сополиконденсацией*.

52. *Полимеризация* – процесс синтеза полимеров, при котором макромолекула образуется путем последовательного присоединения мономеров к активному центру, находящемуся на конце растущей цепи, при этом низкомолекулярные продукты не выделяются. Если участвующих в процессе мономеров два и более, то такой процесс называют сополимеризацией.

53. *Полимеры* – высокомолекулярные соединения с молекулярной массой от нескольких тысяч до многих миллионов; делятся на природные или биополимеры (например белки, полисахариды) и синтетические (например иониты).

54. *Пороговый эффект* – предотвращение осадкообразования в пересыщенных растворах неорганических солей, содержащих субстехиометрические (микродозы) количества ингибитора.

55. *Пресная вода* – вода, пригодная для питья.

56. *Проскок ионов* – появление в фильтрате ионообменных фильтров ионов, по которым «исчерпана» рабочая обменная емкость ионита.

57. *Регенерация* – восстановление химической, сорбционной активности сорбентов, ионитов и др. *Регенерант* – активный агент регенерации.

58. *Рекреационная зона* – места для отдыха (в том числе места для купания) и восстановления здоровья человека.

59. *Релаксация* – процесс перехода термодинамической системы из неравновесного состояния, вызванного внешним воздействием, в состояние равновесия. Пример: затухание эффекта противонакипного состояния воды, вызванного действием магнитного поля.

60. *Сапрофиты* – микроорганизмы, использующие в качестве источников питания вещества из неживых объектов – в противоположность микробам-паразитам, обитающим в живых клетках. Пример сапрофитов – кишечная палочка.

61. *Седиментация* – направленное движение взвешенных в жидкости частиц в поле действия гравитационных или центробежных сил. Частный случай седиментации в водоподготовке – отстаивание взвесей в осветлителях и отстойниках.

62. *Сетевая вода* – вода, находящаяся в системе теплоснабжения или оборотного водоснабжения.

63. *Сорбция* – поглощение твердым телом или жидкостью веществ из окружающей среды. *Сорбент* – поглотитель, *сорбат* (*сорбтив*) – поглощаемое вещество. *Абсорбция* – поглощение всей массой сорбента. *Адсорбция* – поглощение поверхностным слоем сорбента. *Хемосорбция* – сорбция, обусловленная химическим взаимодействием

между сорбентом и сорбатом. При хемосорбции выделяется большое количество теплоты.

64. *Станция водоподготовки* – производственный объект, где осуществляются технологические процессы водоподготовки (ГОСТ 25151-82).

65. *Станция очистки воды* – производственный объект, где осуществляются технологические процессы очистки воды: осветление и обесцвечивание воды (ГОСТ 25151-82).

66. *Стехиометрия реакции* – соотношение между количествами вступающих в реакцию реагентов и образующихся продуктов реакции.

67. *Сульфитредуцирующие клостридии* – спорообразующие анаэробные палочковидные бактерии, редуцирующие сульфиты до сульфидов (ГОСТ 30813-2002).

68. *Суспензия* – грубодисперсная система с твердой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой. Суспензии грубые – *взвеси*, размер частиц от 1 мм до 50 мкм, видны невооруженным глазом, самопроизвольно оседают или всплывают. Суспензии тонкие – *мути*, размер частиц от 50 до 0,1 мкм, видны при должном увеличении, частицы самопроизвольно разделяются, но очень медленно. *Коллоидные растворы* – см. *коллоиды*. *Истинные растворы*, размер частиц около  $0,1 \cdot 10^{-3}$  мкм, то есть это молекулы или их части – ионы.

69. *Суффозия* – вынос мелких минеральных частиц и растворимых веществ из грунта фильтрующейся через него водой. Аналогично для осветлительных фильтров: вынос ранее задержанных взвешенных примесей из фильтра.

70. *Сухой остаток* (устар.: плотный остаток) – масса веществ, полученная после выпаривания 250–1000 мл природной воды и высушивания выпаренного остатка.

71. *Титрование* – операция количественного анализа – постепенное добавление (с постоянным измерением) реагента, необходимого для взаимодействия с определяемым компонентом в растворе.

72. *Упакованные воды*, отличные от природных минеральных вод, – воды для потребления человеком, которые могут содержать минеральные соли, находящиеся в них от природы, или специально добавленные; могут содержать  $\text{CO}_2$ , находящийся в них от природы или специально добавленный; но не должны содержать сахара, подсластители, отдушки или другие питьевые вещества.

73. *Условно-чистые сточные воды* – воды, которые можно использовать в производственных системах без дополнительной очистки (ГОСТ 25151-82).

74. *Фенолфталеин (пурген)* – кислотно-основный индикатор: при  $\text{pH} = 8,5\text{--}10,0$  приобретает в водном растворе малиново-красный цвет; при  $\text{pH} = 8,3\text{--}8,4$  – бледно-розовая окраска; при  $\text{pH} < 8,3$  – раствор бесцветный.

75. *Фенолы* – класс органических соединений ароматического ряда, содержащих одну или несколько гидроксильных групп ( $\text{OH}^{\cdot}$ ), непосредственно связанных с ароматическим ядром. Наиболее распространенный представитель ароматических веществ – бензол.

76. *Фенольный индекс* – фенолы, вступающие в реакцию с 4-аминоантипирином (то есть окси-, метокси-, карбокси- и сульфапроизводные).

77. *Фильтрация* – процесс во время фильтрования.

78. *Фильтрование воды* – технологический способ выделения примесей, частей или микроорганизмов из воды при ее фильтровании через слой пористого материала или сетку (ГОСТ 30813-2002). *Фильтр* – аппарат для фильтрования воды.

79. *Флокулирование* – агломерация флокулянтам. *Флокуляция* – процесс во время флокулирования, вид коагуляции (образуются рыхлые хлопьевидные агрегаты – флокулы).

80. *Флотация* – способ разделения мелких твердых частиц, выделения их из воды, обычно с помощью воздуха.

81. *Фунгициды* – вещества для борьбы с грибными, бактериальными, вирусными болезнями растений и грибными повреждениями растительных продуктов.

82. *Централизованная система питьевого водоснабжения* – комплекс устройств, сооружений, трубопроводов для забора, подготовки или без нее, хранения, подачи к местам потребления питьевой воды и открытая для общего пользования (ГОСТ 30813-2002).

83. *Щелочи (частный случай оснований)* – гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов.

84. Щелочноземельные металлы – бериллий, магний, кальций, стронций, барий, радий.

85. *Щелочные металлы*: литий, натрий, калий, рубидий, цезий, франций.

86. *Экстракция (экстрагирование)* – способ разделения твердых или жидких смесей, основанный на обработке смесей избирательными (селективными) растворителями.

87. *Эмульсия* – дисперсная система с жидкой дисперсионной средой (пример: масло в воде; вода – дисперсионная среда, масло – дисперсная среда).



## Приложение 3

### Математические обозначения, символы и сокращения в англоязычной литературе и документации

# – № (номер), если знак предшествует числу; английский фунт, если знак поставлен после числа.

:: – знак пропорции (equals, as).

μ – микрон (устар.), 0,001 мм, мкм.

” – секунда (second); еще одно обозначение – дюйм.

’ – минута (minute); так же обозначается фут.

≈ – приблизительно равно (approximately equal).

≡ – соответствует, тождественно равно.

÷ – или /, или : – знак деления (division, divided by).

~ – одного порядка или подобно.

∞ – пропорционально.

∴ – следовательно.

: – отношение.

Π – произведение.

Δ – приращение.

1st – первый (first).

2nd – второй (second).

3rd – третий (third).

4th – четвертый (fourth). Все однозначные порядковые числа от 4 до 9 имеют окончание th.

.5 – в англоязычных текстах иногда не пишут нуль целых.

1.5 – в англоязычных текстах отделяют знаки десятичных дробей не запятой, а точкой, ставя ее вверху, в середине или в низу строки.

7,568 = 7568; 1,000,000 = 10<sup>6</sup> (англичане и американцы в многозначных числах отделяют запятой каждые три цифры).

.0<sup>5</sup>103 = 00000103 = 0,00000103 (в англоязычных текстах встречаются указанные записи малых дробей, но в большинстве случаев – общепринятая запись: 103 · 10<sup>-5</sup>).



## Приложение 4

### Методы определения технологических свойств материалов водоподготовки, щелочности воды, органических веществ, коллоидного индекса, взвешенных примесей и мутности воды

#### П.4.1. Свойства активного угля

**Зольность** определяют для образца АУ массой 1 г, нагревая его в течение 1,0–2,5 ч при температуре 800°C. Затем взвешиванием определяют разницу в массе.

**Прочность АУ на истирание** устанавливают в лаборатории скоростным истиранием в мельнице или мешалке. Количественно эта величина измеряется в % отношении  $d'_{э\text{кв}}$  до и после истирания.

**Влажность АУ** определяют по разнице масс исходного образца угля (обычно примерно 1 г) и высушенного при 110°C в течение 1 ч.

**Объем пор** суммарный определяют объемом воды, заполняющей поры АУ при кипячении 10 см<sup>3</sup> известной массы АУ в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. После кипячения и охлаждения смеси объем ее доводят до исходного значения, фильтруют с разрежением 8 кПа в течение 3 мин – до сыпучего состояния. Затем влажный образец взвешивают, и по разнице с первоначальной массой определяют массу воды в порах.

Экспериментально определяют **сорбционную емкость** по йоду и перманганату калия (наименьший размер пор  $\approx 1,0$  нм), по метиленовому голубому ( $\approx 1,5$  нм), по эритрозиновому ( $\approx 1,9$  нм), по мелассе ( $\approx 2,8$  нм), по хлору, хлористому этилу, р-хлоранилу, бензолу, толуолу и др. В качестве сорбата (поглощаемого вещества) при этих экспериментах применяются доступные, легко определяемые вещества, например красители, а также водные растворы хорошо сорбируемых органических веществ: фенола, толуола и их п-нитропроизводных.

Разные производители АУ применяют разные методы определения их сорбционной способности, что затрудняет сопоставление марок АУ.

#### П.4.2. Химическая стойкость антрацита

Химическая стойкость антрацита определяют следующим образом.

Готовят (по 1 л) растворы:

500 мг/л хлорида натрия (нейтральная среда);  
200 мг/л соляной кислоты (кислая среда, рН = 2,3; 55 мл децинормального раствора соляной кислоты доводят до 1 л);

200 мг/л едкого натра (щелочная среда, рН = 12; 50 мл децинормального раствора едкого натра доводят до 1 л).

Испытуемый материал предварительно дробят, высевают фракцию 0,5–1,0 мм, промывают и высушивают при 60°C. Отмеривают в три колбы по 500 мл соответствующего раствора и помещают в эти различные среды по 10 г испытуемого материала. Содержимое колб взбалтывают вручную через каждые 4 ч, и после 24 ч контакта фильтрующего материала со средой отфильтровывают через бумажный фильтр. В полученном фильтрате из каждой колбы, а также в трех средах, но без введения фильтрующего материала, определяют сухой остаток, перманганатную окисляемость и содержание кремниевой кислоты.

#### П.4.3. Истираемость и измельчаемость гранул антрацита

Испытываемый материал дробят и отсеивают; 100 г материала, прошедшего через сито с отверстиями 1 мм и оставшегося на сите с отверстиями 0,5 мм, помещают в банку со 150 мл дистиллированной воды и встряхивают в течение 24 ч на лабораторной машине для встряхивания (около 100 качаний в минуту). Истираемость материала (в %) определяется массой его частиц, прошедших после 24 ч встряхивания через сито с отверстиями 0,25 мм.

Измельчаемость материала (в %) определяется массой его частиц, прошедших после такого же встряхивания через сито 0,5 мм и оставшихся на сите с отверстиями 0,25 мм (перед рассевом материал должен быть высушен при 60°C).

#### П.4.4. Полная статическая обменная емкость (ПСОЕ) и полная динамическая обменная емкость (ПДОЕ) ионитов

##### П.4.4.1. Полная статическая обменная емкость (ПСОЕ)

Согласно ГОСТ 20255.1-84 ПСОЕ определяют выдерживанием определенного объема ионита в соляной или серной кислоте концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup> (аниониты) или в гидроксиде натрия концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup> (сильнокислотные и слабокислотные катиониты) и 0,5 моль/дм<sup>3</sup> (карбокислотные катиониты). Сильноионизированные иониты (сильнокислотные катиониты, сильноосновные аниониты) выдерживают в контакте с кислотой или щелочью 2 ч, слабоионизированные (слабокислот-

ные катионы, слабоосновные аниониты) – 24 ч, при этом можно перемешивать смесь ионита и раствора кислоты или щелочи.

Считается, что за указанное время установится равновесие между концентрациями обмениваемых ионов в ионите и растворе.

Равновесную статистическую обменную емкость (РСОЕ) определяют выдерживанием ионита в течение 12 ч в растворе хлорида натрия концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>.

#### П.4.4.2. Полная динамическая обменная емкость (ПДОЕ)

По ГОСТ 20255.2-84 ПДОЕ определяется путем фильтрования раствора поглощаемого иона через слой ионита определенной высоты, определенного объема и с определенной скоростью. Раствор пропускают через слой ионита до выравнивания концентрации фильтрата с концентрацией раствора на входе в фильтр.

Определяют также динамическую обменную емкость с заданным расходом регенерирующего вещества: обменная емкость ионита после регенерации заданным ограниченным количеством регенеранта восстанавливается неполностью, и фильтрование ведут до проскока в фильтрат (для разных ионитов) ионов кальция более 0,05 ммоль/л, или гидроксида натрия более 0,1 ммоль/л, или до уменьшения щелочности на 0,7 ммоль/л, или до появления в фильтрате остаточной кислотности не более 0,1 ммоль/л.

#### П.4.5. Коллоидный индекс, SDI (англ.: Silt Density Index – индекс густоты осадка или FI – Fouling Index, индекс загрязненности)

Ниже – пропись анализа SDI по материалам фирм «Дегремон» (Франция) и «Пермутит» (США).

##### Сущность метода

После фильтрования анализируемой пробы, которое длится 15 минут, определяют степень «забивания» ацетатцеллюлозного мембранного фильтра с порами размером 0,45 мкм.

##### Оборудование:

напорный фильтр с внутренним диаметром корпуса 47 мм;  
ацетатцеллюлозный фильтр диаметром 47 мм с размером пор 0,45 мкм;  
манометр со шкалой 50 кПа;  
игольчатый вентиль для регулирования давления.

##### Ход определения

Мембрану помещают в корпус напорного фильтра, смачивают ее и зажимают оправкой. Выпустив

воздух, устанавливают корпус напорного фильтра таким образом, чтобы мембрана была ориентирована вертикально. При давлении, равном 0,21 МПа, используя хронометр, измеряют время  $t_0$ , необходимое для фильтрования 500 мл воды (это время должно составлять больше 10 с). Повторяют анализ, если давление во время измерения изменится на  $\pm 5\%$ . Продолжая фильтрование с тем же фильтром, корректируют, если это необходимо, давление.

Через 10 мин измеряют хронометром время  $t$ , необходимое для фильтрования 500 мл воды, следя за тем, чтобы давление оставалось постоянным, равным 0,21 МПа.

Разбирают корпус напорного фильтра, вынимают фильтрующую мембрану и проводят с ней запланированные анализы.

##### Расчет

Интенсивность засорения  $P$ , % (обозначают также PF – Plugging Factor, фактор закупоривания) определяют по соотношению:

$$P = 100 \cdot (1 - t_0/t).$$

Если полученное значение превышает 80% за 15 мин, анализ следует повторить с уменьшением времени фильтрования до 10, 5 или даже 3 мин.

Индекс засорения вычисляют, исходя из значения  $P$  и времени  $T$  (мин) между измерениями:

$$I_c = P/T.$$

##### Пример

При давлении 0,21 МПа  $t_0 = 28$  с; через 15 мин (то есть  $T = 15$ ),  $t = 44$  с;

$$P = 100 \cdot (1 - 28/44) = 36,4\%;$$

$$I_{c15} = 36,4/15 = 2,4;$$

$$SDI = 2,4.$$

#### П.4.6. Органические вещества

Сегодня еще не найдено универсального, полностью представительного метода определения органических примесей в природной воде. Существует несколько понятий и методов определения, в совокупности дающих более или менее полное и верное представление о количестве и природе органических примесей воды. Однако трудно ожидать от потребителей воды желания и возможностей определять количество органических примесей по всем методикам анализов. Поэтому – проблема интерпретации результатов разных анализов и соотношения их друг с другом.

Здесь мы не касаемся индивидуального определения органических веществ, а также анализов сточных вод.

Кроме того, содержание органических веществ в воде можно находить при определении потери массы во время прокалывания сухого остатка. Однако, кроме сложности и длительности самого

анализа сухого остатка и потери при его прокаливании, полученные данные (особенно для воды с повышенной минерализацией) обычно больше истинного содержания в воде органических веществ из-за частичного распада и улетучивания при прокаливании кристаллизационной воды и соединений азота, карбонатов, хлоридов и др.

**Окисляемость перманганатную** (пермангантный индекс ПО) определяют разными методиками:

/А/ 10 мин кипячения пробы воды в кислом растворе – метод Кубеля;

/Б/ 30 мин кипячения пробы воды в щелочном растворе – метод Шульце-Паппа (при содержании хлоридов в воде более 300 мг/л);

/В/ 30 мин кипячения пробы воды в кислом растворе при 100 °С;

/Г/ 4 ч выдерживания пробы воды при 27°С в кислом растворе (в США применяется чаще других методик).

Эта методика определения окисляемости применяется при значениях 0,5–300 мгО/л; если значение больше 10 мг/л, то раствор разбавляют.

Соотношение между результатами анализов по этим методикам:

/А/ – 1,0; /В/ – 0,65–0,85 («Пьюролайт», 1996 г.);  
1,33 («Пьюролайт», 2003 г.).

/Б/ – 0,9; /Г/ – 0,33.

**Общий органический углерод (ОУУ или, по иностранным публикациям, ТОС – Total Organic Carbon)** анализируют «сжиганием» определенной массы «органики», затем определяют количество полученного диоксида углерода  $\text{CO}_2$ .

«Сжигание» «сухим» способом: пробы воды выпаривают в потоке кислорода, прокалывают остаток и пропускают пары над оксидом меди при 900°С.

«Сжигание» «мокрым» способом: пробы воды обрабатывают окислителями (хромовая смесь –  $\text{CrO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$ , бихромат калия  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  и персульфат калия  $\text{K}_2\text{S}_{208}$ ) в растворе серной кислоты и в присутствии катализатора  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ .

Результат, полученный с помощью этой методики, приблизительно равен результату, полученному при использовании метода Кубеля.

#### Бихроматная окисляемость (ХПК)

Бихроматную окисляемость определяют в условиях более сильного окисления по сравнению с условиями определения перманганатной окисляемости: окисление бихроматом калия  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  в течение 2 ч при температуре 150°С и с серебряным катализатором  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  в присутствии серной кислоты.

В указанных ниже соотношениях условно принято, что при определении перманганатной окисляемости природных вод окисляется 40% органических веществ, бихроматной окисляемости – 100%.

При анализе ХПК наиболее надежные результаты получаются при ХПК = 300–600 мгО/л. При этом анализе окисляются ионы  $\text{Br}$ ,  $\text{J}$ ,  $\text{NO}_2^-$ , некоторые соединения серы и др.

Для вычисления концентрации углерода, содержащегося в органических веществах, нужно значение ХПК умножить на 0,375 (коэффициент, равный отношению количества вещества эквивалента углерода к количеству вещества эквивалента кислорода), а для вычисления концентрации органических веществ – на 0,75 (но могут быть и другие значения, см. ниже).

#### Ультрафиолетовое просвечивание

Результат, полученный с помощью этой методики, приблизительно равен результату, полученному методом Кубеля.

#### Соотношение результатов анализов по разным методикам

Условно можно представить соотношения между результатами анализов по разным методикам. Несмотря на условность этих соотношений, они дают все-таки некоторое представление об анализах.

Значение результата анализа перманганатной окисляемости по методу Кубеля в пересчете на кислород принято за единицу. Значение результата анализа перманганатной окисляемости по методу Кубеля в пересчете на перманганат калия – 0,25 (точнее 0,253):

$\text{ПО}_o = \text{ПО}_{\text{KMnO}_4} \cdot 0,25$ .

То же бихроматной окисляемости (ХПК) – (0,3–0,5).

То же общего органического углерода (ОУУ – ТОС) – 0,25–0,33 (0,4) (по данным фирмы «Пьюролайт» и ОАО «Фирма ОРГРЭС») и ~1,2 (по данным фирмы «ДАУ Европа»).

То же биохимической потребности в кислороде за 5 сут (БПК<sub>5</sub>) – (0,5–3,0, чаще 1,5).

То же биохимической потребности в кислороде полной (обычно 15–20 сут) (БПК<sub>полн</sub>) – 1,0.

То же ультрафиолетовым просвечиванием (измерение при длине волны 300 нм) – 1,0.

#### П.4.7. Щелочность

Щелочность определяют титрованием кислотой пробы воды в присутствии индикаторов. В зависимости от применяемых индикаторов при анализах проб воды (при титровании кислотой индикаторы изменяют окраску раствора: фенолфталеин при  $\text{pH} \leq 8,3$ –8,4 и метилоранж при  $\text{pH} \leq 3,7$ –4,0) можно

определить состав воды – вычислить отдельные компоненты общей щелочности – табл. П.4.1.

**Таблица П.4.1**

Соотношение между щелочностью по фенолфталеину и метилоранжу

Соотношение между $\text{Щ}_{\text{ф}}$ и $\text{Щ}_{\text{м}}$	$\text{Щ}_{\text{г}}$	$\text{Щ}_{\text{к}}$	$\text{Щ}_{\text{б}}$
$\text{Щ}_{\text{ф}} > 0,5 \cdot \text{Щ}_{\text{м}}$	$2 \cdot \text{Щ}_{\text{ф}} - \text{Щ}_{\text{м}}$	$2 \cdot (\text{Щ}_{\text{м}} - \text{Щ}_{\text{ф}})$	Нет
$\text{Щ}_{\text{ф}} = 0,5 \cdot \text{Щ}_{\text{м}}$	Нет	$\text{Щ}_{\text{м}}; 2 \cdot \text{Щ}_{\text{ф}}$	Нет
$\text{Щ}_{\text{ф}} < 0,5 \cdot \text{Щ}_{\text{м}}$	Нет	$2 \cdot \text{Щ}_{\text{ф}}$	$\text{Щ}_{\text{м}} - 2 \cdot \text{Щ}_{\text{ф}}$
$\text{Щ}_{\text{ф}} = \text{Щ}_{\text{м}}$	$\text{Щ}_{\text{ф}}; \text{Щ}_{\text{м}}$	Нет	Нет
$\text{Щ}_{\text{ф}} = 0; \text{Щ}_{\text{м}} > 0$	Нет	Нет	$\text{Щ}_{\text{м}}$

Обозначения щелочности:

$\text{Щ}_{\text{г}}$  – гидратная;  $\text{Щ}_{\text{к}}$  – карбонатная;  $\text{Щ}_{\text{б}}$  – бикарбонатная;

$\text{Щ}_{\text{ф}}$  – по фенолфталеину;  $\text{Щ}_{\text{м}}$  – по метилоранжу (общая).

#### П.4.8. Взвешенные примеси

Как правило, содержание взвешенных примесей определяется весовым способом с предварительным фильтрованием. При содержании взвешенных примесей менее 5–10 мг/л определение затруднительно: необходимо профильтровать большое количество анализируемой воды. Поэтому в таких случаях определение взвешенных веществ заменяют определением прозрач-

ности столба воды по «шрифту Снеллена». Или по «кресту», или по «кольцу» в см. Значения прозрачности по «кольцу» и по «шрифту Снеллена» примерно равны.

При содержании в воде взвешенных веществ менее 2–3 мг/л определение загрязненности воды производят косвенно по мутности воды.

#### П.4.9. Мутность воды

Мутность воды определяют несколькими способами:

- по формазину;
- нефелометрически;
- по Джексоу.

Все три метода могут быть названы нефелометрическими: измеряется ослабление (рассеяние или поглощение) светового луча при прохождении его через слой исследуемой мутной воды в сосуде (кювете).

Если мощность (степень) рассеяния светового луча измеряют в направлении, перпендикулярном направлению падающего светового потока, то такой метод называют собственно нефелометрическим. Если измеряют мощность света, выходящего из кюветы в направлении исходного светового луча, метод называют турбидиметрическим.

При нефелометрическом определении сравнивают светорассеяние с образцами, замутненными, например измельченным кремнеземом (отмытый прокаленный трепел – 100%  $\text{SiO}_2$ ). Результаты выражают в мг/л (мкг/л), при этом понимается, что количество мг – это масса  $\text{SiO}_2$  или каолина ( $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_8$ ).

## Приложение 5

### Примеры технологических расчетов

#### П.5.1. Характеристики типоразмеров наиболее часто применяемых корпусов фильтров баллонного типа из стеклопластика

Таблица П.5.1

Тип корпуса*	Размеры (диаметр × высота), мм	Вместимость баллона, л	Площадь фильтрации (габаритная), 10 <sup>-2</sup> м <sup>2</sup>	Объем наполнителя, л
08×35	203×889	26	3,2	17
10×35	254×889	39	5,0	26
10×44	254×1180	50	5,0	33
10×54	254×1372	63	5,0	42
13×54	330×1372	102	8,6	68
14×65	356×1651	140	9,9	100
16×65	406×1651	170	13,0	125
21×60	533×1575	310	22,3	207
24×69	610×1753	450	29,2	300
30×72	762×1829	710	45,6	473
36×72	914×1829	1020	65,6	680

\* Габаритные размеры фильтра в дюймах: первое число – диаметр, второе – высота.

#### П.5.2. Характеристики марок гипохлорита натрия

В соответствии с ГОСТ 11086-76 раствор гипохлорита натрия, получаемый по химическому методу, выпускается в виде трех марок. Ниже приведены показатели по составу продуктов:

Марка	«А»	«Б»	«В»
Содержание: активный хлор, г/л	190	170	120
гидроксид натрия, г/л	10–20	40–60	20–90

#### П.5.3. Емкость Manganese Green Sand (MGS) – марганцевый зеленый песок

Таблица П.5.2

Средние объемы очищенной воды, л, в расчете на 1 л наполнителя MGS

Концентрация загрязнителя, мг/л	Общее железо (только ионы Fe <sup>2+</sup> + Fe <sup>3+</sup> )	Железо и марганец (при суммарной концентрации Fe и Mn <sup>2+</sup> )	Сероводород (только H <sub>2</sub> S)
1	2	3	4
0,5	1714,3	964,3	535,7
1,0	1142,9	642,9	357,1
1,5	857,1	500	285,7
2,0	571,4	327,9	189,3
3,0	357,1	214,3	125
4,0	285,7	160,7	92,9
5,0	160,7	96,4	53,6
5,5	42,9	25	10,7

##### Примечание к табл. П.5.2

Приведены ориентировочные данные по объемам воды, которую можно очистить за один фильтроцикл при использовании в качестве наполнителя MGS. Как видно из таблицы, повышение концентрации загрязнителя, особенно при наличии в исходной воде марганца и сероводорода, существенно снижает возможности наполнителя.

При использовании табл. П.5.2 для расчетов необходимо учитывать, что под концентрацией загрязнителя принимаются:

только концентрация железа в воде, когда содержание марганца и сероводорода ниже допустимых значений (значение объема воды берут из второго столбца);

сумма концентраций Fe<sub>общ</sub> и Mn<sup>2+</sup> при концентрации марганца больше допустимого значения (объем воды – из третьего столбца);

только концентрация сероводорода при значительном превышении допустимого значения (четвертый столбец).

#### П.5.4. Расчет ресурса установки умягчения для коттеджей

1. Рабочая обменная емкость (РОЕ) 1 л катионита определяется по табл. П.5.3 на основе принятого удельного расхода хлорида натрия.



**Таблица П.5.3**

Удельный расход хлорида натрия на 1 л катионита*, г									
70	80	100	120	140	160	180	200	220	240
Рабочая обменная емкость 1 л катионита, ммоль									
820	890	990	1080	1160	1230	1280	1320	1340	1360

\* Данные для катионитов марок C100E, SR1LNa.

2. РОЕ в этой установке умягчения, выраженная в ммоль, рассчитывается путем умножения, принятого по табл. П.5.3 РОЕ 1 л катионита на общий объем катионита, л.

В табл.П.5.3 РОЕ рассчитана со значительным упрощением: РОЕ, как указывалось ранее (см. ч. 1, п. 4.3.6 и ч. 2, п. 2.4.3), зависит от многих параметров и может быть точно установлена только при испытаниях и пробной эксплуатации.

3. Объем воды (л), который может быть умягчен на данной установке до проскока ионов жесткости в фильтрат, рассчитывается путем деления РОЕ установки на значение жесткости исходной воды, ммоль/л.

4. Длительность фильтроцикла (время между двумя регенерациями), ч, – объем воды, который может быть умягчен на установке, деленный на требуемую производительность, л/ч.

5. Общий расход хлорида натрия (г) на одну регенерацию данной установки рассчитывается умножением принятого в таблице удельного расхода реагента (г/л) на общий объем (л) катионита в установке.

### П.5.5. Расчет фильтра обезжелезивателя для коттеджа

*Расчет установки для обезжелезивания воды, поступающей из артезианской скважины, в частном доме, в котором постоянно проживают три человека.*

*Лабораторный анализ показал следующий состав воды: железо общее – 3,5 мг/л, марганец – 1,2 мг/л, жесткость общая – 5,9 ммоль/л, значение рН=7,1. Предполагается установить блок управления фильтра с контролем по таймеру.*

1. Расчетное водопотребление на объекте определяется исходя из норм водопотребления, общей численности потребителей, типа используемых санитарно-технических приборов, режима водопотребления.

В коттедже, где постоянно проживают три человека, потребление воды составляет в среднем 1,2–1,5 м³/сут.

2. При суммарной концентрации железа и марганца (3,5 + 1,2) = 4,7 мг/л (принятое для расчета

значение – 5,0 мг/л) по табл. П.5.2 определяется объем воды, который можно очистить с помощью 1 л наполнителя – 96,4 л.

3. Если принять по табл. П.5.1 тип баллонного фильтра 13×54 с объемом загрузки 68 л, то за один фильтроцикл объем очищенной воды составит:

$$96,4 \text{ л/л} \cdot 68 \text{ л} = 6555 \text{ л.}$$

4. Процесс регенерации необходимо провести через:

$$6555 \text{ л} / 1500 \text{ л/сут} \times 4 \text{ сут.}$$

5. Расход перманганата калия (KMnO<sub>4</sub>) на 1 регенерацию:

$$68 \text{ л} \cdot 4 \text{ г/л} = 272 \text{ г;}$$

расход KMnO<sub>4</sub> за месяц:

$$31 \text{ сут} / 4 \text{ сут} \cdot 272 \times 2000 \text{ г} (2 \text{ кг}).$$

При выборе типоразмера фильтра необходимо учитывать рекомендации фирмы-производителя по скорости фильтрования, то есть производительности данного типоразмера фильтра.

### П.5.6. Расчет частоты регенерации установки умягчения для коттеджа на основе баллона 10×54

*Расчет установки умягчения воды, поступающей из артезианской скважины, в частном доме, где постоянно проживают три человека.*

*Лабораторный анализ показал следующий состав воды: железо общее – 3,5 мг/л, марганец – 1,2 мг/л, жесткость общая – 5,9 ммоль/л, значение рН = 7,1. Предполагается установить блок управления фильтра с контролем по таймеру.*

В коттедже, где постоянно проживают три человека, расчетное потребление воды составляет в среднем 1,2–1,5 м³/сут.

Если для баллона типоразмера 10×54 объем загрузки по табл. П.5.1 принят равным 52 л, то за один фильтроцикл установки объем очищенной воды составит:

1. По табл. П.5.3 РОЕ 1 л катионита принято равным 1080 ммоль/л при оптимальном расходе хлорида натрия 120 г на регенерацию 1 л катионита.

2. РОЕ фильтра равно 1080 ммоль/л × 52 л = 56160 ммоль.

3. Объем воды, который может быть умягчен в установке, принят равным

$$56160 \text{ ммоль/л} : 5,9 \text{ ммоль/л} = 9518 \text{ л} \approx 9,5 \text{ м}^3.$$

4. Период регенерации определяют делением объема воды на суточный расход:

$$9,5 \text{ м}^3 : 1,5 \text{ м}^3/\text{сут} = 6,3 \text{ сут} \times 6 \text{ сут.}$$

5. Расход хлорида натрия на одну регенерацию:  $120 \text{ г} \times 52 \text{ л катионита} = 6240 \text{ г} \times 6,2 \text{ кг.}$

### П. 5.7. Расчет схемы обезжелезивания с периодической регенерацией

Объект имеет потребность в воде хозяйственно-питьевого назначения в объеме  $5,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Режим работы производства – односменный (8 ч); разбор воды, поступающей из артезианской скважины, – равномерный. Лабораторный анализ показывает следующий состав воды: железо общее –  $4,7 \text{ мг/л}$ , марганец –  $0,2 \text{ мг/л}$ , жесткость общая –  $4,1 \text{ ммоль/л}$ , значение  $\text{pH} = 7,3$ .

Необходимо подобрать фильтр обезжелезивания и определить его эксплуатационные характеристики.

1. Учитывая, что при односменном режиме работы фильтра есть достаточно времени для регенерации фильтра в ночное время (потребуется примерно 1,5 ч), для расчета поверхности фильтрования используют упрощенную формулу:

$$F = Q / T_{\text{ст}} \cdot v_{\text{н}},$$

где  $Q = 5,4 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 8 \text{ ч} = 43,2 \text{ м}^3$  – полезная производительность фильтровальной установки за 1 сут;  $T_{\text{ст}}$  – продолжительность работы фильтра в течение суток, в данном случае равная 8 ч;  $v_{\text{н}}$  – скорость фильтрования при нормальном режиме, принимаемая для MGS равной  $10 \text{ м/ч}$ . Поверхность фильтрации

$$F = 43,2 / (8 \cdot 10) = 0,54 \text{ м}^2.$$

2. С помощью табл. П.5.1 находим, что такую поверхность фильтрования могут обеспечить 2 фильтра (тип 24×69), установленные по потоку воды параллельно. Объем наполнителя MGS в каждом фильтре – 450 л, суммарно – 900.

При суммарной концентрации железа и марганца ( $4,7 + 0,2 = 4,9 \text{ мг/л}$ , для расчета принято  $5 \text{ мг/л}$ ) по табл. П.5.2 определяют объем воды, который может очистить 1 л сорбента. Эта величина равна  $96,4 \text{ л}$ .

Объем воды, очищаемой за фильтроцикл, составит:

$$96,4 \text{ л} \cdot 900 \text{ л} = 86760 \text{ л} \approx 86,76 \text{ м}^3.$$

3. Регенерацию нужно производить через каждые:

$$86,76 \text{ м}^3 / 43,2 \text{ м}^3/\text{сут} \approx 2 \text{ сут.}$$

4. Расход перманганата калия на 1 регенерацию:

$$4 \text{ г/л KMnO}_4 \cdot 900 \text{ л MGS} = 3600 \text{ г};$$

расход перманганата калия за 1 мес.:

$$31 \text{ сут} / 2 \text{ сут} \cdot 3600 \text{ г} / 1000 \approx 55 \text{ кг.}$$

При реализации данной схемы целесообразно предусмотреть ввод реагента-окислителя (перманганата калия) с помощью комплекса пропорционального дозирования.

Расход реагента при совместном дозировании гипохлорита натрия и перманганата калия можно уменьшить.

### П.5.8. Определение фильтроцикла установки обезжелезивания

Определить фильтроцикл установки обезжелезивания.

Тип фильтра – 24×69 (2 шт.).

Объем наполнителя МТМ –  $450 \text{ л} \cdot 2 = 900 \text{ л}$ .

Содержание железа в исходной воде –  $4,7 \text{ мг/л}$ .

1. Сорбционная емкость наполнителя по железу:  $0,35 \text{ г/л} \cdot 900 \text{ л} = 315 \text{ г}$  железа может быть окислено и осаждено на двух фильтрах за один фильтроцикл.

Емкость 1 л МТМ составляет  $0,35 \text{ г}$  железа (ч. 2, п.2.3).

2. Объем очищенной воды за фильтроцикл:  $315 \text{ 000 мг} / 4,7 \text{ мг/л} \approx 67 \text{ м}^3$ .

### П.5.9. Расчет установки для обработки воды раствором гипохлорита натрия

Расчет установки для обработки воды товарным раствором гипохлорита натрия марки «Б» с содержанием активного хлора  $170 \text{ г/л}$ . Раствор перед введением гипохлорита разбавить в 17 раз ( $K_p$  – коэффициент разбавления) до концентрации  $C_p = 10 \text{ г/л}$  (рабочий раствор).

Часовая производительность установки по воде,  $Q_{\text{час}} = 5,5 \text{ м}^3$ , суточный расход воды  $Q_{\text{сут}} = 88 \text{ м}^3$ , то есть установка работает 16 ч в сут.

Состав исходной воды: двухвалентное железо –  $8 \text{ мг/л}$ , двухвалентный марганец –  $0,5 \text{ мг/л}$ , сероводород –  $0,4 \text{ мг/л}$ , значение  $\text{pH} = 6,9$ .

Пробная обработка воды показала необходимость введения  $3,5 \text{ мг/л}$  активного хлора для целей обеззараживания.

1. Требуемый расход активного хлора (в пересчете на 100%) определяют по выражению (4.79):

$$\text{AX} = 5,5 \cdot (3,5 + 8 \cdot 0,64 + 0,5 \cdot 1,3 + 0,4 \cdot 2,1) = 56,9 \text{ г/ч.}$$

2. Скорость подачи рабочего раствора гипохлорита натрия (необходима для подбора дозирующего насоса по производительности):

$$\Pi_{\text{гн}} = AX / C_p = 56,9 / 10 \approx 6 \text{ л/ч.}$$

3. Суточный расход рабочего раствора гипохлорита (необходим для подбора бака для хранения и дозирования рабочего раствора):

$$\Pi_{\text{гн}} \cdot t = 6 \cdot 16 = 96 \text{ л.}$$

4. Суточный расход товарного раствора гипохлорита натрия марки «Б» (необходим для определения затрат на реагент):

$$P_{\text{гн}} = \Pi_{\text{гн}} \cdot t / K_p = 6 \cdot 16 / 17 = 5,6 \text{ л.}$$

### П.5.10. Расчет дозы кислорода для окисления железа

Для окисления 1 мг растворенного в воде железа нужно 0,143 мг кислорода, для 1 мг растворенного марганца – 0,291 мг. Содержание кислорода в воздухе ~23% (по массе). При атмосферном давлении и температуре 20 °С растворимость воздуха в воде равна 24,2 мг/л, при этом концентрация кислорода – 5,57 мг/л.

Например при содержании в воде железа (30 мг/л) и марганца (3 мг/л) необходимое количество кислорода:

$$C_k = 30 \cdot 0,143 + 3 \cdot 0,291 = 5,2 \text{ мг/л,}$$

сопоставимое с растворимостью кислорода в воде.

В поверхностных водах содержание кислорода колеблется в пределах 0–14 мг/л.

Для достижения необходимых скоростей фильтрования (обеспечения требуемой производительности фильтра) необходимо многократное превышение содержания кислорода в воде сверх стехиометрического количества. Особенно это важно для подземных вод, где растворенного кислорода нет или почти нет.

### П.5.11. Расчет эквивалентного диаметра $d_{\text{экр}}$ антрацита:

$$d_{\text{экр}} = 100 / \sum P_i / d_i, \text{ мм,}$$

где  $P_i$  – содержание фракций (%) со средним диаметром гранул  $d_i$ , мм;

$$d_i = (d_n + d_{n+1}) / 2;$$

$$P_i = P_n - P_{n+1};$$

значения  $d_i$  и  $P_i$  определяются по табл. П.5.4 и П.5.5.

Таблица П.5.4

Наименование	Номер сита, через которое просеивают пробу материала									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Калибр сита $d_n$ , мм	0,56	0,63	0,70	0,80	0,90	1,0	1,1	1,2	1,4	1,6
Осталось на сите $P_n$ , массовые %	100	97	85	75	56	41	27	17	9	0
Прошло через сито, $\Pi_m$ , массовые %	0	3	15	25	44	39	73	87	91	100

Таблица П.5.5

Обозначения	Численные значения									
$d_i$	0,59	0,67	0,75	0,85	0,95	1,05	1,15	1,3	1,5	
$P_i$	3	12	10	19	15	14	10	8	9	

$$d_{\text{экр}} = 100 / (3/0,59 + 12/0,67 + 10/0,75 + 19/0,85 + 15/0,95 + 14/1,05 + 10/1,15 + 8/1,3 + 9/1,5) = 0,92 \text{ мм.}$$

### П.5.12. Расчет коэффициента неоднородности гранул $K_n$ антрацита

Десятипроцентный калибр загрузки фильтра

$$d_{10} = d_m + [(d_{m+1} - d_m) \cdot (10 - \Pi_m)] / (\Pi_{m+1} - \Pi_m), \text{ мм,}$$

где  $d_m$  – калибр ближайшего сита, через которое прошло менее 10% всего материала, мм;

$d_{m+1}$  – то же, но более 10%, мм;

$\Pi_m$  – количество материала, прошедшее через сито с калибром  $d_m$ , % по массе;

$\Pi_{m+1}$  – то же при калибре  $d_{m+1}$ , % по массе.

По табл. П.5.4  $d_m = 0,63$  мм;  $d_{m+1} = 0,70$  мм;  $\Pi_m = 3\%$ ;  $\Pi_{m+1} = 15\%$ .

$d_{10} = 0,63 + [(0,7-0,63) \cdot (10-3)] / (15-3) = 0,67$  мм;  
80%-ный калибр загрузки фильтра

По табл. П.5.5  $d_k = 0,63$  мм;  $d_{k+1} = 0,70$  мм;  
 $\Pi_k = 3\%$ ;  $\Pi_{k+1} = 15\%$ ;

$d_{80} = d_k + [(d_{k+1} - d_k) \cdot (80 - \Pi_k)] / (\Pi_{k+1} - \Pi_k)$ , мм,

$d_{80} = 1,1 + [(1,2-1,0) \cdot (80-73)] / (87-73) = 1,15$  мм.

где  $d_k$  – калибр ближайшего сита, через которое  
прошло менее 80% всего материала, мм;

Коэффициент неоднородности

$d_{k+1}$  – то же, но более 80%, мм;

$K_H = d_{80} / d_{10} = 1,15 / 0,67 = 1,72$ .

$\Pi_k$  – количество материала, прошедшее через  
сито с калибром  $d_k$ , % по массе;

$\Pi_{k+1}$  – то же при калибре  $d_{k+1}$ , % по массе.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

**Некоторые химические свойства реагентов, применяемых при обработке воды**

**П.6.1. Плотность растворов важнейших солей и щелочных реагентов, применяемых при обработке воды, г/см<sup>3</sup>**

Таблица П.6.1

Содержание безводного вещества, % (по массе)	Al <sub>2</sub> (SO) <sub>3</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	FeCl <sub>3</sub>	FeSO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>	NaCl	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	NaOH	NaHSO <sub>3</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
	Температура, °C									
	19	15-20	20	18	15	20	20	20	18	15
1	1,009	1,0085	1,007	1,0085	0,9950	1,0053	1,0686	1,0100	1,0059	1,0087
2	1,018	1,0170	1,015	1,0180	0,9905	1,0125	1,0190	1,0210	1,0132	1,0194
3	1,295	–	–	1,0280	–	1,0196	–	–	1,0206	1,0299
4	1,040	1,0335	1,032	1,0375	0,9835	1,0268	1,0398	1,0430	1,0280	1,0405
5	1,050	–	–	1,0475	–	1,0340	1,0502	–	1,0354	1,0515
6	1,061	1,0500	1,049	1,0575	0,9760	1,0413	1,0606	1,0650	1,0429	1,0624
7	1,072	–	–	1,0680	–	1,0486	1,0711	1,0760	1,0505	1,0737
8	1,083	1,0685	1,067	1,0785	0,9675	1,0559	1,0816	1,0870	1,0581	1,0850
9	1,094	–	–	1,0900	–	1,0633	1,0922	–	–	1,0962
10	1,105	1,0870	1,085	1,1000	0,9600	1,0707	1,1029	1,1090	–	1,1083
12	1,129	1,1050	1,104	1,1220	0,9525	1,0857	1,1244	1,1310	–	
14	1,152	1,1240	1,123	1,1445	0,9470	1,1009	1,1463	1,1530	–	
16	1,176	1,1440	1,142	1,1675	0,9390	1,1162	1,1636	1,1750	–	
18	1,201	1,1640	1,162	1,2905	0,9320	1,1319	1,1859	1,1970	–	
20	1,226	1,1850	1,182	1,3135	0,9250	1,1448	1,2086	1,2080	–	
22	1,252	1,2070	–	–	0,9200	1,1639	1,2317	1,2410	–	
24	1,278	1,2310	–	–	0,9140	1,1804	1,2552	1,2630	–	
26	1,306	1,2530	–	–	0,9080	1,1972	1,2790	1,2850	–	
28	1,333	1,2740	1,268	–	0,9020	–	1,3031	1,3050	–	
30	–	1,2950	1,292	–	0,8950	–	1,3274	1,3280	–	
32	–	–	–	–	0,8890	–	–	1,3490	–	
34	–	–	–	–	0,8850	–	–	1,3700	–	
36	–	–	–	–	0,8780	–	–	1,3900	–	
38	–	–	–	–	0,8740	–	–	1,4100	–	
40	–	–	–	–	–	–	–	1,4300	–	
42	–	–	–	–	–	–	–	1,4490	–	
44	–	–	–	–	–	–	–	1,4690	–	
46	–	–	–	–	–	–	–	1,4810	–	
48	–	–	–	–	–	–	–	1,5070	–	
50	–	–	–	–	–	–	–	1,5250	–	



**П.6.2. Плотность растворов кислот (серной и соляной) при 20°C, г/см<sup>3</sup>**

Таблица П.6.2

Содержание безводного вещества, %, по весу (г/100 г)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	Содержание безводного вещества, %, по весу (г/100 г)	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl
1	1,0050	1,0030	54	1,4350	–
2	1,0120	1,0080	58	1,4770	–
3	1,0185	1,0130	60	1,4980	–
4	1,0250	1,0180	62	1,5200	–
5	1,0315	1,0230	64	1,5420	–
6	1,0380	1,0280	66	1,5650	–
7	1,0450	1,0330	68	1,5870	–
8	1,0520	1,0380	70	1,6110	–
9	1,0590	1,0425	72	1,6340	–
10	1,0660	1,0470	74	1,6570	–
12	1,0800	1,0570	76	1,6810	–
14	1,0950	1,0680	78	1,7040	–
16	1,1090	1,0780	80	1,7270	–
18	1,1240	1,0888	82	1,7490	–
20	1,1390	1,0980	86	1,7870	–
22	1,1550	1,1080	90	1,8140	–
24	1,1700	1,1190	91	1,8190	–
26	1,1860	1,1290	92	1,8240	–
28	1,2020	1,1390	93	1,8276	–
30	1,2190	1,1490	94	1,8312	–
34	1,2520	1,1690	95	1,8324	–
38	1,2860	1,1890	96	1,8355	–
40	1,3030	1,1980	97	1,8360	–
42	1,3210	–	98	1,8365	–
46	1,3570	–	99	1,8335	–
50	1,3950	–	100	1,8305	–

### П.6.3. Серная кислота

Серная кислота ( $H_2SO_4$ ) применяется для регенерации катионитов при водород-катионировании и подкислении воды.

Используются водные растворы концентрацией 1–2; 3–4; 5–6; 10; 75; 92,5; 94% (массовые).

Температура раствора рабочая: 5; 20; 30; 40°C.

#### Примечание

Аномалии в ряду значений температуры замерзания: если в бак запаса кислоты концентрации 75% будет добавлена кислота концентрацией 92,5%, то не исключена кристаллизация кислоты при концентрации 81–88%.

**Таблица П.6.3**

Значения температуры замерзания (застывания) водных растворов серной кислоты

Концентрация $H_2SO_4$ , %	Температура, °C	Концентрация $H_2SO_4$ , %	Температура, °C	Концентрация $H_2SO_4$ , %	Температура, °C
1	-020	55	-27,10	85	+7,90
2	-0,50	58	-24,50	87	+4,10
3	-0,80	60	-25,80	88	+0,50
5	-1,75	65	-35,30	89	-4,20
8	-3,70	70	-42,00	90	-10,20
10	-5,50	74	-40,00	92	-25,60
15	-11,25	75	-51,00	93	-35,00
20	-19,00	76	-28,10	94	-30,80
30	-41,20	78	-13,60	95	-21,80
35	-58,50	80	-3,0	96	-13,60
40	-65,20	81	+1,50	97	-6,30
45	-46,80	82	+4,80	98	+0,10
50	-34,20	83	+7,00	99	+5,70
52	-30,90	84	+8,00	100	+10,45

**Таблица П.6.4**

Значения температуры кипения водных растворов серной кислоты

Концентрация $H_2SO_4$ , %	Температура, °C	Концентрация $H_2SO_4$ , %	Температура, °C	Концентрация $H_2SO_4$ , %	Температура, °C
1	100,2	55	132,0	85	237,1
2	100,4	58	137,6	87	249,2
3	100,6	60	141,8	88	255,5
5	101,0	65	154,1	89	262,1
8	101,6	70	169,2	90	268,9
10	102,0	74	183,8	92	283,2
15	103,1	75	187,8	93	290,6
20	104,4	76	191,2	94	298,4
30	107,9	78	200,7	95	306,3
35	110,5	80	210,2	96	314,5
40	113,9	81	215,2	97	323,0
45	118,4	82	220,4	98	332,4
50	124,4	83	225,7	99	318,0
52	127,2	84	231,3	100	296,2

Таблица П.6.5

Значения динамической вязкости водных растворов серной кислоты.

Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , %	Температура, °С			Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , %	Температура, °С		
	0	25	50		0	25	50
5	1,97	1,01	0,62	55	8,00	4,27	2,75
10	2,14	1,22	0,69	60	10,23	5,37	3,36
15	2,32	1,26	0,74	65	13,98	6,85	4,14
20	2,58	1,40	0,83	70	19,95	9,02	5,13
25	3,02	1,60	0,97	75	31,50	12,30	6,41
30	3,41	1,90	1,13	80	твердая	17,40	8,09
35	3,95	2,18	1,33	85	твердая	19,72	9,18
40	4,57	2,51	1,58	90	47,59	18,20	9,09
45	5,43	2,95	1,89	95	44,93	17,68	9,10
50	6,48	3,55	2,27	99,6	твердая	24,20	10,80

#### П.6.4. Соляная (хлористоводородная) кислота (HCl)

Соляная кислота применяется в тех же условиях, что и серная.

Поставляется в водном растворе концентрацией до 32%.

Используются водные растворы: 3; 5; 10; 25; 27,5% (массовые).

Температура рабочего раствора: 20; 30; 60 °С.

215

Таблица П.6.6

Температура замерзания водных растворов соляной кислоты

Концентрация HCl, %	Температура, °С
1	-1,00
3	-3,50
5	-6,00
10	-15,00
17,4	-40,00
21,3	-60,00
24,2	-80,00
24,8	-86,00
28,1	-60,00

Таблица П.6.7

Температура кипения водных растворов соляной кислоты

Концентрация HCl, %	Температура, °С
4	+ 101,80
7,8	+103,30
11,4	+105,30
15	+108,00
19,2	+109,70
21,6	+109,00
24,8	+105,20
29,3	+92,00
31,2	+82,70

**П.6.5. Натрий гидроксид (синонимы: едкий натр, натриевая щелочь, гидрат окиси натрия, каустическая сода, каустик, натриевый щелок) (NaOH)**

Натрий гидроксид применяется для регенерации анионитов при деминерализации воды, нейтрализации кислых сточных вод и в других случаях.

Поставляется в водном растворе концентрацией 42 или 25%.

Используются водные растворы концентрацией: 0,2–0,3; 2; 4; 10; 42% (массовые).

Температура раствора рабочая: 20; 30; 40 °С.

**П.6.6. Натрий хлорид (синонимы: хлорид натрия, хлористый натрий, галит, соль каменная, поваренная соль – в быту) (NaCl)**

Растворы хлорида натрия – регенерационные растворы при натрий-катионировании и натрий-хлор-ионировании воды.

Используются водные растворы концентрацией: 5; 8; 10; 20; 26% (массовые).

**Таблица П.6.8**

Температура замерзания (застывания) водных растворов натрий гидроксида

Концентрация NaOH, %	Температура замерзания, °С	Температура кипения, °С
0,2–0,3	1,00	+100,00
2	–2,00	+102,00
4	–4,00	+103,00
10	–10,00	+104,00
42	+12,00	+132,00
50	+11,00	+142,00

**Таблица П.6.9**

Температура замерзания водных растворов натрий хлорида

Концентрация NaCl, %	Температура замерзания, °С
5	–2
8	–5
14	–10
19	–15
22,5	–20
23,4	–21,3

## ПРИЛОЖЕНИЕ 7

### Выбор способа обработки воды для централизованного горячего водоснабжения в закрытых системах теплоснабжения (по СП 41-101-95)

Таблица

Показатели качества исходной водопроводной воды (средние за год)			Способ противокоррозионной и противонакипной обработки воды в зависимости от вида труб			Показатели качества воды после обработки				
индекс насыщенности I при t = 60°C	концентрация, мг/кг		окисляемость, мг O/кг	стальные трубы без покрытия совместно с оцинкованными трубами	оцинкованные трубы	Пластм. или стальные с покрытием**	pH	Концентрация, мг/кг, не более		
	хлоридов и сульфатов (суммарно)	свободной углекислоты						растворимого кислорода	хлоридов и сульфатов (суммарно)	свободной углекислоты
I < -1,5	≤ 50	≤ 20	Любая	ВД	ВД	–	8,3–8,5	0,1	Исх.	0
-1,5 ≤ I ≤ -1	≤ 50	≤ 20	«	С	С	–	≥ 7	Исх.	«	Уменьш.
I < -1 ≤ I ≤ 0	≤ 50	> 20	«	ВД+П	ВД+П	–	8,3–8,5	0,1	«	0
-1 ≤ I ≤ 0	≤ 50	≤ 20	«	С	–	–	≥ 7	Исх.	«	Уменьш.
-1 ≤ I ≤ 0	≤ 50	> 20	«	ВД+П	–	–	8,3–8,5	0,1	«	0
I ≤ 0	> 50	≤ 20	«	ВД	ВД	–	8,3–8,5	0,1	«	0
I ≤ 0	> 50	> 20	Любая	ВД+П	ВД+П	–	8,3–8,5	0,1	«	0
0 < I ≤ 0,5	51–200	Любая	> 3	С	С	–	≥ 7	Исх.	2	Уменьш.
0 < I ≤ 0,5	> 200*	≤ 20	> 3	ВД	ВД	–	8,3–8,5	0,1	«	0
0 < I ≤ 0,5	> 200*	> 20	> 3	ВД+П	ВД+П	–	8,3–8,5	0,1	«	0
0 < I ≤ 0,1	≤ 50	Любая	0–6	–	–	–	–	–	–	–
0,1 < I ≤ 0,5	≤ 50	«	> 3	–	–	–	–	–	–	–
0,1 < I ≤ 0,5	≤ 50	«	≤ 3	М	М	М	Исх.	Исх.	Исх.	Исх.
I > 0,5	≤ 50	«	0–6	М	М	М	Исх.	«	«	Исх.
0,1 < I ≤ 0,5	51–200	Любая	≤ 3	С+М	С+М	М	≥ 7	Исх.	«	Уменьш.
0,1 < I ≤ 0,5	> 200*	≤ 20	≤ 3	ВД+М	ВД+М	М	8,3–8,5	0,1	«	0
0,1 < I ≤ 0,5	> 200*	> 20	≤ 3	ВД+П+М	ВД+П+М	М	8,3–8,5	0,1	«	0
I > 0,5	51–200	Любая	0–6	С+М	С+М	М	≥ 7	Исх.	«	Уменьш.
I > 0,5	> 200*	≤ 20	0–6	ВД+М	ВД+М	М	8,3–8,5	0,1	«	0
I > 0,5	> 200*	> 20	0–6	ВД+П+М	ВД+П+М	М	8,3–8,5	0,1	Исх.	0

\* В пределах СанПиН 2.1.4.1074–01.

\*\* Термостойкие пластмассовые трубы или стальные трубы с внутренним неметаллическим покрытием от коррозии



### Примечания к табл.

1. В графах 5, 6 и 7 приняты следующие обозначения способов обработки воды: противокоррозионные: ВД – вакуумная деаэрация, С – силикатная, П – подщелачивание; М – магнитная. Знак – означает, что обработка воды не требуется.

2. Выбор способа обработки воды производится при любой концентрации растворенного кислорода в воде.

3. Магнитная обработка воды применяется при общей жесткости воды не более 10 ммоль/л и карбонатной жесткости (щелочности) выше 4 и не более 7 ммоль/л.

4. При наличии на тепловом пункте пара вместо вакуумной деаэрации следует применять деаэрацию при атмосферном давлении.

5. Значение индекса насыщения I определяется в соответствии с СНиП 2.04.02-84. См. также здесь, раздел «Стабилизационная обработка воды» – ч. 1, п. 4.19.

6. Использование для горячего водоснабжения исходной воды с перманганатной окисляемостью более 5 мгО/л, как правило, не допускается. При допущении органами Минздрава РФ цветности исходной воды до 35° окисляемость воды может быть допущена более 5 мгО/л.

7. При содержании в воде железа более 0,3 мг/л (в пересчете на Fe) должно предусматриваться обезжелезивание воды, независимо от наличия других способов обработки воды.

8. Силикатную обработку воды и подщелачивание следует осуществлять путем добавления в исходную воду силиката натрия.

## Приложение 8

### Нормативы качества воды для котлов импортного производства по требованиям заводов-изготовителей

#### П.8.1. Требования к качеству питательной и контурной (котловой) воды водогрейных котлов фирмы Loos (по «Инструкции по эксплуатации паровых и водогрейных котлов»)

Тип котла – жаротрубно-дымогарный.

Группа (по классификации паровых котлов) – II– IV.

Таблица П.8.1

Водно-химический режим	Слабосоленый		Соленый
	10–30	> 30–100	> 100–1500
Электрическая проводимость контурной воды мкСм/см			
Питательная вода			
Показатель			
Общие требования	Бесцветная, чистая, без нерастворимых примесей		
Значение pH при 25°C	8–10	8–10,5	8,5–10,5
Общая жесткость, ммоль/л	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Растворенный кислород, мг/л	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Контурная (котловая) вода			
Общие требования	Бесцветная, чистая, без нерастворимых примесей		
Значение pH при 25°C	8–10	8–10,5	8,5–10,5
$K_{\text{сн}2}$ (щелочность по фенолфталеину), ммоль/л	–	0,1–0,5	0,5–5
Общая жесткость, ммоль/л	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Растворенный кислород, мг/л	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Фосфат ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), мг/л	3–6	5–10	5–15
Электрическая проводимость, мкСм/см	10–30	> 30–100	>100–1500
При использовании кислородсвязывающих веществ, мг/л: гидразин или сульфит натрия	0,2–1 –	0,2–2 –	0,3–3 5–10

Примечание: Котел необходимо заполнять только подготовленной, по крайней мере, умягченной, водой, в которую добавили тринатрийфосфат в количестве не менее 50 мг/л.

Таблица П.8.2

Тип котла	Жаротрубно-дымогарные			Прямоточные парогенераторы	Жаротрубно-дымогарные и прямоточные парогенераторы	
	II	IV	IV		I III IV	I– IV
Группа котлов по немецкой классификации паровых котлов						
Котлы Loos	U-ND UL-N	U-HD UL-S ZFR	Все другие котлы; все котлы с пароперегревателями	DF I до DF 125 III до DF 600 IV доDF 3000	–	–
Рабочее давление, 0,1 МПа	≤ 1	> 1 ≤ 22	> 22 ≤ 44	≤ 36	≤ 44	≤ 44
Водно-химический режим	Соленый <sup>1</sup>				Слабосоленый <sup>2</sup>	Обессоленный <sup>3</sup>
Питательная вода						
Общие требования	Бесцветная, чистая, без нерастворимых примесей					
Значение pH при 25°C	> 9	> 9	> 9	> 9	> 9	9
K <sub>с8,2</sub> (щелочность по фенофталеину), ммоль/л <sup>4</sup>	> 0,1	> 0,1	> 0,1	> 0,1	> 0,1	–
K <sub>с4,3</sub> (щелочность по метилоранжу, общая щелочность), ммоль/л <sup>5</sup>	См. Примечания					
Общая жесткость, ммоль/л	< 0,015	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,005
Растворенный кислород, мг/л,	< 0,1	< 0,02	< 0,02	< 0,1	< 0,02	< 0,1
Кислородсвязывающие вещества <sup>7</sup>	См. Примечания					
Электрическая проводимость, мкСм/см			< 500		5–50	< 5
Диоксид углерода	< 25	< 25	< 25	< 50	< 10	< 1
Железо (общее), мг/л	–	< 0,05	< 0,03	–	< 0,03	< 0,03
Медь, мг/л	–	< 0,01	< 0,005	–	< 0,005	< 0,005
Жиры, нефтепродукты, мг/л	< 3	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Перманганатная окисляемость (по KMnO <sub>4</sub> )	< 10	< 10	< 10	< 20	< 5	< 3
Кремниевая кислота, мг/л	Действительны только предельные значения для котловой воды				< 2	< 0,005
Котловая вода						
Значение pH при 25°C	10,5–12	10,5–12	10,5–11,8	10,5–12	10–11,5	9,8–10,8
K <sub>с8,2</sub> (щелочность по фенофталеину), ммоль/л <sup>4</sup>	1–8	1–12	0,5–6	1–8	0,5–3	0,1–1
Общая жесткость, ммоль/л	< 0,015	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
При использовании кислородсвязывающих веществ, мг/л:	См. Примечания					
гидразин или сульфит натрия	10–30	10–30	10–20	5–10	10–20	–
Электрическая проводимость, мкСм/см	30–5000	30–8000	30–4000	30–5000	30–2000	30–300
Фосфат (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ), мг/л <sup>6</sup>	5–20	5–20	5–15	5–10	7,5–15	10–20
Перманганатная окисляемость (по KMnO <sub>4</sub> )	< 100	< 150	< 100	–	< 50	< 30
Кремниевая кислота, мг/л	–	< 150	< 50	–	< 40	< 4

*Примечания к табл. П.8.2*

1. Соленая вода – питательная вода с удельной электропроводимостью  $\geq 50$  мкСм/см, например в смягчающих установках.

2. Малосоленая вода – питательная вода из установки обессоливания с электропроводимостью от 0,2 до 50 мкСм/см или содержанием конденсата в количестве более 95% общего количества питательной воды.

3. Обессоленная вода – обессоленная вода с электропроводимостью  $< 0,2$  мкСм/см и концентрацией кремниевой кислоты  $< 0,02$  мг/л и очищенный конденсат с электропроводимостью  $< 5$  мкСм/см.

4. Регулировка щелочности:

– при эксплуатации соледержащей воды, в соответствии со столбцами 2–5, твердыми щелочными веществами (едким натром, тринатрийфосфатом), если щелочность не устанавливается автоматически. При необходимости добавить летучие вещества;

– при эксплуатации воды с небольшим содержанием соли – в соответствии со столбцом 6, преимущественно тринатрийфосфатом, при необходимости добавляя летучие вещества. Если не устанавливается необходимая щелочность автоматически, можно добавить небольшое количество едкого натра дополнительно к фосфату;

– в случае эксплуатации воды без содержания соли – в соответствии со столбцом 7 только тринатрийфосфатом, при необходимости с добавлением летучих веществ.

5. Избыточное количество связанной угольной кислоты (высокое значение  $K_{S8,2}$ ) в питательной воде приводит к более сильному подщелачиванию котловой воды (при необходимости требуется повышенное обессоливание), испарению угольной кислоты (риск коррозии особенно в системе конденсата)

6. При добавлении фосфата необходимо соблюдать ориентировочные значения. При эксплуатации воды с низким содержанием соли и без содержания соли является обязательным добавление тринатрийфосфата (см. п. 4).

7. Содержание кислорода в питательной воде следует, прежде всего, уменьшить с помощью физических процессов, например путем термической дегазации давлением, до описанного предельного значения. Только в случае, когда это невозможно обеспечить в условиях рабочей эксплуатации, например из-за частых периодов простоя, необходимо добавить кислородосвязующее вещество. Успешно применяются при этом:

– неиспаряющийся сульфит натрия – нет никаких гигиено-токсикологических ограничений;

– гидразин – канцерогенное вещество. Использование гидразинсодержащих веществ ограничено при применении пара для увлажнения воздуха, а также в тех случаях, когда пар может соприкасаться с пищевыми продуктами. Рекомендуемая доза гидразина: в питательной воде – 0,1–0,3 мг/л, в котловой – 0,2–1 мг/л.

## **П.8.2. Нормативные показатели качества воды для котлов Viessmann (из инструкции на проектирование)**

### **Отопительные установки с рабочими температурами в соответствии с назначением до 100°С (VDI 2035)**

Руководящим документом VDI 2035, в зависимости от суммарной мощности котла отопительной установки, допускается наличие в воде определенного общего количества гидрокарбоната кальция, которое может попасть с водой в установку. В это общее количество заполняющей воды входят вода для первоначального заполнения и подпитки, а также вода для нового заполнения (за исключением случая удаления накипи из водогрейного котла)

Для определения требуемых мер со стороны сетевой воды в установках водяного отопления

можно действовать по табл. П.8.3. Для установок мощностью до 100 кВт, согласно руководящему документу VDI, специальные меры не нужны.

Для замены котла существующих установках первоначальной мощностью выше 100 кВт и объемом воды в установках  $\geq 20$  л/кВт действительны требования для установок мощностью выше 100 кВт. Если в случае отопительных установок удельный объем установки составляет  $\geq 20$  л/кВт (например благодаря установке буферного нагревателя сетевой воды), то максимальное количество воды  $V_{\max}$  (также в случае установок мощностью  $\geq 100$  кВт) следует вычислять по уравнению из табл. П.8.3.

а) Для установок мощностью выше 100 кВт должны быть приняты следующие меры:

– получение результатов анализа воды с указанием концентрации гидрокарбоната кальция. При

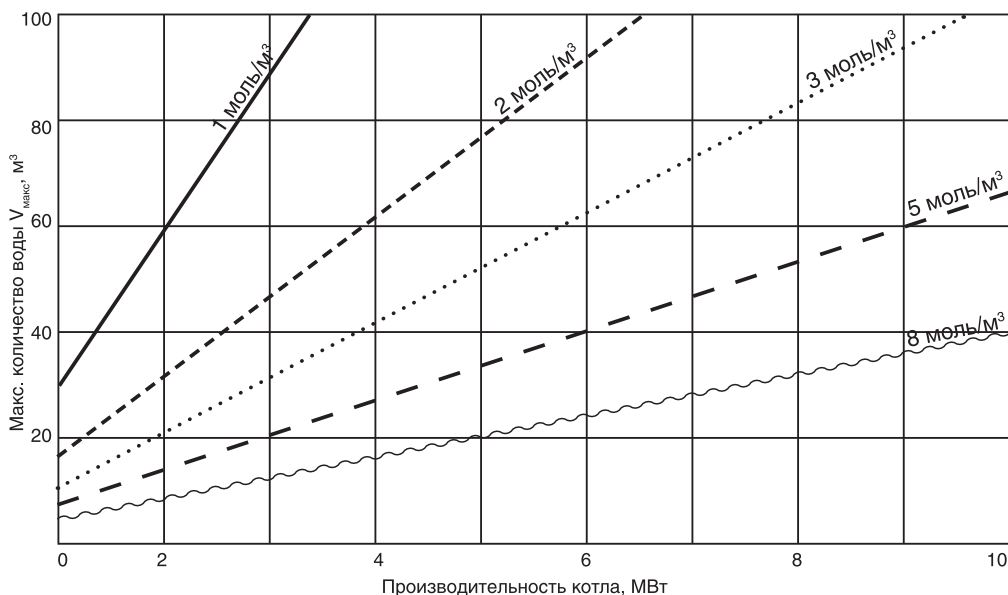


Рис. П.8.1  
Максимальный объем воды  $V_{max}$  для водогрейных котлов мощностью 1-10 МВт

отсутствии этих сведений концентрацию гидрокарбоната кальция можно вывести из  $K_{S4,3}$  (щелочность по метилоранжу, общая, соответствует карбонатной жесткости) и содержанию кальция:

$$K_{S4,3} (\text{моль/м}^3) \cdot 0,5 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{моль/м}^3)$$

или

$$\text{карбонатная жесткость (немецкие градусы)} \times 0,18 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{моль/м}^3);$$

$$\text{содержание кальция (мг/л)} \cdot 0,025 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{моль/м}^3);$$

$$\text{кальциевая жесткость (немецкие градусы)} \cdot 0,18 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 (\text{моль/м}^3).$$

Меньшее из этих двух значений в (моль/м<sup>3</sup>) соответствует содержанию гидрокарбоната кальция и является определяющим для выполнения требований к воде для наполнения подпитки.

б) Суммарная мощность котла > 100–350 кВт.

Если расчетная концентрация гидрокарбоната кальция  $C \leq 2$  моль/м<sup>3</sup>, дополнительные меры не

нужны. При такой концентрации можно в целом залить трехкратный объем установки. В остальном необходимо принять соответствующие меры по водоподготовке или (перейти к п. «Г»).

в) Суммарная мощность котла > 350–1000 кВт.

Если расчетная концентрация гидрокарбоната кальция  $C \leq 1,5$  моль/м<sup>3</sup>, дополнительные меры не нужны. При такой концентрации можно в целом залить трехкратный объем установки. В остальном необходимо принять соответствующие меры по водоподготовке или (перейти к п. «Г»).

г) Суммарная мощность котла выше 1000 кВт (и менее мощные установки, если не выполняются предыдущие требования, то есть  $C > 2$  моль/м<sup>3</sup> или 1,5 моль/м<sup>3</sup>) по табл. П.8.4 или диаграмме рис. П.8.1 на основании концентрации карбоната кальция и общей мощности котла определяется допустимый расход заливаемой воды. Если этого объема воды достаточно для первичного заполне-

Таблица П.8.3

Требования к сетевой воде

Суммарная мощность водогрейного котла установки, Q	Концентрация гидрокарбоната кальция для наполнения и подпитки	Максимальный допустимый расход воды для наполнения и подпитки $V_{max}$
$Q \leq 100$ кВт	Нет требований	нет требований
$100 \text{ кВт} < Q \leq 350$ кВт	$C \leq 2,0$	$V_{max} = 3$ -кратный объем установки (или расчет как в строке $Q > 1000$ кВт)
$350 \text{ кВт} < Q \leq 1000$ кВт	$C \leq 1,5$	$V_{max} = 3$ -кратный объем установки (или расчет как в строке $Q > 1000$ кВт)
$Q > 1000$ кВт		$2V_{max} = 0,0313$

Таблица П.8.4

Максимальный расход воды для наполнения в зависимости от мощности установки и концентрации гидрокарбоната кальция.

Концентрация, моль/м <sup>3</sup>	Мощность установки, Q, кВт													
	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1500	2000
0,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	75,1	93,9	125,2
1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	37,6	47,0	62,6
1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	25,0	31,3	41,7
2,0	–	–	–	–	6,3	7,8	9,4	11,0	12,5	14,1	15,7	18,8	23,5	31,3
2,5	1,9	2,5	3,1	3,8	5,0	6,3	7,5	8,8	10,0	11,3	12,5	15,0	18,8	25,0
3,0	1,6	2,1	2,6	3,1	4,2	5,2	6,3	7,3	8,4	9,4	10,4	12,5	15,7	20,9
3,5	1,3	1,8	2,2	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	8,9	10,7	13,4	17,9
4,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,1	3,9	4,7	5,5	6,3	7,0	7,8	9,4	11,7	15,7
4,5	1,0	1,4	1,7	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	8,4	10,4	13,9
5,0	0,9	1,3	1,6	1,9	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	6,3	7,5	9,4	12,5
5,5	0,9	1,1	1,4	1,7	2,5	2,9	3,4	4,0	4,6	5,1	5,7	6,8	8,5	11,4
6,0	0,8	1,0	1,3	1,6	2,1	2,6	3,1	3,7	4,2	4,7	5,2	6,3	7,8	10,4
6,5	0,7	1,0	1,2	1,4	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,3	4,8	5,8	7,2	9,6
7,0	0,7	0,9	1,0	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	3,6	4,0	4,5	5,4	6,7	8,9

ния и ожидаемой подпитки или нового заполнения, дополнительные меры не нужны. Если же допустимого объема воды недостаточно, необходимо принять соответствующие меры по водоподготовке или, после достижения допустимого объема воды, заливать только умягченную или обессоленную воду.

1 – для замены котла в существующих установках с первоначальным  $Q \geq 1000$  кВт и объемом воды в установке  $\geq 20$  л/кВт действуют требования, как для установок с  $Q > 100$  кВт

2 – уравнение также применимо, если мощность отопительной установки  $< 100$  кВт и удельный объем агрегата  $\geq 20$  л/кВт.

В выделенной области необходимо придерживаться данных из выделенной строки таблицы «Требования к сетевой воде»

### П.8.3. Требования к качеству питательной воды для стальных водогрейных котлов фирмы ACV (по инструкции по установке, эксплуатации и сервисному обслуживанию Compact A CA 250/ CA 300/ CA 350/ CA400/ CA 500/ CA 600/ CA 700/ CA 800/ CA 900/ CA 1000.

Вода для заполнения системы должна иметь следующие характеристики:

Показатель	
Значение pH при 25°C	7–8
Жесткость, °F, ммоль/л	15 (3,0)
Растворенный кислород, мг/л	0,5



### П.8.4. Требования к качеству поступающей и контурной воды парового котла фирмы Biasi марки PRXA (из инструкции по эксплуатации)

Вода, которая используется, должна быть соответствующего качества, во избежание аварийных ситуаций и для обеспечения длительного срок эксплуатации генератора.

#### Питательная вода

Показатель	
Значение pH при 25°C	7–9,5
Жесткость, мг/л CaCO <sub>3</sub>	5,0
Растворенный кислород, мг/л	0,1
Диоксид углерода, мг/л	0,2
Железо (общее), мг/л	0,1
Медь, мг/л	0,1
Нефтепродукты, мг/л	1,0
Общие требования	Прозрачная, не содержащая взвесей

#### Отработавшая вода

Показатель	
Значение pH при 25°C	9–11
Щелочность, мг/л CaCO <sub>3</sub>	1000
Жесткость, мг/л CaCO <sub>3</sub>	5,0
Электрическая проводимость, мкСм/см	8000
Солесодержание, мг/л	3500
Общие требования	Прозрачная, не содержащая взвесей

Большое количество мягкой и более холодной воды способствует увеличению насыщенности воды кислородом. Рекомендуется избегать подачи воды с температурой ниже 60°C и использовать соответствующие добавки для замедления процессов коррозии.

### П.8.5. Требования к качеству поступающей воды водогрейного котла фирмы Biasi марки RCH (из инструкции по эксплуатации)

#### Питательная вода

Показатель	
Значение pH при 25°C	> 8,5
Жесткость °F, моль/л	20 (4,0)
Растворенный кислород, мг/л	0,01
Нефтепродукты, мг/л	0,5
Общие требования	Прозрачная, не содержащая взвесей

### П.8.6. Требования к качеству поступающей и контурной воды парового котла фирмы IVAR марок BHP и BLP (из инструкции по эксплуатации)

#### Питательная вода

Показатель	Рабочее давление до 15 бар	Рабочее давление 16–25 бар
Значение pH при 25°C	7,5–9,5	7,5–9,5
Жесткость, мг/л CaCO <sub>3</sub>	5,0	5,0
Растворенный кислород, мг/л	0,1	0,05
Диоксид углерода, мг/л	0,2	0,2
Железо (общее), мг/л	0,1	0,1
Медь, мг/л	0,1	0,1
Жиры, нефтепродукты, мг/л	1,0	1,0
Общие требования	Прозрачная, бесцветная, не содержащая суспензий и пены	

#### Котловая вода

Показатель	Рабочее давление до 15 бар	Рабочее давление 16–25 бар
Значение pH при 25°C	9–11	9–11
Щелочность, мг/л CaCO <sub>3</sub>	1000	750
Жесткость, мг/л CaCO <sub>3</sub>	5,0	5,0
Электрическая проводимость, мкСм/см	7000	6000
Солесодержание, мг/л	3500	3000
Кремниевая кислота, мг/л	150	150
Фосфат (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ), мг/л	30	30
Общие требования	Прозрачная, бесцветная, не содержащая суспензий и пены	

### П.8.7. Требования к качеству поступающей воды водогрейного котла фирмы IVAR марки SuperRaC (из инструкции по эксплуатации)

#### Питательная вода

Показатель	
Значение pH при 25°C	> 7,2
Жесткость °F, ( ммоль/л)	15 (3,0)
Общие требования	Прозрачная, не содержащая взвесей

## Приложение 9

### Основные производители ионитов

#### 1. Фирма «Аквалайт» (Aqualite),

Канада.

Производит спектр смол под общей торговой маркой «Аквалайт», соответствующих по качеству большинству известных марок.

Представительство в Москве:

тел./ факс: (095) 967-0957.

#### 2. Фирма «Байер АО» (Bayer AG),

гг. Леверкузен и Биттерфильд, Германия.

[http:// www.bayer.com](http://www.bayer.com).

Представительство в Москве:

тел.: (095) 234-2081, 234-2136;

факс: (095) 234-2001, 234-2100.

[http:// www.bayer.ru](http://www.bayer.ru).

[ru-bayer@ bayer.ru](mailto:ru-bayer@bayer.ru).

Фирма поставляет иониты под фирменным названием Lewatit («Леватит», по названию г. Леверкузен). Разнообразие и качество производимых ионитов достаточны для удовлетворения потребностей любых технологий водоподготовки.

**3. Фирма «Дау Ликвид Сепарейшнс» (Dow Liquid Separations),** входящая в холдинг Dow Chemical Company («Дау Кемикал Компани»),

г. Мидленд, штат Мичиган, США;

г. Штаде, Германия;

г. Фомбио, Италия.

[http:// www.dow.com/liquidseps](http://www.dow.com/liquidseps).

Представительство в Москве:

тел.: +7 (095) 258-5690;

факс: +7 (095) 258-5691/92.

Производятся иониты торговых марок Dowex Marathon («Дауэкс Маратон»), Dowex Monosphere («Дауэкс Моносфера»), Dowex Upcore UPS («Дауэкс Апкоре ЮПС») и другие - для любых целей.

#### 4. Фирма «Нитрокемиа» (Nitrochemia),

г. Фюзфельдартен, Венгрия.

Фирма производит большую группу разных ионитов под общей торговой маркой «Варион» (Varion).

**5. Фирма «Пьюролайт Компани» (Purolite Company),**

гг. Филадельфия, Хьюстон, штат Техас; г. Дيامонд Бор, штат Калифорния, США.

Фирма «Пьюролайт Интернационал Лимитед» (Purolite International Limited).

г. Наипслоу, Великобритания.

Представительство в Москве:

тел.: +7 (095) 564-8120, +7 (095) 363-5056;

тел./факс: +7 (095) 564-8121.

[http:// www.purolite.com](http://www.purolite.com).

Общее фирменное название продуктов корпорации – «Пьюролайт».

Также называется корпорация, в состав которой входят две фирмы, указанные выше, и чье управление находится в Великобритании. Корпорация производит все применяемые в мире иониты. Заводы в Великобритании, США, Румынии и Китае.

Техническое сопровождение (кроме представителей корпорации): Научно-исследовательский институт пластических масс им. Г.С. Петрова (НИИПМ): тел. +7 (095) 273-7336, 273-7337.

**6. Фирма «Резиндион» (Resindion) входит в корпорацию Mitsubisi Chtmical Comproanion («Мицубиси Кемикал Корпорейшн»),**

г. Токио, Япония.

Для использования в водоподготовке производятся иониты под общей торговой маркой Relit («Релит»).

**7. Фирма «Ром и Хаас Компани» (Rohm and Haas Company),**

г. Бала Кинвуд, штат Пенсильвания, США.

Представительство в Москве:

тел. +7 (095) 726-5929; факс +7 (095) 726-5916.

Производит весь необходимый в водоподготовке набор ионитов с торговыми марками: «Амберлайт», «Амберджет», «Амберсеп», «Амберлист», «Дуалайт», «Микроинекс», «Имак».

**8. Государственное предприятие «Смолы»,**

г. Днепродзержинск Днепропетровской обл., Украина.

[http:// www.smoly.dp.ua](http://www.smoly.dp.ua).

Поставляются иониты марок: КСМ-2, КУ-2-8Н (сильнокислотные катионы); КМ-2П, КМД, СГ-1М (слабокислотные катионы); АМ, АМ-8, АМ(п), АМП (сильноосновные аниониты); АМ-2Б, ГМА-2 (слабоосновные аниониты).

**9. Фирма ЗАО «Токем» (б. Новокемеровское ПО «Азот»),**

г. Кемерово, Россия.

[http:// www.token.ru](http://www.token.ru).

[info@ token.ru](mailto:info@token.ru).

Тел.: (3842) 32-5007, 36-5522;

факс: (3842) 32-5200, 36-5544.

Представительство в Москве:

Московский филиал ООО «Торговый дом «Токем»

Тел.: +7 (095) 744-0831, 334-9694;

факс: (095) 975-7397;

[Kdm@ token.ru](mailto:Kdm@token.ru), [token@ zmail.ru](mailto:token@zmail.ru).

Поставляются иониты марок: КУ-2-8 (сильнокислотный катионит); КБ-4, КБ-4П-2 (слабокислотные карбоксильные катиониты).

**10. Фирма ОАО «Уральская химическая компания» (Уралхимпласт),**

г. Нижний Тагил Свердловской обл., Россия.

[http:// www.ucp.ru](http://www.ucp.ru).

[ntuchpl@ntuchpl.unets.ru](mailto:ntuchpl@ntuchpl.unets.ru).

Тел. / факс: (3435) 32-4011, 23-7465.

Представительство в Москве:

тел. /факс: (095) 777-2962, 785-2427, 785-2428.

[uch@elnet.msk.ru](mailto:uch@elnet.msk.ru).

Фирма производит катионит КУ-1, аниониты ФН-31 и ЭДЭ-10П.

## Приложение 10

### Реквизиты издателей и распространителей российских государственных нормативных документов; фондов и ассоциаций; международных и иностранных национальных нормативов по качеству воды и водоподготовке

1. Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр «Промышленная безопасность» (ГУП «НТЦ Промышленная безопасность») *Госгортехнадзора России*. Отдел распространения нормативных документов.

105066, Москва, ул. Лукьянова, 4, корп. 8, офис 507А.

Тел./факс: (495) 265-7260, 267-6410.

E-mail: ornd@safety.ru.

<http://www.safety.ru>.

2. Информационно-полиграфический комбинат (ИПК) «Издательство стандартов» *Госстандарта России*.

107076, Москва, Колодезный пер., 14.

Тел.: (495) 124-9944, 268-3544, 268-6771, 268-5149.

Факс: (495) 268-4724.

E-mail: info@standards.ru; shemelev@standards.ru.

<http://www.standards.ru>.

Территориальный отдел распространения НТД и НТИ № 1.

119991, Москва, Донская ул., 8.

Тел.: (495) 236-5034, 236-3448.

Тел./факс: (495) 236-0172.

Территориальный отдел НТД и НТИ № 3.

194292, Санкт-Петербург, просп. Культуры, 26, корп. 1.

Тел.: (812) 557-8621, 558-1639.

Факс: (812) 598-5310.

E-mail: info@standards.spb.ru; <http://www.standards.spb.ru>.

Территориальный отдел № 10.

350010, г. Краснодар, ул. Офицерская, 48.

Тел.: (8612) 24-1020, 24-1373.

E-mail: gost-yug@mail.kubtelecom.ru.

Территориальный отдел № 13.

630108, г. Новосибирск, ул. Котовского, 40.

Тел./факс: (3832) 53-9436, тел.: (3832) 53-9493.  
E-mail: tor13@online.sinor.ru. <http://www.sinor.ru/~tor13>.

Территориальный отдел № 14.

620041, г. Екатеринбург, ул. Солнечная, 41.

Тел./факс: (3432) 41-6827.

E-mail: tor14@sky.ru.

<http://www.gost.da.ru>; <http://www.tor14.sky.ru>.

Адрес *Госстандарта России* в Интернете: <http://www.gost.ru>.

3. Государственное унитарное предприятие «Центр проектной продукции в строительстве» (ГУП ЦПП) *Госстроя России*.

127238, Москва, Дмитровское шоссе, 46, корп. 2.

Тел.: (495) 482-1517, 482-4265, 482-4112, 482-4297, 482-0705.

4. Федеральный центр *Госсанэпиднадзора Минздрава РФ*.

113105, Москва, Варшавское шоссе, 19а.

Тел.: (495) 198-6101.

Информационно-издательский центр Минздрава РФ.

125167, Москва, проезд Аэропорта, 11.

Тел.: (495) 198-6101.

Интернет-магазин санитарных правил и норм ФГУП «Интерсэн»: [www.intersen.ru](http://www.intersen.ru).

101479, Москва, Вадковский пер., 18/20.

Тел.: (495) 978-6221, 978-6802, 973-1680, 973-1630; факс: (495) 978-1932, 973-1630.

Адрес Департамента *Госсанэпиднадзора Минздрава РФ* в Интернете: [www.depart.drugreg.ru](http://www.depart.drugreg.ru).

5. Поисковая система в *Интернете*:

[www.metabot.ru](http://www.metabot.ru): слова «вода», «water», «drinking water».

6. Сервер Всемирной организации здравоохранения в г. Женеве (Швейцария) (ВОЗ):

[www.who.int](http://www.who.int), [www.who.ch](http://www.who.ch).

7. Орган по сертификации питьевой воды и водоочистных устройств (АНО «Стандартсерти»)»

117421, Москва, ул. Новаторов, 40, ВНИИСтандарт.

Тел.: (495) 935-2188, 936-0944.

Факс: (495) 935-2198.

8. Координация разработок стандартов качества воды: ТК 343 (Технический комитет по стандартизации «Качество воды»). Фонд «Питьевая вода».

117421, Москва, ул. Новаторов, 40, ВНИИСтандарт, НИО-14.

Тел.: (495) 432-3812. Факс: (495) 935-2027.

9. Российская ассоциация водоснабжения и водоотведения (РАВВ). (Выпускает сборники нормативных документов и другие издания.)  
101000, Москва, Девяткин пер., 2.  
Тел.: (495) 971-7104, 971-9929.
10. Федеральный информационный фонд отечественных и иностранных каталогов на промышленную продукцию в: РосНИИ информационных технологий и систем автоматического проектирования (РосНИИИТ и АП).  
129090, Москва, ул. Щепкина, 22.  
Тел.: (495) 288-5494.  
Федеральный фонд промышленных каталогов (с 1992 г.).  
105679, Москва, Измайловское шоссе, 44 (вход со стороны Кирпичной ул., 33/5, стр. 1, 4-й эт.).  
Тел./факс: (495) 367-9752.
11. Американская (США) ассоциация обработки воды (AWWA).  
<http://www.awwa.org>.  
Американская (США) ассоциация здравоохранения (American Public Health Assication, APHA).  
<http://apha.org>.  
Национальный санитарный фонд США (NSF International). <http://www.nsf.org>.
12. Правительственная Администрация по пищевым продуктам и лекарствам США (US Food and Drug Administration (FDA) U.S. Department of Health and Human Services).  
<http://www.fda.gov>.
13. Американское (США) общество по испытаниям и материалам (в том числе: вода) American Society for Testing and Materials (ASTM) – неправительственное.  
<http://www.astm.org>.
14. Американское (США) агентство по окружающей среде (EPA) – правительственное.  
<http://www.epa.gov>.
15. Национальные нормативы питьевой воды США (по EPA).  
<http://www.epa.gov/OGWDW>.
16. Международная ассоциация бутылированной воды (IBWA).  
<http://www.bottledwater.org>.
17. Европейский Союз (ЕС) в Интернете:  
[www.europa.eu.int/eur-lex/en/oj](http://www.europa.eu.int/eur-lex/en/oj).
18. Всероссийский НИИ классификации, терминологии, информации (ВНИИКИ).  
103001, Москва, Гранатный пер., 4, Информационный центр.  
Тел.: (495) 290-5094, факс: (495) 291-7265.
19. Всероссийский НИИ метрологической службы (ВНИИМС).  
119361, Москва, ул. Озерная, 46.  
Тел.: (495) 437-3483.
20. Всероссийский НИИ сертификации (ВНИИС). Информационный центр.  
123557, Москва, Электрический пер., 3/10.  
Тел.: (495) 253-7006, 253-3404,  
факс: (495) 253-3360, 253-5046.
21. Всероссийский НИИ стандартизации и сертификации в машиностроении (ВНИИНМАШ). Информационный центр.  
123007, Москва, ул. Шеногина, 4.  
Тел.: (495) 256-0146, факс: (495) 256-6500.
22. Всероссийский НИИ стандартизации, информации и сертификации сырья, материалов и веществ (ВНИИЦСМВ). Информационный центр.  
103006, Москва, ул. Долгоруковская, 21.  
Тел.: (495) 978-0386.
23. Всероссийский теплотехнический институт (ВТИ). Отделение водно-химических процессов тепломеханического оборудования ТЭС. (Распространяет документы по водоподготовке и водно-химическому режиму теплоэнергетических объектов.)  
Тел.: (495) 275-5077, 275-7981,  
факс: (495) 275-1122, 279-5924.  
Телетайп: 111634 КОЕРАР.
24. Научно-производственная фирма аналитического приборостроения (НПФ «ЛЮМЭКС»).  
198005, Санкт-Петербург, Московский проспект, 19.  
Тел.: (812) 315-1517, 259-5054,  
тел./факс: (812) 316-6538.  
E-mail: [lumex@lumex.ru](mailto:lumex@lumex.ru), [glad@lumex.ru](mailto:glad@lumex.ru).  
<http://www.lumex.ru>.
25. Гидрохимический институт Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ГХИ).  
344104, Ростов-на-Дону, проспект Стачки, 198.  
Тел.: (8632) 22-4470, 22-6668, 42-3018, 64-8033,  
факс: (8632) 28-0485.

26. ГУП «Центр исследования и контроля воды (ГУП «ЦИКВ»).

193015, Санкт-Петербург, ул. Кавалергардская, 42.  
Тел.: (812) 274-1086, факс: (812) 274-6641,  
тел./факс: (812) 323-3284.  
E-mail: welcome@diada.spb.ru.

27. Центральная лаборатория Муниципального унитарного предприятия «Уфаводоканал».

450000, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Социалистическая, 10.  
Тел.: (3472) 22-8727, 32-9551,  
факс: (3472) 22-4684, 31-1550.

28. ООО «КОРТЕК».

119361, Москва, ул. Озёрная, 46.  
Тел./факс: (495) 437-3129, 437-2177.

29. ОАО «Союзцветметавтоматика» (ОАО «СоюзЦМА»).

127238, Москва, Дмитровское ш., 75.  
Тел.: (495) 489-1085, факс: (495) 489-1485.

30. Аналитический центр контроля качества ЗАО «Роса» (АЦ ЗАО «Роса»).

117297, Москва, ул. Родниковая, 7.  
Тел.: (495) 439-5213, факс: (495) 435-1300.  
E-mail: rossa-saur@mtu-net.ru.  
<http://www.rossa.websone.ru>.

31. Томский политехнический университет (химико-технологический факультет, лаборатория микропримесей № 506 и Внедренческая научно-производственная фирма «ЮМХ» (ООО «ВНПФ «ЮМХ»).

634034, г. Томск, просп. Ленина, 30.  
Тел./факс: (3822) 41-5860, 41-0572.  
E-mail: microlab@thu.ru.  
<http://www.ispd.thu/microlab>.

32. Федеральное государственное унитарное предприятие «Межотраслевой научно-исследовательский институт экологии топливно-энергетического комплекса» (ФГУП МНИИЭКО ТЭК).

614007, г. Пермь, ул. Н. Островского, 60.  
Тел.: (3422) 49-5267, 16-9002, факс: (3422) 16-7441, 16-7150.

E-mail: mniiekotek@permonline.ru.  
<http://www.permonline.ru/custom/mniieko/index.htm>.

33. Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических радиотехнических измерений (ФГУП «ВНИИФТРИ»).

141570, Московская обл., Солнечногорский р-н, п/о Менделеево.

Тел.: (495) 535-2401, 535-8436, 535-9210. Телетайп: 205260 «Марс».

Факс: (495) 535-7386. Телекс: 411038 КС SVSU.  
E-mail: root@ftri.exteek/msk.ru.

34. ОАО «Фирма ОГРЭС» (Издаёт нормативные и рекомендательные документы по водоподготовке и водному режиму энергетического оборудования).

107023, Москва, Семёновский пер., 15.  
Тел.: (495) 360-1335, 369-7914.  
[www.orges.ru](http://www.orges.ru)



## Приложение 11

### Перечень изданий, публикующих материалы о воде и водоподготовке

1. Аква-ВОКС. Информационно-техническая газета.
2. Аква-MAGAZIN. Журнал о воде.
3. Аква-Терм. Журнал для профессионалов (с приложением «Эксперт»).
4. Активированная вода.
5. Аналитическая химия (Журнал аналитической химии). РАН.
6. H<sub>2</sub>O. Вода и водные технологии. Информационный орган ассоциации «Вода – Медицина – Экология».
7. Банбас (Бани и бассейны).
8. Бассейны и сауны.
9. Вода: Технологии, материалы, оборудование жилья (Минск).
10. Вода России.
11. Вода и экология: проблемы и решения.
12. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление.
13. Водные ресурсы.
14. Водолей вест. Журнал Ассоциации плавательных бассейнов России.
15. Водоснабжение и санитарная техника.
16. География и природные ресурсы (Новосибирск).
17. Гигиена и санитария.
18. Заводская лаборатория.
19. Известия Академии промышленной экологии.
20. Известия ВУЗов.
21. Издания ВИНТИ (Реферативные журналы, Экспресс-информация, Обзорная информация).
22. Информационный бюллетень Ассоциации производителей водоочистой техники и очищенной воды.
23. Коммунальный комплекс России.
24. Критические технологии. Мембраны (Журнал ВИНТИ).
25. Ликероводочное производство и виноделие.
26. Мелиорация и водное хозяйство.
27. Метеорология и гидрология.
28. Мир новосела.
29. Наука и жизнь.
30. Наука и технология в промышленности.
31. Новости теплоснабжения.
32. Пиво и напитки.
33. Питьевая вода.
34. Производство спирта и ликероводочных изделий.
35. Промышленная энергетика.
36. Региональная экология (Санкт-Петербург).
37. Сантехника. Отопление. Вентиляция.
38. Сибирский экологический журнал (Новосибирск).
39. Стандарты и качество.
40. Теплоэнергетика.
41. Токсикологический вестник.
42. Трубопроводы и экология.
43. Химическая промышленность сегодня (б. «Химическая промышленность»).
44. Химическое и нефтегазовое машиностроение.
45. Химия и жизнь – XXI век (б. «Химия и жизнь»).
46. Химия и технология воды (г. Киев).
47. Экологическая химия (Санкт-Петербург).
48. Экологический вестник России.
49. Экология.
50. Экология и промышленность России.
51. Экология производства.
52. Экохроника (Санкт-Петербург).
53. Эксперт. Оборудование, рынок, предложение, цены.
54. Электрические станции.
55. Энергетик (с приложением: Энергетика за рубежом).
56. Энергетика и промышленность России. Ежемесячная газета.
57. Энергетическое строительство.
58. Энергосбережение и водоподготовка.

# Список использованной и рекомендуемой литературы

(часть наименований – в основном тексте издания)

## I. Общие вопросы

1. Бисвас А.К. Человек и вода. С англ. Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 327 с.
2. Вода – космическое явление. Сб. Под ред. Ю.А. Рахманина, В.К.Кондратова. М.: 2002. – 427 с.
3. Дерпгольц В.Ф. Мир воды. Л.: Недра, 1979. – 254 с.
4. ГОСТ Р ИСО 140509-99 «Управление окружающей средой. Словарь».
5. Кан Р., Дермер О. Введение в химическую номенклатуру. С англ. М.: Химия, 1983. – 224 с.
6. Колобанов С.К., Колобанова Е.С., Белый Л.М. Вода в природе и технике. Киев: Будивэльнык, 1982. – 136 с.
7. Коррозия. Справ изд. Под ред. Л.Л. Шрайера. С англ. М.: Металлургия, 1981. – 632 с.
8. Кульский Л.А., Даль В.В. Проблемы чистой воды. Киев: Наукова думка, 1974. – 232 с.
9. Ларионов А.К. Занимательная гидрогеология. М.: Недра, 1979. – 158 с.
10. Лосев К.С. Вода. Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 272 с.
11. Львович М.И. Вода и жизнь (Водные ресурсы, их преобразование и охрана). М.: Мысль, 1986. – 256 с.
12. Меркулов А.П. Самая удивительная на свете жидкость. М.: Советская Россия, 1978. – 192 с.
13. Павлов А.Н. Геологический круговорот воды на Земле. Л.: Недра, 1977. – 144 с.
14. Плотников Н.И. Подземные воды – наше богатство. М.: Недра, 1976. – 208 с.
15. Синюков В.В. Вода известная и неизвестная. М.: Знание, 1987. – 176 с.

16. Соколов А.А. Вода: проблемы на рубеже XXI века. Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 168 с.
17. Спенглер О.А. Слово о воде. Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 150 с.
18. Фрадкин Б.З. Белые пятна безбрежного океана. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1983. – 92 с.
19. Химический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983. – 792 с.
20. Химия окружающей среды. С англ. М.: Химия, 1982. – 672 с.
21. Химия и окружающая среда: Справочник. Под ред. Н.М. Алыкова. Астрахань: Изд. дом «Астраханский университет», 2004. – 232 с.

## II. Качество воды

1. Алёкин О.А., Ляхин Ю.И. Химия океана. Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 344 с.
2. Алёкин О.А., Семёнов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 270 с.
3. Антонченко В.Я. Физика воды. Киев: Наукова думка, 1986. – 128 с.
4. Балабан-Ирменин Ю.В., Богловский А.В., Васина Л.Г., Рубашов А.М. Закономерности накипеобразования в водогрейном оборудовании систем теплоснабжения (обзор). «Энергосбережение и водоподготовка». 2004, № 3, с. 10–16.
5. Белоусова А.П. Качество подземных вод: Современные подходы к оценке. М.: Наука, 2001. – 339 с.
6. Вода: структура, состояние, сольватация. Достижения последних лет (Ю.М. Кессер, В.Е. Петренко, А.К.Ященко и др.) Отв. редактор А.М. Куте-

пов. Институт химии растворов АН РФ М.: Наука, 2003. – 403 с.

7. *Водоочистка*. Средства и методы. М.: ИПК «Издательство стандартов»

8. *Возная Н.Ф.* Химия и микробиология воды. М.: Высшая школа, 1979. – 342 с.

9. *Гидрохимические* показатели состояния окружающей среды. Сб. Под ред. Т.В. Гусевой. М.: Издательство Социально-экологического союза «Эколайн», 2003. – 148 с.

10. *Государственный* контроль качества воды. 2-е изд. В надзаг. ВНИИСтандарт. М.: ИПК «Изд-во стандартов», 2003. – 840 с.

11. *Государственный* контроль качества минеральной воды и напитков. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2003. – 776 с.

12. *ГОСТ 30813-2002* (по ИСО 6107-1-8:1996 с уточнениями и дополнениями российских специаллистов). Качество воды. Словарь.

13. *Директива* Совета Европейского Союза 98/83/ЕС по качеству воды, предназначенной для потребления человеком от 3 ноября 1998 г., изданная 5 декабря 1998 г. в Official Journal of the European Communities – по опубликованному переводу на русский язык О.Н. Фоминой.

14. *Драйвер Дж.* Геохимия природных вод. С англ. М.: Мир, 1985. – 440 с

15. *Зенин А.А., Белоусова Н.В.* Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 240 с.

16. *Зуев Е.Т., Фомин В.С.* Питьевая и минеральная вода: Требования мировых и европейских стандартов. М.: Протектор, 2003. – 320 с.

17. *Инструкция* по определению физико-химических и технологических показателей качества воды и реагентов, применяемых на водопроводах. (Составители: Б.И. Кроткова и М.М. Блувштейн). В надзаг.: Росводканалналадка Минжилкоммунхоза РСФСР. М.: Стройиздат, 1973. – 256 с.

18. *Инструкция* по эксплуатационному анализу воды и пара на тепловых станциях. (Составители: Ю.М. Кострикин, А.А. Дзысюк, В.А. Коровин и др.). В надзаг. Минэнерго СССР (Главтехуправление). С дополнениями 1980, 1981, 1982 гг. М.: СПО Союзтехэнерго, 1979–1982. – 140 с. МЭИ, ОАО «ВТИ», ОАО «Фирма «ОГРЭС» и ОАО «Мосэнерго» готовят к изданию обновленную версию «Инструкции».

19. *Карюхина Т.А., Чурбанова И.Н.* Контроль качества воды. М.: Стройиздат, 1977. – 135 с.

20. *Корж В.Д.* Геохимия элементного состава гидросферы. М.: Наука, 1991. – 244 с.

21. *Крайнов С.Р., Швец В.М.* Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения. М.: Недра, 1987. – 238 с.

22. *Креч Э.И.* О возможных изменениях структуры воды при внешних воздействиях и при прояв-

лениях ее аномалий. (№ 2705/79 деп.). Черкассы: Отд. НИИТЭХИМа, 1982. – 12 с.

23. *Креч Э.И.* К проблеме использования химических, физических и биологических свойств возбужденной воды. (№ 1759/78 деп.). Черкассы: Отд. НИИТЭХИМа, 1982. – 21 с.

24. *Лейте В.* Определение органических загрязнений питьевых природных и сточных вод. С нем. Под ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1975. – 199 с.

25. *Марквард К.* Коллоидный индекс как дополнительный параметр для определения содержания неионогенных веществ в воде. // «Химия и технология воды», 1982, т. 4, № 4, с. 326–328.

26. *Мур Дж. В., Рамамурти С.* Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. – 285 с.

27. *Муравьев А.Г.* Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. 2-е изд. СПб: ЗАО НПО «Крисмас+» и др. – 229 с.

28. *Перельман А.И.* Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. – 152 с.

29. *Посохов Е.В.* Общая гидрогеохимия. Л.: Недра, 1975. – 208 с.

30. *Практическое* руководство компании НАЛКО по анализу причин повреждения котлов (Nalco Chemical Company). Авторы: Роберт Д. Порт, Харви М. Херроу. Нью-Йорк: Изд-во «McCraw-Hill», 1991. – 293 с.

31. *Реймерс Н.Ф.* Азбука природы; Микроэнциклопедия биосферы. М.: Знание, 1980. – 208 с.

32. *Руководство* по химическому и технологическому анализу воды. В надзаг.: ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1973. – 272 с.

33. *Руководство* по контролю качества питьевой воды. Изд. 2-е, т. 1, (рекомендации). Женева, Всемирная организация здравоохранения, 1995. – 257 с.

34. *Соколов И.Ю.* Таблицы и номограммы для расчета результатов химических анализов природных вод. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Недра, 1984. – 159 с.

35. *Строганов Н.С., Бузинова Н.С.* Практическое руководство по гидрохимии. Изд. 2-е., перераб. и доп. М.: МГУ, 1980. – 197 с.

36. *Сыдыков Ж.С., Давлетгалиева К.М.* Гидрохимические классификации и графики. Алма-Ата: Наука, 1974. – 140 с.

37. *Таубе П.Р., Баранова А.Г.* Химия и гидробиология воды. М.: Высшая школа, 1983. – 280 с.

38. *Унифицированные* методы анализа вод СССР. Вып. 1. В надзаг.: Госкомприроды СССР и Госкомитет по науке и технике СМ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 145 с.

39. *Унифицированные* методы анализа вод. Изд. 2-е, испр. Под общ. ред. Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1973. – 376 с.

40. Унифицированные методы исследования, качества вод. Ч.1, кн.2, 3. УНИ-87. М.: СЭВ, 1987.

41. Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. Изд. 3-е, перераб. и доп. (Госстандарт России. Международные стандарты – народному хозяйству России). М.: Протектор, 2000. – 848 с.

42. Эйзенберг Д., Кауцман В. Структура и свойства воды. С англ. Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 280 с.

### III. Технология

#### и методы

#### водоподготовки

1. Адсорбционная технология очистки сточных вод. (Авторы: Когановский А.М., Левченко Т.М., Рода И.Г. и др.). Киев: Техника, 1981. – 176 с.

2. Акользин П.А. Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. М.: Энергоиздат, 1982. – 304 с.

3. Акользин П.А. Предупреждение коррозии металла паровых котлов. М.: Энергия, 1975. – 295 с.

4. Акользин П.А. Предупреждение коррозии оборудования технического водо- и теплоснабжения. М.: Металлургия, 1988. – 94 с.

5. Альшин В.М., Волков С.В. и др. Достоинства и недостатки промышленных методов обеззараживания воды. «Водоснабжение и санитарная техника», 1996, № 2, с. 2–7.

6. Андреев А.Г., Панфиль П.А. Применение ультразвукового снижения скорости образования накипи. «Энергосбережение и водоподготовка», 2000, № 4).

7. Андреев В.И., Билай В.И., Коваль Э.З. Микробиологическая коррозия и ее возбудители. Киев: Наукова думка, 1980. – 240 с.

8. Ахманов М. Вода, которую мы пьем. Качество питьевой воды и ее очистка с помощью бытовых фильтров. СПб.: Невский проспект, 2002. – 192 с.

9. Аширов А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. Л.: Химия, 1983. – 295 с.

10. Балабан-Ирменин Ю.В., Липовских В.М., Рубашов А.М. Защита от внутренней коррозии трубопроводов водяных тепловых сетей. М.: Энергоатомиздат, 1999. – 248 с.

11. Банников В.В. и др. Обеззараживание питьевой воды, приготовление дезинфицирующих растворов, обезвреживание сточных вод. М.: НПП «Санер», 1996. – 31 с.

12. Банников В.В., Савинков Е.В. Нетрадиционный метод устранения накипи и инкрустаций. «Аква-Терм», 2003, №2, с. 38–40.

13. Банников В.В., Савинков С.В., Коренной А.К., Львович Ф.И. Обеззараживание питьевой воды, обработка воды плавательных бассейнов, приготовление дезинфицирующих растворов и обезвреживание сточных вод. М., 1996.

14. Бейгельдруд Г.М., Габленко В.Г. Обеззараживание питьевой воды электрохимическим методом. Дубна: НПО «Перспектива», 1999. – 29 с.

15. Белевцев А.Н., Жаворонкова В.И. Отчет НИИ ВОДГЕО /Технологический регламент на проектирование установки локальной очистки сточных вод прачечной от СПАВ. М., 1999

16. Белан Ф.И. Водоподготовка: Расчеты, примеры, задачи. М.: Энергия, 1980. – 256 с.

17. Белан Ф.И., Сутоцкий Г.П. Водоподготовка промышленных котельных. М.: Энергия, 1969. – 328 с.

18. Берне Ф., Кордонье Ж. Водоочистка. Очистка сточных вод нефтепереработки. Подготовка водных систем охлаждения. С франц. М.: Химия, 1997. – 288 с.

19. Богачёв А.Ф., Гришин А.А. Совершенствование водно-химического режима и водоподготовки ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1988.

20. Буссе-Мачукас В.Б., Кубасов В.Л., Львович Л.И. В кн.: Итоги науки и техники, т. 20 М.: ВИНТИ, 1982, с. 77–111.

21. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация. – Киев: Наукова думка, 1989. – 288 с.

22. Вигродович В.Н., Исправникова Ю.А., Нижаже-Гавгани Э.А. Проблемы озонирования и озонобработки. М. – СПб.: Экоинформсистема, 1994. – 112 с.

23. Вихрев В.Ф., Шкроб М.С. Водоподготовка. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1973. – 416 с.

24. Водоснабжение, водоотведение, гидротехника, инженерная гидрология (Сборник научных докладов к научно-практической конференции, посвященной 70-летию ФГУП «НИИ ВОДГЕО»). М.: Изд-во «ЗАО «Дар»/ВОДГЕО, 2004. – 182 с.

25. Водоподготовка. Процессы и аппараты. Под ред. О.И. Мартыновой. М.: Атомиздат, 1977. – 352 с.

26. Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий: Справочник проектировщика. Изд. 2-е, перераб. и доп. Под ред. И.А. Назарова. М.: Стройиздат, 1977. – 288 с.

27. Волков С.В. и др. Технологические аспекты обеззараживания воды ультрафиолетовым излучением. «Водоснабжение и санитарная техника», 2001, № 2, с.12–16.



28. Волжанский А.И., Константинов В.А. Регенерация ионитов. Л.: Химия, 1990. – 240 с.
29. Высоцкий С.П. Мембранная и ионитная технологии водоподготовки в энергетике. Киев: Техника, 1989. – 176 с.
30. Гнеденков С.В., Синебрюхов С.Л., Коврянов А.Н. и др. Влияние покрытий на интенсивность процессов солеотложения. Институт химии Дальневосточного отделения РАН. Электронный журнал «Исследовано в России», 2003.
31. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. М.: Высшая школа, 1978. – 270 с.
32. Горбачёв Е.А. Проектирование очистных сооружений водопровода из поверхностных источников: Учебное пособие. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов. 2004. – 240 с.
33. ГОСТ Р ИСО 140509 «Управление окружающей средой. Словарь».
34. Гребенюк В.Д. Электродиализ. Киев: Техника, 1976. – 160 с.
35. Гребенюк В.Д., Мазо А.А. Обессоливание воды ионитами. М.: Химия, 1980. – 256 с.
36. Гурвич С.М., Кострикин Ю.М. Оператор водоподготовки. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. – 304 с.
37. «Дегремон». Технические записки по проблемам воды. В 2-х тт. С англ. М.: Стройиздат, 1983.
38. Драгинский В.Л., Алексеева Л.П. Озонирование воды (Новые технологии и оборудование в водоподготовке и водоотведении). Сб. Вып. 1. М.: ВИМИ, 2000, с. 17–20.
39. Дриккер Б.Н., Ваньков А.Л. Сравнительная оценка эффективности отечественных и импортных ингибиторов солеотложений. «Энергосбережение и водоподготовка», 2000, № 1, с. 55–59.
40. Духин С.С., Сидорова М.П., Ярошук А.Э. Электрохимия мембран и обратный осмос. Л.: Химия, 1991. – 192 с.
41. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. – 351 с.
42. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. М.: Химия, 1986. – 272 с.
43. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. В 2-х ч. Изд. 2-е. М.: Химия, 1992. Ч. 1 – 399 с., ч. 2 – 367 с.
44. Жук Н.П. Курс коррозии и защиты металлов. М.: Металлургия, 1976.
45. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. В 3-х тт. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: Ассоциация строительных вузов (АСВ), 2003–2004. Т. 1 – 287 с., т. 2 – 493 с., т. 3 – 256 с.
46. Журба М.Г. Пенополистирольные фильтры. М.: Стройиздат, 1992. – 175 с.
47. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода. М.: Стройиздат, 1975. – 76 с.
48. Запольский А.К., Баран А.А. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. СПб.: Химия, 1987. – 208 с.
49. Зубакова Л.Б., Тевлина А.С., Даванков А.Б. Синтетические ионообменные материалы. М.: Химия, 1978. – 184 с.
50. Иваненко А.С. Водоподготовка. Пособие аппаратчику. Киев: Техника, 1978. – 184 с.
51. Инструкция по эксплуатационному анализу воды и пара на тепловых электростанциях. М.: СПО Союзтехэнерго, 1979;
52. Инструкция по определению физико-химических и технологических показателей качества воды и реагентов, применяемых на водопроводах. В надзаг.: Росводоканалналадка Минжилкомхоза РСФСР. М.: Стройиздат, 1973.
53. Информационные материалы фирмы «Байер АО» (автор – Б. Брингс). – 13 с. Требования к воде, предназначенной для очистки. Очистка ионообменных смол. Lewatit – лучший выбор. – 11 с. Каталитическое удаление растворенного кислорода из воды с помощью катализаторов фирмы «Байер». Lewatit – лучший выбор (автор – Р. Хельмиг). – 15 с.
54. Информационные материалы фирмы «Дау Ликвид Сепарации» (The Dow Liquid Separations) – «The Dow Chemical Company», торговая марка изделий «Dow» – «Дау»: Технология UPCORE (АПКОРЕ) – Прогрессивная технология, позволяющая улучшить и снизить себестоимость ионообменного обессоливания воды, 2000. – 13 с. Семинар фирмы «Дау Кемикал Компани» (Дау Европа) в пос. Юность Московской обл. (С.Л. Громов, Р. Сиверс, А. Медет). 15–16 февраля 2002 г. Материалы семинара не публиковались.
55. Информационные материалы фирмы «Пьюролайт»: Зажатые слои. – 10 с. Ограничение загрязнения анионообменных смол. Снижение риска возникновения, 1996. – 10 с. Эффективное удаление органики и коллоидов. – 10 с. Техническая информация «Пьюролайт» (катиониты, аниониты, удаление органики), 2003. – 51 с.
56. Информационные материалы фирмы «Ром и Хаас»: Смолы для промышленной водоподготовки, 2004. – 10 с. Амберпак АД1 – обессоливающая установка, 2004. – 13 с. Ионообменные смолы сводная таблица, 2003. – 5 с.
57. Иониты в химической технологии. Под ред. Б.П. Никольского, П.Г. Романкова. Л.: Химия, 1982. – 416 с.
58. Ионообменные методы очистки веществ. Под ред. Г.А. Чикина, О.Н. Мягкого. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1984. – 372 с.

59. *Исследования фосфорорганических соединений в качестве ингибиторов коррозии металлов в системах промышленного водоснабжения (мягкая вода)* Ю.И.Кузнецов, Е.А. Трунов, И.Л. Розенфельд и др. // Серия: Коррозия и защита нефтегазовой промышленности. М: РНТС ВНИИОЭНГ, 1980, № 7, с. 5–9.
60. *Исследования фосфорорганических соединений в качестве ингибиторов коррозии металлов в системах промышленного водоснабжения (жесткая вода)* Ю.И.Кузнецов, Е.А. Трунов, И.Л. Розельфельд и др. // Серия: Коррозия и защита нефтегазовой промышленности. М: РНТС ВНИИОЭНГ, 1981, № 2, с. 6–8.
61. *Карелин Ф.Н.* Обессоливание воды обратным осмосом. М.: Стройиздат, 1988. – 208 с.
62. *Касаткин А.Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии. Изд. 8. М.: Химия, 1973. – 752 с.
63. *Кедров В.С., Рудзский Г.Г.* Водоснабжение и водоотведение бассейнов. М.: Стройиздат, 1991.
64. *Кишнеvский В.А.* Современные методы обработки воды в энергетике. Одесса: ОГПУ, 1999. – 196 с.
65. *Классен В.И.* Омагничивание водных систем. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Химия, 1982. – 296 с.
66. *Клячко В.А., Апельцин И.Э.* Очистка природных вод. М.: Стройиздат, 1971. – 579 с.
67. *Книга НАЛКО о воде: Практическое руководство по воде компании Nalco.* 2-е изд. С англ. Ред.: Ф.Н. Кеммер и др. (Nalco Chemical Company). Нью-Йорк и др.: Изд-во «McGraw – Hill Book Company», 1989. – 1117 с.
68. *Когановский А.М.* Адсорбция органических веществ из воды. Л.: Химия, 1990. – 256 с.
69. *Кожинoв В.Ф.* Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1971. – 304 с.
70. *Кожинoв В.Ф.* Озон – история и практика применения. М.: Стройиздат, 1968. – 171 с.
71. *Кожинoв В.Ф., Кожинoв И.В.* Озонирование воды. М.: Стройиздат, 1974. – 160 с.
72. *Кожинoв В.Ф.* Очистка питьевой и технической воды. Примеры и расчеты. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1971. – 304 с.
73. *Кокотoв Ю.А.* Иониты и ионный обмен. Л.: Химия, 1980. – 151 с.
74. *Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф.* Водоподготовка в энергетике М.: Изд-во МЭИ. 2003. – 310 с.
75. *Кордонье Ж.* Подготовка водных систем охлаждения. М., 1997.
76. *Коррозионная стойкость оборудования химических производств.* Коррозия под действием теплоносителей, хладагентов и рабочих тел: Справ.изд. Под ред. А.М. Сухотина, В.М. Беренблит. Л.: Химия, 1988. – 360 с.
77. *Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В.* Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник. М.: Энергоиздат, 1990. – 254 с.
78. *Кременевская Е.А.* Мембранная технология обессоливания воды. М.: Энергоатомиздат, 1994. – 159 с.
79. *Крушель Г.Е.* Образование и предотвращение отложений в системах водяного охлаждения. М.: Госэнергоиздат, 1955. – 223 с.
80. *Кубасов В.Л., Банников В.В.* Электрохимическая технология неорганических веществ. М.: Химия, 1989. – 288 с.
81. *Кузнецов Ю.И., Трунов Е.А.* О механизме ингибирующего действия цинкфосфонатов в нейтральных средах // ЖПХ. 1984, № 3, с. 498–504.
82. *Кулаков В.В., Сошников Е.В., Чайковский Г.П.* Обезжелезивание и деманганация подземных вод. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 1998. – 100 с.
83. *Кульский Л.А.* Теоретические основы и технология кондиционирования воды. 3-е изд., перераб. и доп. Киев: Наукова думка, 1980. – 564 с.
84. *Кульский Л.А., Строкач П.П.* Технология очистки природных вод. Киев: Выща школа, 1981. – 328 с.
85. *Кульский Л.А., Горонoвский И.Т., Когановский А.М.* и др. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды. В 2-х ч. Ч. 1 – 680 с., ч. 2 – 681 – 1206 с. Киев: Наукова думка, 1980.
86. *Кульский Л.А., Накорчевская В.Ф.* Химия воды. Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод. Киев: Выща школа, 1983. – 240 с.
87. *Кучеренко Д.И., Гладков В.А.* Обратное водоснабжение (Системы водяного охлаждения). М.: Стройиздат, 1980. – 168 с.
88. *Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П.* Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. М.: Энергоиздат, 1982. – 200 с.
89. *Ларин Б.М., Морыганова Ю.А.* Органические соединения в теплоэнергетике. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет, 2001. – 144 с.
90. *Ларин Б.М., Бушуев Е.Н., Бушуева Н.В.* Технологическое и экологическое совершенствование водоподготовительных установок на ТЭС. «Теплоэнергетика», 2001, № 8, с. 23–27.
91. *Лившиц О.В.* Справочник по водоподготовке котельных установок. Изд. 2-е. М.: Энергия, 1976. – 288 с.
92. *Лонсдейл Х.К.* Технологические процессы с применением мембран. С англ. М.: Мир, 1976. – 370 с.



93. Лунёв В.Д., Емельянов Ю.А. Фильтрация в химической промышленности. Л.: Химия, 1982. – 72 с.
94. Люблинский Е.Я. Что нужно знать о коррозии. Л.: Лениздат, 1980. – 192 с.
95. Манькина Н.Н. Физико-химические процессы в пароводяном цикле электростанций. М.: Энергия, 1977. – 256 с.
96. Маргулова Т.Х., Мартынова О.И. Водные режимы тепловых и атомных электростанций. М.: Высшая школа, 1981. – 320 с.
97. Марченко Е.М., Пермьяков А.Б., Крыжановский В.Г. Предотвращение коррозии и накипи в закрытых системах теплоснабжения, водогрейных и паровых котлах. «Энергосбережение и водоподготовка», 2003, № 1, с. 54–55.
98. Методические рекомендации по применению озонирования и сорбционных методов в технологии очистки воды от загрязнений природного и антропогенного происхождения. М.: АО «НИИ коммунального водоснабжения и очистки воды», 1995. – 43 с.
99. Мещерский Н.А., Быч Е.С., Фролов Ю.В. Эксплуатация водоподготовок в металлургии. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1988. – 400 с.
100. Мещерский Н.А. Эксплуатация водоподготовок в металлургии. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1974. – 360 с.
101. Миклашевский Н.В., Королькова С.В. Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры. СПб.: Арлит, 2000. – 240 с.
102. Мудлер М. Введение в мембранную технологию. С англ. М.: Мир, 1999.
103. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1984. – 368 с.
104. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. М.: Стройиздат, 1978. – 160 с.
105. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. М.: Стройиздат, 1987. – 240 с.
106. Новые технологии и оборудование в водоснабжении и водоотведении. Сборник материалов. Вып. 1, 2, 3. (Госстрой России. НИИ КВОВ. «Водкоммунтех»). Сост.: Л.П. Алексеева, В.Л. Драгинский, Г.В. Дружинина и др. М.: ГУП «ВИМИ», 1999, 2000, 2001.
107. Ноланд Эмме Карлос Пабло Обеззараживание природных и городских сточных вод озонированием Автореферат диссертации. М., 1988.
108. Обеззараживание воды ультрафиолетовым излучением. / Новые технологии и оборудование в водоподготовке и водоотведении. Сб. Вып. 1. М.: ВИМИ, 2000, с.47–52, 114–117.
109. Обработка воды на электростанциях. Под ред. В.А. Голубцова. М. – Л.: Энергия, 1966. – 448 с.
110. Озонотехника / Новые технологии и оборудование в водоподготовке и водоотведении. Сб. Вып. 1. М.: ВИМИ, 2000, с. 35–36.
111. Озонаторное оборудование / Новые технологии и оборудование в водоподготовке и водоотведении. Сб. Вып. 1. М.: ВИМИ, 2000, с. 37–39.
112. Окислители в технологии водообработки. (М.А. Шевченко, П.В. Марченко, П.Н. Таран, В.В. Лизунов). Киев: Наукова думка, 1979. – 177 с.
113. Омелянец Н.И. Гигиена применения ионообменных смол в водоснабжении. Киев: Здоровья, 1979. – 104 с.
114. Орлов В.А. Озонирование воды. М.: Стройиздат, 1984. – 89 с.
115. Пааль Л.Л., Кору Я.Я. и др. Справочник по очистке природных и сточных вод. М.: Высшая школа, 1994.
116. Перри Дж. Справочник инженера-химика. С англ. В 2-х т. Т.1. – 640 с., т. 2. – 504 с. Л.: Химия, 1969.
117. Применение гидроантрацита на водоподготовительных установках ТЭС. М.: ОАО «Фирма ОРГРЭС», 2002. – 20 с.
118. Рачев Х., Стефанова С. Справочник по коррозии. С болг. М.: Мир, 1982. – 520 с.
119. Рейзин Б.Л., Стрижевский И.В., Сазонов Р.П. Защита систем горячего водоснабжения от коррозии. М.: Стройиздат, 1986. – 155 с.
120. Рейзин Б.Л., Стрижевский И.В., Шевелев Ф.А. Коррозия и защита коммунальных водопроводов. М.: Стройиздат, 1979. – 398 с.
121. Резник Я.Е. Рекомендации по составлению опросных листов для заказа оборудования и арматуры водоподготовительных установок. ЖЗ-150. (Показатели свойств веществ, растворов, суспензий водоподготовки). М.: ГПИ Сантехпроект, 1979. – 114 с.
122. Резник Я.Е. Рекомендации по организации химконтроля за воднохимическим режимом котельных. ЖЗ-157. М.: ГПИ Сантехпроект, 1981. – 51 с.
123. Резник Я.Е. Рекомендации по изменению схем водоподготовки в связи с изменением норм. ЖЗ-180. М.: ГПИ Сантехпроект, 1985. – 22 с.
124. Резник Я.Е. Рекомендации по проектированию коррекционной обработки воды. ЖЗ-140. М.: ГПИ Сантехпроект, 1978. – 32 с.
125. Резник Я.Е. Рекомендации по составлению исходных данных для проектирования водоподготовительных установок. ЖЗ-164. М.: ГПИ Сантехпроект, 1982. – 16 с.
126. Резник Я.Е., Розенберг М.И., Шапиро А.С. Рекомендации по применению пеногасителя в паровых котлах. ЖЗ-158. М.: ГПИ Сантехпроект, 1981. – 12 с.

127. *Рекомендации по режимам эксплуатации новых марок импортных ионитов.* М.: ОАО «Фирма ОРГРЭС», 2000. – 23 с.
128. *Роговец А.И.* Гигиеническая оценка водосточников и питьевого водоснабжения населения России. Материалы семинара «Обеззараживание природных и сточных вод». М., 1996
129. *Розанова Е.П., Дубинина Г.А.* Биокоррозия как основной фактор внутренних повреждений трубопроводов теплосетей и проблема борьбы с ней. М.: Пульс, «Москва и наука» (МКНТ). Т. 7, № 27 (157), с. 27–33.
130. *Розельфельд И.Л.* Ингибиторы коррозии. М.: Химия, 1977.
131. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. В надзаг.: ВНИИ ВОДГЕО. М.: Стройиздат, 1973.
132. *Руководство по проектированию тепловых пунктов.* (ВГНИПИИ Атомтеплоэлектропроект Минэнерго СССР, МНИИТЭП ГлавАПУ Мосгорисполкома, ГПИ Сантехпроект Госстроя СССР). М.: Стройиздат, 1983. – 2 7 с.
133. *Рябчиков Б.Е.* Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. М.: ДеЛи принт, 2004. – 301 с.
134. *Рябченко В.А., Горяинова Г.С.* МГП «Мосводоканал». Проблема сохранения качества питьевой воды на водопроводах большой протяженности. Материалы семинара «Обеззараживание природных и сточных вод». М., 1996.
135. *Рябченко В.А., Соколов В.Ф., Ловцевич Е.Л.* К оценке обеззараживания воды УФ-излучением. // Биологическое действие ультрафиолетового облучения. М.: Наука, 1975.
136. *Сандуляк А.В.* Очистка жидкостей в магнитном поле. Львов: Выща школа, 1984. – 167с.
137. *Сенявин М.М., Рубинштейн Р.Н., Венецианов С.В.* Основы расчета и оптимизации ионообменных процессов. М.: Наука, 1972. – 176 с.
138. *Сенявин М.М.* Ионный обмен в технологии и анализе неорганических веществ. М.: Химия, 1980. – 272 с.
139. *Скалли Дж.* Основы учения о коррозии и защите металлов. С англ. М.: Мир, 1978. – 224 с.
140. *Скобеев И.К.* Фильтрующие материалы. М.: Недра, 1978. – 200 с.
141. *Слипченко А.В., Кульский Л.А., Мацкевич Е.С.* Современное состояние методов окисления примесей воды и перспективы хлорирования. // Химия и технология воды. 1990 Т 4 №12
142. *Смирнов А.Д.* Сорбционная очистка воды. Л.: Химия, 1982. – 168 с.
143. *Справочник проектировщика.* Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. Изд. 2-е. М.: Стройиздат, 1977;
144. *Справочник монтажника.* Монтаж систем внешнего водоснабжения и канализации. Под ред. А.К. Перешивкина. М.: Стройиздат, 1979. – 460 с.
145. *Справочник строителя.* Монтаж систем внешнего водоснабжения и водоотведения. Изд 5-е, испрв. и доп. М.: Стройиздат, 2002.
146. *Сокольский Ю.М.* Омагниченная вода: правда и вымысел. Л.: Химия, 1990. – 144 с.
147. *Солодольников В.В.* Расчет и математическое моделирование процессов водоподготовки. М.: Энергоатомиздат, 2003.
148. *Стабилизационные фильтры: Обзор* (Л.С. Алексеев). М.: ВНИИС, 1987. – 65 с. (ВНИИС, Строительство и архитектура. Серия 9. Инженерное обеспечение объектов строительства. Обзорная информация. Вып. 3.
149. *Супрун А.Н., Найдено В.В.* Вычислительная математика для инженеров-экологов: Методическое пособие. М.: Изд-во АСВ, 1996. – 391 с.
150. *Сутоцкий Г.П., Кокошкин И.А., Никитин В.И. и др.* О нормировании относительной щелочности котловой воды котлов давлением до 40 кгс/см<sup>2</sup>, изготавливаемых заводами Минэнергомаша. Л.: ЦКТИ им. И.И. Ползунова, 1976. – 19 с.
151. *Сутоцкий Г.П.* Повреждения энергетического оборудования, связанные с водно-химическим режимом. Оборудование ТЭС и промышленных котельных. (НПО ЦКТИ). СПб.: НПО ЦКТИ, 1992. – 108 с.
152. *Тebенихин Е.Ф.* Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. М.: Энергия, 1977. – 184 с.
153. *Терновцев В.Е.* Магнитные установки в системах оборотного водоснабжения. Киев: Будивельник, 1976. – 88 с.
154. *Усаковский В.М.* Водоснабжение и водоотведение в сельском хозяйстве. М.: Колос, 2002. – 328 с.
155. *Фомин Г.С.* Вода. Контроль химический, бактериологический и радиационной безопасности по международным стандартам. Энциклопедический справочник. 3-е изд., перераб. и доп. (Госстандарт России. Международные стандарты – народному хозяйству России). М.: Протектор, 2000. – 848 с.
156. *Фоминых А.М., Фоминых В.А.* Современная технология подготовки питьевой воды: Учеб. пособие, Новосибирск, 1993. – 97 с.
157. *Фрог Б.Н., Левченко А.П.* Водоподготовка. М.: МГУ, 1996. – 680 с.
158. *Хаммер М. Дж.* Технология обработки природных и сточных вод. С англ. М.: Стройиздат, 1979. – 400 с.
159. *Хванг С.-Т., Каммермер К.* Мембранные процессы разделения. С англ. М.: Химия, 1981. – 464 с.

160. *Шарапов В.И.* Подготовка подпиточной воды систем теплоснабжения с применением вакуумных деаэраторов. М.: Энергоиздат, 1996

161. *Шевченко М.А., Лизунов В.В.* Технология обработки воды. Киев: Будивэльник, 1980. – 116 с.

162. *Экстер А.М., Копп В.Г., Манирко Г.В.* О влиянии содержания натрия в обрабатываемой воде на обменную емкость натрий-катионитных фильтров. «Промышленная энергетика», 1985, № 7, с. 47–49.

163. *Яковлев С.В., Краснобородько И.Г., Рогов В.М.* Технология электрохимической очистки воды. Л.: Стройиздат, 1987. – 312 с.



# **ВОДОПОДГОТОВКА**

## **Справочник**

Под редакцией доктора технических наук,  
действительного члена Академии промышленной экологии

Сергея Евгеньевича Беликова

Авторы-составители:  
*Елена Николаевна Хохрякова*  
*Яков Ефимович Резник*

Подписано в печать 10.02.2007 г. Формат 60X90/8.  
Гарнитура Helios. Объем 30 печ.л. Тираж 3000 экз.  
Заказ №

ООО «Издательский Дом «Аква-Терм».  
125464, Москва, Новотушинский проезд, д.10, корп.1.

Отпечатано в ООО «Офсетная типография № 21».  
123022, Москва, ул. Рочдельская, д.15, стр.29.