

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

О. К. НОВИКОВА, А. М. РАТНИКОВА

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебное пособие

Гомель 2021

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра водоснабжения, химии и экологии

О. К. НОВИКОВА, А. М. РАТНИКОВА

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов
учреждений высшего образования по специальности
«Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»*

Гомель 2021

УДК 628.3 (075.8)
ББК 38.761.1
Н73

Рецензенты: доцент кафедры водоснабжения и водоотведения канд. техн. наук *Г. А. Волкова* (Белорусский национальный технический университет); доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов канд. техн. наук *В. В. Мороз* (Брестский государственный технический университет)

Новикова, О. К.

Н73 Водоснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие / О. К. Новикова, А. М. Ратникова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 223 с.
ISBN 978-985-891-045-7

Содержит основные сведения об особенностях водоснабжения промышленных предприятий. Рассмотрены системы и схемы производственного водоснабжения, методы и технологии водоподготовки, содержатся данные о проектировании установок для охлаждения оборотной воды и улучшения ее качества, предотвращения отложений взвеси и биологических обрастаний, накипеобразования и коррозии в трубопроводах и оборудовании. Уделено внимание вопросам обработки и утилизации осадков, полученных при очистке воды в системах производственного водоснабжения. Освещены особенности водоснабжения предприятий различных отраслей промышленности.

Предназначено для студентов учреждений высшего образования специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов». Может быть использовано студентами и аспирантами других специальностей, изучающих вопросы промышленного водоснабжения; специалистами, занимающимися проблемами водного хозяйства промышленных предприятий.

УДК 628.3 (075.8)
ББК 38.761.1

ISBN 978-985-891-045-7

© Новикова О. К., Ратникова А. М., 2021
© Оформление. БелГУТ, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1 Системы водоснабжения промышленных предприятий	7
1.1 Потребители воды на промышленных предприятиях	7
1.2 Источники водоснабжения промышленных предприятий.....	11
1.3 Требования к качеству воды	12
1.4 Виды систем общего водоснабжения промышленных предприятий	17
1.5 Системы производственного водоснабжения промышленных предприятий из поверхностных источников	19
1.6 Принципы составления водохозяйственно баланса.....	24
2 Охлаждающие устройства систем промышленного водоснабжения	27
2.1 Классификация оборонных вод по степени нагрева при их использовании в промышленности	27
2.2 Классификация способов охлаждения	28
2.3 Параметры, характеризующие работу охладителей	29
2.4 Водохранилища-охладители.....	31
2.5 Брызгальные бассейны	33
2.7 Градирни.....	37
2.7.1 Классификация градирен	37
2.7.2 Распределители, оросители и водоуловители градирен	39
2.7.3 Конструкции градирен	45
2.8 Потери воды в охладителях	55
2.9 Выбор типа охладителя.....	58
3 Обработка воды производственного назначения	61
3.1 Дегазация воды	61
3.1.1 Влияние растворенных в воде газов на состояние систем промышленного водоснабжения. Методы удаления	61
3.1.2 Классификация дегазаторов, выбор конструкции	62
3.1.3 Химические методы.....	66
3.2 Умягчение воды	69
3.2.1 Сущность процесса умягчения. Методы умягчения воды.	69
3.2.2 Реагентные методы	72
3.2.3 Термический и термохимический методы.....	81
3.2.4 Ионный обмен.....	83
3.2.5 Диализ.....	100
3.3 Обессоливание и опреснение воды	103
3.3.1 Сущность процесса обессоливания. Методы обессоливания и опреснения воды.....	103
3.3.2 Дистилляция.....	105
3.3.3 Обратный осмос.....	108
3.3.4 Электродиализ.....	111
3.3.5 Электродеионизация.....	113
3.3.6 Ионитовое обессоливание воды	115
3.4 Удаление из воды кремниевой кислоты	121
3.4.1 Технология удаления из воды кремниевой кислоты, классификация методов	121
3.4.2 Реагентные методы удаления кремниевой кислоты	124
3.4.3 Фильтрационное обескремнивание воды.....	129

3.4.4	Обескремнивание воды анионитами	129
3.5	Обработка воды для предупреждения коррозии и зарастания трубопроводов и оборудования систем промышленного водоснабжения	131
3.5.1	Причины и виды зарастания труб и оборудования. Понятие о стабильности воды	131
3.5.2	Стабилизационная обработка воды для предотвращения коррозии	138
3.5.3	Стабилизационная обработка воды для предотвращения отложений карбоната кальция	142
3.6	Обработка охлаждающей воды	143
3.6.1	Причины и виды зарастания охлаждающих аппаратов	143
3.6.2	Обработка охлаждающей воды для предупреждения развития биологических обрастаний	145
3.6.3	Обработка охлаждающей воды для предотвращения карбонатных отложений	146
3.6.4	Обработка охлаждающей воды для предотвращения коррозии металлических трубопроводов и теплообменных аппаратов	153
4	Обработка и утилизация осадков, полученных при очистке воды в системах производственного водоснабжения	156
4.1	Классификация осадков. Источники образования, состав и свойства осадков	156
4.2	Уплотнение осадков	159
4.3	Обезвоживание осадков в естественных условиях	160
4.4	Механическое обезвоживание осадков, физико-химические методы обработки осадков	161
4.5	Обработка осадков с одновременной регенерацией коагулянта	163
5	Проектирование водоочистных комплексов промышленного водоснабжения	165
5.1	Размещение водоочистных сооружений в промышленном узле, генплан и высотная схема	165
5.2	Основные принципы компоновки станций осветления, умягчения и обессоливания воды	172
5.3	Применение современных конструкций сооружений водоподготовки и автоматизация их работы, основные мероприятия по технике безопасности	182
6	Особенности водоснабжения предприятий различных отраслей промышленности	187
6.1	Водоснабжение тепловых и атомных электростанций	187
6.2	Водоснабжение предприятий черной металлургии	198
6.2.1	Рудники и обогатительные фабрики	198
6.2.2	Металлургические комбинаты	200
6.2.3	Коксохимические заводы	202
6.2.4	Агломерационные фабрики	205
6.3	Водоснабжение нефтеперерабатывающих заводов, предприятий нефтехимической и химической промышленности	207
6.3	Водоснабжение предприятий железнодорожного транспорта	211
6.3	Водоснабжение объектов строительства	219
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	222

ВВЕДЕНИЕ

Промышленное водоснабжение предназначено для надежного обеспечения водой надлежащего качества производственных процессов на предприятиях различных отраслей промышленности и является составной частью всей системы водного хозяйства промышленного предприятия, включающей также его систему канализации.

Требования к качеству воды, используемой на нужды промышленных предприятий, определяются технологией производственных процессов и существенно отличаются, что предопределяет многообразие возможных вариантов решения систем водного хозяйства промышленных предприятий. По содержанию различных химических элементов и соединений, растворенных и нерастворенных примесей, газов и солей, пригодная для промышленного водоснабжения вода может значительно отличаться от качества питьевой воды. Технология ее подготовки в большинстве случаев также существенно отличается от применяемой в питьевом водоснабжении. Это касается глубокого умягчения и обессоливания воды, удаления биогенных элементов, стабилизации и дегазации воды, обезжелезивания, обескремнивания и т. п.

Основой проектирования, строительства и эксплуатации систем водоснабжения современных промышленных предприятий является научно обоснованное рациональное и комплексное использование водных ресурсов, разработка современных систем и технологических схем промышленного водоснабжения, обеспечивающих охрану источников водоснабжения от истощения и загрязнения, гарантирующих минимальный экологический ущерб окружающей природной среде. В связи с этим на промышленных предприятиях возрастает применение оборотных, последовательных и замкнутых систем водоснабжения с многократным использованием после соответствующей обработки технологических и хозяйственно-бытовых сточных вод.

Для устройства систем водоснабжения промышленных предприятий требуются значительные капитальные затраты. Поэтому задача сокращения расходов в сооружениях водного хозяйства предприятий имеет общегосударственное значение. Проектировщики, работающие в этой области, должны обеспечивать наибольшую эффективность капитальных вложений в строительство систем и сооружений при обеспечении рационального использование водных ресурсов и защиты источников водоснабжения от загрязнения и истощения.

Основные задачи в области промышленного водоснабжения неразрывно связаны с рациональным использованием водных ресурсов, повышением эффективности функционирования систем водного хозяйства промышленных предприятий и их экологической безопасностью:

- внедрение безводных и маловодных технологических схем;
- осуществление замены водяного охлаждения воздушным и испарительным;
- широкое применение оборотных и замкнутых систем водоснабжения с соответствующей очисткой или охлаждением воды;
- повторное использование очищенных промышленных и городских сточных вод;
- нормирование водопотребления;
- повышение качества проектирования, строительства и эффективности эксплуатации систем водоснабжения, внедрение прогрессивных технологических схем и оборудования, автоматизации и диспетчеризации, снижение стоимости строительства водного хозяйства промышленных предприятий;
- повышение надежности и долговечности систем за счет использования современных конструкций и более стойких материалов, труб с защитным покрытием, в том числе неметаллических труб, других способов защиты трубопроводов и сооружений от коррозии;
- реконструкция существующих систем водоснабжения с целью повышения эффективности и экологической безопасности их работы, экономии энергетических и природных ресурсов.

1 СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1.1 Потребители воды на промышленных предприятиях

Расход воды, потребляемой в промышленности, огромен. Он в десятки раз превосходит количество воды, которое потребляет население.

Системы водоснабжения объектов производства должны обеспечивать *водопотребление*:

- на питьевые и хозяйственные нужды работников, а также населения в жилых зданиях, на общественных объектах в случае их подключения к системам водоснабжения промышленных предприятий;
- производственные нужды;
- тушение пожаров;
- компенсацию потерь воды в сооружениях и трубопроводах;
- поливку посадок и мойку ландшафтно-рекреационных территорий и территорий транспортной инфраструктуры.

Технологическое (производственное) водопотребление на большинстве промышленных предприятий является основным как по количеству потребляемой воды, так и по роли воды в обеспечении основных технологических процессов.

В производстве вода используется:

- для охлаждения оборудования и продукта;
- промывки продукции;
- получения технологических растворов;
- газоочистки;
- гидротранспорта;
- парообразования и др.

По р о л и , выполняемой водой в системах производственного водоснабжения, она делится на четыре категории:

– I категория используется для охлаждения оборудования и продукта в теплообменных аппаратах (без соприкосновения с продуктом) – вода нагревается и практически не загрязняется;

– II категория используется как среда, поглощающая и транспортирующая примеси, без нагрева (обогащение полезных ископаемых, гидротранспорт) – вода загрязняется механическими и растворенными примесями, но не нагревается;

– III категория используется как среда, поглощающая и транспортирующая механические и растворенные примеси, с нагревом (улавливание и очистка газов, гашение кокса);

– IV категория используется в качестве растворителя реагентов, например при флотационном обогащении ископаемых и др.

Качество воды, используемой на производственные нужды, устанавливается в каждом конкретном случае в зависимости от назначения воды и требований технологического процесса, с учетом используемого сырья, применяемого оборудования и готового продукта производства.

Расход воды на производственные нужды предприятий определяется по нормам водопотребления, устанавливаемым по технологическим данным, которые получены в результате исследований удельного водопотребления за последние три года.

Расход воды на **производство продукции**, м³/сут, определяется по формуле

$$Q_{\text{ср.сут}} = \sum Pq_{\text{уд}}, \quad (1.1)$$

где P – количество выпускаемой продукции, усл. ед./сут;

$q_{\text{уд}}$ – норма расхода воды на единицу выпускаемой продукции, м³/усл. ед.

Нормы расхода воды на единицу выпускаемой продукции зависят:

- от характера производства, составом сырья и получаемого продукта;
- роли воды в процессе производства;
- системы водоснабжения;
- качества применяемой воды;
- условий использования воды (температура нагрева, степень загрязнения, возможность регенерации).

Расходы воды на производственные (технологические) нужды определяются в зависимости от водопотребляющего оборудования для производства продукции.

Нормы расхода воды служат для планирования потребления водных ресурсов, оценки эффективности их использования. Они позволяют:

- планировать потребность в воде на производство (реализацию) определённого количества продукции;
- анализировать и оценивать работу предприятия и его производственных подразделений путём сопоставления норм и фактических удельных расходов воды;
- определять удельную энергоёмкость производства данного вида продукции.

Режим водопотребления на промышленных предприятиях может быть равномерным, неравномерным или эпизодическим. Во многих случаях неравномерность водопотребления вызвана сезонными изменениями водопотребления.

Неравномерность водопотребления характеризуется коэффициентами *суточной* $K_{\text{сут}}$ и *часовой* $K_{\text{ч}}$ неравномерности. Сезонные изменения водопотребления учитываются коэффициентами $K_{\text{лет}}$ и $K_{\text{зим}}$.

Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды

$$Q_{sm} = \frac{\sum q_i n_i}{1000}, \quad (1.2)$$

где q_i – норма водопотребления для работников соответствующего вида цехов, административных и бытовых зданий предприятий, л/чел.;

n_i – число работающих в соответствующего вида цехах, чел.

Для цехов со значительным тепловыделением (более 80 кДж на 1 м³/ч) норма водопотребления на одного человека составляет 45 л/смену, для остальных цехов – 25 л/смену, при этом коэффициенты часовой неравномерности принимаются соответственно 2,5 и 3. Норма водопотребления для административных зданий составляет 12 л/сут на человека [23].

Душ принимают работники в течение 45 минут после окончания смены. Расход воды через одну душевую сетку составляет 500 л в смену (0,75 м³/ч). Количество душевых сеток принимается в зависимости от характера производства (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Количество человек на душевую сетку в зависимости от санитарной характеристики производства

Группа производственных процессов	Санитарная характеристика производственных процессов	Расчетное количество человек на одну душевую сетку
1	Производственные процессы с незначительными избытками явного тепла и пыли, вызывающие загрязнение веществами III и IV классов опасности:	
1а	– только рук	25
1б	– тела и спецодежды	15
1в	– тела и спецодежды, удаляемое с применением специальных моющих средств	5
2	Производственные процессы, протекающие при значительных избытках явного тепла или выделений влаги, а также при неблагоприятных метеорологических условиях:	
2а	– при избытках явного конвективного тепла	7
2б	– при избытках лучистого тепла	3
2в	– связанные с воздействием влаги, вызывающей намокание спецодежды	5
2г	– при температуре воздуха до 10 °С, включая работы на открытом воздухе	5
3	Производственные процессы с резко выраженными вредными факторами, вызывающие загрязнение веществами I и II классов опасности, а также веществами, обладающими стойким запахом:	
3а	– только рук	7
3б	– тела и спецодежды	3

В теплое время года (май – август) осуществляется полив территории предприятия и зеленых насаждений. **Расход воды на благоустройство территории** промышленных предприятий составляет:

- на механизированную мойку усовершенствованных покрытий проездов и площадей – 1,2 л/м²;
- механизированную поливку усовершенствованных покрытий проездов и площадей – 0,3 л/м²
- поливку вручную (из шлангов) усовершенствованных покрытий тротуаров и проездов – 0,4 л/м²;
- поливку газонов и цветников – 5 л/м² [22].

Для этих целей может использоваться вода из сетей производственного водоснабжения, если качество ее соответствует санитарным и агротехническим требованиям.

Расход воды на влажную уборку помещений принимается 0,4 л на 1 м² площади помещений, в которых производится влажная уборка, при ее проведении 1 раз в сутки в течение 1 ч. Потери воды при проведении влажной уборки составляют 15 % от расхода воды [22].

Расход воды на один пожар на наружное пожаротушение зданий промышленных предприятий принимается для здания, требующего наибольшего расхода воды по таблицам 1.2 и 1.3 в зависимости от степени огнестойкости, категории, строительного объема, наличия фонарей и ширины здания.

Расчетное количество одновременных пожаров на предприятии принимается в зависимости от площади предприятия:

- если промышленное предприятие занимает площадь менее 150 га, то считается, что на нем может возникнуть одновременно 1 пожар;
- если площадь, занимаемая предприятием, более 150 га, то одновременно могут возникнуть 2 пожара.

Таблица 1.2 – Расход воды на наружное пожаротушение на один пожар для производственных зданий любой ширины с фонарями, а также зданий шириной менее 60 м и без фонарей [19]

В литрах в секунду

Степень огнестойкости строительных конструкций	Категория производства по пожарной опасности	Строительный объем зданий, тыс. м ³						
		до 3	3–5	5–20	20–50	50–200	200–400	более 400
I, II	Г, Д	–	–	10	10	15	20	25
I, II	А, Б, В	10	10	15	20	30	35	40
III	Г, Д	10	10	15	25	35	40	45
III	В	10	15	20	30	40	45	50
III	А, Б	15	20	25	35	45	50	55
IV, V	Г, Д	10	15	20	30	40	50	60
IV, V	В	15	20	25	40	50	60	70

Таблица 1.3 – Расход воды на наружное пожаротушение на один пожар для производственных зданий шириной 60 м и более без фонарей [19]

В литрах в секунду

Степень огнестойкости строительных конструкций	Категория производства по пожарной опасности	Строительный объем зданий, тыс. м ³								
		до 50	50–100	100–200	200–300	300–400	400–500	500–600	600–700	более 700
I, II	A, B, B	20	30	40	50	60	70	80	90	100
I, II	Г, Д	10	15	20	25	30	35	40	45	50
III	A, B, B	25	35	45	55	65	75	85	95	105
III	Г, Д	15	20	25	30	35	40	45	50	55
IV, V	Г, Д	20	30	35	40	45	50	55	60	75
IV, V	B	30	45	55	65	75	85	95	105	120

Продолжительность тушения пожара принимается равной 3 часам, а для зданий I и II степеней огнестойкости с незгораемыми несущими конструкциями – 2 часам.

Максимальный срок восстановления пожарного объема воды должен быть не более:

- 24 ч – на предприятиях с категориями производства по пожарной опасности А, Б, В;
- 36 ч – на предприятиях с категориями Г и Д.

1.2 Источники водоснабжения промышленных предприятий

Потребности предприятий в воде всех категорий потребителей удовлетворяются из природных источников, которые должны отвечать следующим *требованиям*:

- обеспечивать бесперебойное получение требуемого количества воды с учетом перспективы развития предприятия;
- подавать воду требуемого качества или позволять достигнуть его за счет простой и дешевой обработки исходной воды;
- обеспечивать возможность подачи воды с наименьшими затратами;
- обладать такой мощностью, чтобы расчетный отбор не нарушал экологическую систему.

Источниками водоснабжения промышленных предприятий являются:

- водные объекты;
- подземные воды;
- системы водоснабжения населенных пунктов и других предприятий;
- системы водоотведения – при возможности использования очищенных сточных вод.

Воды рек обладают значительной мутностью (содержание взвешенных веществ может достигать 12000 мг/л), высоким содержанием органических

веществ и бактерий. *Подземные воды* прозрачны, имеют низкие температуру и бактериальную загрязненность, но сильно минерализованы.

Для систем технического водоснабжения может использоваться вода поверхностных источников с простейшей очисткой или даже без нее.

Подземные воды на промышленных предприятиях предпочтительно используются для хозяйственно-питьевых нужд. Часто для этих целей используется вода городского водопровода.

Хозяйственно-питьевой водопровод промышленного предприятия, размещенного в черте города, получает воду от общего городского водопровода. Подача воды из городской сети в хозяйственно-питьевой водопровод предприятия осуществляется по двум или нескольким вводам из различных магистральных линий городской водопроводной сети. В зависимости от напора воды в городской сети существуют различные схемы подключения внутриводоводской сети к городскому водопроводу (рисунок 1.1).

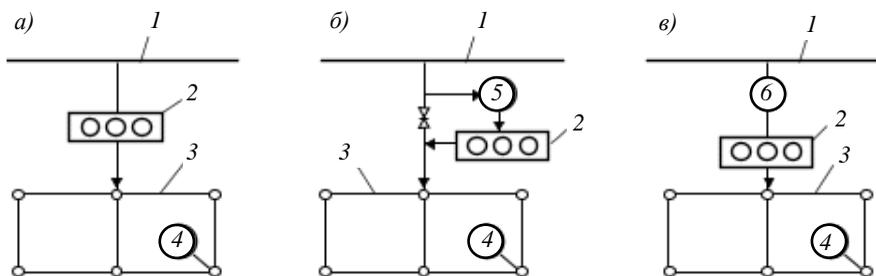


Рисунок 1.1 – Схемы подключения хозяйственно-питьевого водопровода предприятия к городскому водопроводу:

а – через повысительные насосы; *б* – через насосы и запасную емкость; *в* – через насосы и регулируемую емкость; 1 – городская магистраль водопроводной сети; 2 – насосная станция с повысительными насосами; 3 – водопроводная сеть предприятия; 4 – водонапорная башня; 5 – запасная емкость; 6 – регулирующая емкость

Если требуемый свободный напор сети предприятия превышает напор городской сети, то устраиваются повысительные насосные станции, а иногда и регулирующие емкости. Эти емкости позволяют забирать равномерно воду из городского водопровода в течение суток и подавать в сеть предприятия по заданному графику.

1.3 Требования к качеству воды

В зависимости от целевого назначения используемой в производственных процессах воды к ней предъявляются различные требования. Свойства воды определяются концентрацией отдельных примесей, совокупность которых определяет качество воды.

Показателями качества воды являются:

1) *физические* (температура, содержание взвешенных веществ и растворенных газов, цветность, запах и др.);

2) *химические* (жесткость, щелочность, активная реакция, хлориды, сульфаты, окисляемость, сухой остаток и др.);

3) *биологические и бактериологические* (гидробионты, общее количество бактерий, коли-индекс и др.). Бактериологические показатели качества производственной воды определяют безопасность ее использования и требуют особенно тщательного контроля при использовании в промышленном водоснабжении биологически очищенных и доочищенных бытовых сточных вод.

Вода, используемая на хозяйственно-питьевые нужды на промышленных предприятиях, должна удовлетворять следующим требованиям СанПиН [19]:

– при подогревании воды от 20 до 60 °С она не должна иметь *запах* более 2 баллов и *привкус* более 2 баллов;

– *мутность* должна быть не более 1,5 (2)* мг/дм³;

– *цветность* – не более 20 (35)* град;

– рН = 6...9;

– *общая минерализация* (сухой остаток) – не более 1000 (1500)* мг/дм³;

– *жесткость общая* – не более 7,0 (10)* ммоль/дм³;

– *окисляемость перманганатная* – не более 5 мг/дм³;

– *нефтепродукты* – не более 0,1 мг/дм³;

– *поверхностно-активные вещества* (ПАВ) – не более 0,5 мг/дм³;

– *фенольный индекс* – не более 0,25 мг/дм³.

– содержание *железа* должно быть не более 0,3 (1,0)* мг/дм³;

– *нитратов* – не более 45 мг/дм³;

– *хлоридов* – не более 350 мг/дм³;

– *сульфатов* – не более 500 мг/дм³;

– *фторидов* – не более 1,5 мг/дм³;

– *общее микробное число* (число образующих колонии бактерий в 1 см³) должно быть не более 50.

Пригодность воды для производственных нужд определяется ее следующими технологическими свойствами.

1 Предельная *температура* воды для охлаждения теплообменных аппаратов определяется условиями их работы и требованиями технологии.

2 Содержание *взвешенных веществ* в воде для питания паровых котлов и для некоторых видов производств допускается до 2 мг/дм³ и ниже; в охлаждающей воде – не более 50 мг/дм³.

* Величина, указанная в скобках, может быть установлена по постановлению главного государственного санитарного врача соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения на основании оценки санитарно-эпидемиологической обстановки в населенном пункте и применяемой технологии водоподготовки.

3 *Цветность* придает воде окраску, указывает на присутствие в ней органических веществ, препятствует использованию воды для многих производств.

4 Наличие в воде нежелательных *запахов* и *привкусов* делает ее непригодной для пищевой, химической и других отраслей промышленности.

5 *Жесткость* препятствует использованию воды для паровых котлов и некоторых видов производств. В оборотных системах водоснабжения повышенная карбонатная жесткость добавочной воды приводит к отложению карбоната кальция в трубопроводах, теплообменных аппаратах и в охлаждающих устройствах.

6 *Растворенный (сухой) остаток* воды препятствует ее использованию для питания паровых котлов, производства кинофотопленки, искусственных волокон, синтетического каучука, конденсаторной бумаги и др.

7 При низких значениях рН вода *агрессивна*, способствует коррозии металла, что приводит к ухудшению ее вкуса. При высоких значениях рН вода *нестабильна* и способна отлагать на стенках труб и теплообменных аппаратов карбонат кальция, что вызывает их зарастание.

8 *Железо* и *марганец* препятствуют использованию воды в текстильной и бумажной промышленности, при производстве пластмасс и кинофотопленки, в пищевой промышленности и др.

9 Повышенное содержание *сульфатов* и *хлоридов* препятствует использованию воды для питания паровых котлов и ряда производств. Их присутствие в воде свидетельствует об ее *агрессивности по отношению к бетону на силикатном цементе*:

– при содержании сульфат-ионов более 0,25 г/дм³, если содержание хлоридов менее 3 г/дм³;

– сульфат-ионов более 0,5 г/дм³, если хлоридов 3–5 г/дм³;

– сульфат-ионов более 1 г/дм³, если хлоридов более 5 г/дм³.

При содержании сульфат-ионов более 4 г/дм³ вода *агрессивна* по отношению к пуццолановому и шлакопуццолановому силикатным цементам, а также к шлакосиликатному цементу.

10 *Окисляемость* воды более 8 мг О₂ /дм³ указывает на вероятность загрязнения ее сточными водами, на возможность развития органических образований в теплообменных аппаратах.

Повышенная окисляемость вызывает вспенивание воды в паросиловых котлах, препятствует ее использованию при производстве синтетических волокон, а также в электродиализных и ионнообменных процессах.

11 *Кремнекислота* препятствует использованию воды для питания котлов высокого и сверхвысокого давления, текстильного и ряда химических производств, для химико-фармацевтического производства и переработки редких металлов.

12 *Свободная углекислота* замедляет процесс гидролиза солей металлов при коагулировании, обезжелезивании и других процессах кондиционирования воды; вызывает коррозию металла и бетонных сооружений.

13 *Сероводород* придает воде неприятный запах, вызывает коррозию металлов и способствует зарастанию труб и теплообменников аппаратов.

14 *Растворенный кислород* усиливает коррозию металла, водопроводных труб, теплосетей, теплообменной аппаратуры, котлов, бойлеров и др.

15 Повышенное содержание в воде *азота (нитратного, нитритного, аммонийного)* свидетельствует о вероятном загрязнении источника сточными водами.

Общие требования к качеству воды производственного назначения.

1 Вода *не должна приводить к образованию отложений взвешенных веществ* в трубопроводах и охлаждающих аппаратах.

2 Вода *не должна приводить к биологическим обрастаниям* в системе, т. е. образованию и развитию в трубопроводах и охлаждающих аппаратах живых микроорганизмов, микроводорослей, ракушек, мидий, дрейсены и т. п. В оборотных и прямоточных системах охлаждения этому способствует благоприятная температура воды до 45–50 °С.

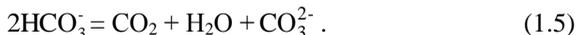
3 Вода *не должна вызывать отложений накипи*.

Накипь – связанные твердые, несмываемые водой отложения, образующиеся на поверхностях нагрева, охлаждаемых водой, в трубах и теплообменных аппаратах.

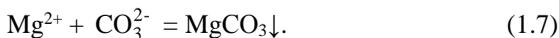
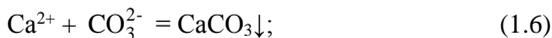
Для оборотных систем охлаждения нагревание воды содержащей *углекислые соли кальция и магния* в технологических агрегатах приводит к диссоциации этих солей:



В свою очередь ион HCO_3^- диссоциирует с образованием CO_2 :



При нагревании, а затем охлаждении воды в открытых охладителях углекислый газ уходит из системы. В результате углекислотное равновесие нарушается, возникает избыток ионов CO_3^{2-} . При наличии в воде ионов кальция Ca^{2+} и магния Mg^{2+} образуются нерастворимые соединения, выпадающие в осадок:



Слой накипи в системах охлаждения состоит на 70–80 % из карбоната кальция CaCO_3 и на 20–30 % из карбоната магния MgCO_3 и оксида кремния SiO_2 . При отсутствии свободных ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в воде и наличии свободной углекислоты вода становится *агрессивной* по отношению к бетону, происходит его разрушение за счет выщелачивания ионов кальция и магния, входящих в состав бетона.

Наличие взвешенных веществ и биологических обрастаний увеличивает интенсивность накипеобразования. Поэтому при значительном накипеобразовании целесообразно сначала обеспечить максимальное снижение концентрации взвешенных веществ в воде и устранить причины биологических обрастаний, а уже затем разрабатывать меры борьбы с образованием накипи.

4 Вода, используемая для производственных целей, *не должна вызывать интенсивную коррозию* трубопроводов и оборудования. Скорость коррозии увеличивается при низких рН, повышенном содержании и уменьшении жесткости воды, увеличении концентрации хлоридов и сульфатов, кислорода, а также других агрессивных газов (CO_2 , H_2S) и с повышением температуры и давления воды.

5 Вода, используемая для производственных целей, *не должна ухудшать условия производства и качество продукции*, должна быть кондиционной, т. е. соответствовать технологическим требованиям, а ее использование не должно приводить к неблагоприятным последствиям, указанным выше.

Очень важной классификацией оборотной воды, используемой для целей охлаждения, является классификация ее по способности образовывать накипь в системах водоснабжения при чередовании циклов «нагревание – охлаждение». С этой точки зрения вода для производственных целей подразделяется:

– на *термостабильную*, не дающую накипи при многократном нагревании до 40–50 °С. Это вода с карбонатной жесткостью $\text{Ж}_к < 3,5$ мг-экв/дм³;

– *условно термостабильную*, которая не образует накипи при первых циклах «нагревание – охлаждение», а при последующих циклах отличается интенсивным накипеобразованием. Для такой воды характерна карбонатная жесткость $\text{Ж}_к$ от 3,5 до 5,5 мг-экв/дм³;

– *нетермостабильную*, которая при первых же циклах «нагревание – охлаждение» интенсивно образует накипь даже при наличии в воде свободной углекислоты. Для такой воды характерна высокая карбонатная жесткость $\text{Ж}_к > 5,5$ мг-экв/дм³.

Качество воды в системе производственного водоснабжения, особенно при использовании ее в обороте, ввиду большого разнообразия действующих факторов необходимо тщательно контролировать, обеспечивая в процессе эксплуатации стабильное ее качество.

Стабильное качество оборотной воды можно обеспечить, поддерживая на необходимом уровне водный и температурный режимы и баланс растворенных в воде солей, кислот, щелочей, газов, биогенных элементов и т. п. за счет

специальной ее обработки или сбросом из системы части оборотной воды по мере превышения содержания нежелательных соединений в ней и заменой ее добавочной водой с лучшими свойствами.

Эти меры позволяют обеспечить нормальное функционирование системы водоснабжения с точки зрения коррозионного воздействия на аппаратуру, трубопроводы и сооружения, выпадения карбонатных отложений и отложений взвешенных веществ, развития биологических обрастаний.

Баланс растворенных в воде солей или ионов, не выпадающих в осадок и не отлагающихся в трубопроводах и охлаждающих аппаратах, выражается уравнением

$$C_d Q = C_o(Q_2 + Q_3) = C_o(Q - Q_1), \quad (1.8)$$

где C_d , C_o – концентрация солей или ионов соответственно в добавочной и оборотной воде, г/м³;

Q – общие потери воды на производстве, м³/ч.

Q_1 , Q_2 – потери воды соответственно на испарение и на унос ветром в охладителях, м³/ч;

Q_3 – расход воды на продувку и технологические нужды, м³/ч;

На основании уравнения (1.8) можно определить качество добавочной воды по содержанию ионов или солей для поддержания требуемого их уровня в оборотной системе.

Если качество воды для производственных целей не отвечает предъявляемым требованиям, производится соответствующая ее очистка или водоподготовка различными способами, обеспечивающая выполнение этих требований к качеству воды.

1.4 Виды систем общего водоснабжения промышленных предприятий

Система водоснабжения – это комплекс водохозяйственных сооружений и устройств для обеспечения водой категорий потребителей.

Система технического водоснабжения – комплекс водохозяйственных сооружений и устройств для обеспечения абонентов технической водой.

В зависимости от принятой схемы подачи воды на различные нужды различают *раздельную, объединенную и комбинированную системы* (таблица 1.4).

Выбор системы и схемы водоснабжения объектов производства осуществляется на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом вида источников водоснабжения, требований к давлению, количеству и качеству воды, режиму водопотребления, требования к надежности подачи воды, условий расположения предприятия и особенности технологических процессов на предприятии, местных условий и особенности объектов потребления воды.

Таблица 1.4 – Сравнительная характеристика систем общего водоснабжения промышленных предприятий

Система общего водоснабжения промышленного предприятия	Условия применения
1 Раздельная – все три категории водопотребителей (хозяйственно-питьевые, производственные и противопожарные) обеспечиваются водой самостоятельно своими отдельными водопроводами	<p>Маломощный источник хозяйственно-питьевого водоснабжения и небольшой расход хозяйственно-питьевой воды.</p> <p>Высокие напоры для противопожарного водопровода.</p> <p>Расход производственной воды большой, а качество ее – низкое</p>
2 Объединенная – подача воды на нужды всех категорий потребителей обеспечивается из одного объединенного водопровода	<p>Небольшой расход воды на производственные нужды.</p> <p>Равенство потребных напоров всех категорий потребителей.</p> <p>Хорошее качество воды в источнике, удовлетворяющее требованиям потребителей</p>
3 Комбинированная	
Производственный водопровод объединяется с хозяйственно-питьевым, противопожарный устраивается отдельно. На предприятия такая система применяется редко. Характерна для предприятий пожарной опасности А, Б, В	<p>Малый производственный расход и большой расход на хозяйственно-питьевые нужды при высоком качестве воды.</p> <p>Равенство свободных напоров производственного и хозяйственно-питьевого водопровода при требуемом высоком напоре для противопожарного водопровода.</p> <p>Большая огнеопасность сооружений</p>
Производственный водопровод объединяется с противопожарным, а хозяйственно-питьевой устраивается отдельно	<p>Равенство напоров производственного и противопожарного водопроводов.</p> <p>Специфика производственных объектов допускает объединение.</p> <p>Ограниченные ресурсы хозяйственно-питьевой воды и различное качество ее по сравнению с производственной</p>
Хозяйственно-питьевой водопровод объединяется с противопожарным, а производственное водоснабжение обеспечивается одним или несколькими отдельными производственными водопроводами. Применяется наиболее часто. Если требуется повышение давления в заводской сети, то на насосной станции устанавливаются две группы насосов: хозяйственно-питьевые и противопожарные	<p>Большой расход производственной воды.</p> <p>Ограниченные ресурсы или высокая стоимость хозяйственно-питьевой воды.</p> <p>Значительная разница напоров производственного водопровода по сравнению с хозяйственно-питьевым и противопожарным.</p> <p>Опасность повышения напора для производственного водопровода во время пожара.</p> <p>Необходимость районирования системы производственного водоснабжения, когда требуется для отдельных зон или цехов предприятия устанавливать свои производственные водопроводы из-за различия напоров, качества воды</p>

1.5 Системы производственного водоснабжения промышленных предприятий из поверхностных источников

Системы производственного водоснабжения предназначены для обеспечения подачи воды на производственные нужды в требуемом количестве и соответствующего качества и состоят из комплекса взаимосвязанных сооружений: водозаборных устройств, насосных станций, водоводов, установок для очистки и улучшения воды, регулирующих и запасных емкостей, охладителей воды.

На промышленных предприятиях применяются прямоточные, последовательные, оборотные, замкнутые и комбинированные системы.

Прямоточная система водоснабжения предусматривает подачу требуемого объема воды предприятию из источника водоснабжения (рисунок 1.2, а). Присоединенная к сети регулирующая емкость б позволяет сглаживать влияние пиков водопотребления на работу насосов. Она может быть установлена в любой точке водопроводной сети. Все образующиеся сточные воды отводятся в водный объект ниже (по течению) водозабора. Если концентрации загрязняющих веществ в составе сточных вод на выпуске в водный объект превышают допустимые концентрации, то сточные воды предварительно очищаются и охлаждаются перед выпуском.

Условия применения прямоточной системы:

- достаточно мощный источник водоснабжения, расположенный вблизи предприятия (1,5–2 км);
- небольшая высота расположения площадки предприятия над уровнем воды в источнике (не более 15 м);
- невозможность или нецелесообразность использования сточных вод;
- особые требования к температуре воды, используемой для производственных нужд.

Преимуществами прямоточной системы являются простота и возможность обеспечения наименьшей температуры охлаждающей воды при использовании ее в теплообменных процессах.

Недостатками являются:

- производительность всех элементов системы водоснабжения принимается из условия покрытия максимума суточного расхода, что увеличивает размеры сооружений и мощности всех элементов системы и удорожает ее;
- из-за работы насосных агрегатов большую часть времени в нерасчетном режиме увеличивается удельный расход электроэнергии;
- при удалении источника водоснабжения от предприятия устройство длинных водоводов удорожает систему водоснабжения и снижает ее надежность.

Последовательная система водоснабжения с повторным использованием воды (рисунок 1.2, б) применяется если есть потребитель с большим расходом, сточные воды которого по количеству и по качеству могут удовлетворять другого потребителя.

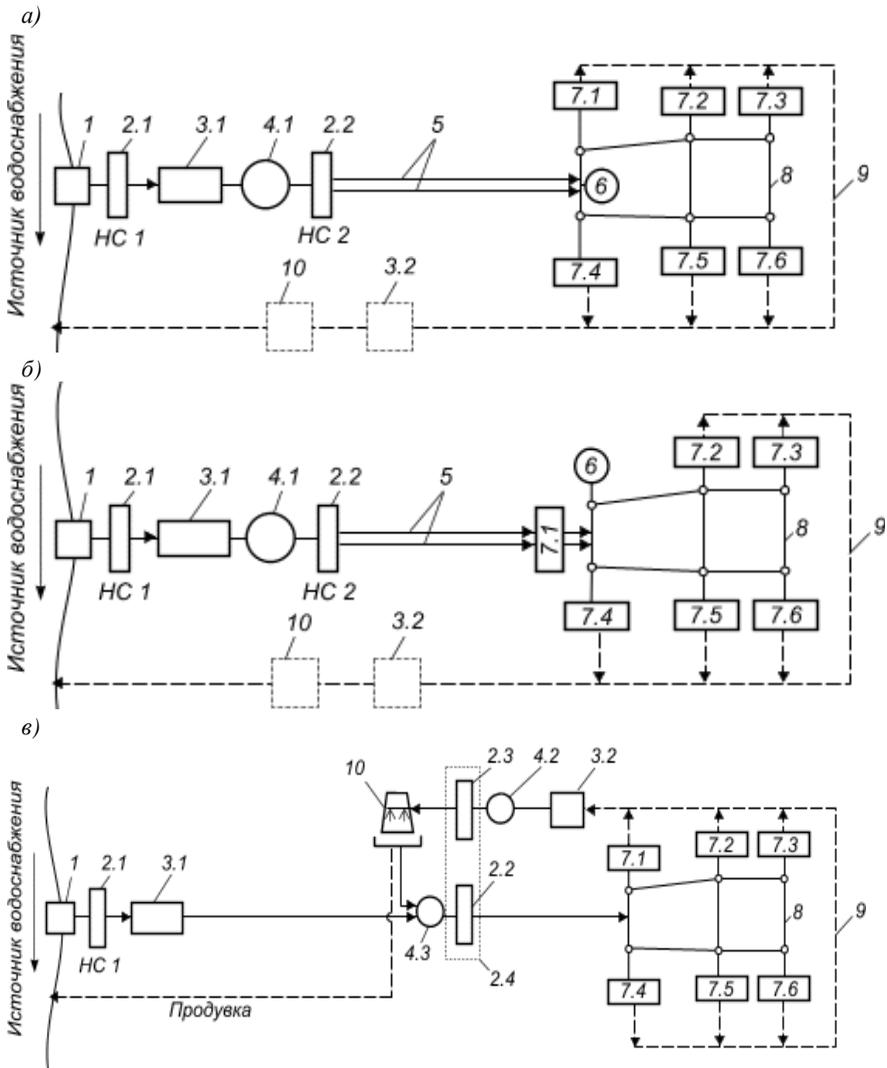


Рисунок 1.2 – Схемы систем водоснабжения:

а – прямоточная; б – последовательная; в – обратная;

1 – водозабор; 2.1 – насосная станция 1-го подъема; 2.2 – насосная станция 2-го подъема; 2.3 – насосная станция обратной воды; 2.4 – циркуляционная насосная станция; 3.1 – станция водоподготовки; 3.2 – очистные устройства для загрязненных сточных вод; 4.1 – резервуар чистой воды; 4.2 – резервуар очищенной теплой воды; 4.3 – сборный резервуар очищенной и охлажденной воды; 5 – водоводы; 6 – водонапорная башня (резервуар); 7.1–7.6 – потребители воды (цеха, здания); 8 – водопроводная сеть; 9 – канализационная сеть; 10 – охладитель

Из источника забирается только количество воды, которое необходимо первому потребителю.

Условия применения последовательной системы водоснабжения с повторным использованием воды:

- относительно небольшая мощность источника водоснабжения;
- высокая стоимость подаваемой воды;
- возможность повторного использования воды.

К *преимуществам* применения последовательной системы водоснабжения с повторным использованием воды относится:

- уменьшение количества забираемой воды из водного источника и величины сброса сточных вод;
- снижение стоимости строительства практически всех элементов системы, так как уменьшается их производительность.

В оборотной системе водоснабжения (рисунок 1.2, в) использованная потребителями вода не сбрасывается в источник, а вновь подается им после обработки. Количество воды, расходуемой на единицу продукции, остается прежним (как при прямоточной системе), а количество свежей воды, забираемой из источника, уменьшается в 10–20 раз и составляет 5–10 % количества оборотной воды.

Система оборотного водоснабжения наполняется водой в момент ее первоначального пуска в эксплуатацию или после ремонта, а затем количество воды поддерживается постоянным за счет восполнения потерь.

Все оборотные системы подразделяют на локальные, централизованные и смешанные.

В *локальных системах* вода после восстановления потребительских качеств используется в обороте одного (или последовательно в нескольких) технологических процессах.

В *централизованных оборотных системах* отработавшая вода собирается со всех производств, проходит обработку (очистку, охлаждение) единым потоком и опять возвращается на производство.

При *смешанном водоснабжении* воды одной оборотной системы используются в другой оборотной системе.

Возможны *три схемы оборотного водоснабжения*:

- охлаждающая вода не загрязняется, а только нагревается (рисунок 1.3, а);
- вода в процессе производства только загрязняется (рисунок 1.3, б);
- охлаждающая вода в процессе производства нагревается и загрязняется (рисунок 1.3, в).

Условия применения оборотных систем:

- относительно недостаточная мощность источника водоснабжения для прямоточного или последовательного водоснабжения;
- другие системы оказываются менее выгодными.

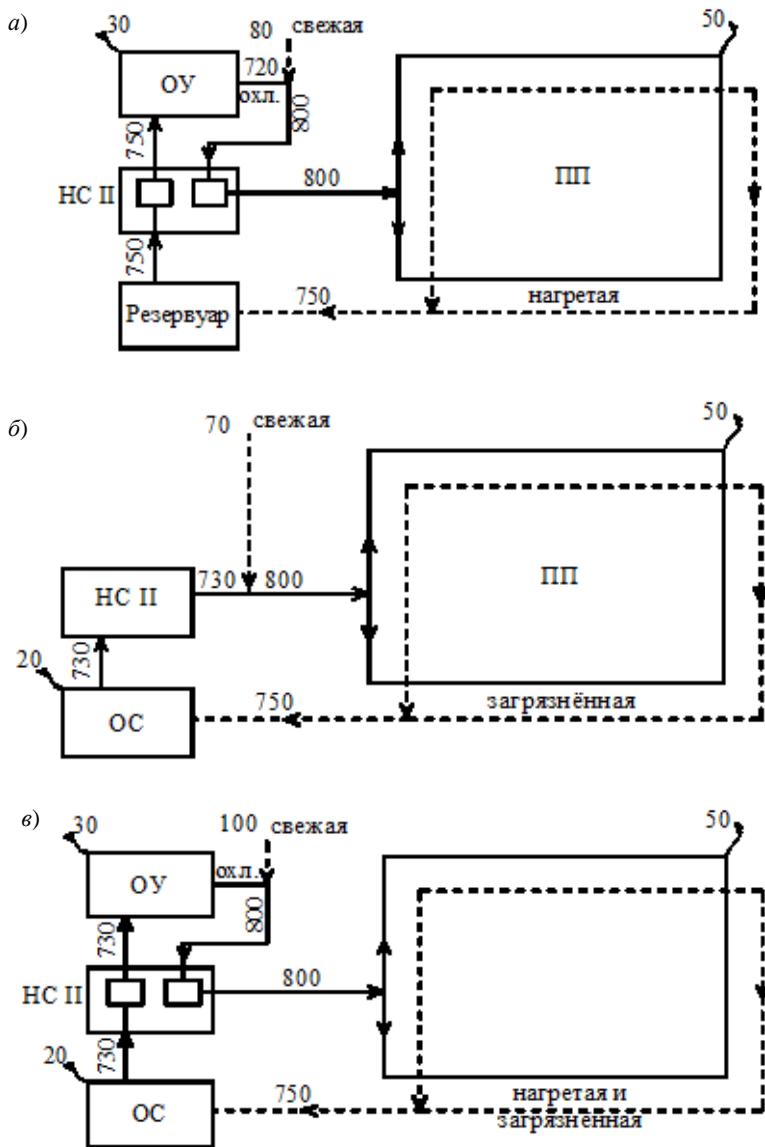


Рисунок 1.3 – Схемы оборотного водоснабжения,
 а – с охлаждением оборотной воды; б – с очисткой оборотной воды;
 в – с очисткой и охлаждением оборотной воды:
 ОУ – охладительное устройство; НС-II – насосная станция второго подъема;
 ОС – очистные сооружения

Преимущества оборотной системы:

- снижаются затраты на сооружение водозаборных устройств, насосной станции 1-го подъема, водоводов, станции водоподготовки;
- сокращается величина сброса сточных вод в водный объект.

Недостатки:

- усложнение системы водоснабжения;
- необходимость во многих случаях химической обработки воды для предотвращения коррозии, борьбы с отложениями и биообрастаниями;
- температура охлаждающей воды при оборотной системе выше температуры воды в источнике;
- увеличиваются безвозвратные потери воды.

Замкнутая система как вид организации водного хозяйства предприятия представляет собой систему водоснабжения и канализации, в которой многократное использование воды в одном и том же производственном процессе осуществляется без сброса сточных и других вод в природные водные объекты.

При создании замкнутых систем *необходимо:*

- рассматривать водоснабжение и водоотведение промышленного предприятия как единую систему водного хозяйства промышленного предприятия, единый комплекс, включающий водоснабжение, канализацию и очистку вод;
- использовать для водоснабжения вместо свежей воды в основном очищенные производственные, хозяйственно-бытовые и поверхностные сточные воды, а свежую воду из источника использовать для особых целей и восполнения потерь;
- обеспечивать очистку сточных вод и регенерацию отработанных растворов с целью их повторного использования в производстве;
- применять для восстановления потребительских свойств воды и технологических растворов регенеративные методы очистки, обеспечивающие одновременное извлечение ценных веществ при минимальных затратах;
- оценивать возможность и технико-экономическую целесообразность использования воздушного охлаждения, при котором отсутствуют потери воды на испарение и унос ветром;
- для промышленных агрегатов и конструкций, работающих в зонах высоких температур, применять испарительное охлаждение, которое позволяет обеспечить получение пара для энергетических и технических целей при резком уменьшении расходов воды на охлаждение.

Замкнутые системы экологически наиболее предпочтительны и перспективны.

1.6 Принципы составления водохозяйственно баланса

При проектировании систем водоснабжения промышленного предприятия составляется водохозяйственный баланс, в котором указываются расходы воды для всех категорий потребителей и потери воды. Потребители группируются по районам их расположения, напорам, качеству воды. Затем составляется схема использования воды с показанием ее потоков. Водохозяйственный баланс изображается в виде эпюр потоков, т. е. расходы, поступающие к потребителям и отводимые от них, показываются в масштабе или обозначаются цифрами.

При проектировании водохозяйственный баланс необходим для расчета сооружений водоснабжения, определения мощности оборудования и размеров основных элементов систем водоснабжения и канализации промышленного предприятия.

При эксплуатации реальный водохозяйственный баланс отражается на экономических показателях работы предприятия и оказывает влияние на реальную себестоимость продукции.

Принципы составления водохозяйственного баланса промышленного предприятия сводятся к следующему:

- устанавливаются источники поступления воды;
- определяются количественные характеристики каждого источника;
- определяются объемы водоотведения;
- анализируются качественные характеристики воды источников и их возможное влияние на состав и свойства оборотной воды, эффективность работы системы водоснабжения;
- определяются группы потребителей, требующих воду одинакового качества;
- для уменьшения количества свежей воды, забираемой из источника, является возможность последовательного использования отработавшей воды одной группы потребителей для водоснабжения другой.

Водохозяйственный баланс – количественное выражение отношения между водопотреблением и водоотведением предприятия. Уравнение водохозяйственного баланса имеет вид

$$\Sigma Q_{\text{вд}} = \Sigma Q_{\text{пот}} + \Sigma Q_{\text{отв}}, \quad (1.9)$$

где $\Sigma Q_{\text{вд}}$, $\Sigma Q_{\text{отв}}$ – водопотребление и водоотведение предприятия за расчетный период времени, м³/год, м³/месяц, м³/сут;

$\Sigma Q_{\text{пот}}$ – безвозвратные потери воды из систем водоснабжения и водоотведения предприятия за расчетный период времени м³/год, м³/месяц, м³/сут.

На основании расчетов расходов составляется балансовая схема водоснабжения и водоотведения предприятия. Пример балансовой схемы приведен на рисунке 1.4.

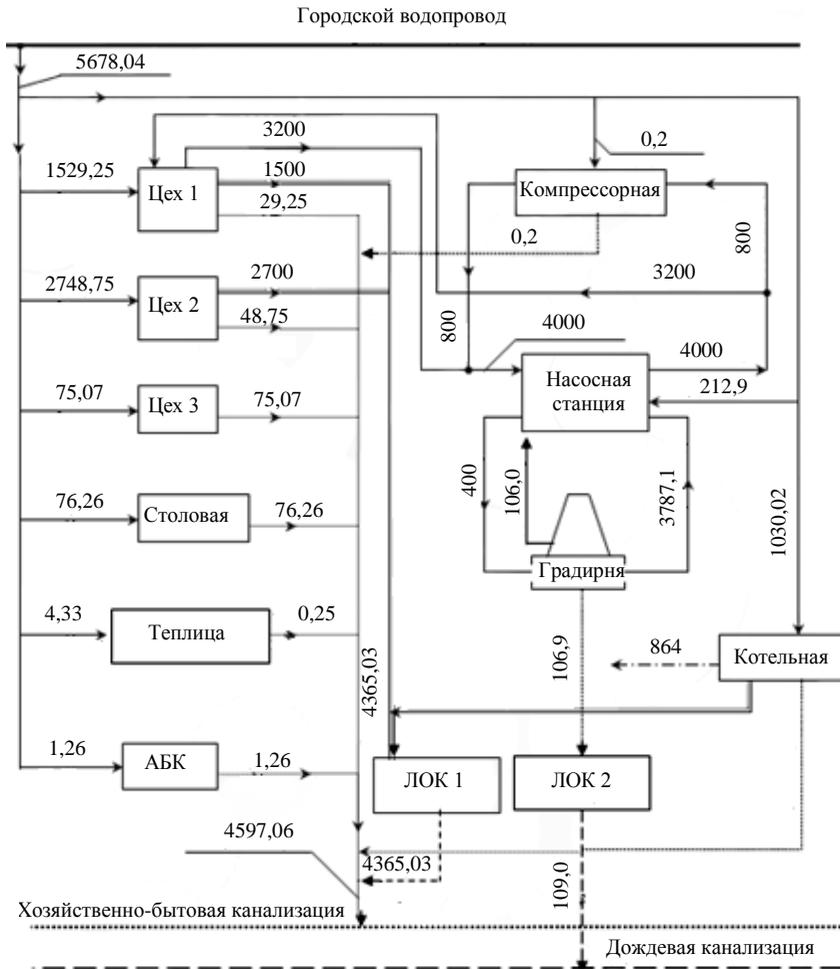


Рисунок 1.4 – Балансовая схема водоснабжения и водоотведения

Для оценки технического совершенства производственного водоснабжения и эффективности использования воды в производстве определяются следующие **показатели**.

1 Процент использования воды в обороте, %,

$$P_{об} = \frac{W_{об}}{W_{об} + W_{св}} \cdot 100, \quad (1.10)$$

где $W_{об}$ – объем оборотной воды, м^3 ;

$W_{св}$ – объем свежей воды, м^3 , забираемой из источника водоснабжения.

2 Коэффициент использования характеризует рациональность использования воды, забираемой из источника водоснабжения,

$$K_{и} = \frac{W_{св} - W_{сбр}}{W_{св}}, \quad (1.11)$$

где $W_{сбр}$ – объем отводимых сточных вод, м^3 .

В среднем коэффициент использования составляет 0,27, на некоторых промышленных предприятиях величина может достигать 0,75–0,87.

3 Процент безвозвратного потребления и потерь воды в системе водоснабжения от общего ее расхода, %,

$$P_{пот} = \frac{W_{св} - W_{сбр}}{W_{св} + W_{об} + W_{посл}} \cdot 100, \quad (1.12)$$

где $W_{посл}$ – объем последовательно используемой воды, м^3

Среднее значение этого показателя для промышленности в целом составляет 2,5 %, для тепловых электростанций – 1,25–2 %, для предприятий без теплоэлектростанций – 3,6 %. Для отдельных производств значение колеблется от 1,25 до 30 % и более.

2 ОХЛАЖДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

2.1 Классификация оборотных вод по степени нагрева при их использовании в промышленности

Системы охлаждения являются наиболее распространенным видом производственного водоснабжения. Они предназначены для охлаждения промышленных агрегатов и по принципу использования воды бывают *прямоточными, оборотными и комбинированными*.

Системы оборотного водоснабжения промышленных предприятий подразделяются на *открытые* и *закрытые* (рисунок 2.1).

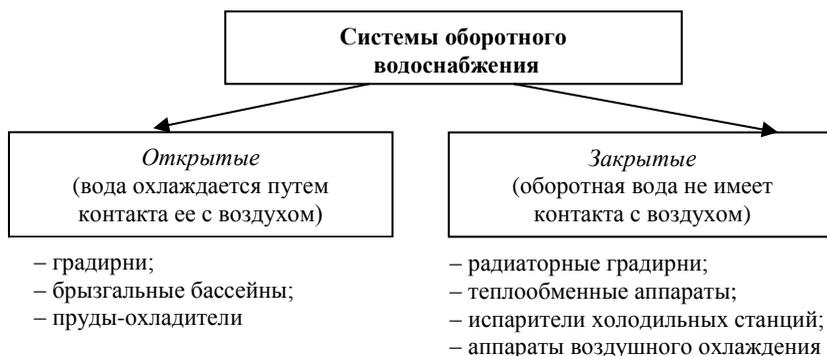


Рисунок 2.1 – Классификация систем оборотного водоснабжения

Также применяются **двухконтурные системы оборотного водоснабжения**, представляющие собой систему закрытых и открытых систем. *Внутренний контур* (закрытый) заполняется обессоленной или умягченной водой, охлаждаемой в теплообменных аппаратах, связывающих внутренний контур с наружным (открытым), вода охлаждается в градирнях, брызгальных бассейнах или прудах-охладителях.

Учитывая большое значение предельной температуры нагрева воды для стабильной работы систем производственного охлаждения и их конструктивные особенности, оборотные системы принято классифицировать по степени нагрева стенки агрегата или продукта (рисунок 2.2).

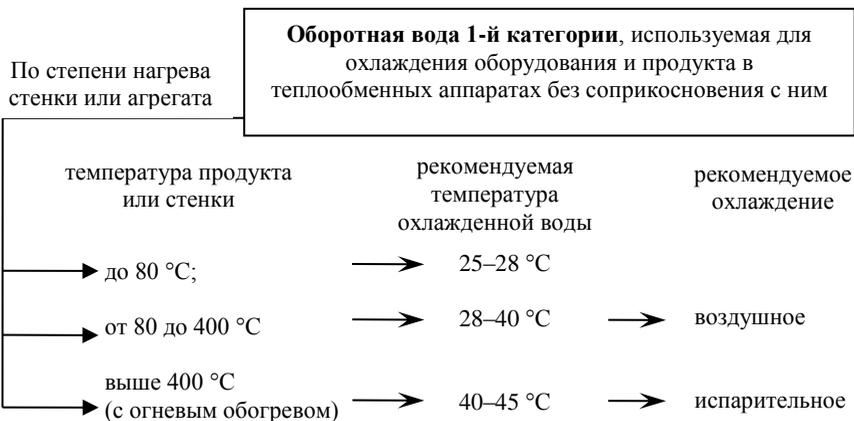


Рисунок 2.2 – Классификация оборотной воды первой категории по степени нагрева

При проектировании системы охлаждения промышленных предприятий целесообразно предусматривать разделение систем на ряд подсистем оборотной воды по степени ее нагрева. Причем при соответствующем качестве сбросные воды каждой из подсистем могут быть использованы для подпитки других подсистем с предварительной обработкой воды или без нее.

2.2 Классификация способов охлаждения

В системах водяного охлаждения отвод тепла от оборудования и продукта осуществляется за счет собственного нагрева охлаждающей воды. В оборотных системах водоснабжения для обеспечения теплового баланса нагретая вода подается в охладители, где она отдает тепло атмосферному воздуху, охлаждается и после этого направляется опять потребителю.

Охладители являются основным элементом оборотной системы, от которого зависит эффективность работы системы охлаждения технологического оборудования.

Охладители по способу передачи тепла делятся на *испарительные* и *поверхностные* (рисунок 2.3).

По сравнению с поверхностными испарительные охладители позволяют произвести более глубокое охлаждение воды при меньших расходах воздуха. Достаточно большие потери воды на испарение и капельный унос (1,5–2,0 %), загрязнение воды примесями воздуха, концентрирование солей в воде в результате испарения создают большие проблемы при использовании их в оборотных системах водоснабжения.



Рисунок 2.3 – Классификация охладителей по способу передачи тепла

2.3 Параметры, характеризующие работу охладителей

Работа охладителей характеризуется *качественными* и *количественными параметрами* (рисунок 2.4).

Ширина охлаждения или *температурный перепад*, °С, определяется по формуле

$$\Delta t = t_1 - t_2, \quad (2.1)$$

где t_1, t_2 – температура нагретой и охлажденной воды, °С.

Чем больше температурный перепад, тем шире зона охлаждения и качественней работает охладитель, меньше температура, а следовательно, может быть уменьшен расход воды, подаваемой на охлаждение промышленных агрегатов и холодильников.

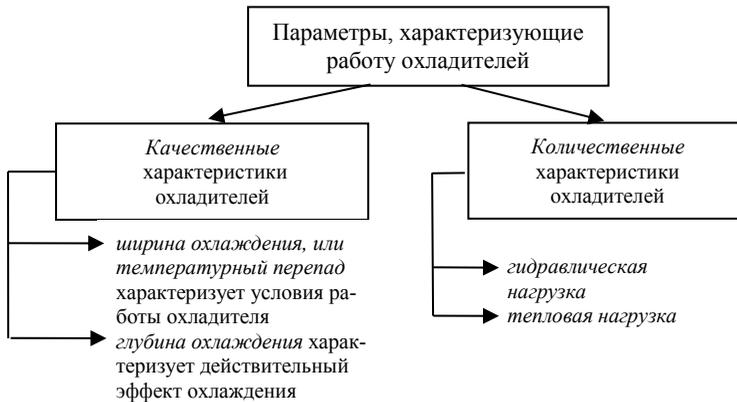


Рисунок 2.4 – Параметры характеризующие работу охладителей

Глубина охлаждения, °С, определяется по формуле

$$\Delta t' = t_2 - \tau, \quad (2.2)$$

где τ – теоретический предел охлаждения, °С; для прудов охладителей $\tau = t_e$; брызгальных бассейнов и градирен $\tau = T_{см}$; радиаторных охладителей $\tau = T$;

t_e – естественная температура воды на поверхности водоема, °С;

$T_{см}, T$ – температура воздуха по смоченному и сухому термометру соответственно, °С.

Чем меньше Δt , тем ближе температура охлаждения воды t_2 к теоретическому пределу охлаждения.

Эффективность работы охладителя оценивается по зависимости

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - \tau} \rightarrow 1. \quad (2.3)$$

Эффект охлаждения может быть увеличен за счет увеличения поверхности соприкосновения, количества воздуха и его скорости, равномерности распределения воды и поступающего воздуха.

Гидравлическая нагрузка, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, – это расход воды, приходящейся на 1 м^2 активной поверхности охладителя:

$$q_f = \frac{Q}{F_{\text{акт}}}. \quad (2.4)$$

Тепловая нагрузка, $\text{МДж}/(\text{м}^2/\text{ч})$, – это количество отводимого в охладителе тепла, приходящегося на 1 м^2 активной поверхности охладителя:

$$A_f = q_f C \Delta t . \quad (2.5)$$

Для прудов-охладителей гидравлическая нагрузка составляет $0,002\text{--}0,003 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$, для вентиляторных градирен – $4,0\text{--}18,0 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$. Для водохранилищ-охладителей тепловая нагрузка составляет $0,8\text{--}1,7 \text{ МДж}/(\text{м}^2/\text{ч})$, для вентиляторных градирен – $335\text{--}420 \text{ МДж}/(\text{м}^2/\text{ч})$.

2.4 Водохранилища-охладители

Водохранилища-охладители (рисунок 2.5) устраиваются на водных объектах, мощность которых невелика и не позволяет осуществлять охлаждение оборудования по прямоточной системе.

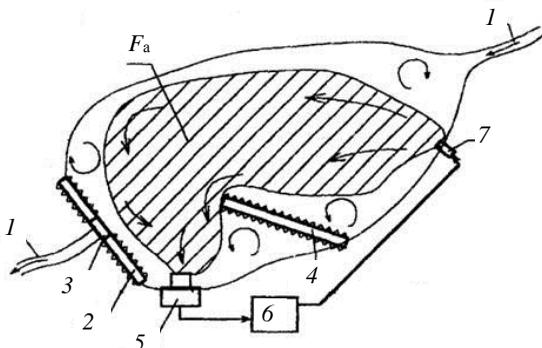


Рисунок 2.5 – Схема водохранилища-охладителя:
 1 – водоток; 2 – плотина; 3 – водопропускные отверстия;
 4 – струенаправляющая дамба; 5 – водозабор с насосной станцией; 6 – производственный водопотребитель; 7 – выпуск отработанной воды; F_a – площадь активной зоны

На водном объекте устраивается плотина, благодаря чему поднимается уровень воды и создается водохранилище с площадью зеркала воды, обеспечивающей охлаждение требуемого количества воды. Для организации движения циркуляционного потока воды от выпуска до водозабора и создания требуемой площади активной зоны F_a часто устраиваются струенаправляющие дамбы. Заполнение водой и последующая подпитка водохранилища-охладителя осуществляются водой водотока.

Водохранилища-охладители **классифицируются**:

- 1) по условиям питания:
 - созданные на естественных озерах;
 - регулирующие водохранилища на реках;

- русловые водохранилища без регулирования стока;
- отсечные;
- наливные водохранилища, устраиваемые вне русла рек;

2) по назначению:

- используемые только для охлаждения воды;
- используемые комплексно для рыборазведения, орошения, отдыха;

3) по глубине воды:

- мелководные, с отсутствием температурной стратификации, с глубиной до 5 м;
- средние, с неустойчивой температурной стратификацией, с глубиной 5–10 м;
- глубоководные – вертикально стратифицированные, как правило, с глубиной более 10 м.

В мелководных водохранилищах отсутствует температурная стратификация, за исключением зон, прилегающих к водозаборным сооружениям. В глубоких водохранилищах присутствует устойчивая температурная стратификация в теплое время года и поэтому в данном случае целесообразно устройство глубинного забора воды. При средних глубинах в водохранилище температурное расслоение неустойчиво и может исчезать при продолжительных и сильных ветрах;

4) по форме:

- узкие, вытянутой формы – соотношение средней ширины к длине (B/L) менее 0,2;
- широкие, вытянутой формы ($0,5 < B/L < 0,2$);
- округлой формы ($0,5 < B/L < 1,0$).

Водоохранилища могут быть проточными и непроточными. Если охлаждение воды происходит по всей поверхности водоема, то такое водохранилище считается нагруженным, в противном случае – ненагруженным.

Охлаждение нагретой воды в водохранилищах происходит:

- с поверхности водохранилища за счет испарения и теплообмена с воздухом по пути от места сброса нагретой воды до водозаборных сооружений;
- за счет поступления поверхностных и грунтовых вод.

Коэффициент использования водохранилища-охладителя определяется по формуле

$$K_{\text{и}} = \frac{F_{\text{акт}}}{F}, \quad (2.6)$$

где $F_{\text{акт}}$ – площадь активной поверхности пруда-охладителя, м²;

F – общая площадь водохранилища-охладителя, м².

Для увеличения коэффициента использования водохранилища-охладителя применяются:

- рассеивающие выпуски;

- струенаправляющие дамбы;
- циркуляция охлаждаемой воды (прием воды только из глубинных слоев, а сброс нагретой – на поверхность с малыми скоростями)

Применение рассеивающих выпусков, струенаправляющих дамб удлиняет путь движения воды и устраняет водоворотные зоны.

Проектирование водохранилищ-охладителей осуществляется по нормам проектирования гидротехнических сооружений.

Ориентировочная площадь активной зоны водохранилищ-охладителей может быть определена исходя из расчета 30–50 м² на каждый 1 м³/ч циркуляционной воды при охлаждении ее на 8–10 °С.

Водохранилища-охладители применяются для охлаждения незагрязненной воды в оборотных системах большой производительности (тепловые электростанции и др.). Есть примеры использования этих сооружений и для охлаждения загрязненной воды (металлургическая промышленность). При этом осуществляется одновременно охлаждение и осветление циркуляционной воды, поэтому в таких сооружениях должна быть предусмотрена возможность периодической очистки от накопившихся загрязнений.

Водохранилища-охладители требуют больших площадей и значительных капитальных затрат на их сооружение, но они просты в эксплуатации и не потребляют большое количество электроэнергии, так как не нужно создавать большие напоры на транспортирование воды.

2.5 Брызгальные бассейны

Брызгальный бассейн (рисунок 2.6) – открытый резервуар состоящий из двух или более секций, оборудованных распределительными трубами и соплами (брызгалами), с помощью которых охлаждаемая вода разбрызгивается над этим резервуаром. При падении капель вода охлаждается и частично испаряется. Оборудуется грязевым выпуском для опорожнения бассейна и переливной линией.

Сопла располагаются на высоте 1,2–1,5 м над уровнем воды по одному или пучком по три-пять (рисунок 2.7).

Распределительные линии присоединяются к коллектору, который прокладывается вдоль одного из бортов бассейна.

Трубопроводы брызгальных устройств изготавливаются из стали и прокладываются над или под уровнем воды. В последнем случае упрощается конструкция опор, устраняется опасность обледенения труб в зимнее время, но ремонт трубопроводов и надзор за ними усложняется.

Прокладка труб осуществляется на катковых опорах, которые устанавливаются на опорных колоннах из железобетона.

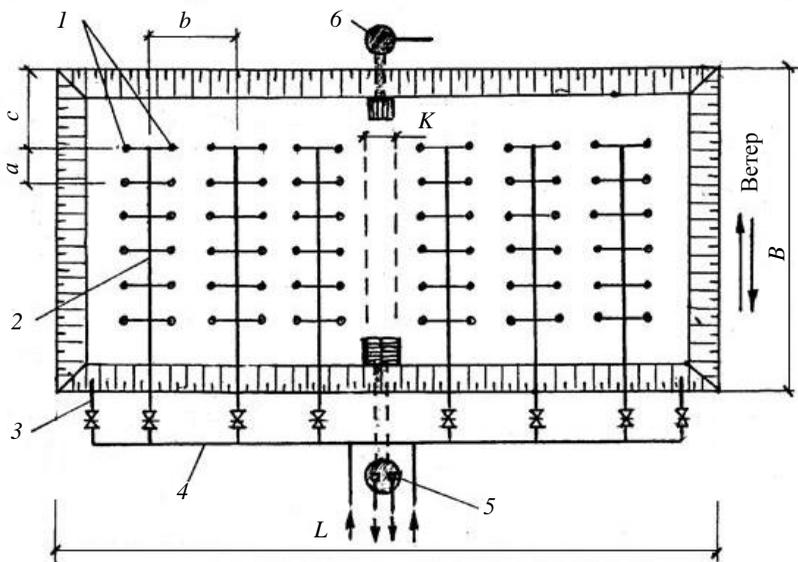


Рисунок 2.6 – Схема брызгального бассейна:

1 – насадки или сопла для разбрызгивания воды; 2 – распределительные трубы; 3 – выпуски для сброса воды без разбрызгивания (в зимний период); 4 – магистральный трубопровод или главный коллектор, подающий воду для охлаждения в брызгальный бассейн; 5 – всасывающий колодец охлажденной воды; 6 – грязевой выпуск и колодец опорожнения бассейна

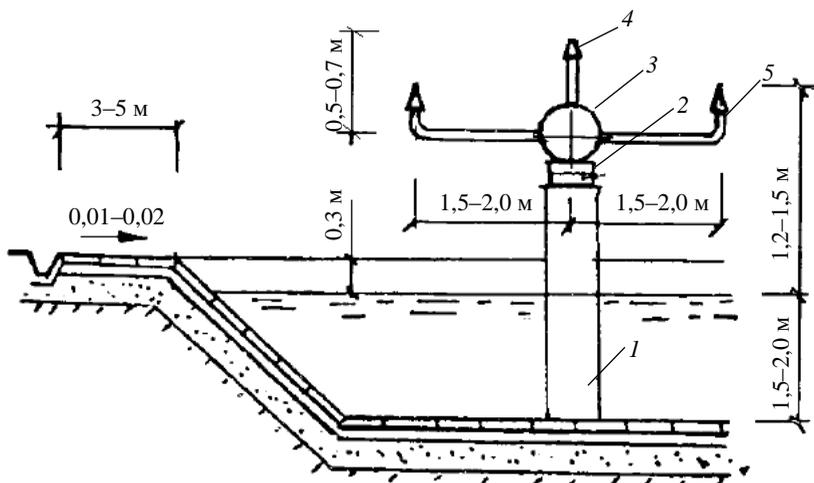


Рисунок 2.7 – Фрагмент брызгального бассейна в разрезе:

1 – опорный столб; 2 – скользящие опоры для компенсации температурных деформаций; 3 – распределительный трубопровод; 4 – насадки; 5 – насадкодержатели

Для предотвращения обледенения сопел в зимнее время предусматривается подача охлаждаемой воды прямо в резервуар, минуя распределительные трубы.

В целях эффективного продувания ветром брызгальных устройств их распределительные линии должны размещаться параллельно направлению господствующих ветров, причем расстояние между крайними соплами, размещенными на распределительной линии не должно превышать 50 м. При размещении брызгальных бассейнов следует учитывать возможность образования тумана и обледенения соседних сооружений и дорог. Расстояния от брызгальных устройств до зданий должно быть не менее 60–100 м.

Вокруг бассейна предусматривается асфальтированная площадь шириной 3–5 м с уклоном в сторону бассейна.

В бассейне, как правило, должно быть не менее двух секций. Каждая секция должна иметь переливную трубу для предотвращения переполнения бассейна и выпуск для его опорожнения.

Глубина воды в брызгальном бассейне принимается равной 1,5–2,0 м. Бровка бассейна должна возвышаться над уровнем воды не менее чем на 0,3 м.

Преимуществами брызгальных бассейнов являются сравнительно небольшая стоимость и простота эксплуатации.

К их *недостаткам* можно отнести:

- невысокий эффект охлаждения, особенно при слабых ветрах;
- большие площади территории, занимаемые бассейнами;
- большие площади увлажнения окружающей территории в связи с капельным уносом воды.

Разбрызгивающие сопла являются важнейшим элементом брызгальных бассейнов. Предназначены для равномерного распределения воды. Классификация сопел приведена на рисунке 2.8.

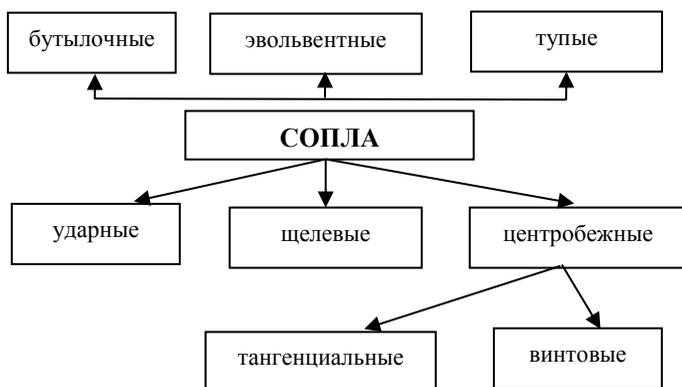


Рисунок 2.8 – Классификация сопел

Наибольшее распространение получили центробежные и щелевые сопла.

В *центробежных соплах* (рисунок 2.9, а) вода проходит по спирали и разбрызгивание ее происходит под действием центробежных сил. Изготавливаются они из ковкого чугуна или пластмассы. Наиболее рациональны сопла без вкладышей, требующие меньшего напора и в меньшей степени подверженные засорению.

Щелевые сопла изготавливаются из отрезков стальных труб, на конце которых делаются прорезы в виде щелей, образующиеся зубцы отгибаются к оси таким образом, чтобы получился конус, в вершине которого оставляется небольшое отверстие (рисунок 2.9, в).

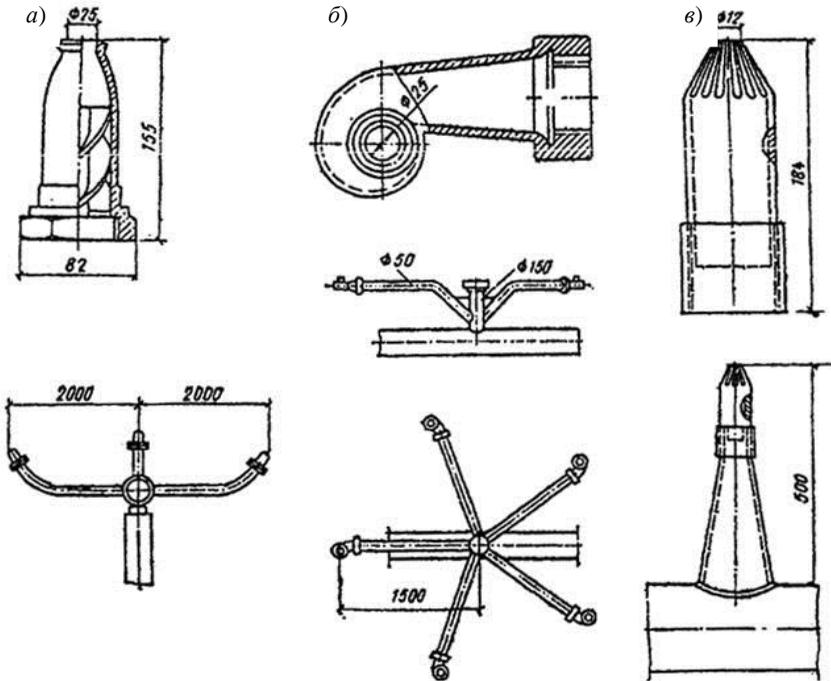


Рисунок 2.9 – Сопла, применяемые в брызгальных бассейнах:
а – винтовое конструкции МОТЭП; б – эвольвентное; в – щелевое

Конструкция сопла и величина напора воды перед ним определяют поверхность охлаждения водяного факела. При повышении напора она увеличивается вследствие удлинения траекторий полета капель и уменьшения их диаметра. Однако повышение напора связано с увеличением затрат электроэнергии, расходуемой циркуляционными насосами, а также с увеличением уноса мелких капель ветром за пределы бассейна. Обычно свободный напор перед соплом принимается 5–8 м.

Покрытие откосов и дна бассейнов должно предотвращать фильтрацию через них воды. При слабоводопроницаемых грунтах применяют облицовку из железобетонных плит или слоя асфальтобетона. При сильноводопроницаемых грунтах по подготовке из бетона укладывают слой гидроизоляции из асфальтовой мастики или слой битумных матов. Гидроизоляцию защищают сверху бетонными или железобетонными плитами. Вокруг бассейна устраивают асфальтированную площадку шириной 3–5 м с уклоном в сторону бассейна.

2.7 Градирни

2.7.1 Классификация градирен

Градирни используются в системах оборотного водоснабжения, требующих устойчивого и глубокого охлаждения воды.

Работа любой градирни основана на охлаждении некоторого объема жидкости атмосферным воздухом. Классификация градирен приведена на рисунке 2.10.

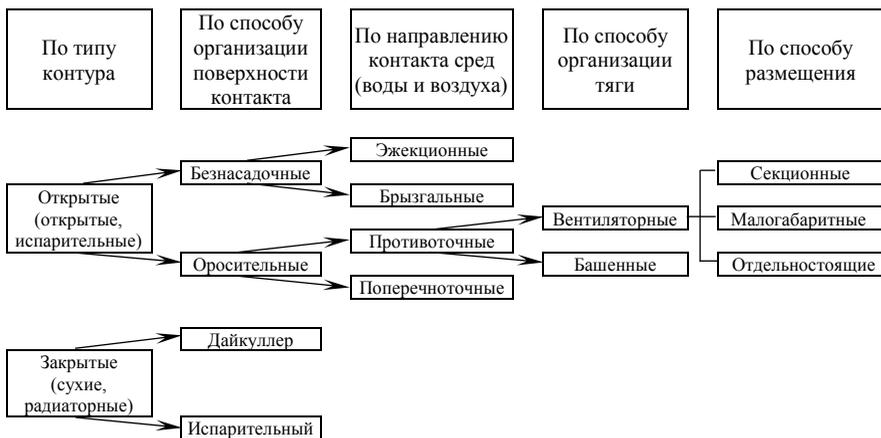


Рисунок 2.10 – Классификация градирен [2]

По принципу действия градирни подразделяются на типы:

- испарительные – обеспечивают охлаждение за счет непосредственного контакта воздуха и воды;
- сухие (закрытые);
- гибридные.

По способу подачи воздуха градирни испарительного типа бывают:

- брызгальные (открытые);

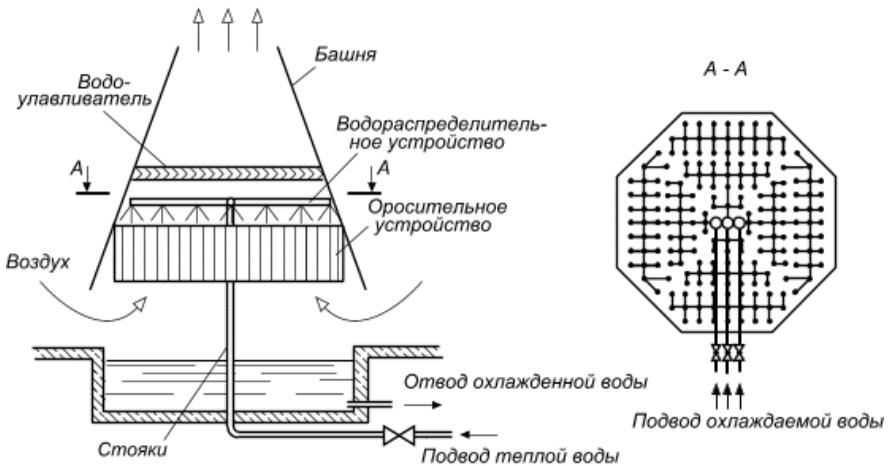
- противоточные (башенные и вентиляторные);
- поперечноточные;
- эжекционные.

В зависимости от способа перемешивания различают следующие виды испарительных градирен:

– *оросительные* (насадочные): поперечноточные и противоточные. Контакт подаваемого воздуха с охлаждаемой водой осуществляется на развитой поверхности оросительного слоя (насадки). Если направление движения потоков воды и воздуха параллельное (противонаправленное), то градирня относится к *противоточному* типу, если поток воздуха движется перпендикулярно потоку воды – к *поперечноточному* типу.

– *безнасадочные*: брызгальные и эжекционные. Работают за счет распыления воды и разделения ее на мелкие капли. Теплообмен происходит на поверхности капель.

Конструкция градирни, независимо от её типа, состоит из нескольких элементов: каркас, резервуар для сбора воды, водораспределительная система, система прокачки воздуха, охлаждающее (оросительное) устройство (рисунок 2.11).



Охлаждение воды в градирне в зависимости от её типа происходит за счет передачи тепла воздуху и за счёт испарения. В градирнях закрытого типа охлаждение происходит за счёт теплопередачи.

Нагретая вода подаётся на водораспределительное устройство, которое представляет собой систему трубопроводов с разбрызгивающими соплами. Вода, проходя под давлением или самотёком, разбивается на мелкие капли

размером 2–3 мм и распределяется по всему объёму градирни, далее попадает на оросительное устройство, имеющее большую развитую поверхность. При прохождении воды через ороситель происходит перераспределение и перемешивание (турбулизация) потоков, в результате чего увеличивается охлаждающий эффект.

Одновременно, навстречу движению воды, через воздухозаборные окна подаётся поток воздуха, после чего нагретая паровоздушная смесь выбрасывается в атмосферу. Прокачка воздуха, в зависимости от типа градирни, обеспечивается с помощью естественной тяги в башенных градирнях или вентилятора в вентиляторных градирнях. Вентиляторы могут располагаться как в нижней части градирни (нагнетательные вентиляторы) или сверху (отсасывающие вентиляторы).

Далее охлаждённая вода собирается и накапливается в водосборной ёмкости и подаётся на оборудование. Резервуар для сбора воды в зависимости от размера градирни может представлять собой как бетонный бассейн, являющийся одновременно фундаментом градирни, так и сравнительно небольшой поддон.

2.7.2 Распределители, оросители и водоуловители градирен

Конструкций градирни имеют ряд общих элементов: водораспределительные системы, оросительные устройства, водоуловители, а также водосборные резервуары.

Распределители в градирнях предназначены для равномерного распределения охлаждаемой воды по поверхности оросителя, что имеет важное значение для создания необходимой поверхности водного потока и равномерной работы всего оросителя, определяющей охлаждающую способность градирни.

Распределители бывают напорными и безнапорными.

Напорные распределители представляют собой систему трубопроводов из металлических или асбестоцементных труб, оборудованных разбрызгивающими соплами (рисунок 2.12). Применяются эвольвентные, бутылочные и тупые сопла, тех же конструкций, что и для брызгальных бассейнов, а также специальные, центробежные, струйно-винтовые и ударные.

Требования к разбрызгивающим соплам градирен по энергосбережению и равномерности распределения воды по оросителю заключаются в следующем:

- должны обеспечивать развитый факел разбрызгивания воды с радиусом 1,5–2,0 м при напоре 0,5–3,0 м;
- не подвергаться засорению при концентрации в оборотной воде взвешенных веществ 100–150 мг/л.

Большое разнообразие сопел обусловлено, с одной стороны, поиском конструкции, которая при малом напоре воды и достаточной производительности обеспечивала бы требуемые гидравлические характеристики, а с другой –

стремлением каждой фирмы иметь свою запатентованную конструкцию сопла, чтобы изготавливать все элементы градирен на собственном производстве. В последнее время наибольшее распространение получили сопла изготавливаемые из пластмасс. Они не подвержены коррозии, проще и дешевле в изготовлении и имеют меньшую шероховатость внутренней поверхности, что при прочих условиях увеличивает их пропускную способность, обладают более устойчивыми гидравлическими характеристиками.

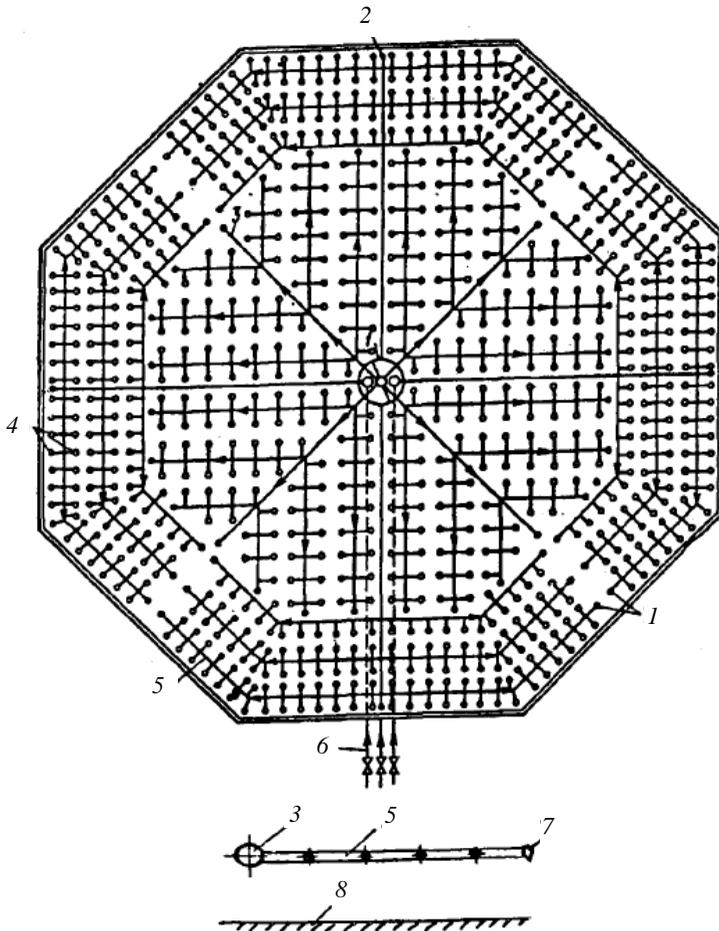


Рисунок 2.12 – Схема напорного трубчатого водораспределителя:

1 – подводящий стояк; 2 – коллектор, подводящий воду к периферийной зоне орошения; 3 – то же, к центральной зоне; 4 – разбрызгивающие сопла; 5 – распределительные трубопроводы; 6 – подводящий водовод; 7 – промывные сопла; 8 – ороситель

При проектировании водораспределительных систем градирен сопла подбираются с учетом их пропускной способности, габаритов факелов разбрызгивания при располагаемом напоре воды и степени загрязненности оборотной воды.

Во всех случаях расположение сопел на трубах водораспределительной системы должно обеспечивать равномерное распределение воды по площади оросителя. Чаще всего применяются эвольвентные сопла с ударными отражателями, что обусловлено их меньшей засоряемостью.

Сопла располагаются таким образом, чтобы обеспечивалось направление факела брызг вниз или вверх.

В первом случае расстояние от сопла до оросителя принимается равным 0,8–1,0 м, во втором – 0,3–0,5 м. Напор перед соплом принимается меньше, чем в брызгальных бассейнах – 1,0–3,5 м. Для необходимости регулирования водораспределения в процессе эксплуатации градирен, а также отключения отдельных частей системы при необходимости изменения плотности орошения в зимний период или по технологическим причинам подводящие трубопроводы прокладываются в две-три нитки и оборудуются задвижками, которые также устанавливаются в необходимых случаях на магистральной и распределительной сети.

Безнапорные распределители представляют собой систему железобетонных лотков, расположенных над оросителем, в дне которых имеются отверстия со вставленными в них фарфоровыми или пластмассовыми патрубками – насадками. Вода, вытекающая из насадок в виде струй, падает на разбрызгивающие тарелки, также изготавливаемые из фарфора или пластмассы, дробится, образуя фонтаны брызг, достигающих поверхности оросителя. Расположение насадок должно обеспечивать равномерное распределение воды по площади оросителя. Лотки оборудуются шиберами, позволяющими за счет отключения регулировать подачу воды в периферийную и центральную зоны градири, обеспечивая изменение плотности орошения. Насадки имеют производительность 0,3–4,0 л/с в зависимости от диаметра (18–35 мм) при изменении напора над выходным сечением насадка от 0,1 до 1,0 м.

Насадки располагаются в плане с учетом перекрытия факела брызг соседних тарелок равномерно на одинаковом расстоянии друг от друга 1,0–1,25 м.

Оросители градирен предназначены для создания мелких и одинаковых по размеру капель или тонкой пленки с целью увеличения поверхности соприкосновения воды и воздуха и интенсификации процесса охлаждения.

Оросители вентиляторных и башенных градирен по своей конструкции аналогичны.

Капельные оросители выполняются из деревянных брусков треугольного или прямоугольного сечения, расположенных горизонтальными ярусами (рисунки 2.13, а, б).

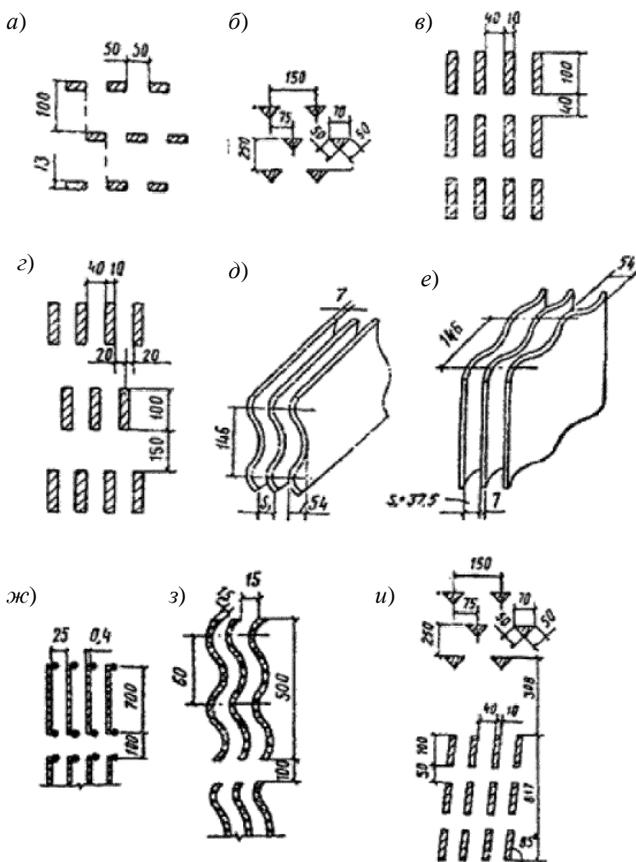


Рисунок 2.13 – Оросители градирен:

а, б – капельные из деревянных реек; *в, г* – пленочные из деревянных досок; *д, е* – пленочные из асбестоцементных листов; *ж, з* – пленочные из пластмасс; *и* – комбинированный капельно-пленочный

Расположение реек в ярусах может быть различным, но должно обеспечивать наилучшие условия для дробления капель при их стекании. Обычно из треугольных или прямоугольных брусков собираются щиты, которые и устанавливаются в оросителе градирен на специальные опорные конструкции из дерева или сборных железобетонных элементов. Расстояние между ярусами принимается 100–350 мм, ширина брусков – 40–50 мм, толщина – 10–20 мм. В ярусах они устанавливаются с прозорами 50–150 мм.

Современные конструкции капельных оросителей выполняются из полимерных плоских решеток или штампованных сетчатых (перфорированных)

элементов из полиэтилена. Срок службы оросителей и водоуловителей гради-рен из полимерных материалов составляет около 20–25 лет, а деревянные конструкции выходят из строя за 10–15 лет. Пластмассовые оросители компактны, просты в монтаже и легче асбестоцементных и деревянных.

Пленочные оросители имеют меньшее, чем капельные, аэродинамическое сопротивление, но требуют больших затрат материала на их изготовление. Они выполняются из деревянных и асбестоцементных щитов или конструкций из полимерных материалов (рисунок 2.13, в–з). При изготовлении щитов из дерева используются доски толщиной 10–15 мм, шириной 100 мм, которые размещаются на расстоянии 40 мм друг от друга. Щиты устанавливаются вертикально или под углом 85° в несколько ярусов, обеспечивая создание пленки толщиной 0,3–0,5 мм. Конструкция пленочных оросителей может быть также выполнена из досок, поставленных на ребро. Для уменьшения сопротивления проходу воздуха под оросителем на нижней кромке щитов иногда делаются треугольные вырезы, обеспечивающие стекание воды со щита отдельными струйками.

Оросители из плоских или волнистых асбестоцементных листов с расстоянием между ними 15–45 мм, толщиной 6–8 мм и оросители, выполненные из пластмассовых материалов, более устойчивы к воздействию теплой воды и влажного воздуха и проще в изготовлении.

При использовании пластмасс применяют поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПНД), винипласт, полипропилен, полистирол и другие виды пластмасс. При этом расстояние между листами или ширина ячейки принимается 12–30 мм.

Капельно-пленочные оросители выполняются из дерева либо в виде щитов пленочного типа с увеличенными разрывами между досками или в виде комбинации из решетки капельного типа и щитов пленочного типа. Для изготовления таких оросителей из полимерных материалов используются гофрированные полиэтиленовые трубы, сетчатые трубы илисты, сетчатые призмы, сетчатые рулоны, а также плоские полимерные сетки различных марок (рисунок 2.13, и). Капельно-пленочные оросители обладают лучшим эффектом охлаждения, чем капельные. Применяя капельно-пленочные оросители в совокупности с противоточным движением воздуха, можно увеличить гидравлическую нагрузку в 1,5–2 раза по сравнению с капельными оросителями.

По стоимости капельно-пленочные оросители дороже брызгальных, но дешевле пленочных. Поэтому пленочные оросители обычно применяются для получения устойчивого и глубокого охлаждения и в условиях жаркого климата, а капельно-пленочные и брызгальные – в более благоприятных климатических условиях, когда технологические требования к охлажденной воде ниже.

При проектировании гидравлическая нагрузка для башенных градирен с капельными оросителями обычно принимается не менее $2,9 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$, для градирен с пленочными оросителями – не менее $5 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$. Для вентиляторных градирен – соответственно $6,1\text{--}7,9 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ и $7,9\text{--}11,9 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$. Для брызгальных градирен, не имеющих оросителя, ориентировочно гидравлическая нагрузка может быть принята $5,0\text{--}6,1 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$.

При выборе типа охладителя градирни необходимо учитывать качество охлаждающей воды и ее физико-химический состав. Присутствие в воде жиров, смол, нефтепродуктов, взвешенных веществ, препятствует применению пленочных оросителей, так как при сравнительно небольшом расстоянии между стоящими рядом щитами появляется возможность засорения его, что ухудшает смачиваемость щитов и, как следствие этого, ухудшается охлаждение воды.

Основным типом оросителей, обеспечивающих наиболее высокий эффект охлаждения, является пленочный, но он чувствителен к наличию в воде нефтепродуктов, взвешенных веществ и других примесей, вызывающих зарастания зазоров между элементами. Пленочные оросители применяются при концентрации нефтепродуктов до 25 мг/л и взвешенных веществ до 50 мг/л , при общей концентрации в оборотной воде жиров, смол и нефтепродуктов $25\text{--}125 \text{ мг/л}$ применяют капельные или капельно-пленочные оросители, а при концентрации указанных веществ более 120 мг/л – брызгальные.

Водоуловители предназначены для снижения выноса с охлаждающим воздухом капель влаги из градирен. Водоуловителями оборудуются башенные и вентиляторные градирни, имеющие повышенную тягу воздуха. Работающая градирня выбрасывает в атмосферу воздух, насыщенный водяными парами. При значительных расходах охлаждаемой оборотной воды и широком применении башенных и вентиляторных градирен в системах производственного водоснабжения эти потери воды составляют существенную часть водного баланса предприятия. Кроме того, на некоторых предприятиях вынос влаги недопустим или существенно ограничивается по санитарным нормам или экологическим требованиям. Установка водоуловителей над водораспределителями градирен значительно уменьшает вынос воды.

Водоуловители отличаются друг от друга материалом, формой указанных элементов (препятствий) и их расположением.

Все конструкции водоуловителей работают по одному принципу: осажде- ния летящих вверх капелек воды на препятствии за счет действующих гравита- ционных сил и инерционных сил, возникающих при отклонении воздуш- ного потока для огибания этого препятствия. В качестве препятствия используются деревянные, асбестоцементные или пластмассовые дощечки, планки, лопатки, соты (каналы) различной конфигурации, располагаемые в $1\text{--}3$ ряда, а также волокна сеток.

Долгое время основным типом водоуловителей, использовавшихся в отечественных градирнях, были деревянные жалюзийные. Однако дерево становится все более дефицитным материалом и требует специальной обработки против гниения. Поэтому в последнее время разрабатываются и осваиваются водоуловители из полимерных материалов (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Водоуловитель «Полуволна» [2]

Водоуловитель представляет собой дополнительное аэродинамическое сопротивление, величина которого зависит от его конструкции, степени стеснения живого сечения, наклона лопаток и материала, из которого они изготовлены, их формы, ряда других факторов и может достигать 10 % общего аэродинамического сопротивления градирни.

2.7.3 Конструкции градирен

Открытые градирни по сравнению с другими типами наиболее просты и близки к брызгальным бассейнам по своим качественным и количественным характеристикам. В них движение воздуха обусловлено ветром и естественной конвекцией. Являются малоэффективными градирнями, допускающими гидравлическую нагрузку до $4,0 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ и тепловую нагрузку до $60 \text{ МДж}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$.

Открытые градирни бывают *брызгальными* и *капельными* (в зоне орошения устанавливается капельный ороситель).

Открытые брызгальные градирни представляют собой небольшой вытянутый в плане брызгальный бассейн, огражденный со всех сторон жалюзийными решетками, выполняющими роль водоуловителей и препятствующими выносу брызг за пределы градирни. Разбрызгивающие сопла направлены вниз и располагаются на высоте 4–5 м над уровнем воды в резервуаре. Резервуар оборудуется переливной и грязевой линиями. Градирни имеют ширину до 4 м и длину до 20–30 м. Они располагаются длинной стороной к направлению преобладающих ветров в жаркий период. Гидравлическая нагрузка для таких градирен обычно принимается от 1,5 до $3 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{ч}$.

Открытые капельные градирни оборудуются распределителями в виде лотков с гидравлическими насадками и отражательными тарелками или сопел и оросителями капельного типа из деревянных брусков, что обеспечивает лучшие условия для охлаждения воды. Поэтому гидравлическая нагрузка для таких градирен принимается от 2 до 4 м³/м²·ч.

В практике применяются открытые градирни с разбрызгиванием воды в двух уровнях: верхний распределитель работает в зимний период, а нижний – в летний.

Применяются открытые градирни в оборотных системах водоснабжения небольшой производительности при невысоких требованиях к температуре охлажденной воды. Они широко используются для временных систем оборотного водоснабжения.

В башенных градирнях движение воздуха обусловлено естественной тягой, создаваемой вытяжной башней (рисунок 2.15).

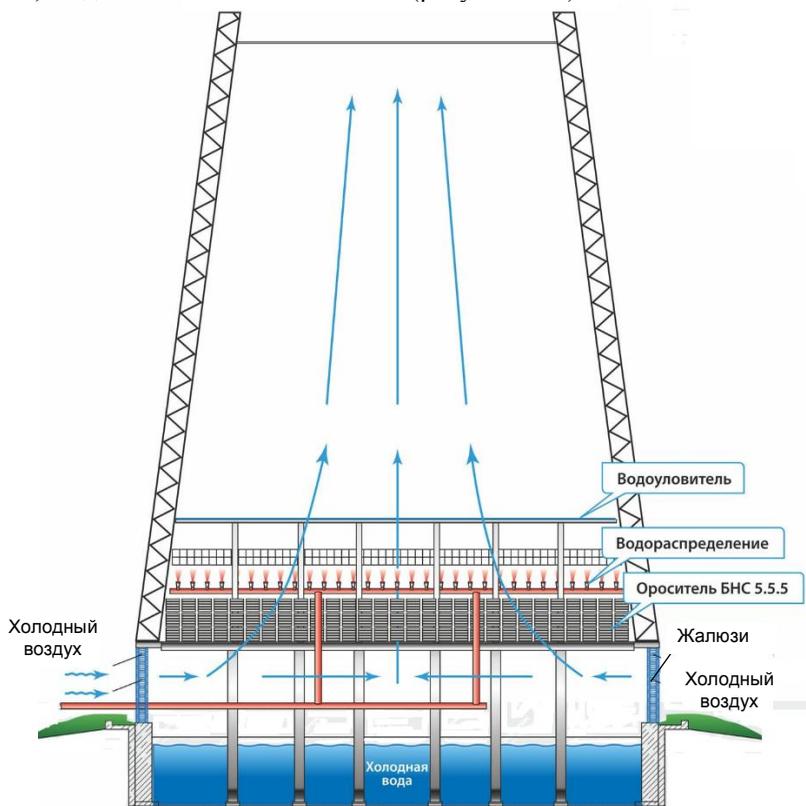


Рисунок 2.15 – Схема башенной градирни [2]

Высота башни рассчитывается таким образом, чтобы в самые жаркие периоды года обеспечить подачу необходимого количества воздуха для эффективного охлаждения воды. Башенные градирни допускают гидравлическую нагрузку до $8 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ и тепловую нагрузку до $420 \text{ МДж}/(\text{м}^2/\text{ч})$. При этом вода охлаждается до температуры, на $8\text{--}12 \text{ }^\circ\text{C}$ превышающей теоретический предел охлаждения при перепаде температур $8\text{--}12 \text{ }^\circ\text{C}$.

Башенные градирни в плане могут быть квадратными, многогранными и круглыми. Квадратные применяются для охлаждения воды в оборотных системах небольшой производительности. Многогранные градирни (рисунок 2.16) могут иметь достаточно большие площади (сотни квадратных метров) и применяться в системах средней и большой производительности. Круглые градирни применяются в очень крупных системах оборотного водоснабжения и имеют площадь в несколько тысяч квадратных метров.

Квадратные и многогранные градирни конструктивно выполняются каркасно-обшивными. Они имеют несущий каркас из стального профиля, к которому изнутри крепится обшивка из деревянных щитов, асбестоцементных листов или листового коррозионно-стойкого металла.

Круглые градирни выполняют в виде железобетонной тонкослойной оболочки гиперболической формы, которая опирается на наклонные железобетонные колонны, образующие входные окна для прохождения воздуха.

Преимущества башенных градирен:

- отсутствуют затраты электроэнергии при эксплуатации;
- предназначены для больших расходов воды.

Недостатки:

- малая глубина охлаждения;
- значительные капитальные затраты на строительство;
- сложное строительство и ремонт;
- требуются специальные мероприятия для зимнего периода.

В вентиляторных градирнях движение воздуха обусловлено тягой или напором вентилятора. Воздух поступает в градирню через специальные окна, расположенные снизу металлического каркаса (рисунок 2.17). Вода, разбрызгиваемая соплами, и воздух встречаются на поверхности блоков оросителя. Водопуловитель обеспечивает задержание воды, которая может выдуться вентилятором.

Вентиляторные градирни допускают гидравлическую нагрузку до $12 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ и тепловую нагрузку до $120 \text{ кВт}/\text{ч}$ на 1 м^2 . При этом вода охлаждается до температуры, на $4\text{--}6 \text{ }^\circ\text{C}$ превышающей теоретический предел охлаждения при перепаде температур до $17 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вентиляторные градирни нашли широкое применение в оборотных системах благодаря компактности и высокой эффективности. Отдельно стоящие одновентиляторные градирни имеют площадь от 400 до 1200 м^2 и применяются в достаточно крупных системах оборотного водоснабжения.

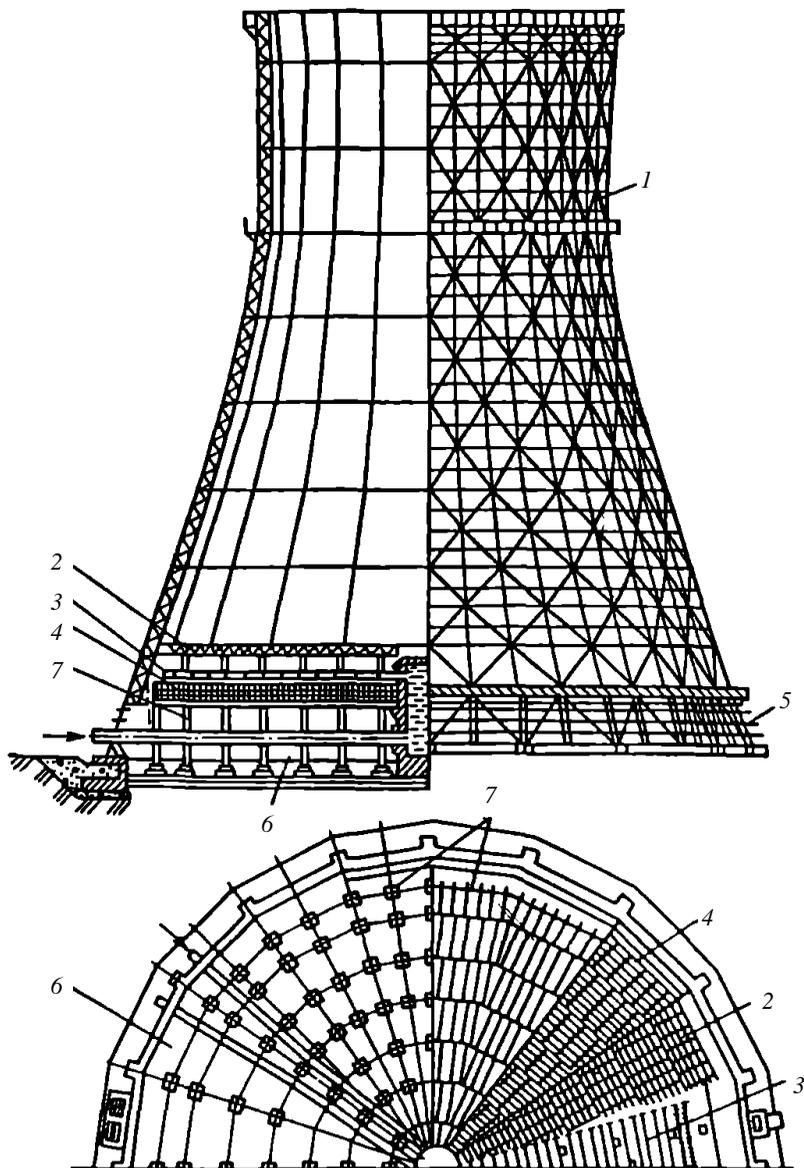


Рисунок 2.16 – Башенная противочная градирня:

1 – вытяжная башня; 2 – водоуловитель; 3 – водораспределительная система; 4 – ороситель;
5 – воздухорегулирующее устройство; 6 – водосборный бассейн; 7 – несущий опорный каркас

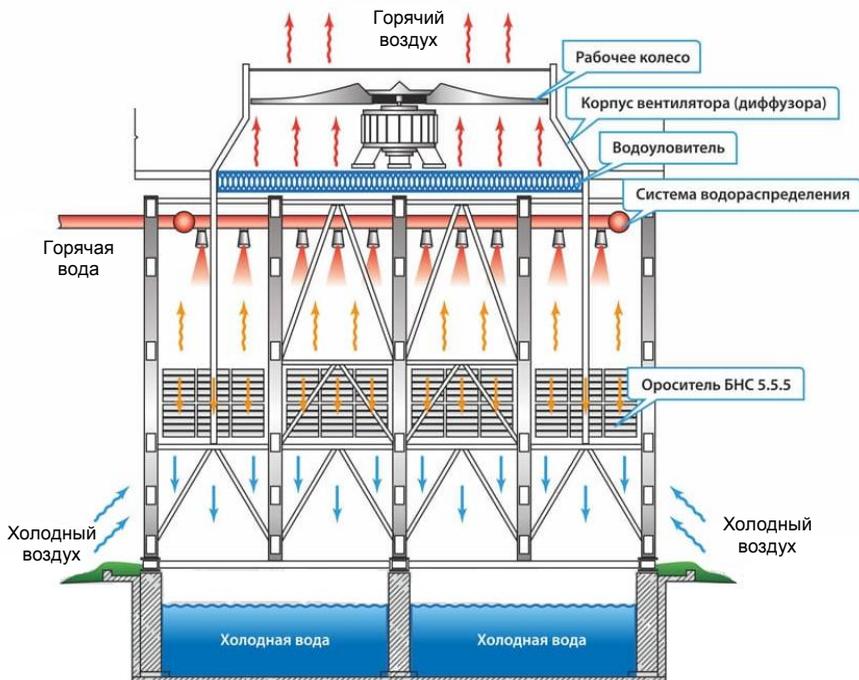


Рисунок 2.17 – Схема работы вентиляторной градирни [2]

Башенные градирни по капитальным затратам дороже вентиляторных, но дешевле и проще в эксплуатации.

Вентиляторные градирни дешевле и требуют меньшей площади застройки. Благодаря регулированию производительности вентиляторы обеспечивают устойчивое управляемое охлаждение воды. Однако для привода вентиляторов требуется значительный расход электроэнергии, а сами вентиляторы нуждаются в постоянном обслуживании, что удорожает эксплуатацию. Выбор этого типа градирни в каждом конкретном случае осуществляется на основании технико-экономического анализа.

Благодаря различным видам оросительных блоков и широкой гамме осевых вентиляторов такие градирни могут быть подобраны в большом диапазоне нагрузок по воде и обеспечивать глубокое охлаждение воды с перепадом до 30 °С. Возможность установки воздухорегулирующих жалюзи и реверса двигателя обеспечивает эксплуатацию градирни в зимние морозы.

По типу оросителя различают пленочные, капельные, капельно-пленочные вентиляторные градирни. Наиболее эффективны капельно-пленочные. Они совмещают свойства капельных и пленочных оросителей и лучше всего охлаждают воду.

Наибольшее применение получили секционные вентиляторные градирни (рисунок 2.18), строящиеся по типовым проектам, которые обеспечивают широкий диапазон площадей от 2 до 400 м² на одну секцию.

Секционные градирни дешевле отдельно стоящих, возводятся они из унифицированных конструктивных элементов. Наименьшее число секций принимается 2, оптимальное – 4–8.

Для малых расходов оборотной воды вентиляторы градирни поставляются на предприятия в готовом виде, по этому признаку их называют малогабаритными или блочными миниградирнями. Они характеризуется невысокими перепадами температур на входе и выходе, при этом и электропотребление сравнительно невысоко.

Преимущества вентиляторных градирен:

- гибкость конструкции;
- отсутствие обмерзания;
- энергоэффективность;
- легкость ремонта;
- наличие большого ассортимента запасных частей.

Недостатки:

- требуется обученный персонал для обслуживания;
- необходимы дополнительные меры зимой.



Рисунок 2.18 – Двухсекционная вентиляторная градирня [2]

В поперечноточной градирне вода из коллектора подается в специальный бак – потолочный распределитель (рисунок 2.19). Оттуда уже без давления, самотеком она стекает вниз по узкому слою специального оросителя.

Теплообмен и испарение происходит за счет большого количества воздуха, подаваемого вентилятором.

В таких градирнях воздух движется в слое оросителя горизонтально (перпендикулярно падающей сверху вниз воде). Вход воздуха может быть с одной или двух сторон, соответственно получится одно- или двухпоточная система.

Водоуловитель совмещен с жалюзи и выполняет двойную функцию: предотвращает унос и разбрызгивание капель воды.

Так как в нижней части оросителя образовывается слабо орошаемая зона, то весь слой оросителя целесообразно делать наклонным, чтобы сместить нижний ярус к центру и уменьшить обмерзание.

Использование поперечноточных градирен зимой сильно затруднено. В безнапорной системе водораспределения отсутствует подпор, аэродинамическое сопротивление оросителя больше на 30 %. Поэтому основное распространение такие градирни получили в странах с теплым климатом: ОАЭ, Иран, Индия, Пакистан.

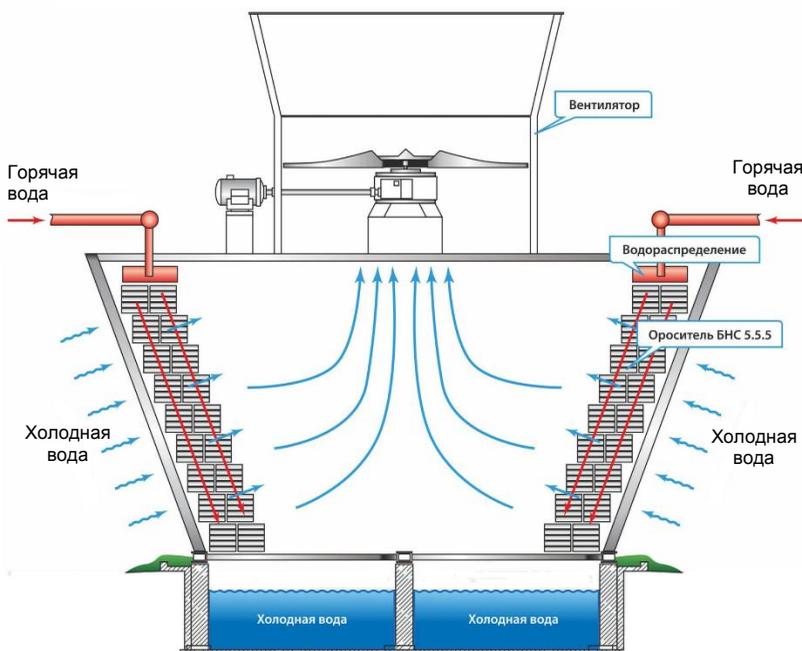


Рисунок 2.19 – Схема поперечноточной градирни [2]

Коэффициент тепломассобмена у поперечноточных градирен на 20 % меньше чем у вентиляторных. При одинаковых условиях поперечноточные градирни охлаждаются хуже противоточных из-за менее эффективного использования поверхности оросителя.

Преимущества поперечноточных градирен:

- занимают меньше места, так как могут быть спланированы «в высоту»;
- требуют меньшего давления в системе водораспределения.

Недостатки:

- на 30 % менее эффективный ороситель;
- большая стоимость;
- обмерзают зимой;
- сложность с ремонтом (в России и Беларуси не производят соответствующих запчастей).

Эжекционная градирня представляет собой корпус из стали, в котором размещен высоконапорный трубопровод с соплами (эжекторами) специальной конструкции (рисунок 2.20).

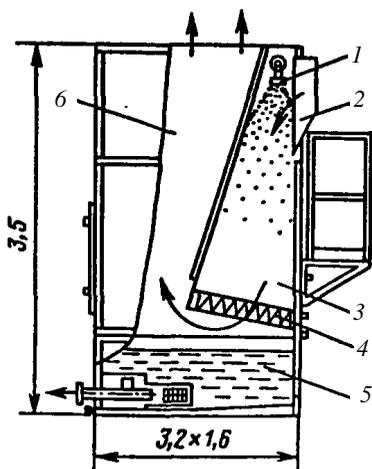


Рисунок 2.20 – Устройство эжекционной градирни:

- 1 – форсунка; 2 – воздухоходное окно;
- 3 – эжекторный канал; 4 – устройство для вторичного дробления капель;
- 5 – водосборный поддон; 6 – сепарационный канал

– сложность эксплуатации зимой (мелкая водяная взвесь будет моментально замерзать).

Применение эжекционных градирен выгодно при температуре воды более 60 °С и/или малом расходе воды.

При распылении воды под давлением через эжектор происходит подсос наружного воздуха в зону разрежения. Воздух перемешивается с водой и охлаждает её.

Преимущества:

- полное отсутствие ограничения в температуре охлаждаемой воды (могут работать на горячей воде с $t \geq 60$ °С);
- не требуется обслуживать вентилятор;
- отсутствие механических подвижных частей.

Но есть ряд *недостатков*, которые ограничивают на распространение данного типа градирен:

- большие энергозатраты на создание повышенного давления воды в эжекторе;
- большой капельный унос;

Гибридные градирни относятся к сооружениям, в которых совмещены процессы теплопередачи и испарения (рисунок 2.21).

Требующая охлаждения жидкость, которая применяется для снятия избыточного тепла, поступает через верхний коллектор в теплообменник и выходит из него через нижний коллектор. В первичном контуре исключены потери воды, так как он замкнут. Вода в остаётся чистой, не образуя осадка и не корродируя.

В процессе охлаждения оборотной воды первичного контура трубчатый теплообменник должен орошаться водой из вторичного контура. Вдуваемый снизу в противотоке к орошаемой воде свежий воздух одновременно нагревается и насыщается в контакте с этой водой и увлажнённым теплообменником и выпускается вверх. Вода вторичного контура собирается в поддоне и повторно применяется для орошения. Несмотря на то, что часть воды испаряется и сливается, отмечается значительная экономия воды по сравнению с проточным методом охлаждения, которая достигает 85–96 %.

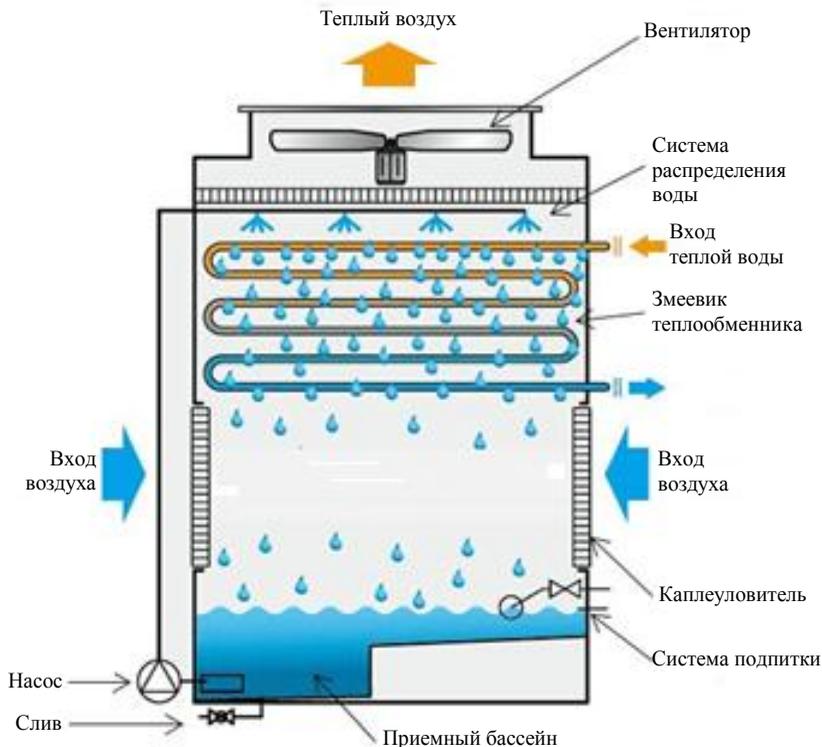


Рисунок 2.21 – Гибридная градирня

Контроль за всеми параметрами градирни осуществляется при помощи автоматической системы управления. Для привода рабочих колес вентиляторов применяются электрические двигатели, оснащаемые частотным преобразователем для экономии электроэнергии.

Любая открытая градирня может быть заменена градирней закрытого типа. Хотя установочная площадь и цена при этом увеличиваются, закрытые установки требуют меньше затрат на техобслуживание.

Преимуществами гибридных градирен являются:

- небольшие потери воды в сравнении с испарительными градирнями;
- возможность работы без парового факела;
- стабильная мощность охлаждения;
- высокий уровень защиты от обмерзания при эксплуатации зимой;
- минимальный расход воды за счёт сочетания преимуществ сухого и мокрого охлаждения.

К недостаткам относятся:

- сложность в проектировании и строительстве;
- большая частота и качество обслуживания;
- зависимость от качества оборотной воды;
- большие затраты на энергию;
- высокая стоимость по сравнению с испарительными градирнями.

В России и Беларуси гибридные градирни не получили широкого распространения.

Радиаторная (сухая) градирня представляет собой корпус с размещенным внутри теплообменником (радиатором), по которому циркулирует охлаждающая жидкость, и одним или несколькими вентиляторами, обдувающими радиатор потоком наружного воздуха (рисунок 2.22).

Радиатор из оребренных, чаще всего медных или алюминиевых, трубок обуславливает то, насколько хорошо сухие градирни будут охлаждать воду.

Применение качественного радиатора из меди, с тонкими каналами делает стоимость сухой градирни очень большой. Уменьшая стоимость решения, приходится жертвовать и эффективностью.

Преимущества:

- закрытый контур, отсутствие попадания примесей в воду;
- возможность работы на кипящей воде;
- возможность работы на этиленгликоле;
- отсутствие капельного уноса.

Недостатки:

- низкая эффективность охлаждения;
- дорогая конструкция и материалы;
- требовательность к обслуживанию и чистке теплообменника.

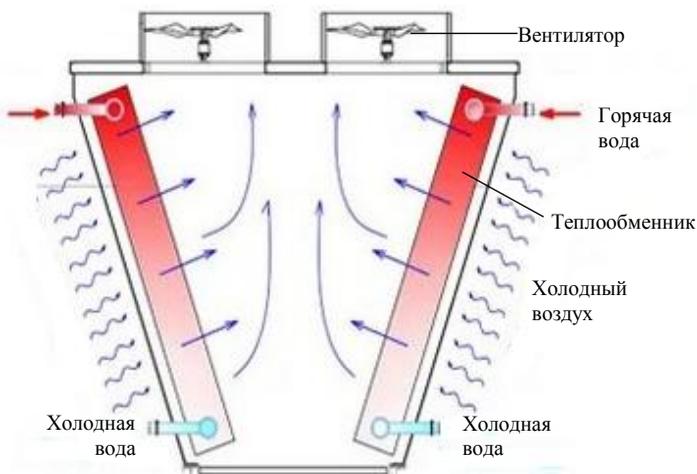


Рисунок 2.22 – Сухая градирня [2]

Сухие градирни целесообразно использовать, когда технология требует изоляции контура циркуляции от внешней среды или при отсутствии возможности организовать подпитку в необходимых количествах. Тогда использование контура сухой градирни со смесью этиленгликоля является практически единственным решением. Также выбор в пользу сухой градирни целесообразен при температуре теплоносителя, или оборотной воды на грани кипения. Например, в оборотных циклах АЭС или НПЗ.

В остальных случаях более дешевым и оправданным будет применение вентиляторной промышленной градирни, так как расход воздуха вентилятора открытой градирни в 5 раз меньше, чем у закрытой. Мощность вентилятора пропорционально меньше у открытых градирен.

2.8 Потери воды в охладителях

Для систем оборотного водоснабжения должен составляться баланс воды, учитывающий потери, необходимые сбросы и добавления воды в систему, для компенсации убыли из нее.

Потери воды на промышленном предприятии складываются из потерь:

- на технологические нужды (безвозвратное водопотребление);
- в охладителях оборотной воды на очистных сооружениях;
- на сброс воды из системы (продувку системы), величина которого определяется в зависимости от качества оборотной и добавочной воды и способа ее обработки.

В охладителях бывают потери воды на фильтрацию, испарение, унос воды ветром.

Потери воды на фильтрацию учитываются только в прудах-охладителях и накопителях при водопроницаемых грунтах основания и ограждающих дамб. Расчет производится по данным гидрологических изысканий.

Потери воды на испарение учитываются в испарительных охладителях: брызгальных бассейнах, открытых градирнях, прудах-охладителях. В радиаторных охладителях эти потери отсутствуют.

Потери воды на испарение, м³/ч,

$$Q_{\text{исп}} = K \Delta t Q, \quad (2.7)$$

где K – коэффициент, учитывающий долю испарительного охлаждения в общей теплоотдаче;

Δt – перепад температуры воды (ширина зоны охлаждения), °С;

Q – расход охлаждаемой оборотной воды, м³/ч.

Для брызгальных бассейнов и градирен в зависимости от температуры воздуха по сухому термометру T значения коэффициента K определяются по таблице 2.1. Для прудов-охладителей K принимается в зависимости от естественной температуры воды водоема по таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Значение коэффициента K для брызгальных бассейнов и градирен в зависимости от температуры воздуха по сухому термометру

$T, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
K	0,001	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

Таблица 2.2 – Значение коэффициента K для прудов охладителей в зависимости от естественной температуры водоема

$t_e, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40
K	0,0007	0,0009	0,0011	0,0013	0,0015

Потери воды на испарения, %, определяются по формуле

$$P_1 = \frac{Q_{\text{исп}}}{Q} \cdot 100. \quad (2.8)$$

Потери воды на унос ветром учитываются в испарительных охладителях, брызгальных бассейнах, открытых градирнях и оросительных теплообменных аппаратах. В радиаторных охладителях эти потери отсутствуют. Потери воды на унос ветром, м³/ч,

$$Q_{\text{ун}} = \frac{P_2 Q}{100}, \quad (2.9)$$

где P_2 – потери воды на унос ветром, % от расхода оборотной воды.

Потери воды вследствие уноса ветром, % от расхода оборотной воды, зависят от типа охладителя, расхода оборотной воды, наличия специальных водоуловителей для снижения выноса капельной влаги и принимаются по таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Потери воды на унос ветром в зависимости от типа охладителя

Тип охладителя	Расход воды, м ³ /ч		
	$Q \leq 500$	$500 < Q < 5000$	$Q \geq 5000$
Брызгальные бассейны	2,0–3,0	1,5–2,0	0,75–1,0
Открытые и брызгальные градирни	1,0–1,5		
Башенные градирни без водоуловителей	0,5–1,0		
Башенные градирни с водоуловителями	0,01–0,05		
Вентиляторные градирни с водоуловителями при отсутствии в оборотной воде токсичных веществ	0,1–0,2		
То же при присутствии токсичных веществ	0,05		
Оросительные теплообменные аппараты	0,5–1,0		

Потери воды на продувку систем связаны с необходимостью сброса части отработанной воды и замены ее свежей водой для поддержания требуемого качества воды (в основном карбонатной жесткости) в оборотном цикле.

Расход воды на продувку системы (сброс) с целью поддержания необходимой концентрации солей жесткости в оборотной воде, м³/ч,

$$Q_{\text{сбр}} = \frac{Ж_{\text{к.д.}} Q_{\text{исп}}}{Ж_{\text{к.об}} - Ж_{\text{к.д}}} - (Q_{\text{ун}} + Q_{\text{пр}}), \quad (2.10)$$

где $Ж_{\text{к.д.}}$, $Ж_{\text{к.об}}$ – соответственно жесткость карбонатная добавочной (свежей) и оборотной воды, г·экв/м³;

$Q_{\text{исп}}$, $Q_{\text{ун}}$ – расход воды на испарение и унос воды ветром, м³/ч;

$Q_{\text{пр}}$ – расход оборотной воды на технические нужды предприятия, м³/ч.

Укрупненно расход воды на продувку системы (сброс), м³/ч, определяется по формуле

$$Q_{\text{сбр}} = \frac{P_3 Q}{100}, \quad (2.11)$$

где P_3 – потери воды на продувку системы, % от расхода оборотной воды, $P_3 = 2,5 \dots 3,5$ %.

2.9 Выбор типа охладителя

Выбор типа охладителя осуществляется на основании технико-экономического сравнения вариантов.

Тип охладителя принимается с учетом:

- расчетного расхода воды;
- режима работы охладителя;
- условий размещения на промышленной площадке;
- расчетной температуры охлажденной воды;
- перепада температур в системе;
- глубины охлаждения;
- технических требований к стабильности и эффективности охлаждения;
- особенностей эксплуатации;
- химического состава воды;
- потерь воды на испарение и унос.

При выборе типа охладителя надлежит учитывать требования природоохранных органов к работе охладителей, как возможных источников негативного воздействия на состояние окружающей среды (унос капельной влаги, выброс вредных веществ, паровой факел и шум).

Рекомендуемая область применения различных типов охладителей воды (таблица 2.4) определяется их качественными и количественными характеристиками: гидравлической нагрузкой, тепловой нагрузкой, шириной охлаждения (перепадом температур) и глубиной охлаждения (разностью температуры охлажденной воды и температуры воздуха по смоченному термометру).

Степень нагрева воды при охлаждении (температурный перепад) с уменьшением расхода подаваемой воды увеличивается, и наоборот.

Таблица 2.4 – Параметры работы охладителей

Тип охладителя	Область применения охладителя воды			
	Гидравлическая нагрузка, м ³ /м ² ·с	Удельная тепловая нагрузка, МДж/(м ² /ч)	Ширина охлаждения, °С	Глубина охлаждения, °С
Вентиляторные градирни	6–8	335–420	3–20	4–5
Башенные градирни	3–6	250–420	5–15	8–10
Брызгальные бассейны	0,8–1,3	20–85	5–10	10–12
Водохранилища-охладители	0,02–0,04	0,8–1,7	5–10	6–8
Радиаторные градирни	–	–	5–10	20–35
Открытые и брызгальные градирни	1,5–3,0	30–63	5–10	10–12
Эжекционные градирни	–	134–200	5–15	5–7
<i>Примечание</i> – Показатели приведены для воды, поступающей на охладитель, с температурой не более 45 °С.				

Выбрав охладитель с большей шириной охлаждения, можно снизить расчетный расход охлаждающей воды, тем самым уменьшить затраты на обработку и транспортировку, стоимость всей системы водоснабжения, а также габариты и требуемую поверхность холодильной аппаратуры.

При подборе градирен недопустимо завышение площади орошения, что кроме увеличения стоимости значительно усложняет эксплуатацию в зимний период из-за интенсивного обмерзания вследствие недостаточной тепловой нагрузки.

Сопоставление преимуществ и недостатков различных охладителей приведено в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Характеристика типов охладителей

Преимущества	Недостатки	Применение
<i>Пруды-охладители</i>		
В течение большей части года обеспечивают минимальную температуру воды	Большие площади для размещения	При наличии свободных малоценных земель, естественных водоемов, при невысоких требованиях к эффекту охлаждения и когда требуется обеспечить минимальную среднегодовую температуру охлаждающей воды
<i>Брызгальные бассейны</i>		
Имеют сравнительно низкую стоимость, просты в эксплуатации	Низкая охлаждающая способность, потери воды больше чем в градириях	При невысоких требованиях к эффекту охлаждения, когда не нужна низкая и постоянная температура воды, при наличии площадок с открытым доступом воздуха
<i>Открытые градири</i>		
Могут размещаться на крышах зданий	Низкий охлаждающий эффект, который зависит от атмосферных факторов	При расходах до 300 м ³ /ч
<i>Башенные градири</i>		
Имеют небольшой унос воды ветром	Сложность строительства и высокая стоимость	При любых расходах. Благодаря тяге воздуха, создаваемой башней, обеспечивают более высокий и устойчивый эффект охлаждения, чем брызгальные бассейны и открытые градири. Могут быть компактно размещены на площадке предприятия на небольших расстояниях от зданий

Окончание таблицы 2.5

Преимущества	Недостатки	Применение
<i>Вентиляторные градирни</i>		
<p>Обеспечивают самый высокий устойчивый эффект охлаждения воды. Температуру охлаждаемой воды можно регулировать путем изменения частоты оборота вентиляторов</p>	<p>Более сложная эксплуатация вентиляторов и большой расход электроэнергии</p>	<p>При любых расходах, там, где технологические процессы требуют низкой и стабильной температуры, а также в районах с жарким и влажным климатом</p>
<i>Радиаторные градирни</i>		
<p>Потери на испарение и унос отсутствуют, качество охлаждаемой воды не изменяется</p>	<p>Высокая металлоемкость и значительная стоимость, большой расход воздуха и большие размеры по сравнению с вентиляторными градирнями</p>	<p>Теоретическим пределом охлаждения воды в них является температура воздуха по сухому термометру. Применение их оправдано там, где подача добавочной воды обходится дорого или имеется дефицит воды.</p> <p>При использовании очищенных городских сточных вод или возможном загрязнении оборотной воды токсичными продуктами производства, так как при своей работе они не создают вокруг себя аэрозоль</p>

3 ОБРАБОТКА ВОДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

3.1 Дегазация воды

3.1.1 Влияние растворенных в воде газов на состояние систем промышленного водоснабжения. Методы удаления

Растворенные газы (диоксид углерода, кислород, сероводород, реже метан) относятся к коррозионно-активным, способствующим или усиливающим процессы коррозии металлов. Кроме того, уголекислота и сероводород коррозионны по отношению к бетону, сероводород ядовит и имеет неприятный запах, а метан взрывоопасен. Очень часто необходимо удалять из воды растворенный в ней кислород, являющийся одной из основных причин интенсивной коррозии металлов.

Газы попадают в исходную воду в результате растворения в ней воздуха, а также при некоторых процессах обработки воды, например, при катионитовом умягчении воды и ионитовом обессоливании воды, обезжелезевании и деманганации подземных бикарбонатных вод.

Сероводород присутствует в некоторых подземных источниках водоснабжения. Практика показывает, что срок службы паровых котлов, теплообменных аппаратов, трубопроводов, тепловых сетей и т. п. на деаэрированной воде в 3–4 раза больше, чем на недеаэрированной.

Для защиты от коррозии паровых котлов, теплообменников, тепловых сетей, конденсаторов и другого теплоэнергетического оборудования, в различных процессах водоподготовки необходимо удалять из воды растворенные газы.

Сероводород – это ядовитый бесцветный газ с удельным весом 1,19. Запах сероводорода H_2S ощущается при содержании его в воде 0,2–1,0 мг/л. По европейским стандартам концентрация сероводорода в воде не должна превышать 0,05 мг/л. По отечественным требованиям допускается концентрация, придающая воде запах, меньший 2 баллов. Растворимость сероводорода при 0 °С составляет 4,35 объема в одном объеме воды.

Присутствие сероводорода в воде интенсифицирует коррозию трубопроводов и оборудования, соединения сероводорода, образуя гидросульфид кальция $Ca(HS)_2$, разрушают цемент, выводя из строя раструбные соединения труб и бетонные сооружения.

Использованная сероводородная вода не должна поступать на сооружения биологической очистки, так как при наличии в ней сульфидов более 20 мг/л процесс очистки нарушается.

Сброс сероводородной воды в водные объекты приводит к гибели рыб и нарушению кислородного режима в зимний период вследствие расхода кислорода на окисление сероводорода. Проблема очистки от сероводорода возникает также на предприятиях нефтяной и целлюлозно-бумажной промышленности и во многих других отраслях.

Дегазация – процесс удаления из воды растворенных в ней газов, обуславливающих или усиливающих коррозионные свойства воды, а в некоторых случаях придающих ей неприятный запах.

В практике водоподготовки известны следующие методы дегазации, в основу классификации которых положен принцип воздействия на обрабатываемую воду:

- *физический* – изменение температуры воды или парциального давления удаляемого газа);
- *химический* – связывание растворенных в воде газов путем добавления реагентов;
- *биохимический* – использование окислительной способности микроорганизмов;
- *сорбционно-обменный* – извлечение растворенных газов путем фильтрования через сорбционно-обменные материалы.

3.1.2 Классификация дегазаторов, выбор конструкции

Сущность физических методов заключается в следующем: дегазируемая вода приводится в соприкосновение с воздухом, если парциальное давление близко к нулю; обеспечивают условия, при которых растворимость газов в воде становится близкой к нулю. С помощью первого метода (аэрации) обычно удаляется свободная углекислота и сероводород, т. к. парциальное давление этих газов в атмосферном воздухе близко к нулю. Второй метод используется для обескислороживания.

Для реализации физических методов дегазации воды применяются дегазаторы:

1) *пленочные* с различного рода насадками (рисунок 3.1, а), работающие по принципу противотока дегазируемой воды и воздуха, подаваемого вентилятором или поступающего за счет естественной вентиляции;

2) *барботажные* с подачей воздуха в воду через перфорированные воздухораспределительные трубы, пористые трубы, пористые пластины;

3) *пенные* (рисунок 3.1, б), основанные на десорбции газов воздухом из пенного слоя или слоев, создаваемых в рабочей зоне аппарата;

4) *вакуумно-эжекционные*, основанные на десорбции газов за счет вакуума, возникающего в потоке жидкости при ее эжектировании;

5) *вакуумные*, основанные на десорбции газов при создании вакуума в рабочей зоне аппарата. С подогревом или без подогрева обрабатываемой воды и применением вакуумных устройств (вакуум-насосов, пароструйных или водоструйных эжекторов).

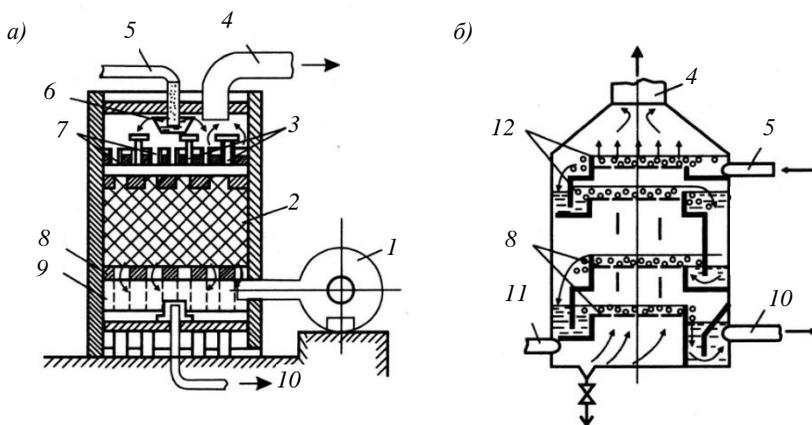


Рисунок 3.1 – Дегазаторы:

а – пленочный с принудительной подачей воздуха; *б* – пенный многоярусный;

1 – вентилятор; *2* – насадка из керамических колец Рашига; *3* – газообразный патрубок;
4 – удаление воздуха; *5*, *10* – подача исходной и отвод дегазируемой воды; *6* – водораспределительная воронка; *7* – оросительные патрубки; *8* – дырчатое днище; *9* – поддон; *10* – распределительная труба; *11* – подвод воздуха; *12* – пенный слой

Для удаления из воды растворенных газов в технике водоподготовки в основном применяются пленочные дегазаторы, а в теплоэнергетике – термические деаэратеры.

В практике водоподготовки наиболее часто для глубокого удаления свободной углекислоты (CO_2), сероводорода (H_2S) и других газов применяют пленочные дегазаторы, загруженные кольцами Рашига, керамическими или пластмассовыми кольцами или с хордовой деревянной насадкой для увеличения поверхности контакта аэрируемой воды и воздуха. Обработанная вода тонкой пленкой стекает по контактной загрузке сверху вниз, а снизу под контактную массу вентилятором нагнетается воздух.

К струйно-пленочным дегазаторам без принудительной подачи воздуха относятся *контактные градирни* с загрузкой из кусков кокса или гравия, в которых исходная вода распределяется и подается в верхнюю часть градирни, стекает, контактируя с воздухом, сверху вниз, последовательно проходя все ярусы, заполненные контактной загрузкой.

Дегазаторы барботажного типа требуют значительных эксплуатационных затрат и имеют ограниченную область применения.

Дегазаторы пенного типа являются разновидностью барботажных дегазаторов. Они применяются для удаления углекислоты и экономичны при расходах до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Основным элементом такого дегазатора является перфорированная полка с отверстиями не более 6 мм, вдоль которой тонким слоем протекает вода, вспениваемая потоком воздуха, поступающим через

отверстия. Интенсивность подачи воздуха – $0,35\text{--}0,75 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Количество полок (ярусов аппарата) – не более 4–5, расстояние между полками 150–200 мм, эффективность десорбции свободной углекислоты – 96–97 %. Суммарная площадь отверстий в перегородке 5–15 % ее общей площади.

В вакуумно-эжекционных аппаратах (рисунок 3.2) десорбция растворенных в воде газов происходит в результате резкого понижения давления. В вакуумной камере за счет большой скорости движения воды, где происходит ее мгновенное вскипание, сопровождается десорбцией растворенных газов. Эти аппараты показали высокую эффективность десорбции газов в технологии обезжелезвания, деманганации, умягчения и обессоливания воды.

Вакуумные дегазаторы (рисунок 3.3) применяются при необходимости одновременного удаления углекислоты (CO_2) и кислорода (O_2) или только кислорода.

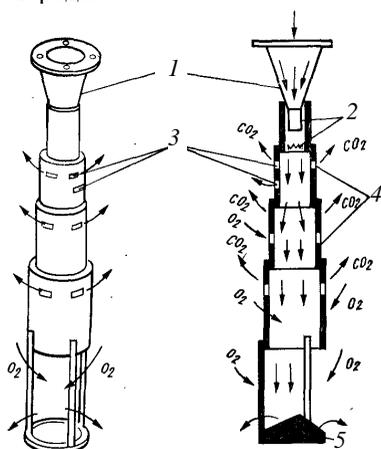


Рисунок 3.2 – Вакуумно-эжекционный дегазатор:

- 1 – конически сходящийся насадок;
- 2 – вакуумная камера; 3 – окна для подсоса воздуха; 4 – эжекционная камера;
- 5 – отражательная пластина

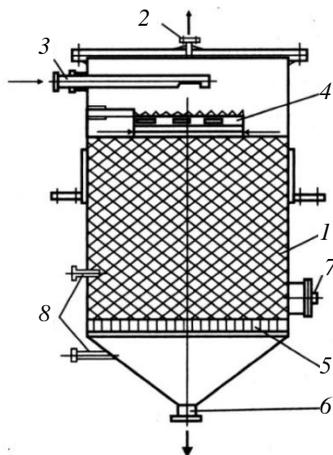


Рисунок 3.3 – Вакуумный дегазатор:
 1 – насадка из керамических колец Рашига;
 2 – патрубок для отсоса газов; 3 – подвод воды; 4 – распределительная тарелка с отверстиями; 5 – дырчатое днище; 6 – отвод дегазированной воды; 7 – люк; 8 – патрубок для водомерного стекла

Вакуумные дегазаторы выполняются стальными, круглыми в плане с корпусным днищем. Контактные насадки внутри аппарата располагаются на дырчатом листе с отверстиями 15–20 мм или решетке. Вода подается в дегазатор устройством, обеспечивающим тонкое и равномерное распределение ее по поверхности насадки, в качестве которой чаще всего применяются кольца Рашига. Для наблюдения за уровнем воды в дегазаторе установлено водомерное стекло. Парогазовая смесь отводится из дегазатора вакуумным устройством, в качестве которого могут быть использованы вакуумные насосы или

паровые или водоструйные эжекторы. Наиболее полная дегазация воды достигается разбрызгиванием воды в вакууме с одновременным подогревом.

В теплоэнергетике на ТЭС, ТЭЦ и АЭС широко применяется термическая деаэрация, при которой из воды удаляются все растворенные в ней газы. Процесс термической деаэрации состоит из нагрева воды до кипения, диффузии растворенных в воде газов и десорбции их в дегазаторах (деаэраторах). В зависимости от рабочего давления применяются дегазаторы:

- атмосферные (ДА, $p = 120$ кПа);
- вакуумные (ДВ, $p = 7,5 \dots 50$ кПа);
- повышенного давления (ДП, $p = 600 \dots 700$ кПа).

На железнодорожном транспорте атмосферные деаэраторы (рисунок 3.4) применяются в котельных производительностью пара до 100 т/ч, вакуумные деаэраторы применяют там, где нет пара (водогрейные котельные, тепловые сети, горячее водоснабжение).

В термических деаэраторах большая часть газов выделяется в виде пузырьков, меньшая – за счет диффузии и десорбции. Процесс интенсифицируется с увеличением температуры.

Частичное выделение газов происходит на верхней и промежуточной тарелках. На барботажном листе вода подогревается до рабочей температуры и удаляются газы, оставшиеся после струйной деаэрации.

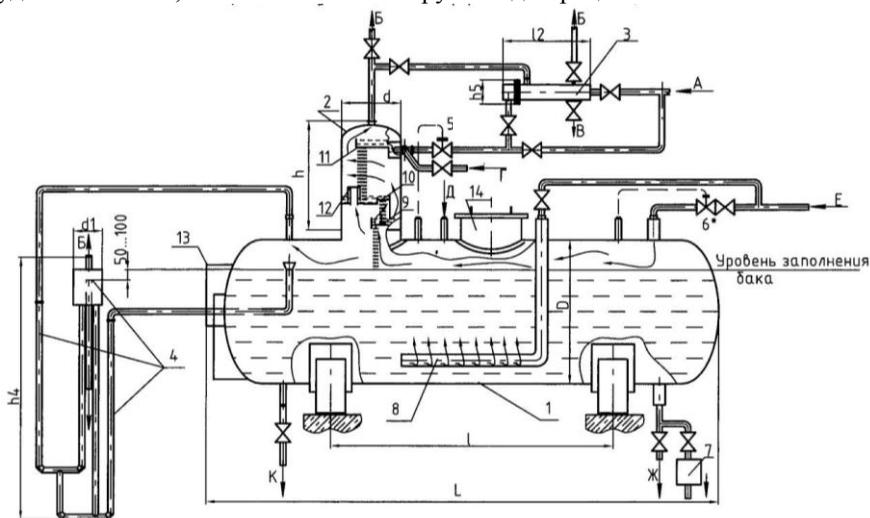


Рисунок 3.4 – Схема деаэрационной установки атмосферного давления типа ДА:
 1 – бак деаэраторный; 2 – колонка деаэрационная; 3 – охладитель выпара; 4 – устройство предохранительное; 5 – регулятор уровня; 6 – регулятор давления; 7 – холодильник отбора проб; 8 – барботажное устройство; 9 – барботажная тарелка; 10 – перепускная тарелка; 11 – верхняя тарелка; 12 – пароперепускное устройство; 13 – указатель уровня; 14 – люк-лаз

При термической деаэрации эффективность удаления свободной углекислоты значительно ниже, чем кислорода, так как термическое разложение бикарбонатов HCO_3 начинается после практически полного удаления из воды свободной углекислоты. Выделяющуюся при этом углекислоту надо отводить. Этот процесс и определяет глубину декарбонизации.

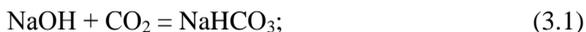
В деаэраторах атмосферного типа (ДА) температура воды в баке составляет около $104\text{ }^\circ\text{C}$. Это осложняет подбор насосов из-за снижения их допустимой высоты всасывания и возможности появления кавитации. Для надежной работы насосов нужен подпор 6–8 м, что требует увеличения высоты помещения или вызывает необходимость размещения баков за пределами зданий.

В вакуумных термических деаэраторах применение пара не обязательно. Они могут работать на перегретой воде. Температура воды перед вакуумными деаэраторами может быть $35\text{--}60\text{ }^\circ\text{C}$, что существенно упрощает подбор насосов для деаэрированной воды и создает ряд других преимуществ в эксплуатации. Перегретая вода вскипает, образуя пар, который проходит через барботажный лист и далее через зону струйной аэрации, десорбируя растворенный в воде газ. Парогазовая смесь отсасывается вакуумной системой через устройства для удаления выпара.

3.1.3 Химические методы

Химические способы дегазации воды применяются для глубокого удаления кислорода после термической деаэрации, сероводорода, а также удаления углекислоты.

Удаление агрессивной углекислоты в процессах стабилизационной обработки воды при отрицательном индексе стабильности может быть достигнуто реагентным методом с применением гидроксида натрия (NaOH), соды (Na_2CO_3), извести (CaO), мела или мраморной крошки с содержащимся в ней CaCO_3 . При этом происходят следующие реакции:



Доза реагентов определяется в зависимости от требуемого технологического эффекта обработки.

Удаление растворенного кислорода

Для химического обескислороживания воды применяются *сульфит натрия, сернистый газ, тиосульфат натрия, гидразин*.

При введении в воду сульфит натрия окисляется растворенным кислородом до сульфата натрия:



При добавлении в воду сернистый газ вступает в реакцию с бикарбонатом кальция с образованием сульфита кальция, который затем растворенным в воде кислородом окисляется в сульфат кальция.

Если добавить в воду гидросульфит $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ или тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, они окисляются растворенным в воде кислородом до сульфата натрия, при этом плотный остаток воды повышается на меньшую величину, чем при введении в воду сульфита натрия.

Реакция окисления сульфитов и тиосульфатов растворенным в воде кислородом при обычных температурах идет медленно и при температуре воды ниже 5°C и 10%-м избытке восстановителя заканчивается лишь через 3–4 ч [5]. Скорость этого процесса может быть значительно увеличена подогревом воды и введением избытка восстановителя или катализатора.

Повышение температуры воды на 10°C увеличивает почти в 2 раза скорость реакции. При введении сульфитов в воду, нагретую до температуры $95\text{--}100^\circ\text{C}$, процесс обескислороживания воды заканчивается через 1–2 мин даже при минимальном, против стехиометрического, избытке (5 %) сульфита. Увеличение дозы сульфита вдвое, против стехиометрической, увеличивает скорость процесса обескислороживания воды в 4 раза [5].

Хорошими катализаторами процесса обескислороживания воды сульфитом натрия, сернистым газом, гидросульфитом и тиосульфатом натрия являются *соли меди и кобальта*, а также *окисды марганца*.

Необходимая доза сульфита натрия или сернистого газа α , мг/дм^3 , рассчитывается по формуле

$$\alpha = 1,1\beta[\text{O}_2], \quad (3.6)$$

где β – теоретический расход реагента на связывание 1 мг растворенного кислорода, мг;

$[\text{O}_2]$ – концентрация растворенного в воде кислорода, мг/дм^3 .

Весьма эффективным для обескислороживания воды является *гидразин* N_2H_4 . При введении в воду гидразин окисляется растворенным в ней кислородом с образованием инертного газа (азота) и воды:



На связывание 1 мг O_2 теоретически расходуется 1 мг гидразина, однако обычно его дозируют в полуторном избытке.

На станции гидразин доставляется в виде 35%-го водного раствора гидразингидрата (раствор более высокой концентрации огнеопасен).

Дозируется гидразин в обрабатываемую воду в виде 0,5–1%-го раствора, имеющего щелочную реакцию ($\text{pH} > 9$). По сравнению с сульфитом натрия гидразин не увеличивает плотный остаток и его расход по весу в 8 раз меньше.

Реакция связывания гидразином растворенного в воде кислорода при температуре воды 80–100 °С идет очень быстро [5]. Поэтому гидразин особенно хорошо зарекомендовал себя при дообескислороживании воды, подвергнутой предварительно термической деаэрации.

При температуре воды ниже 50 °С процесс обескислороживания идет медленно. Для ускорения процесса применяются катализаторы (*оксиды марганца, меди, кобальта*).

Удаление растворенного кислорода может быть также достигнуто фильтрованием воды через электронообменные и электроноионообменные смолы, а также стальную стружку.

К химическим методам относится получивший довольно широкое распространение метод обескислороживания воды с помощью *сталестружечных фильтров*. Железостружечные фильтры рассчитывают на время контакта, которое зависит от температуры и должно быть не менее 25 мин. Скорость фильтрации принимается 25–100 м/ч, расход стружек – 5 кг на 1 кг удаляемого кислорода.

Обрабатываемая вода фильтруется через слой стальных стружек, при этом кислород связывается по реакции



Продолжительность контакта стружек и воды, требуемая для обескислороживания, составляет 1,5–2 минуты. Стружки приходится периодически заменять (на 1 кг задерживаемого кислорода необходимо 5 кг стружек).

Учитывая, что насыпная масса стружек при их уплотнении близка к 1 т/м³, необходимый объем их, м³, определяется по формуле

$$V = 5 \cdot 10^{-6} Q [\text{O}_2] t, \quad (3.9)$$

где Q – расход обескислороживаемой воды, м³/ч;

$[\text{O}_2]$ – концентрация в воде растворенного кислорода, г/м³;

t – время работы фильтра за период между сменами стружек, ч.

Площадь поперечного сечения фильтра определяется по скорости фильтрования 25–100 м/ч так, чтобы при найденной высоте слоя стружек обеспечивалась продолжительность контакта воды с ними не менее 1,5 мин.

Во избежание загрязнения воды железом ее после сталестружечного фильтра желательнее фильтровать через слой песка.

Также для обескислороживания воды применяются *электронно-обменные (ЭО) и ионно-обменные (ИО) смолы*.

Восстановительная способность электронно-обменных смол составляет 12–45000 г/м³, ионно-обменных – 450–5000 г-экв/м³.

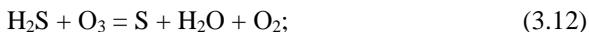
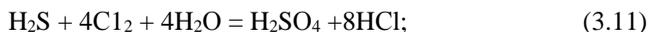
Регенерация истощенных смол осуществляется 1–2%-м раствором сульфита или тиосульфита натрия. Конструкция фильтров аналогична конструкции обычных водопроводных фильтров. Высота загрузки составляет 2 м, скорость фильтрации – 20 м/ч.

Удаление сероводорода химическим методом производится при его содержании в исходной воде до 10 мг/л.

Применяются сильные окислители: *хлор* (Cl₂), *гипохлорит натрия* (NaClO), *гипохлорит кальция* (CaClO), *озон* (O₃), *перекись водорода* (H₂O₂), *перманганат калия* (KMnO₄), *кислород* (O₂), *диоксид марганца* (MnO₂), а также *гидрооксид железа* (III).

В зависимости от вида и количества окислителей, вступающих в реакцию, сероводородные соединения могут быть окислены до свободной серы, тиосульфитов, сульфидов и сульфитов.

При использовании в качестве реагентов хлора (Cl₂), озона (O₃) и кислорода (O₂) процесс описывается следующими химическими реакциями:



На ход процесса оказывает влияние pH среды. Увеличение pH приводит к снижению окислительной способности реагентов по отношению к сероводороду.

3.2 Умягчение воды

3.2.1 Сущность процесса умягчения. Методы умягчения воды.

Умягчением называется удаление из воды ионов кальция и магния, обуславливающих жесткость воды.

Различают жесткость общую, карбонатную и некарбонатную.

Карбонатная жесткость (временная) обусловлена содержанием в воде гидрокарбонатов кальция и магния.

Некарбонатная жесткость (постоянная) обусловлена содержанием в воде кальциевых и магниевых солей серной, соляной и азотной кислот.

Численно общая жесткость, мг-экв/дм³, определяется суммарным содержанием катионов кальция и магния:

$$Ж_о = \frac{[Ca^{2+}]}{20,04} + \frac{[Mg^{2+}]}{12,6}, \quad (3.16)$$

где $[Ca^{2+}]$ – содержание ионов кальция в исходной воде, мг/дм³;

$[Mg^{2+}]$ – содержание ионов магния в исходной воде, мг/дм³;

20,04; 12,6 – молярные массы эквивалента ионов кальция и магния соответственно, г/экв.

Величина карбонатной жесткости $Ж_к$, мг-экв/дм³, определяется по формуле

$$Ж_к = \frac{[HCO_3^-]}{61,02}, \quad (3.17)$$

где $[HCO_3^-]$ – содержание бикарбонатов в исходной воде, мг/дм³;

61,02 – эквивалентная масса бикарбонатов, г/экв.

Некарбонатная жесткость, мг-экв/дм³,

$$Ж_{ок} = Ж_о - Ж_к. \quad (3.18)$$

В воде, используемой для подпитки паровых и водогрейных котлов, в процессах окрашивания тканей, фото- и кинопромышленности, охлаждающей воде промышленных установок необходимо обеспечить снижение жесткости до очень малых величин. Это связано с тем, что соли жесткости способны образовывать накипь при нагреве или связывать красители.

В воде для питьевых целей величина общей жесткости не должна превышать 7 мг-экв/л [19]. Поверхностные воды имеют в большинстве случаев жесткость, не превышающую нормативную. Для подземных вод ее величина варьируется чаще всего в пределах от 1,5 до 15,0 мг-экв/л [12].

Основными методами умягчения воды являются *термический, реагентный, ионный обмен и диализ* (таблица 3.1).

Метод умягчения воды выбирается на основании технико-экономических расчетов с учетом:

- качества исходной воды;
- требований к умягченной воде.

Для снижения карбонатной жесткости рекомендуется применять декарбонизацию известкованием или водород-катионитное умягчение с «головой» регенерацией катионита; для снижения карбонатной и некарбонатной жесткости – известково-содовый метод, натрий-катионитное или водород-натрий-катионитное умягчение [22].

Таблица 3.1 – Методы умягчения

Показатель	Методы умягчения			
	термический	реагентный	ионный обмен	диализ
Характеристика процесса	Вода нагревается до температуры выше 100 °С, при этом удаляется карбонатная и некарбонатная жесткость	В воду добавляют реагенты, которые связывают ионы кальция и магния в малорастворимые соединения	Умягчаемая вода пропускается через катионитовые фильтры	Вода фильтруется через полупроницаемые мембраны
Назначение метода	Устранения карбонатной жесткости из воды, употребляемой для питания котлов низкого и среднего давления	Неглубокое умягчение при одновременном освещении воды от взвешенных веществ	Глубокое умягчение воды, содержащей незначительное количество взвешенных веществ	Глубокое умягчение воды
Расход воды на собственные нужды	Нет	Не более 10 %	До 30 % пропорционально жесткости исходной воды	10 %
<i>Условия эффективного применения</i>				
Мутность исходной воды, мг/л	Не более 50	Не более 500	Не более 8	Не более 2
Жесткость исходной воды, мг-экв/л	Карбонатная жесткость с преобладанием Са(НСО ₃) ₂ , некарбонатная жесткость в виде гипса	От 5 до 30	Не более 15	Не более 10
Остаточная жесткость, мг-экв/л	Карбонатная жесткость до 0,035, СаSO ₄ до 0,70	Не более 0,7	0,03 – 0,05 при одноступенчатом, до 0,01 – при двухступенчатом катионировании	Не более 0,01
Температура воды, °С	Не более 270	Не более 90	До 30 (глауко-нит), до 60 (сульфоугли)	Не более 60

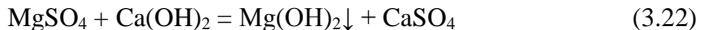
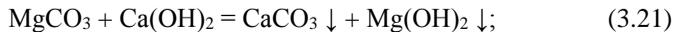
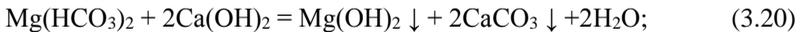
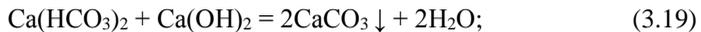
3.2.2 Реагентные методы

Реагентный метод умягчения заключается в связывании ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} химическими веществами в малорастворимые соединения: CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ и др.

В зависимости от применяемого реагента различают методы умягчения:

- известковый ($\text{Ca}(\text{OH})_2$);
- известково-содовый ($\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3$);
- содово-натриевый ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaOH}$);
- бариевый ($\text{Ba}(\text{OH})_2$, BaCO_3 , BaAl_2O_4);
- фосфатный (Na_3PO_4) и др.

Умягчение воды известкованием применяется при ее высокой карбонатной и низкой некарбонатной жесткости, а также в случае, когда не требуется удалять из воды соли некарбонатной жесткости. В качестве реагента используется известь в виде раствора или суспензии, подаваемого в предварительно подогретую обрабатываемую воду. При известковании воды протекают следующие реакции:



или в ионном виде:



Для ускорения удаления дисперсных и коллоидных примесей и снижения щелочности воды одновременно с известкованием применяется коагуляция этих примесей сульфатом железа (II) $\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$. Остаточная жесткость умягченной воды может быть получена на 0,4–0,8 мг-экв/л больше некарбонатной жесткости, а щелочность – на 0,8–1,2 мг-экв/л.

Доза извести, мг/л, при известковании определяется в зависимости от соотношения концентрации в воде ионов кальция и карбонатной жесткости:

- при соотношении $[\text{Ca}^{2+}] / 20 < \text{Ж}_к$

$$D_{\text{и}} = 28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + 2\text{Ж}_к - \frac{[\text{Ca}^{2+}]}{20} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} + 0,5 \right), \quad (3.24)$$

- при соотношении $[\text{Ca}^{2+}] / 20 < \text{Ж}_к$

$$D_{\text{и}} = 28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + J_{\text{к}} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} + 0,3 \right), \quad (3.25)$$

где $[\text{CO}_2]$ – концентрация в воде свободного диоксида углерода, мг/л;

$J_{\text{к}}$ – карбонатная жесткость воды, мг-экв/л;

$[\text{Ca}^{2+}]$ – концентрация ионов кальция, мг/л;

$D_{\text{к}}$ – доза коагулянта (FeSO_4 или FeCl_3 в пересчете на безводные продукты), мг/л;

$e_{\text{к}}$ – эквивалентная масса активного вещества коагулянта, мг-экв/л (для FeSO_4 $e_{\text{к}} = 76$, для FeCl_3 $e_{\text{к}} = 54$);

0,5 и 0,3 – избыток извести для обеспечения большей полноты реакции, мг-экв/л.

Выражение $D_{\text{к}}/e_{\text{к}}$ принимается со знаком минус, если коагулянт вводится раньше извести, и со знаком плюс, если совместно или после.

При отсутствии экспериментальных данных доза коагулянта может определяться по формуле

$$D_{\text{к}} = 3C^{1/3}, \quad (3.26)$$

где C – количество взвешенных веществ, образующихся при умягчении воды (в пересчете на сухое вещество), мг/л, определяется по формуле

$$C = M_{\text{и}} + 50 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + 2J_{\text{к}} \right) + 29 \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} + D_{\text{и}} \left(\frac{100-m}{100} \right), \quad (3.27)$$

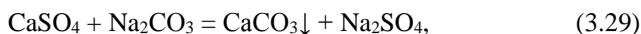
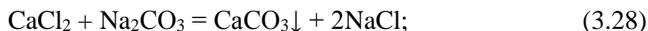
где $M_{\text{и}}$ – содержание взвешенных веществ в исходной воде, мг/л;

m – содержание CaO в товарной извести, %.

Известково-содовый метод умягчения воды является наиболее распространенным. Сущность метода заключается во введении в воду извести и соды. Известь устраняет карбонатную жесткость, обусловленную наличием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, за счет образования гидроксида магния и карбоната кальция, а магниевую жесткость (часть некарбонатной жесткости, обусловленной наличием солей магния) переводит в кальциевую жесткость.

Реакции, протекающие при обработке воды известью, аналогичны протекающим при известковом методе (формулы (3.25)–(3.29)).

Сода устраняет некарбонатную (кальциевую) жесткость воды благодаря образованию осадка карбоната кальция. Реакции, протекающие при обработке воды содой:



или в ионном виде:



По этому методу остаточная жесткость может быть доведена до 0,5–1,0 мг-экв/дм³.

Дозы извести и соды, мг/л, (в пересчете на Na₂CO₃) при известково-содовом умягчении определяются по формулам

$$D_{\text{и}} = 28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + \text{Ж}_{\text{к}} - \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} + 0,5 \right); \quad (3.31)$$

$$D_{\text{с}} = 53 \left(\text{Ж}_{\text{нк}} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} + 1,0 \right), \quad (3.32)$$

где [Mg²⁺] – концентрация ионов магния, мг/л;

Ж_{нк} – некарбонатная жесткость воды, мг-экв/л.

При отсутствии экспериментальных данных доза коагулянта может определяться по формуле (3.37). Количество взвешенных веществ, мг/л, образующихся при умягчении воды (в пересчете на сухое вещество), определяется по формуле

$$C = M_{\text{и}} + 50 \left(\text{Ж}_0 + \text{Ж}_{\text{к}} \frac{[\text{CO}_2]}{22} + 0,5 \right) + 29 \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} + D_{\text{и}} \left(\frac{100-m}{100} \right), \quad (3.33)$$

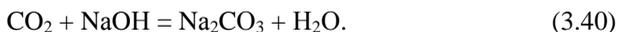
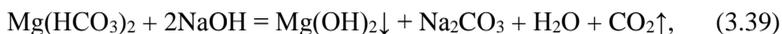
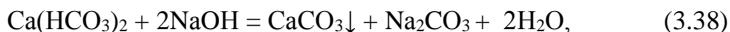
где Ж₀ – общая жесткость воды, мг-экв/л.

Наличие в воде органических примесей усложняет процесс умягчения, поэтому воду предварительно коагулируют.

Контроль процесса умягчения воды осуществляется коррекцией pH умягченной воды или по значению гидрокарбонатной щелочности, которая при декарбонизации поддерживается в пределах от 0,1 до 0,2 мг-экв/л, а при известково-содовом умягчении – от 0,3 до 0,5 мг-экв/л.

При известковом и известково-содовом умягчении воды известь применяется в виде известкового молока. При суточном расходе извести менее 0,25 т (в расчете на СаО) известь допускается вводить в умягчаемую воду в виде насыщенного известкового раствора, получаемого в сатураторах. При расходах более 0,25 т для приготовления известкового молока применяются механизированные установки, включающие бункер для приготовления извести, дробилки, известегасильное устройство, баки для известкового молока с мешалками.

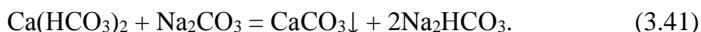
При *содово-натриевом* методе умягчения вода обрабатывается содой и гидроксидом натрия:



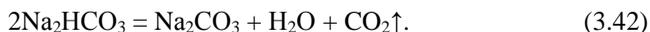
С учетом того, что сода образуется при реакции гидроксида натрия с гидрокарбонатом, необходимая для добавки в воду доза ее значительно уменьшается. При высокой концентрации гидрокарбонатов в воде и низкой некарбонатной жесткости избыток соды может оставаться в умягченной воде. Поэтому содово-натриевый метод применяется когда карбонатная жесткость больше некарбонатной.

Если карбонатная жесткость приблизительно равна некарбонатной, соду можно совсем не добавлять, поскольку необходимое ее количество для умягчения такой воды образуется в результате взаимодействия гидрокарбонатов с гидроксидом натрия. Доза соды увеличивается по мере повышения некарбонатной жесткости воды.

Содореагеративный метод, основанный на возобновлении соды в процессе умягчения, применяется при подготовке воды, для питания паровых котлов низкого давления:



Гидрокарбонат натрия, попадая в котел с умягченной водой, разлагается под влиянием высокой температуры:

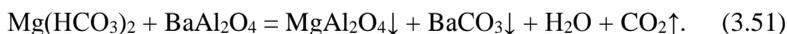
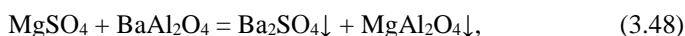
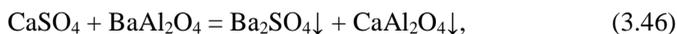
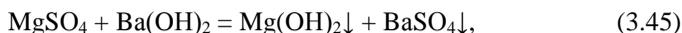
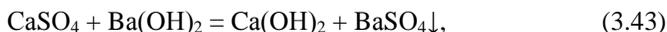


Образующаяся при этом сода вместе с избыточной, введенной вначале в водоумягчитель, тут же в котле гидролизует с образованием гидроксида натрия и оксида углерода (IV), который с продувочной водой поступает в водоумягчитель, где используется для удаления из умягчаемой воды гидрокарбонатов кальция и магния.

Область применения метода ограничивается высокой стоимостью гидроксида натрия и образованием в процессе обработки воды значительного

количества свободной углекислоты, вызывающей коррозию металла и повышение сухого остатка

Бариевый метод умягчения воды применяется в сочетании с другими методами. Вначале в воду вводятся *барийсодержащие реагенты* ($\text{Ba}(\text{OH})_2$, BaCO_3 , BaAl_2O_4) для устранения сульфатной жесткости, затем после осветления вода обрабатывается известью и содой для доумягчения.



Из-за высокой стоимости реагентов бариевый метод применяется очень редко.

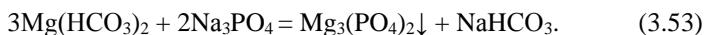
Для подготовки питьевой воды из-за токсичности бариевых реагентов он непригоден. Образующийся сульфат бария осаждается очень медленно, поэтому необходимы отстойники или осветлители больших размеров. Для ввода BaCO_3 применяются флокуляторы с механическими мешалками, поскольку BaCO_3 образует тяжелую, быстро осаждающуюся суспензию.

Фосфатирование применяется для доумягчения воды после известково-содового умягчения. В качестве фосфатных реагентов применяются *гексаметафосфат, триполифосфат (ортофосфат) натрия, тринатрийфосфат*.

Фосфатированием достигается также большая стабильность воды, снижение ее коррозионного действия на металлические трубопроводы и предупреждаются отложения карбонатов на внутренней поверхности стенок труб.

Наиболее глубокий эффект достигается при подогреве воды в пределах температур 105–150 °С.

Процесс умягчения воды *тринатрийфосфатом* (Na_3PO_4) описывается следующими реакциями:



Сущность метода заключается в образовании кальциевых и магниевых солей фосфорной кислоты, которые обладают малой растворимостью в воде и поэтому достаточно полно выпадают в осадок.

Из-за высокой стоимости тринатрийфосфата фосфатный метод обычно используется для доумягчения воды, предварительно умягченной известью и содой.

Доза безводного тринатрийфосфата, мг/л, для доумягчения определяется по формуле

$$D_{\text{ф}} = 54,67 (J_{\text{ост}} + 0,18), \quad (3.54)$$

где $J_{\text{ост}}$ – остаточная жесткость умягченной воды перед фосфатным доумягчением, мг-экв/л.

Образующиеся при фосфатном умягчении осадки $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ и $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ хорошо адсорбируют из умягченной воды органические коллоиды и кремниевую кислоту, свидетельствует о целесообразности применения этого метода для подготовки питательной воды для котлов среднего и высокого давления (58,8–98,0 МПа).

Раствор для дозирования гексаметафосфата или ортофосфата натрия с концентрацией 0,5–3,0 % приготавливается в баках, количество которых должно быть не менее двух. Внутренние поверхности стенок и дна баков должны быть покрыты коррозионностойким материалом. Время приготовления 3%-го раствора составляет 3 ч при обязательном перемешивании.

Схемы реагентного умягчения.

Проектирование сооружений реагентной обработки воды ведется в соответствии с требованиями СН [22].

Основные элементы установок реагентного умягчения воды:

- оборудование для приготовления и дозирования реагентов;
- смесители;
- вихревые реакторы;
- тонкослойные отстойники или осветлители;
- фильтры;
- установки для стабилизационной обработки воды.

В зависимости от показателей качества воды возможны два варианта схем умягчения:

- с вихревыми реакторами;
- с осветлителями со взвешенным осадком.

Схема с вихревым реактором (рисунок 3.5) применяется при содержании взвешенных веществ в исходной воде до 10 мг/л, содержании магния до 15 мг/л и окисляемости до 10 мгО₂/л.

Исходная вода подогревается в теплообменнике и подается тангенциально в нижнюю часть реактора. Туда же тангенциально подаются известь и сода.

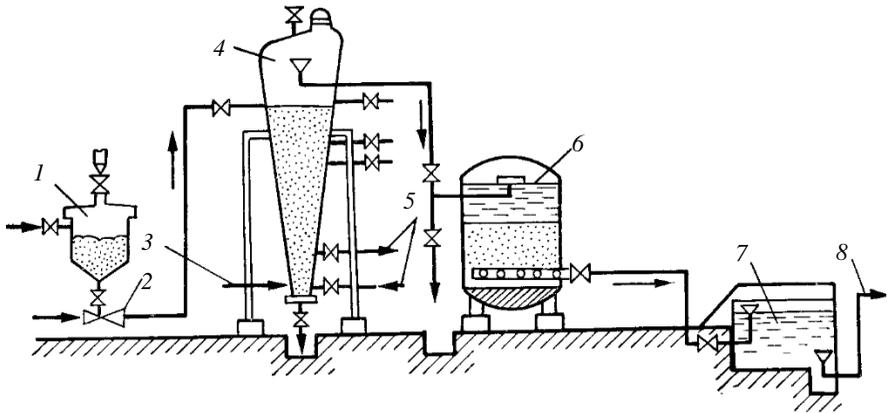


Рисунок 3.5 – Схема реагентного умягчения воды с применением вихревого реактора:

- 1 – бункер с контактной массой; 2 – эжектор; 3, 8 – подача исходной и отвод умягченной воды; 4 – вихревой реактор; 5 – ввод реагентов; 6 – скорый осветлительный фильтр; 7 – резервуар умягченной воды; 9 – сброс контактной массы;

Реактор представляет собой конический аппарат, в котором создается вращающийся вихревой поток воды с реагентами.

При проектировании вихревых реакторов принимается:

- скорость входа воды в реактор – 0,8–1,0 м/с;
- скорость восходящего потока на уровне отводящей трубы – 2,0–6,0 мм/с;
- продолжительность пребывания воды в реакторе – 10–15 мин;
- угол конусности – 15–20°.

В верхнюю часть конуса из бункера подается свежая контактная масса, которая представляет собой зерна дробленного мрамора или песка крупностью 0,2–0,3 мм. Количество контактной массы принимается из расчета 10 кг на 1 м³ объема реактора.

Контактная масса находится во взвешенном состоянии в восходящем потоке воды. На поверхности зерен происходит кристаллизация карбоната кальция, зерна растут в размерах, опускаются ниже и выгружаются из нижней части аппарата.

Объем контактной массы, кг/сут, добавляемой с помощью эжектора, определяется по формуле

$$G = 0,045QЖ, \quad (3.55)$$

где Ж – удаляемая в реакторе жесткость воды, мг-экв/л;

Q – производительность установки, м³/ч.

Выгрузка и догрузка осуществляются периодически через 3–4 дня. В реакторе не задерживаются взвешенные вещества и хлопья гидроксида магния,

которые проходят далее и удаляются в скором фильтре. Скорые фильтры в схемах умягчения обычно называют механическими.

Для загрузки механических фильтров используется дробленый мрамор, или антрацит, поскольку кварцевый песок при высоких рН постепенно растворяется в воде и загрязняет ее кремнекислотой.

В практике очистки воды схемы с вихревыми реакторами встречаются редко.

Схема с осветлителем со взвешенным осадком (рисунок 3.6) является наиболее распространенной в практике схемой реагентного умягчения.

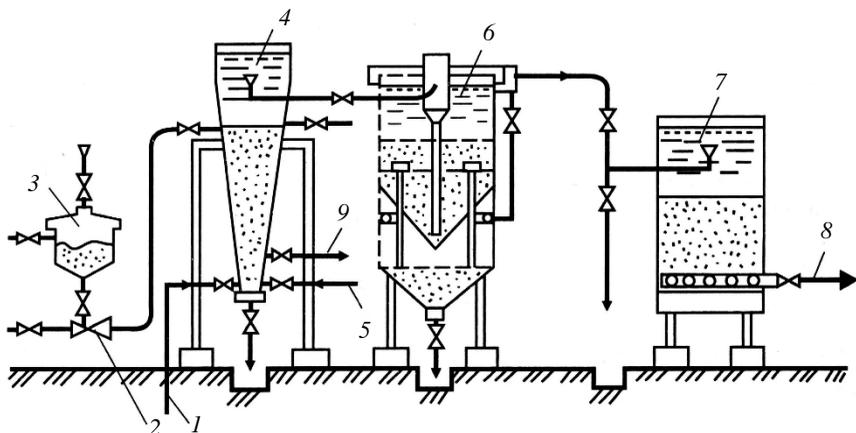


Рисунок 3.6 – Схема реагентного умягчения с применением осветлителей со взвешенным осадком:

1 – подача исходной воды; 2 – эжектор; 3 – бункер с контактной массой; 4 – вихревой реактор; 5 – ввод реагентов; 6 – осветлитель со слоем взвешенного осадка; 7 – осветлительный скорый фильтр; 8 – отвод умягченной воды; 9 – сброс контактной массы

Исходная вода подогревается до 25–40 °С в теплообменнике и поступает в воздухоотделитель, где из воды выделяются пузырьки воздуха, которые могут в осветлителе вызвать флотацию взвешенного слоя. Далее вода опускается вниз и через сопло (или сопла) тангенциально подается в осветлитель. Также в осветлитель тангенциально подаются реагенты. Нижняя часть осветлителя служит вихревым смесителем.

В восходящем потоке воды образуются хлопья карбоната кальция, гидроксида магния и коагулянта, а также взвешенных веществ. При этом гидроксид магния образует легкие хлопья, которые группируются в верхней части взвешенного слоя. Поэтому нежелательно наличие более 10 % $Mg(OH)_2$ в

осадке при умягчении. Соли жесткости из вновь поступающей воды выделяются на поверхности ранее образовавшихся хлопьев.

Высота взвешенного слоя регулируется принудительным отсосом шлама в шламоуплотнитель. Объем шламоуплотнителя рассчитывается на 3–6-часовой объем шлама.

Скорость восходящего потока в зоне осветления поддерживается в пределах 1,3–1,6 мм/с.

Для равномерного распределения воды по поперечному сечению осветлителя предусматривается дырчатое днище.

Содержание взвешенных веществ в исходной воде более 800 мг/л нежелательно, продувка должна находиться в пределах 1,5–3,0 % от расхода воды. Содержание взвешенных веществ после осветлителя принимается 5–15 мг/л.

Типовые осветлители ВТИ имеют диаметры от 4,25 м (ВТИ 63-И) до 18 м (ВТИ 1000-И) и производительность от 63 до 1000 м³/ч. Осветлители ЦНИИ имеют диаметры от 3,37 м (ЦНИИ-1А) до 12,5 м (ЦНИИ-3-1) и производительность от 30 до 450 м³/ч.

Для осветления воды, прошедшей через вихревые реакторы или осветлители, применяются механические фильтры, загружаемые песком или дробленым антрацитом с крупностью зерен 0,5–1,25 мм и коэффициентом неоднородности 2,0–2,2. Высота слоя загрузки принимается 0,8–1,0 м, скорость фильтрования – до 6 м/ч. Напорные осветлительные фильтры выпускаются под маркой ФОВ (фильтры осветлительные вертикальные) или ФОГ (горизонтальные). Допускается применение двухслойных фильтров. Фильтры должны быть оборудованы устройствами для верхней промывки.

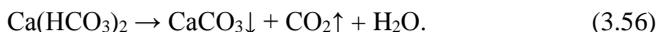
Если вода, поступающая на установки реагентного умягчения, имеет окисляемость более 15 мгО₂/л, необходимо ее снижение путем коагуляции сульфатом аммония или обработкой хлором. Органические вещества, обуславливающие окисляемость, препятствуют выделению из воды карбоната кальция и гидроксида магния. Образуются мелкие, практически не оседающие частицы этих солей. Доза Al₂(SO₄)₃ принимается из расчета 0,12 мг-экв на 1 мг удаляемой окисляемости. Возможно разрушение органических веществ путем перехлорирования воды дозами 5–20 мг/л и поддержание остаточного хлора не более 1 мг/л. Остаточная окисляемость после коагуляции и фильтрования находится в пределах 30–40 % от исходной.

Реагентные методы не позволяют получить глубоко умягченную воду. Поэтому на промышленных предприятиях с повышенными требованиями к качеству воды обычно применяются сложные схемы, в которых на первом этапе обработки воды производится осаждение и фильтрование (предочистка), а окончательное умягчение осуществляют методом ионного обмена (химводоочистка).

3.2.3 Термический и термохимический методы

Термический метод умягчения воды целесообразно применять при использовании карбонатных вод, идущих на питание котлов низкого давления, а также в других случаях, предусматривающих утилизацию теплоты, затраченную на нагревание обрабатываемой воды, в том числе в сочетании с реагентными методами умягчения воды.

При нагревании воды углекислотное равновесие смещается в сторону образования карбоната кальция:



Смещение равновесия происходит за счет понижения растворимости CO_2 , вызываемого повышением температуры и давления.

При кипячении значительно снижается жесткость, обусловленная гидрокарбонатом кальция, а с увеличением продолжительности кипячения – и гидрокарбонатом магния:



Кипячением воды попутно снижается жесткость, обусловленная наличием сульфата кальция CaSO_4 , растворимость которого при температуре 100°C падает до $0,65$ г/л.

Для термического умягчения воды применяются термоумягчители. Время пребывания воды в термоумягчителе составляет $30\text{--}45$ мин, скорость восходящего потока воды во взвешенном слое – $7\text{--}10$ м/ч, а скорость движения в отверстиях дна – $0,1\text{--}0,25$ м/с.

Если одновременно с нагревом в воду добавляют реагенты, то метод называется **термохимическим умягчением воды**.

Термохимические методы умягчения воды применяются, как правило, при подготовке питательной воды паровых котлов и подпиточной воды систем теплоснабжения и горячего водоснабжения, а также в других случаях, предусматривающих утилизацию теплоты, затраченную на нагревание обрабатываемой воды.

Более интенсивному умягчению воды при ее подогреве способствует образование тяжелых и крупных хлопьев осадка, быстрее его осаждение вследствие снижения вязкости воды при нагревании, сокращается также расход извести, так как свободный оксид углерода (IV) удаляется при подогреве до введения реагентов.

Термохимический метод применяют с добавлением коагулянта и без него, поскольку большая плотность осадка исключает необходимость в его

утяжелении при осаждении. Помимо коагулянта используют известь и соду с добавкой фосфатов, реже – гидроксид натрия и соду.

Применение гидроксида натрия вместо извести несколько упрощает технологию приготовления и дозирования реагента, однако экономически такая замена не оправдана в связи с его высокой стоимостью.

Для обеспечения удаления некарбонатной жесткости воды соду добавляют с избытком.

Термохимическое умягчение позволяет проводить более глубокое удаление ионов жесткости и требует меньших доз реагентов. Чтобы избежать большого количества шлама, при продувке которого будет теряться тепло, воду целесообразно вначале подвергнуть обычному известково-содовому умягчению и затем направлять на термохимическое умягчение. При этом в воду лучше добавлять тринатрийфосфат Na_3PO_4 или динатрийфосфат Na_2HPO_4 , поскольку фосфаты кальция и магния обладают значительно меньшей растворимостью, чем CaCO_3 и $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

При фосфатировании можно достичь остаточной жесткости 0,05 мг-экв/л, а при добавлении извести и соды – 0,2–0,3 мг-экв/л.

Процесс доумягчения ведется при температуре 120–165 °С, реагенты добавляются с избытком на 10–20 % по сравнению с расчетными дозами.

Процесс термохимического умягчения проводится при давлении до 0,5–0,6 МПа. В верхней части *термоумягчителя* происходит нагревание воды, выделение из нее растворенных газов, протекает термический распад бикарбонатов и смешение воды с реагентами (рисунок 3.7). Также в воду добавляется ранее образовавшийся шлам, который циркулирует с помощью насоса. На поверхности частиц шлама происходит доумягчение.

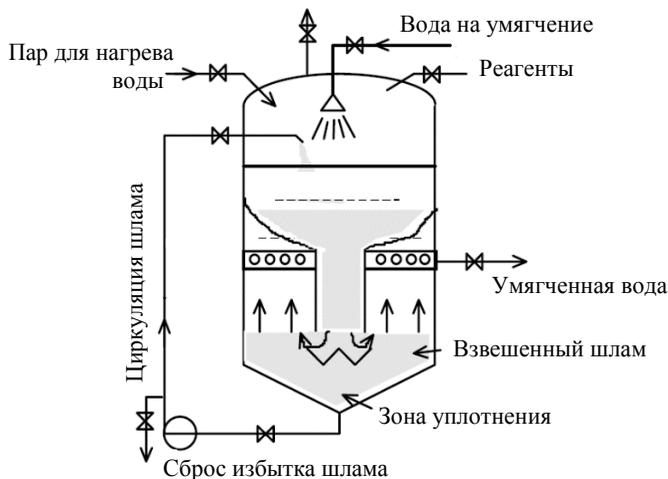


Рисунок 3.7 – Схема аппарата для термохимического умягчения

Осадок, образующийся при умягчении с высоким подогревом, имеет более тяжелые и крупные хлопья, быстрее осажается и требует добавки коагулянта. В нижней части происходит образование взвешенного слоя и уплотнение шлама. Вода проходит взвешенный слой, осветляется и отводится через кольцевую дырчатую трубу.

Основными проблемами при термохимическом умягчении являются потери тепла и обрастание поверхностей накипью. Поэтому снаружи аппарат и трубопроводы покрываются теплоизоляцией.

Аппараты изготавливаются из обычной стали, добавление реагентов смещает рН до 10,5–11,0 и коррозионность резко снижается. К тому же фосфаты являются ингибиторами коррозии.

Известково-доломитовый метод применяется для одновременного умягчения и обескремнивания воды при температуре 120 °С.

Щелочность воды, обработанной известью или известью и содой (без избытка), может быть снижена:

– до 0,3 мг-экв/дм³ – при остаточной концентрации кальция 1,5 мг-экв/дм³;

– 0,5 мг-экв/дм³ – при остаточной концентрации кальция 0,4 мг-экв/дм³.

Исходная вода обрабатывается известково-доломитовым молоком и осветляется в напорном осветлителе. Затем она проходит через напорные антрацитовые и Na-катионитовые фильтры первой и второй ступеней. В осветлителях принимается:

– высота зоны осветления – 1,5 м;

– скорость восходящего потока при известковании – не более 2 мм/с;

– время пребывания воды в осветлителе от 0,75 до 1,5 ч в зависимости от вида удаляемого загрязнения.

В качестве коагулянта применяются *соли железа (III)* в количестве 0,4 мг-экв/дм³.

3.2.4 Ионный обмен

Обработка воды **методом ионного обмена** основана на пропуске обрабатываемой воды через фильтрующий слой ионообменного материала, практически нерастворимого в воде, но способного взаимодействовать с содержащимися в обрабатываемой воде ионами. Материалы, обладающие свойствами обменивать катионы, называются *катионитами*, а материалы, обладающие свойствами обменивать анионы – *анионитами*.

Поскольку жесткость воды определяют катионы кальция и магния, для умягчения используют катиониты.

Катионирование – процесс обработки воды методом ионного обмена, в результате которого происходит обмен катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ на ионы Na⁺ или H⁺, содержащиеся в катионите.

В различных процессах катионирования воды в качестве обменного катиона используются Na^+ , H^+ , NH_4^+ , формы катионита соответственно имеют названия: натрий-катионит, водород-катионит, аммоний-катионит.

Катиониты по составу делятся на минеральные и органические, которые в свою очередь могут иметь природное и искусственное происхождение (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Классификация катионитов

Минеральные		Органические	
природные	искусственные	природные	искусственные
Клиноптилолит; шабазит; глаукоцит; алюмосиликаты натрия, кальция, магния, железа, хрома	Сульфоуголь	Гумусовые и бурые угли, торф	KY-1, KY-2, КБ-4, Puro-lite NRW-100, Ambe-lite IR 120 Na, Бофатит С

Вследствие низких ионообменных показателей и малого срока службы природные материалы применяются редко.

Из минеральных катионитов, выпускаемых промышленностью, наибольшее применение имеет сульфоуголь, получаемый путем обработки серной кислотой каменного коксующегося угля. В технологии катионирования воды широко применяют органические материалы – ионообменные смолы, которые представляют собой специально синтезированные высокомолекулярные полимерные нерастворимые в воде соединения.

Выделяют ионообменные смолы:

- *гетеропористые* на дивинилбензоловой основе – характеризуются гетерогенным характером гелевидной структуры и небольшими размерами пор;
- *макропористые* – имеют губчатую структуру и поры свыше молекулярного размера;
- *изопористые* – имеют однородную структуру и полностью состоят из смолы, поэтому их обменная способность выше, чем у предыдущих смол.

К а ч е с т в о катионитов характеризуется:

- физическими свойствами;
- физической и термической стойкостью;
- рабочей и обменной емкостью.

Основной характеристикой катионита является обменная способность. Для количественной оценки обменной способности катионита введено понятие «**обменная емкость**», которая выражается в грамм-эквивалентах задержанных катионов на 1 м^3 катионита, находящегося в набухшем состоянии после пребывания в воде.

Различают полную и рабочую обменные емкости катионита.

Полной обменной емкостью катионита называется то количество грамм-эквивалентов катионов, которое задерживает 1 м³ катионита находящегося в рабочем состоянии до того момента, когда жесткость фильтрата сравняется с жесткостью исходной воды.

Рабочей обменной емкостью катионита называется то количество грамм-эквивалентов катионов, которое задерживает 1 м³ катионита до момента «проскока» катионов в фильтр.

Правильнее обменную емкость измерять в системе единиц СИ в моль/м³, но заводы-изготовители и действующие нормативные документы обычно указывают обменную емкость в г-экв/м³. Численное значение концентрации в моль/м³ равно численному значению в г-экв/м³.

Полная обменная емкость является основной (паспортной), характеристикой катионита. Величина рабочей обменной емкости зависит от условий работы катионита в фильтре, показателей качества обрабатываемой воды и характеристик реагентного раствора.

Важной характеристикой катионита является его **осмотическая стабильность**, показывающая процент восстановления обменной емкости при регенерациях истощенного ионита. Осмотическая стабильность в большой мере определяет срок службы катионита.

Качество катионита характеризуется и **термической стойкостью**, позволяющей фильтровать воду при высоких температурах, что важно при подготовке воды в теплоэнергетике. Лучшие марки катионитов допускают ионный обмен при максимальной рабочей температуре до 120 °С.

Размер зерен катионитов составляет у разных марок 0,4–1,6 мм. Мелкозернистый катионит, обладая более развитой поверхностью, имеет несколько большую обменную емкость, чем крупнозернистый. Однако с уменьшением зерен катионита гидравлическое сопротивление и расход электроэнергии на фильтрование воды увеличиваются. Оптимальными размерами зерен катионита, исходя из этих соображений, являются 0,3–1,5 мм. Рекомендуется применять катиониты с коэффициентом неоднородности K_n равным не более 2.

По форме катиониты представляют сферические зерна от желтого до коричневого цвета (КУ-2-8) или зерна неправильной формы черного цвета (сульфоуголь, КУ-1).

В воде катиониты набухают, но не растворяются. Увеличение объема катионита при замачивании характеризуется коэффициентом набухания, который достигает величины 1,33. Набухание катионита необходимо учитывать при загрузке сухого катионита в фильтры.

В таблице 3.3 приведены технические характеристики наиболее часто используемых марок катионитов.

Процессы катионирования всегда осуществляются в динамических условиях, то есть в процессе фильтрования воды, содержащей растворенные соли, через зернистый слой катионита. По мере фильтрования всё больше

обменных ионов в катионите замещаются ионами солей, поглощенных из воды, в результате обменная способность катионита снижается, происходит так называемое его истощение.

Таблица 3.3 – Технические характеристики катионитов

Марка катионита	Размер зерен, мм	Полная обменная емкость, г-экв/м ³	Насыпная масса товарного ионита, кг/м ³	Коэффициент набухания
Сульфуголь	0,3–1,5	600	650	1,25
КУ-1	0,4–2,0	1350	320	1,4
КУ-2-8	0,315–1,25	1900	750–800	1,33
<i>Porolit</i> NRW-100	0,3–1,2	1800	780–790	–
<i>Amberlite IR</i> 120 Na	0,4–1,25	2000	390	–
Вофатит С	0,3–1,5	1800	550	1,33
КБ-4	0,315–1,6	3500	600	–

Возможность регенерации катионита, то есть перевода его в исходную ионную форму, обуславливается обратимостью реакций ионного обмена. Для получения катионита в активной форме необходимо организовать контакт истощенного катионита с растворами соответствующих веществ.

Регенерация катионитовых фильтров состоит из последовательности операций:

- *взрыхление слоя катионита* восходящим потоком умягченной воды – проводится для повышения пористости загрузки с целью лучшего контакта зерен ионита с регенерационным раствором и для удаления мелких частиц взвеси;

- *восстановление обменной емкости катионита* проводится посредством фильтрования раствора реагента через ионит, отработанный раствор отводится в техническую канализацию;

- *отмывка* – через ионит пропускается сырая или частично умягченная вода для удаления из фильтра остатков раствора.

Регенерация длится около двух часов, из них:

- взрыхление – 10–15 мин;

- фильтрование регенерирующего раствора – 25–40 мин;

- отмывка – 30–60 мин.

От качества регенерации существенно зависит качество фильтрата и экономические показатели работы установки. Есть общий принцип ионного обмена: чем выше расход реагентов на регенерацию, тем более глубоко очищается вода и больше межрегенерационная продолжительность работы фильтра.

Водоумягчительные установки состоят из следующих основных элементов:

- катионитовых фильтров, по конструкции близких к конструкции осветлительных фильтров;
- баков с водой для взрыхления;
- сооружений и устройств для хранения, приготовления, дозирования и подачи регенерирующих растворов;
- насосного и воздуходувного оборудования.

Фильтры – основной элемент установок умягчения воды. Катионитовый фильтр выполняется напорным, представляет собой вертикальный однокамерный цилиндрический аппарат, состоящий из корпуса, нижнего и верхнего распределительных устройств, трубопроводов, запорной арматуры, пробоборников и фильтрующей загрузки. Корпус изготавливается сварным из листовой стали, с эллиптическими штампованными верхним и нижним днищами.

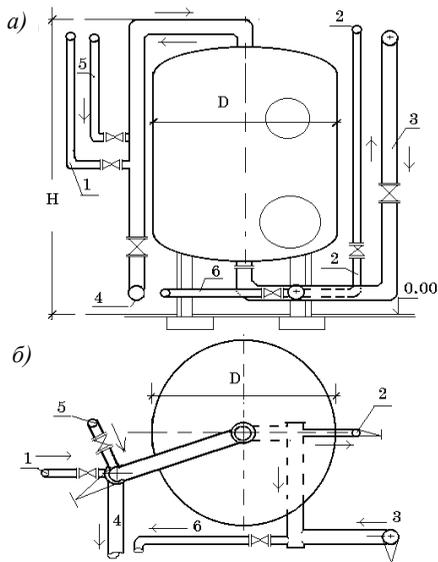
Нижнее распределительное устройство (дренаж) фильтра представляет собой трубчатую систему с дренажными колпачками из сополимера. Верхнее распределительное устройство, выполненное в виде перфорированного стакана, предназначено для подвода исходной воды, регенерационного раствора и отвода взрыхляющей воды.

В корпусе фильтра имеются люки для загрузки и выгрузки ионообменного материала, для осмотра и ремонта дренажа.

Конструкция натрий-катионитового фильтра (Na-фильтра) приведена на рисунке 3.8.

Рисунок 3.8 – Схема натрий-катионитового фильтра:

a – разрез; *б* – план; 1 – подвод обрабатываемой воды; 2 – выход умягченной воды; 3 – подвод воды на взрыхление фильтра; 4 – сброс взрыхляющей воды; 5 – подача раствора соли на регенерацию; 6 – сброс от мойки и регенерации; *H*, *D* – высота и диаметр фильтра



Конструкция водород-катионитового фильтра (H-фильтра) аналогична, но внутренняя поверхность его имеет кислотостойкую защиту.

В таблице 3.4 приведены основные характеристики Na-катионитовых фильтров различных диаметров.

Таблица 3.4 – Характеристики Na-катионитовых фильтров

Параметр	ФИПаI- 0,7-0,6- Na-2	ФИПаI- 1,0-0,6- Na-2	ФИПаII- 1,0-0,6- Na	ФИПаII- 1,4-0,6- Na	ФИПp- 0,7-0,6- Na	ФИПаI- 1,0-0,6- Na
Производительность, м ³ /ч	12	24	40	92	12	24
Рабочее давление воды, МПа	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Температура, °С, не более	40	40	40	40	40	40
Вместимость, м ³	1,1	2,5	1,75	3,4	1,1	2,2
Фильтрующая загрузка:						
– высота, м	2	2	1,5	1,5	2,1	2,1
– объем, м ³	0,77	1,57	1,2	2,3	0,81	1,65
– масса загрузки (катионит КУ-2-8), кг	575	1400	850	1630	700	1400
– масса загрузки (сульфуголь СК-1), кг	515	1050	810	1550	680	1330
Диаметр фильтра, мм	720	1020	1020	1424	720	1020
Высота, мм	3445	3610	3100	3120	3500	3900
Масса без загрузки, кг	570	910	950	1562	7860	1350

В маркировке фильтров, приведенных в таблице 3.4, приняты следующие обозначения: ФИП – фильтры ионитные параллельноточные; ФИПp – фильтры ионитные противоточные; aI – фильтры первой ступени; aII – второй ступени.

Сочетание символов 1,0-0,6-Na-1 обозначает соответственно диаметр фильтра, м; рабочее давление воды, МПа; предназначение для Na-катионирования; 1 – исполнение.

ФИПаI – фильтры натрий-катионитные первой ступени, предназначены для умягчения исходной воды. ФИПаII – фильтры натрий-катионитные второй ступени предназначены для улавливания проскоков жесткости в схемах глубокого умягчения. ФИПp – фильтры натрийкатионитные противоточные, предназначены для глубокого умягчения исходной воды без применения фильтров второй ступени.

Фильтры всех типов аналогичны, отличаются высотой корпуса и высотой слоя загрузки, а также конструкцией дренажа. Фильтры второй ступени рассчитаны на большую скорость фильтрования и, следовательно, на бóльшую производительность. Диаметры присоединительные трубопроводов приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Диаметры присоединительные трубопроводов

В миллиметрах

Назначение трубопровода	Фильтр	
	ФИПаI-1,0-0,6-Na-1	ФИПаI-1,4-0,6-Na-2
Подвод исходной и отмывочной воды	50	80
Подвод регенерационного раствора	50	50
Отвод взрыхляющей воды	50	80
Отвод обработанной воды	50	80
Подвод взрыхляющей воды	50	80
Отвод регенерационного раствора, отмывочной воды и первого фильтрата	50	80

Схемы катионирования воды весьма разнообразны, классификация схем может быть выполнена по разнообразным признакам.

По виду обменного катиона в реакции ионного обмена различают натрий-катионирование и водород-катионирование.

По числу последовательных однородных фильтров выделяют - одно-, двух- и многоступенчатое катионирование.

Краткая характеристика методов катионитового умягчения воды и условия их применения приведены в таблицах 3.6 и 3.7.

Таблица 3.6 – Условия эффективного применения схем катионирования

Схема катионирования	Условия эффективного применения			
	мутность исходной воды, г/м ³	общая жесткость исходной воды, мг-экв/л	предел возможного снижения жесткости, мг-экв/л	температура исходной воды, °С
Na-катионирование одноступенчатое (умягчаемая вода пропускается через Na-катионитовые фильтры)	Не более 8	До 15	0,05–0,1	При загрузке фильтров сульфугоглем: 30–40 – для слабощелочной воды; 60 – для нейтральной и слабокислой воды
Na-катионирование двухступенчатое (вода пропускается через Na-катионитовые фильтры I ступени, где жесткость снижается на 70–75 %, затем через Na-катионитовые фильтры II ступени)	То же	От 8–10 До 14	До 0,01	
H-Na-катионирование (вода пропускается через H- и Na-катионитовые фильтры, а затем оба потока смешиваются)	То же	До 14	См таблицу 3.7	при загрузке фильтров сульфугоглем – 30–40

Таблица 3.7 – Условия эффективного применения схем H-Na-катионирования

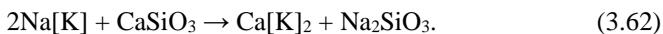
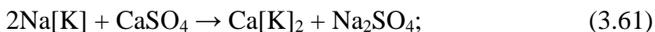
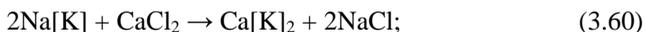
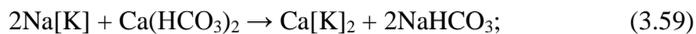
Схема H-Na-катионирования	Условия эффективного применения схемы				
	Ж _к /Ж _о , при определенном значении Ж _к	остаточная щелочность умягченной воды	остаточная жесткость умягченной воды	соле содержание в исходной воде, мг-экв/дм ³	
	мг-экв/дм ³			SO ₄ ²⁻	Na ⁺
Параллельное H-Na-катионирование с дегазацией	> 0,5, при Ж _к < 3,5	0,3–0,4	0,1	Менее 3–4	Не более 1–2
Параллельное H-Na-катионирование с дегазацией и доумягчением воды на Na-катионитовом фильтре второй ступени	–	0,4	0,01	Не более 4	Не более 2
Последовательное H-Na-катионирование с дегазацией	> 0,5, при Ж _к < 3,5	0,3-0,7	Снижается на величину, равную Ж _к . Ж _к остается неизменной	3–4	–
Последовательное H-Na-катионирование с «голодной» регенерацией	–	0,7	0,01	–	–

Выбор метода определяется:

- требованиями, предъявляемыми к качеству обработанной и исходной воды;
- условиями надежности, экономичности и минимального количества сбросов сточных вод в водные объекты.

Натрий-катионитовый метод применяется умягчения подземных вод и вод поверхностных источников с мутностью не более 5–8 мг/л и цветностью не более 30 град.

При применении Na-катионирования протекают следующие обменные реакции:



Аналогичные реакции протекают с соединениями магния.

Общая щелочность в процессе Na-катионирования не изменяется, происходит удаление только катионов жесткости Ca^{2+} , Mg^{2+} и обогащение воды ионами Na^+ . При одноступенчатом Na-катионировании общая жесткость воды может быть снижена в пределах от 0,05 до 0,1 г-эquiv/м³, при двухступенчатом – до 0,01 г-эquiv/м³.

Наиболее простой является схема одноступенчатой Na-катионитовой установки (рисунок 3.9). Вода, пройдя Na-катионитовые фильтры, отводится в сборный бак, откуда насосом подается потребителю. Регенерация загрузки Na-катионитовых фильтров осуществляется технической поваренной солью (5–8%-й раствор).

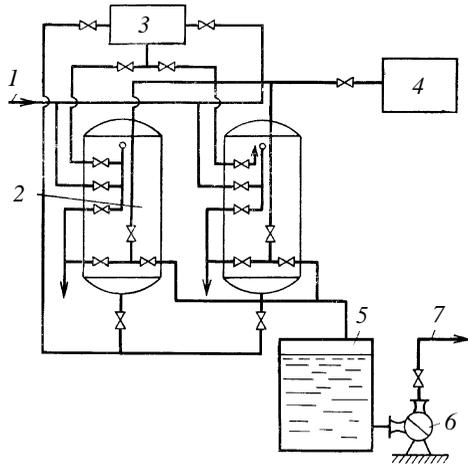


Рисунок 3.9 – Схема одноступенчатого натрий-катионирования воды:

- 1, 7 – подача исходной и отвод умягченной воды;
- 2 – натрий-катионитовый фильтр;
- 3 – бак с раствором поваренной соли;
- 4 – бак с частично умягченной водой для взрыхления катионита;
- 5 – резервуар умягченной воды;
- 6 – насос

Расход поваренной соли на одну регенерацию натрий-катионитового фильтра, кг,

$$P_c = \frac{fH_k E_{\text{раб}}^{\text{Na}} \alpha_c}{1000}, \quad (3.63)$$

где f – площадь фильтра, м²;

H_k – высота слоя катионита в фильтре, м;

$E_{\text{раб}}^{\text{Na}}$ – рабочая обменная емкость натрий-катионита, г-эquiv/м³;

α_c – удельный расход поваренной соли на регенерацию катионита, г/г-эquiv.

Для хранения и приготовления раствора применяются различные технологии.

Сухое хранение соли применяется при небольших производительностях установок умягчения воды (с расходом поваренной соли меньше 0,5 т/сут).

Соль хранится на неотапливаемом складе в транспортной таре, обычно в мешках. Растворение соли производится в солерастворителе. Емкость солерастворителя через верхний люк загружается солью. В солерастворитель под давлением подается вода, которая при движении через него насыщается солью. Раствор соли из солерастворителя подается в бак-мерник, в котором концентрация соли усредняется. При необходимости раствор соли в баке-мернике разбавляется водой до концентрации, требуемой для регенерации катионитных фильтров. Из бака-мерника расчетный объем раствора соли подается на регенерацию фильтров.

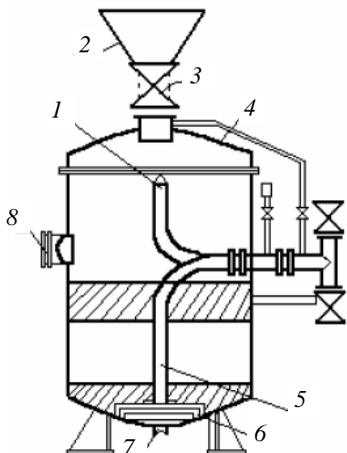


Рисунок 3.10 – Схема солерастворителя:

1 – подача воды; 2 – воронка; 3 – вставной стакан; 4 – корпус; 5 – выход рассола; 6 – дренажное устройство; 7 – выпуск в канализацию; 8 – люк

Солерастворитель служит для приготовления и очистки от механических примесей регенерационного раствора технической соли. Он представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, установленный на три опоры (рисунок 3.10). Для очистки соли в нижней части солерастворитель загружается фильтрующим материалом (антрацит или кварцевый песок с диаметром зерен 0,5–1 мм) с поддерживающими слоями из тех же материалов диаметром зерен 1–5 и 5–10 мм.

При загрязнении фильтра, производительность солерастворителя снижается и он отключается для взрыхления, которое производится потоком воды снизу вверх.

Солерастворитель комплектуется трубопроводами, арматурой и контрольно-измерительными приборами.

Мокрое хранение соли применяется для крупных водоподготовительных установок (при расходе соли свыше 0,5 т/сут) с последующим осветлением концентрированного раствора, его разбавлением и подачей на катионитовые фильтры (рисунок 3.11).

В резервуарах мокрого хранения соли, располагающихся, как правило, вне здания, с некоторым заглублением в грунт, хранится насыщенный раствор соли концентрацией 25–26 % по NaCl (рисунок 3.12). Для этого соль из транспортных средств сгружается в резервуар и заливается водой. Для ускорения растворения соли применяется перемешивание воздухом, циркуляция рассола или сочетаются оба эти способа. При низкой температуре окружающей среды желательно использовать подогретую воду, что также положительно сказывается на умягчении.

Рисунок 3.11 – Баки мокрого хранения соли
(положение в плане):

1 – баки; 2 – трубопроводы отбора концентрированного раствора соли; 3 – солевые насосы; 4 – подача раствора соли на фильтры-солерастворители; 5 – вода от водопровода для заполнения баков; 6 – подача воздуха на взрыхление соли

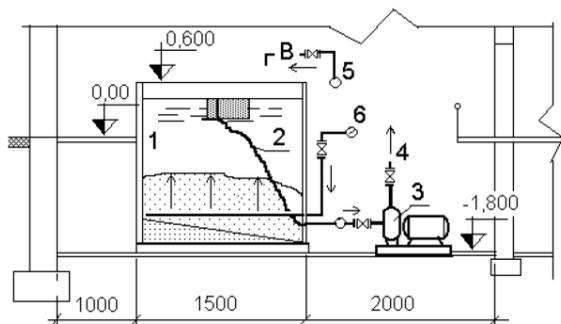
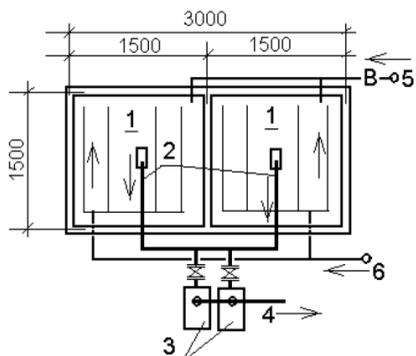


Рисунок 3.12 – Отделение хранения соли в разрезе:
(подрисовочные надписи см. на рисунке 3.11)

Концентрированный раствор соли из баков перекачивается через солерастворитель в бак-мерник. Высота расположения бака над уровнем катионита в фильтре – не менее 4–6 м. Целесообразно подавать рассол в катионитовые фильтры эжектором.

При фильтровании раствора поваренной соли сверху вниз при регенерации полный обмен ионов натрия на содержащиеся в катионите катионы кальция и магния происходит в верхних слоях ионообменника, при этом в фильтре возрастает концентрация вытесненных из катионита катионов кальция и магния и снижается концентрация ионов натрия. Возрастание концентрации противоионов (в рассматриваемом случае $\text{Ca}(\text{II})$ и $\text{Mg}(\text{II})$) в регенерационном растворе подавляет диссоциацию истощенного катионита и ослабляет процесс ионного обмена. Образующийся при этом противоионный эффект тормозит регенерацию, в результате чего по мере продвижения регенерационного раствора в нижние слои катионита их регенерация происходит не полно, и некоторое количество катионов $\text{Ca}(\text{II})$ и $\text{Mg}(\text{II})$ остаются невытесненными из нижних слоев катионита. Устранение этого недостатка возможно

пропуском через катионит свежих порций раствора реагента. Однако это увеличивает удельный расход поваренной соли и повышает стоимость обработки воды.

На практике ограничиваются однократным пропуском соли при жесткости умягченной воды до 0,20 мг-экв/л или двукратным при жесткости ниже 0,05 мг-экв/л. По аналогии при фильтровании умягчаемой воды сверху вниз также возникает противоионный эффект, снижающий глубину умягчения воды, при этом противоионами являются катионы натрия. Этот недостаток устраняется путем подачи регенерационного раствора и умягчаемой воды в разных направлениях, последняя, фильтруясь снизу вверх при выходе из фильтра, соприкасается с наиболее полно отрегенированными слоями катионита, благодаря чему обеспечивается более глубокое умягчение воды. Такой метод умягчения воды называется *методом противоточного катионирования*. При этом значительно снижается расход реагенттов на регенерацию катионита без уменьшения глубины умягчения. На рисунке 3.13 приведен фильтр противоточного катионирования.

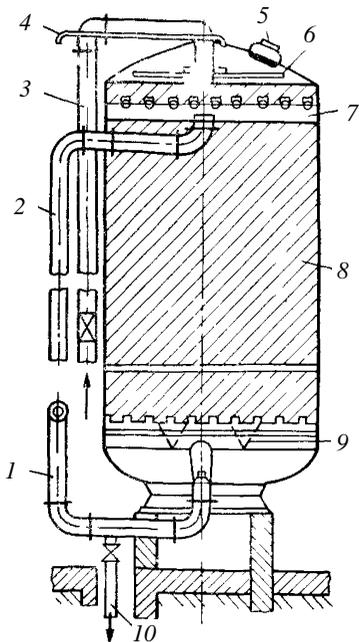


Рисунок 3.13 – Противоточный катионитовый фильтр:

1, 2 – ввод исходной и отвод умягченной воды; 3, 10 – подача регенерационного раствора и сброс отмывочной воды; 4 – воздушник; 5 – люк; 6 – реагентораспределитель; 7, 9 – дренажная и распределительная колпачковая система; 8 – слой катионита

Преимущества одноступенчатого Na-катионирования являются:

- использование безопасного для эксплуатационного персонала и простого в приготовлении реагента для регенерации – поваренной соли;
- отсутствие воды и растворов с кислой реакцией;
- применение фильтров без защиты от коррозии.

Недостатки:

- невозможность глубоко умягчения (до 0,01 г-экв/м³);
- высокий удельный расход соли на регенерацию;
- неполное использование емкости поглощения катионита.

Более глубокое умягчение воды, экономия соли и увеличение фильтрационного цикла достигаются при двухступенчатом Na-катионировании.

Принципиальная схема установки двухступенчатого Na-катионирования приведена на рисунке 3.14.

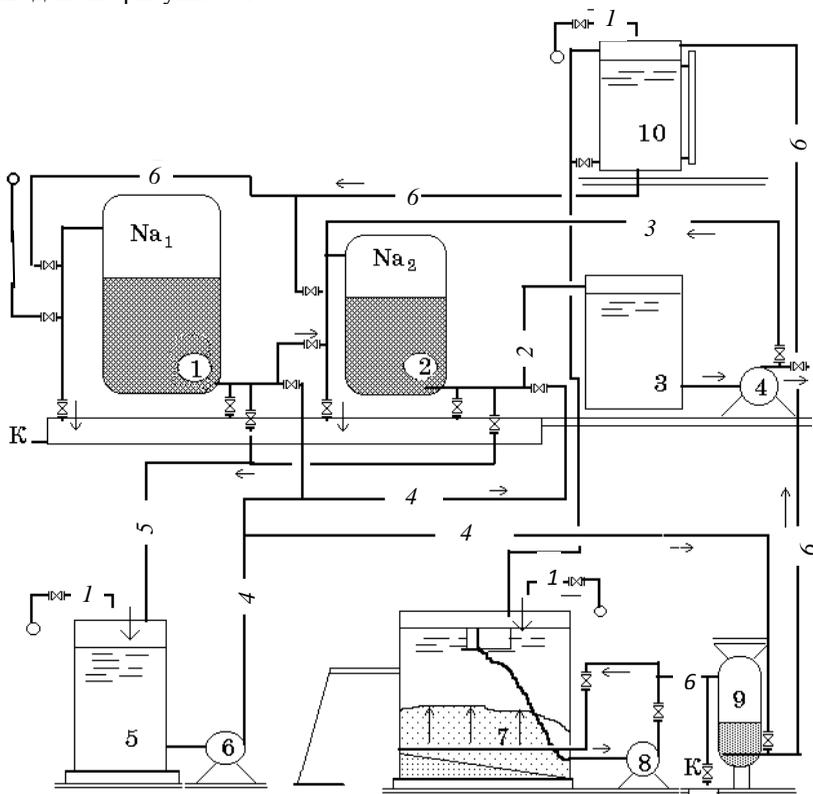


Рисунок 3.14 – Схема установки умягчения воды с двухступенчатым натрий-катионированием:

- 1, 2 – фильтры первой и второй ступени; 3 – бак умягченной воды; 4 – насос подачи очищенной воды потребителю; 5 – бак сбора отмывочной воды; 6 – насос для взрыхления фильтров;
7 – бак хранения соли; 8 – насос перекачки соли; 9 – солерастворитель;
10 – бак-мерник раствора соли;
- трубопроводы: 1 – подача воды из хозяйственно-питьевого водопровода; 2 – умягченной воды;
3 – отмывки фильтра второй ступени; 4 – взрыхляющей воды; 5 – сбора отмывочной воды;
6 – раствора соли; К – хозяйственно-бытовая канализация

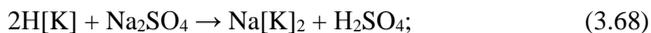
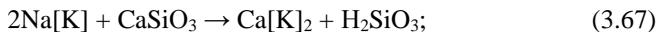
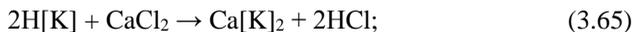
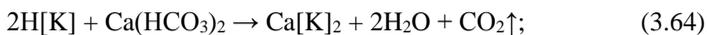
Вода на установку подается с городского водопровода или после собственной предочистки на предприятии. После последовательного пропуски через две ступени фильтра умягченная вода поступает в бак и далее насосом подается на производственные нужды. Соль для регенерации доставляется автотранспортом и выгружается в баки для её мокрого хранения. К баку подводится сырая (исходная) или частично умягченная вода для растворения соли. В нижней части бака имеется распределительная система, куда подается воздух, или циркуляционный раствор от насоса для перемешивания соли и воды. Отстойный рассол отбирается с помощью поплавка и подается насосом в солерастворитель и далее в бак-мерник. В солерастворителе происходит растворение крупинок соли и очистка рассола от взвеси, для этого солерастворитель имеет фильтрующую загрузку.

В бак-мерник перекачивается 15–20%-й раствор, где он разбавляется до 5–8%-й концентрации при регенерации фильтров первой ступени или 8–12%-й концентрации для фильтров второй ступени. Из бака-мерника рассол определенного объема подается в регенерируемый фильтр. Отработанный раствор отводится в техническую канализацию. Отмывка фильтра после регенерации производится по схеме подачи обрабатываемой воды, вода после отмывки собирается в бак для использования в качестве взрыхляющей. Взрыхление катионитовых фильтров производится с помощью насосов, с их помощью взрыхляется и солерастворитель. Всё оборудование размещается в здании.

Натрий-катионирование требует больших расходов воды на собственные нужды, достигающие 30 % от полезного расхода. Сточные воды содержат соли и взвешенные вещества.

Водород-катионитовый метод применяется в схемах умягчения и химического обессоливания.

Обработка воды Н-катионированием основана на фильтровании ее через слой катионита, содержащего в качестве обменных ионов катионы водорода. Процесс описывается следующими реакциями:



Аналогичные реакции протекают с соединениями магния.

В результате этих реакций катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ поглощаются катионитом, а взамен в очищаемую воду поступает водород H^+ . Взаимодействие

Н-катионита с бикарбонатами, обуславливающими карбонатную жесткость воды, приводит к выделению свободной углекислоты, которая удаляется из воды дегазацией. При взаимодействии с хлоридами, сульфатами и силикатами, обуславливающими некарбонатную жесткость воды, образуются серная, соляная и кремневая кислоты, рН обрабатываемой воды снижается до 3–4. Н-катионитовые фильтры регенерируются 1,0–1,5%-м раствором серной кислоты. Принципиальная схема этого Н-катионирования приведена на рисунке 3.15.

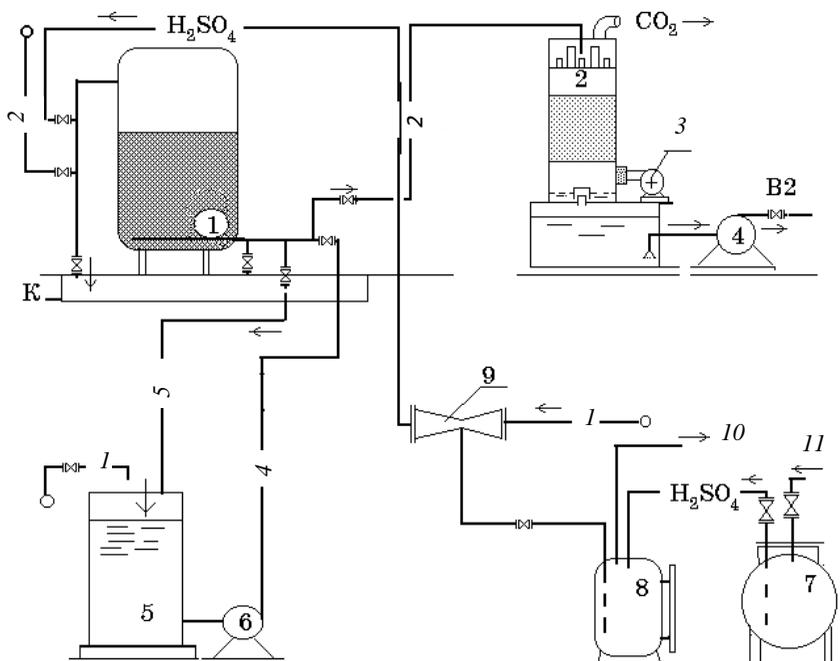


Рисунок 3.15 – Схема установки умягчения воды водород-катионированием:
 1 – водород-катионитовый фильтр; 2 – дегазатор; 3 – вентилятор; 4 – насос перекачки очищенной воды; 5 – бак воды для взрыхления; 6 – насос подачи воды на взрыхление фильтра; 7 – бак хранения кислоты; 8 – бак-мерник кислоты; 9 – эжектор; 10 – линия откачки воздуха вакуум-насосом; 11 – слив кислоты от транспортных средств;
 трубопроводы: 1 – подача воды из хозяйственно-питьевого водопровода; 2 – умягченной воды; 3 – химически очищенной воды; 4 – подачи воды на взрыхление фильтра; 5 – сборы отмывочной воды; К – хозяйственно-бытовая канализация

Главное отличие этого метода – наличие свободных кислот в фильтрате и кислотное (вместо солевого) хозяйство для регенерации фильтра. Кислая реакция воды требует особого исполнения этих фильтров.

Из приведенных выше реакций (см. формулы (3.59)–(3.62)) для натрий-катионитового умягчения воды видно, что щелочность воды в процессе ионного обмена не изменяется. Следовательно, пропорционально смешивая кислый фильтрат после Н-катионитовых фильтров со щелочным фильтратом после Na-катионитовых фильтров, можно получить умягченную воду с различной щелочностью. В этом заключается сущность и преимущество **Н-Na-катионитового метода умягчения воды**. Применяются схемы параллельного последовательного и смешанного (совместного) Н-Na-катионирования.

При *параллельном* Н-Na-катионировании (рисунок 3.16, а) одна часть воды пропускается через Na-катионитовые фильтры, другая через Н-катионитовые фильтры, а затем образующиеся щелочные и кислые потоки смешиваются в такой пропорции, чтобы их остаточная щелочность не превышала 0,4 мг-экв/л.

Для получения устойчивого и глубокого умягчения (до 0,01 мг-экв/л) воду после дегазатора пропускают через барьерный Na-катионитовый фильтр (рисунок 3.16, б).

Применяется, когда суммарная концентрация сульфатов и хлоридов в умягчаемой воде не превышает 4 мг-экв/л и содержание натрия – не более 2 мг-экв/л.

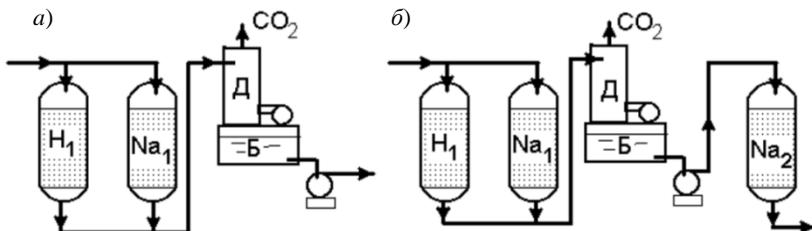


Рисунок 3.16 – Схемы параллельного Н-Na-катионирования воды:

а – одноступенчатая; б – двухступенчатая;

H₁ – водород-катионитовый фильтр; Na₁, Na₂ – натрий-катионитовые фильтры первой и второй ступеней; Д – дегазатор; Б – бак

При *последовательном* Н-Na-катионировании (рисунок 3.17) часть воды пропускается через Н-катионитовые фильтры, затем смешивается с остальной водой, полученная смесь пропускается через дегазатор для удаления углекислоты, а затем вся вода подается на натрий-катионитовые фильтры. Количество воды, подаваемое на Н-катионирование, определяется, как и при параллельном Н-Na-катионировании.

Преимуществом данной схемы является более полное использование обменной емкости Н-катионита и снижение расхода кислоты на его регенерацию, поскольку отключение Н-катионитовых фильтров в данном случае

диктуется не проскоком катионов жесткости порядка 0,5 мг-экв/л, а допустимым их содержанием 1,0 мг-экв/л.

При повышенных требованиях к умягчению воды схема дополняется барьерными Na-катионитовыми фильтрами.

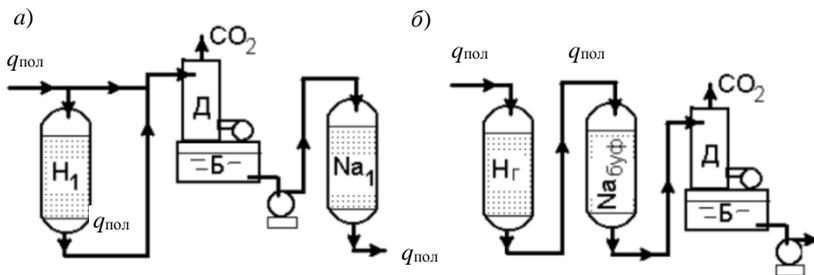


Рисунок 3.17 – Схемы последовательного H-Na-катионирования воды:
а – одноступенчатая; б – двухступенчатая

Недостатком схемы является большой расход электроэнергии, затрачиваемой на передачу воды через последовательно включенные фильтры.

Применяется при умягчении воды с повышенной жесткостью и содержанием солей, остаточная щелочность при этом составит 0,7 мг-экв/л, общая жесткость фильтрата составит 0,01 г-экв/м³.

Известна схема *последовательного H-Na-катионирования воды при «голодном» режиме регенерации* H-катионитовых фильтров.

При обычном H-катионировании регенерация проводится с удельным расходом кислоты, в 2,52 раза большим теоретически необходимого, который отвечает процессу эквивалентного обмена катионов между раствором и катионитом. Избыток кислоты, не участвующий в реакциях обмена ионов, сбрасывается из фильтра вместе с продуктами регенерации. При «голодной» регенерации H-катионитного фильтра удельный расход кислоты равен его теоретическому удельному расходу (для H₂SO₄ – 49 г/г-экв). Все ионы водорода регенерационного раствора при этом полностью задерживаются катионитом, поэтому сбрасываемый регенерационный раствор и отмывочные воды не содержат кислоты.

В отличие от обычных H-катионитных фильтров, в которых весь слой катионита при регенерации переводится в H-форму, при «голодном» режиме регенерируются, т. е. переводятся в H-форму, только верхние слои, а нижние слои остаются в солевых формах и содержат катионы Ca⁺², Mg⁺² и Na⁺.

Технология H-катионирования с «голодной» регенерацией:

– обеспечивает получение фильтрата с минимальной щелочностью (исключение сброса кислых сточных вод при регенерации и кислого фильтрата в рабочем цикле);

– в результате удаления карбонатной жесткости достигается уменьшение общего соледержания;

– концентрация углекислоты увеличивается на величину снижения щелочности.

При этом общая жесткость фильтрата будет на $0,7-1,5$ г-экв/м³ выше некарбонатной жесткости исходной воды, щелочность фильтрата – $0,7-1,5$ г-экв/м³.

Применяется при содержании солей до 3 г/дм³, карбонатной жесткости более 1 мг-экв/дм³.

Совместное H-Na-катионирование осуществляется в одном фильтре, верхним слоем загрузки которого является H-катионит, а нижним – Na-катионит. Катионит регенерируется следующим образом: после взрыхления слоя он сначала обрабатывается раствором кислоты, затем раствором поваренной соли с последующей отмывкой.

При совместном H-Na-катионировании остаточная щелочность воды составляет $1,5-2,0$ мг-экв/л, а жесткость – $0,1-0,3$ мг-экв/л.

Применяется при жесткости исходной воды не более 6 мг-экв/л, содержании натрия до $1-1,5$ мг-экв/л, отношении карбонатной жесткости к некарбонатной более единицы.

Преимущество – отсутствие кислых сточных вод.

Недостаток – сложность регенерации.

3.2.5 Диализ

Диализ – метод разделения растворенных веществ значительно отличающихся молекулярными массами. Он основан на разных скоростях диффузии этих веществ через полупроницаемую мембрану, разделяющую концентрированный и разбавленный растворы (рисунок 3.18).

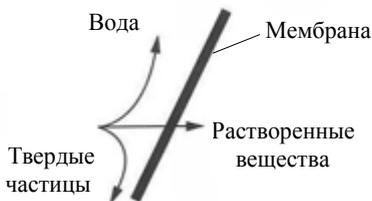


Рисунок 3.18 – Принципиальная схема умягчения воды диализом

Как таковой единой универсальной системы классификации обратноосмотических мембран не существует, поэтому различные авторы и фирмы-производители предлагают разные системы классификации. Условно **обратноосмотические мембраны** подразделяются:

1) по геометрической форме:

– трубчатые;

- листовые (спирально свернутые);
- выполненные в виде полых волокон;
- 2) способу получения:
 - формованием из растворов и расплавов полимеров;
 - путем образования полиэлектролитных комплексов в растворе или на подложке;
 - нанесением или напылением активной матрицы на подложку;
 - химической прививкой активных групп к инертной матрице;
 - травлением и последующим вымыванием растворенных компонентов;
 - осаждением на подложке продуктов гидролиза солей многовалентных металлов, суспензий алюмосиликатов, растворов полиэлектролитов и др;
- 3) морфологии или структуре мембраны:
 - пористые и непористые;
 - симметричные и асимметричные;
 - с жестким каркасом и без него;
 - изотропные, анизотропные, композиционные и импрегнированные.
- 4) в величине и знаку заряда:
 - сильно- и слабозаряженные;
 - катионитовые (с отрицательным) и анионитовые (с положительным фиксированным зарядом).

Полупроницаемые мембраны *характеризуются*:

- разделяющей способностью (селективностью);
- удельной производительностью (проницаемостью).

Селективность мембран, %, в процессе разделения определяется выражением

$$\varphi = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \cdot 100, \quad (3.70)$$

где C_1 и C_2 – концентрации растворенного вещества соответственно в обрабатываемой и обработанной водах, мг/дм³.

Селективность мембраны при умягчении воды диализом определяется по формуле

$$\varphi = (Ж_{н} - Ж_{у}) / Ж_{н}, \quad (3.71)$$

где $Ж_{н}$, $Ж_{у}$ – жесткость исходной и умягченной воды соответственно, мг-экв/л;

Проницаемость мембран G , дм³/(м²·сут), выражается количеством филтрага V_{ϕ} , дм³, получаемым с единицы поверхности мембраны F , м², в единицу времени τ , сут:

$$G = \frac{V_{\phi}}{F\tau}. \quad (3.72)$$

Проницаемость зависит от состава обрабатываемого раствора, внешнего давления и типа мембраны.

Мембраны должны отвечать следующим основным *требованиям*:

- высокой разделяющей способностью (селективностью);
- высокой удельной производительностью (проницаемостью);
- химической стойкостью к действию компонентов разделяемой системы;
- постоянством характеристик в процессе эксплуатации;
- достаточной механической прочностью, отвечающая условиям монтажа, транспортирования и хранения мембран;
- низкой стоимостью.

В процессе диализа через мембрану (с большей или меньшей селективностью) проходят только растворенные формы. Вода (растворитель) мембрану не пересекает.

Мембраны могут быть нейтральными или электрически заряженными. Если мембраны несут электрический заряд (пленкообразные материалы, сходные с ионообменными смолами), то они являются селективными по отношению к прохождению ионов противоположного знака. Таким образом, можно формировать катионные (пропускающие только катионы) или анионные (селективные к анионам) мембраны.

Эффективность полупроницаемой мембраны для умягчения воды определяется высокими значениями селективности и водопроницаемости, которые она должна сохранять в течение продолжительного времени работы.

Полупроницаемые мембраны изготавливаются:

- из *ацетилцеллюлозы* (смесь моно-, ди-, триацетата): трубчатые, листовые (спирально свернутые), в виде полых волокон;
- *ароматических полиамидов* в виде рулонных элементов.

Мембраны из ацетилцеллюлозы отличаются высокой удельной производительностью.

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.

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.

Преимуществом диализа является высокий эффект умягчения, *недостатком* – высокая стоимость.

3.3 Обессоливание и опреснение воды

3.3.1 Сущность процесса обессоливания. Методы обессоливания и опреснения воды

Обессоливание воды – процесс снижения содержания растворенных в ней солей до требуемой величины прокаленного остатка.

Полное обессоливание обеспечивает получение в процессе обработки воды, близкой по качеству к дистиллированной, используемой в большинстве случаев для питания барабанных и прямоточных паровых котлов ТЭЦ и ГРЭС.

Частичное обессоливание воды (опреснение) – величина солесодержания в очищенной воде не превышает 1000 мг/дм^3 .

Классификация методов обессоливания приведена на рисунке 3.19.

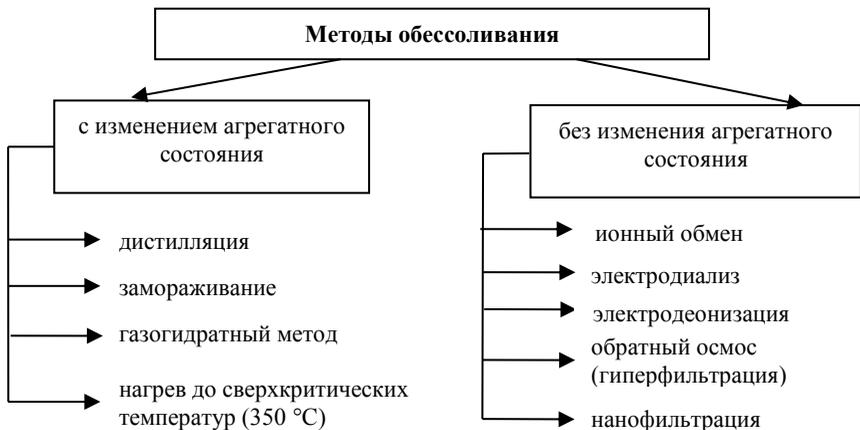


Рисунок 3.19 – Классификация методов обессоливания

Выбор метода определяется:

- производительностью установки;
- показателями качества исходной и очищенной воды (таблица 3.8);
- технико-экономическим сравнением вариантов (при степени минерализации более $1,0 \text{ г/дм}^3$) (таблица 3.9).

Таблица 3.8 – Рекомендуемые методы обессоливания

Солесодержание, г/дм^3	Метод обессоливания
1,5–2,5	Ионный обмен
2,5–10,0	Электродиализ или обратный осмос
Более 10,0	Дистилляция, замораживание или обратный осмос

Таблица 3.9 – Сравнение методов обессоливания [24]

Характеристика метода	Преимущества	Недостатки
<i>Ионный обмен</i>		
<p>На ионитных полимерных смолах происходит обмен ионов, определяющий минеральный состав, на ионы водорода и гидроксиды, а также анионы угольной кислоты. По истечении емкости проводится регенерация</p>	<p>Технически относительно несложный метод. Не используются высокие давления. Не меняется температура. Малые затраты электроэнергии</p>	<p>Вода, поступающая на ионитовые фильтры, не должна иметь примесей. Применимость метода ограничена содержанием 2 г/дм³. Необходимо создание и эксплуатация кислотно-щелочного реагентного хозяйства</p>
<i>Электродиализ</i>		
<p>Электродиализ относится к электромембранным процессам и сочетает в себе черты как электрохимического, так и мембранного процессов. Перенос ионов электролита через пару селективных мембран происходит под действием постоянного электрического тока. Анионы и катионы в одном процессе проходят через различные соответствующие мембраны</p>	<p>Процесс происходит при низких давлениях и температуре. Более широкая область экономичного применения – до 10 г/дм³</p>	<p>Эффект «отравления» мембран и забивания их солями. Высокие эксплуатационные расходы (электроэнергия, мембраны и прокладки). Взрывоопасность</p>
<i>Электродеионизация</i>		
<p>Электродеионизация – процесс, совмещающий в себе преимущества электродиализа и ионного обмена, заключающийся в том, что в камеры электродиализного аппарата помещаются смеси катионитов и анионитов для увеличения глубины обессоливания</p>	<p>Солесодержание обессоленной воды составляет 0,05 мг/дм³. Непрерывная работа электродеионизаторов (процессы ионного обмена и регенерации ионитов протекают параллельно). Минимизирование или отсутствие реагентного хозяйства</p>	<p>Необходимость предварительной подготовки исходной воды (солесодержание должно быть не более 10 мг/дм³). Высокая стоимость модулей электродеионизации</p>

Окончание таблицы 3.9

Характеристика метода	Преимущества	Недостатки
<i>Обратный осмос</i>		
Фильтрация под давлением растворов солей через полупроницаемые мембраны, пропускающие воду и задерживающие (полностью или частично) молекулы (ионы) растворенных веществ	Простой процесс, требует минимума реагентов, не требуются сложные электроустановки. Затраты на процесс в меньшей степени зависят от солесодержания. Применяется для рассолов. Обеспечивает практически полное обеззараживание	Во избежание забивания мембран, вода должна быть глубоко очищена (мутность – не более 0,3 мг/дм ³ , перманганатная окисляемость – не более 10 мг/дм ³ , железа – не более 0,05 мг/дм ³)

3.3.2 Дистилляция

Дистилляционный метод основан на способности воды при нагревании испаряться и распадаться на пресный пар и соленый рассол (наиболее старый и широко применяемый метод).

Дистилляционные опреснительные установки классифицируются:

- по технологии получения пресной воды;
- конструктивному оформлению;
- роду применяемой вспомогательной аппаратуры;
- мобильности аппаратуры (стационарные или передвижные);
- характеру использования тепла и степени его рекуперации (одноступенчатые, многоступенчатые).

Имеется существенное отличие в источниках энергии, расходуемой на работу установки. В настоящее время разработаны дистилляционные установки, рассчитанные на использование ископаемого топлива, солнечной, электрической, атомной энергии.

Принцип дистилляции основан на том, что при нагревании соленой воды до температуры, более высокой, чем температура кипения (при данном солесодержании и давлении), вода начинает кипеть. Образовавшийся пар практически не содержит соли, поэтому при его конденсации получается пресная вода. Для испарения 1 кг воды ее необходимо нагреть до температуры кипения и затем сообщить дополнительное тепло фазового перехода воды в пар, так называемую скрытую теплоту парообразования, равную при температуре 100 °С 2,3 МДж/кг. Чтобы полученный пар превратить в воду, нужно у пара отнять тепло фазового перехода (2,3 МДж/кг). Значительная часть этого тепла может быть возвращена обратно в установку, т. е. рекуперирована. Чем больше тепла фазового перехода рекуперировано, тем выше считается тепловая экономичность дистилляционной опреснительной установки (рисунок 3.20).

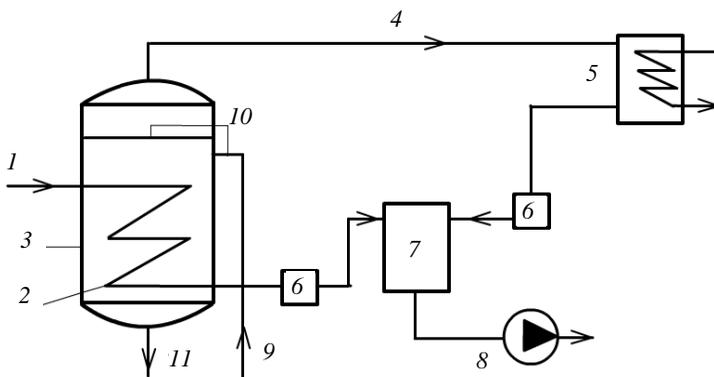


Рисунок 3.20 – Схема одноступенчатой испарительной установки:
 1 – подвод первичного пара; 2 – греющая секция испарителя; 3 – корпус испарителя;
 4 – отвод вторичного пара; 5 – конденсатор; 6 – конденсатоотводчики; 7 – сборник
 дистиллята; 8 – насос; 9 – питательная линия; 10 – регулятор уровня; 11 – линия продувки

Исходная соленая вода подается через конденсатор-подогреватель в испаритель, где за счет тепла греющего пара или горячей воды, циркулирующих по трубам змеевика, который расположен в слое воды, она нагревается и испаряется. Образующийся пар (который называется вторичным) поступает в конденсатор, где охлаждается исходной соленой водой и превращается в дистиллят, направляемый потребителю в виде пресной воды. Тепло конденсации используется для предварительного нагрева подпиточной соленой воды испарителя. Чтобы исключить вынос капель кипящей соленой воды вместе с паром из испарителя, предусмотрено специальное сепарирующее устройство. Уровень воды в испарителе поддерживается с помощью регулятора уровня. Обычно в испарителях выпаривают от 20 до 50 % поступающей в него соленой воды. Оставшийся рассол периодически удаляется из испарителя [27].

Многоступенчатые дистилляционные опреснительные установки представляют собой несколько последовательно работающих одноступенчатых дистилляционных опреснительных установок (рисунок 3.21). По такой схеме вторичный пар предыдущей ступени используется в качестве греющего пара для испарения воды в последующей. Соленая вода поступает в конечной конденсатор, где, охлаждая пар последней ступени, конденсирует его, нагреваясь за счет тепла конденсации. Часть соленой воды сбрасывается, а часть поступает в первую ступень испарителя, где паром, подаваемым из исходного парогенератора, она нагревается до температуры кипения. Пар при этом конденсируется, и конденсат отводится в парогенератор.

Пар, образовавшийся в первой ступени испарителя, поступает через сепаратор во второй корпус испарителя, где он служит греющим паром. Не

испарившаяся в первом корпусе испарителя соленая вода поступает во второй корпус, где нагревается за счет тепла конденсации пара и опять частично испаряется при меньших, чем в первом корпусе испарителя, давлении и температуре.

Если в первом корпусе температура кипения составляет $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, то в последующих трех ступенях – соответственно 95 , 90 и $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это достигается путем снижения давления в последующих ступенях испарителей.

При снижении давления в испарителе ниже атмосферного температура кипения соленой воды понижается (например, в горах вода закипает при температуре ниже $100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Конденсат пара из каждого корпуса отводится конденсатным насосом в бак опресненной воды. С увеличением числа ступеней многоступенчатые опреснительные установки становятся экономичнее, но с увеличением числа ступеней испарения уменьшается температурный перепад по каждой из них, увеличивается общая поверхность нагрева аппаратов и соответственно резко возрастают капитальные затраты на опреснительную установку.

Выбор числа ступеней испарения определяется расчетами и сравнением различных проектных вариантов с целью получения минимальной стоимости опресненной воды.

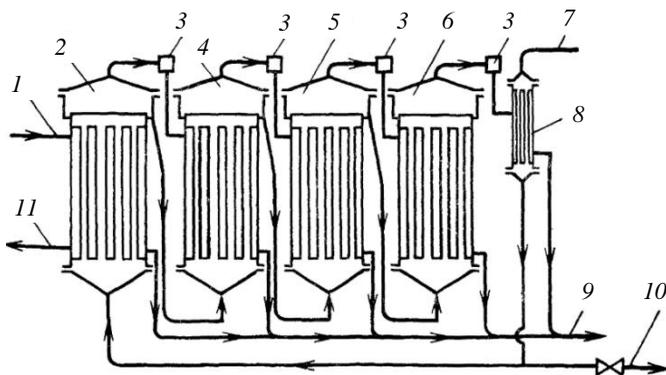


Рисунок 3.21 – Схема многоступенчатой испарительной установки:
1 – теплоноситель; 2 – испаритель первой ступени; 3 – сепаратор; 4–6 – испарители;
7 – исходная вода; 8 – конденсатор; 9 – опресненная вода; 10 – сброс рассола;
11 – отвод конденсата в парогенератор

При работе дистилляционных опреснительных установок происходит отложение солей, которые образуют слой накипи на греющих элементах испарителей и конденсаторов. Накипь уменьшает температуру нагрева воды, ухудшает теплопередачу и работу всех агрегатов опреснительной установки. В связи с этим должны быть приняты меры по предупреждению образования накипи или ее удалению, а следовательно, заранее планируется периодическая остановка опреснительной установки для очистки ее от накипи.

3.3.3 Обратный осмос

Обратный осмос (мембранный метод разделения жидких систем) – фильтрование под давлением растворов солей, находящихся в молекулярно-растворенном состоянии, через *полупроницаемые мембраны*, которые пропускают растворитель и задерживают (полностью или частично) молекулы (ионы) растворенных веществ. В основе этого метода лежит явление *осмоса* – самопроизвольного перехода растворителя через полупроницаемую перегородку в раствор.

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 (рисунок 3.22).

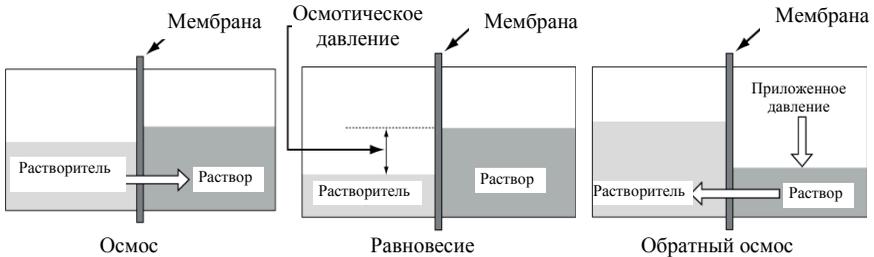


Рисунок 3.22 – Схемы возникновения обратного осмоса при осмотическом давлении

Движущая сила процесса обратного осмоса определяется по формуле

$$\Delta P = P - \Delta P_0 = P - (P_{01} - P_{02}), \quad (3.73)$$

где P – избыточное давление над исходным раствором, кПа;
 P_{01}, P_{02} – соответственно осмотическое давление раствора и фильтрата, прошедшего через мембрану, кПа.

Осмотическое давление, кПа, в общем случае определяется по уравнению с введением поправочных коэффициентов:

$$P_0 = RTci, \quad (3.74)$$

где R – универсальная газовая постоянная;
 T – абсолютная температура раствора, К;
 c – мольная доля растворенного вещества;
 i – коэффициент Вант-Гоффа.

Вода, подаваемая на обратноосмотические установки, должна иметь:
 – мутность – менее 0,3 мг/дм³;

- общее содержание гуминовых веществ (по перманганатной окисляемости) – не более $10 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$;
- железо (Fe^{3+}) – не более $0,05 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

Следовательно, необходима предварительная обработка природных вод:

- *поверхностные воды*: хлорирование → коагуляция → осаждение → фильтрование через зернистую загрузку;
- *вода повышенной жесткости*: известково-содовое умягчение → фильтрование через зернистую загрузку;
- *вода с низким содержанием солей жесткости*: фильтрование через песчаную загрузку → фильтрование через цеолитовую загрузку.

В состав обратноосмотических установок входят:

- мембранный аппарат;
- насос;
- оборудование для предварительной и последующей обработки воды;
- баки для раствора и фильтрата;
- датчики и приборы автоматического управления и контроля;
- механический фильтр;
- соединительная и регулирующая арматура;
- элементы крепления и т. д.

Расчет обратноосмотических аппаратов производится в три этапа и включает [7, 14, 27]:

- *технологический* – определение скорости фильтрования, продолжительности фильтроцикла, рабочей поверхности мембран;
- *гидравлический* – определение гидравлических сопротивлений аппарата и арматуры;
- *механический* – выбор элементов аппарата.

Основным элементом аппаратов для осуществления процесса обратного осмоса являются *полупроницаемые мембраны*. Современные промышленные обратноосмотические установки выпускаются д в у х т и п о в:

- со спиралевидными (рулонными) мембранами (рисунок 3.23);
- с мембранами в виде полых волокон с внутренним диаметром от 25 до 80 мкм [3].

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.



Рисунок 3.23 – Мембранный элемент

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:

- а) повышению температуры раствора;
- б) перемешиванию:
 - с подведением механической энергии – перемешивание мешалками, вибрация мембраны, пульсация разделяемого раствора;
 - без механической энергии – увеличение скорости, обращение потока, усиление естественной конвекции;
- в) 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].

Разновидностью обратного осмоса является процесс **наночистки**, в котором используются поры более крупного размера. При наночистке удаляются молекулы и многозарядные ионы, имеющие размер от 0,001 до 0,01 мкм, органические молекулы с молекулярной массой выше 300 и все вирусы. Рабочее давление от 0,7 до 1,6 МПа. Обратноосмотические мембраны имеют размер пор, соизмеримый с размерами молекул воды. Поэтому такие мембраны эффективно задерживают все содержащиеся в воде анионы и катионы и применяются для опреснения воды и обессоливания.

Нанофильтрационные мембраны имеют несколько больший размер пор, чем обратноосмотические, поэтому они хорошо задерживают многовалентные ионы (на 80–95 %), а одновалентные ионы (натрия, хлориды и др.) задерживают частично (на 50–60 %). При этом нанофильтрационные мембраны эффективны для очистки воды от растворенных в воде органических и неорганических веществ, ионов жесткости, железа, стронция, тяжелых металлов, хлорорганических веществ. В результате степень обессоливания ниже, чем при обратном осмосе, но фильтрат почти не содержит солей жесткости, т. е. он умягчается [18, 27].

Для предварительной обработки воды перед обратным осмосом могут использоваться ультрафильтрационные мембраны, имеющие размер пор от 0,002 до 0,1 мкм, которые задерживают высокомолекулярные органические (гуминовые и фульвокислоты), взвешенные и коллоидные вещества (например, коллоиды гидроксида железа, гидроксида алюминия) бактерии, вирусы [27].

3.3.4 Электродиализ

Электродиализный метод обработки воды – мембранный процесс, основанный на явлении переноса ионов электролита через селективные ионообменные мембраны под действием постоянного электрического тока.

Преимущества метода:

- не требуется фазовое превращения воды (как при дистилляции, вымораживании);
- действует при низких давлениях и температурах;
- характеризуется пропорциональностью потребляемой энергии солёности исходной воды.

Ограничения широкого применения:

- «отравление» анионообменных мембран органическими веществами, содержащимися в природных водах;
- «отравление» катионообменных мембран железом, марганцем, присутствующими в природных водах;
- выпадение в осадок карбоната кальция, гидроксида магния и (реже) гипса в результате работы электродиализного аппарата в условиях поляризации;
- работа установки при предельных плотностях тока ниже, чем при оптимальных, что приводит к повышению себестоимости деминерализации воды;
- высокие капитальные затраты и эксплуатационные расходы на отдельные компоненты промышленных электродиализных установок, включая заменяемые прокладки и мембраны.

Электродиализатор – аппарат, представляющий собой систему рабочих ячеек (дилюатных и рассольных камер), каждая из которых содержит

мембраны противоположной полярности, разделенные сетчатыми перегородками-прокладками или корпусными рамками с закладкой либо ввариваемой сеткой (рисунок 3.24).

Прокладки и корпусные рамки с сеткой выполняют двойную функцию: направляют течение жидкости между мембранами и создают турбулентность потока, повышающую эффективность процесса.

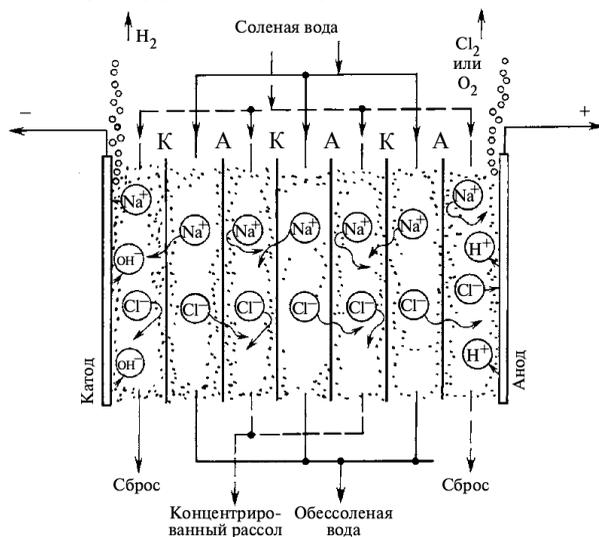


Рисунок 3.24 – Схема многокамерного электродиализатора:

К – катионитная мембрана, пропускающая только катионы;

А – анионитная мембрана, пропускающая только анионы

Эта система находится между двух электродов, погруженных в электролит. Они поддерживают постоянное напряжение. На электродах происходит электрохимическая реакция, которая трансформирует электронный ток в ионный: ионы водорода H⁺ восстанавливаются на катоде до молекулярного водорода H₂ и выделяются в виде газа, а ионы гидроксила OH⁻ и хлор-ионы Cl⁻ окисляются на аноде до хлора Cl₂ и кислорода O₂ и также выделяются в виде газов.

Перед электродиализными аппаратами необходима глубокая очистка воды от органических веществ, соединений железа и других загрязнений.

Очистка воды от взвешенных веществ осуществляется известными методами (коагуляцией, отстаиванием, фильтрованием, содо-известкованием и др.). Особенно эффективно применение перед электродиализными установками ультрафильтрации и фильтрования воды через специальные фильтровальные патроны.

В состав установок входят ионитовые мембраны, получаемые из ионообменных смол (ионитов).

Мембраны с селективной проницаемостью содержат ионогенные группы положительных ионов (анионообменные мембраны) или ионогенные группы отрицательных ионов (катионообменные мембраны).

Расчет электродиализных установок сводится к определению:

- числа ступеней опреснения;
- количества параллельно работающих аппаратов;
- площади мембран и их количества;
- напряжение и сила тока постоянного тока, подводимого к ваннам;
- сумма потерь напора в камерах опреснения, системах распределения и сбора.

Технологические характеристики ионитовых мембран и методика расчета приведены в [7, 15, 18].

3.3.5 Электродеионизация

Электродеионизация (ЭДИ, EDI) – процесс глубокого обессоливания воды с использованием ионообменных смол, ионоселективных мембран и постоянного электрического поля. Этот процесс совмещает преимущества электродиализа и ионного обмена, используется как альтернатива ионообменным фильтрам смешанного действия.

Процесс электродеионизации включает три составляющие, протекающие одновременно:

- *ионный обмен*, при котором растворенные в исходной воде ионы, проходя через слои ионообменных смол, сорбируются на зернах катионита и анионита;
- *отвод ионов* через слои ионитов и ионселективные мембраны в зону концентрата;
- *регенерация ионита* ионами водорода и гидроксид-иона, полученными в результате электролиза молекул воды под воздействием постоянного тока.

Для реализации указанных процессов используют специальные модули электродеионизации (рисунок 3.25), содержащие три типа проточных каналов: деминерализации (*D*-каналы), концентрата (*C*-каналы) и электролита (*E*-каналы).

Один *D*-канал, одна катионитная мембрана, один *C*-канал и одна анионитная мембрана вместе образуют *ЭДИ-ячейку*.

ЭДИ-модуль представляет собой несколько параллельно работающих ЭДИ ячеек. Исходная вода поступает в *D*-каналы, заполненные смесью катионита и анионита, которые сорбируют растворенные катионы и анионы, обменивая их на ионы водорода и гидроксид-ионы. На выходе из *D*-канала получается очищенная вода.

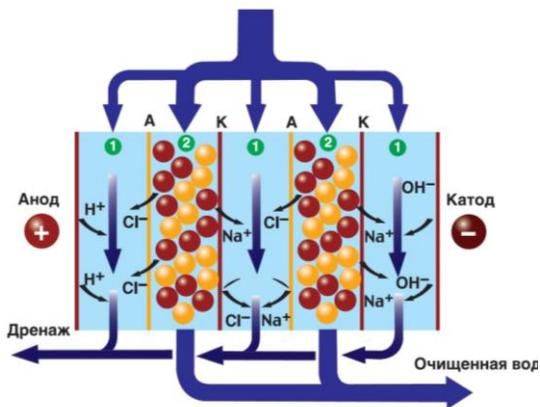


Рисунок 3.25 – Схема организации процесса электродеионизации [25]

Электроды совместно с последней мембраной образуют *E*-канал. Проходя через *E*-каналы, поток концентрата обогащается трансмембранным ионным потоком от замыкающей мембраны. В катодный *E*-канал попадает также небольшое количество газообразного водорода, а в анодный *E*-канал – небольшое количество газообразного кислорода и хлора, образующихся в результате электродных процессов так же, как и при электродиализе. Поток из *E*-каналов отводится в дренаж, чтобы предотвратить хлорную и кислородную деградацию мембран.

Под действием электрического поля катионы из катионообменной смолы и анионы из анионообменной смолы движутся через соприкасающиеся частицы ионитов в направлении соответствующих электродов. Прошедшие через соответствующие мембраны ионы попадают в *C*-каналы, в которых организуется постоянный проток воды, откуда они в виде концентрата выводятся из модуля.

Протекающий через исходную воду ток также инициирует реакцию расщепления воды, в которой образуются ионы H^+ и OH^- . Эти ионы непрерывно регенерируют ионообменные смолы и продолжают удалять загрязнения из подаваемой воды [25].

Основным *преимуществом* в применении аппаратов электродеионизации является отсутствие применения реагентов для регенерации ионообменных фильтров.

Требования к качеству исходной воды определяются условиями обеспечения производства воды заданного качества, отсутствия загрязнения в *D*-каналах и осадкообразования в *C*-каналах. При этом лимитируется содержание взвешенных частиц, величина жесткости и общего органического углерода [25]. В большинстве случаев требуется предварительная обработку воды.

Расчеты процесса электродеионизации проводятся аналогично расчетам процесса электродиализа [27].

3.3.6 Ионитовое обессоливание воды

Метод ионитового обессоливания предназначен для уменьшения минерализации воды, в том числе общей жесткости, общей щелочности, содержания кремниевых соединений и основан на последовательном фильтровании воды через Н-катионитовый, а затем HCO_3^- -, OH^- или CO_3^- -анионитовый фильтр.

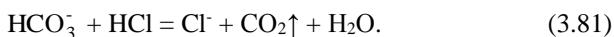
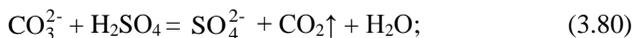
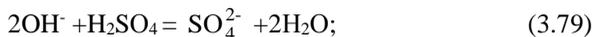
В *водород-катионитовых фильтрах* катионы, содержащиеся в исходной воде, главным образом Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , обмениваются на водород-катионы по реакциям



В фильтрате образуется эквивалентное количество кислоты из анионов, с которыми были связаны катионы.

Образовавшийся в процессе разложения гидрокарбонатов углекислый газ CO_2 удаляется в декарбонизаторах.

В *анионитовых фильтрах* (гидроксид-анионирование) анионы образовавшихся кислот обмениваются на ионы OH^- (задерживаются фильтром).



В результате получается деминерализованная (обессоленная) вода.

К воде поступающей на ионообменные установки предъявляются следующие требования:

- содержание солей – до 3 г/дм³;
- сульфатов и хлоридов – до 5 ммоль/дм³;
- взвешенных веществ – не более 8 мг/дм³;
- цветность – не выше 30 град;
- перманганатная окисляемость – до 7 мг O_2 /дм³.

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 *Н-катиониты*. Показатели качества воды после обессоливания приведены в таблице 3.11.

Таблица 3.10 – Показатели качества воды после обессоливания

Показатель	Схема		
	одноступенчатая	двухступенчатая	трехступенчатая
Солесодержание, мг/дм ³	2–10	0,1–0,3	0,05–0,1
Удельная электропроводность, мкСм/см	1–2	0,2–0,8	0,1–0,2
Кремниевая кислота, мг/дм ³	Не изменяется	До 0,1	До 0,05

В *одноступенчатых ионитовых установках* вода последовательно пропускается через группу фильтров с Н-катионитом, а затем через группу фильтров со слабоосновным анионитом (рисунок 3.26). Свободная углекислота удаляется в дегазаторе, установленном после катионитовых или анионитовых фильтров. В каждой группе должно быть не менее двух фильтров.

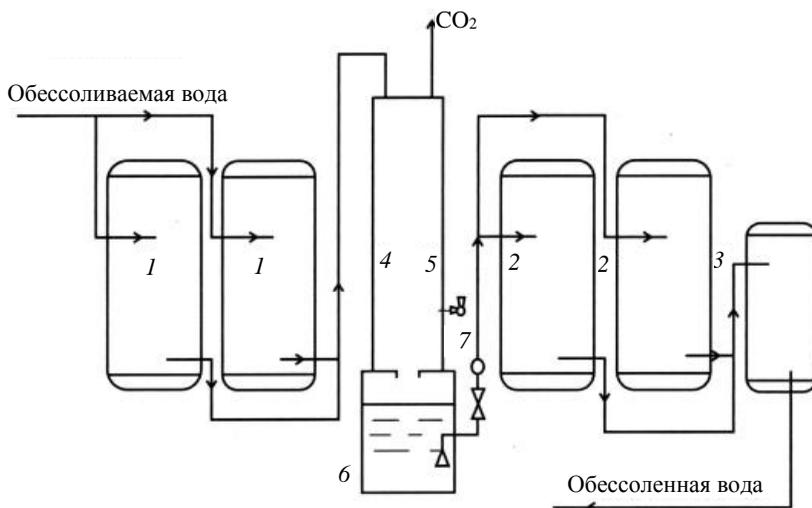


Рисунок 3.26 – Схема одноступенчатого обессоливания воды:

1 – Н-катионитовые фильтры; 2 – анионитовые фильтры; 3 – буферный Na-катионитовый фильтр; 4 – дегазатор; 5 – вентилятор; 6 – промежуточный бак; 7 – насос

Через ионитовую установку пропускается лишь часть воды с тем, чтобы после смешения ее с остальной водой получить в опресненной воде солесодержание, отвечающее требованиям потребителя.

Ионитовые установки с *двухступенчатой схемой обессоливания* (рисунок 3.27) состоят из Н-катионитовых и анионитовых фильтров I ступени (со слабоосновным анионитом) дегазатора для удаления углекислого газа, Н-катионитовых и анионитовых фильтров II ступени (с сильноосновным анионитом), барьерных Н-катионитовых фильтров с катионитом, имеющим высокую емкость поглощения по щелочи (например, КБ4).

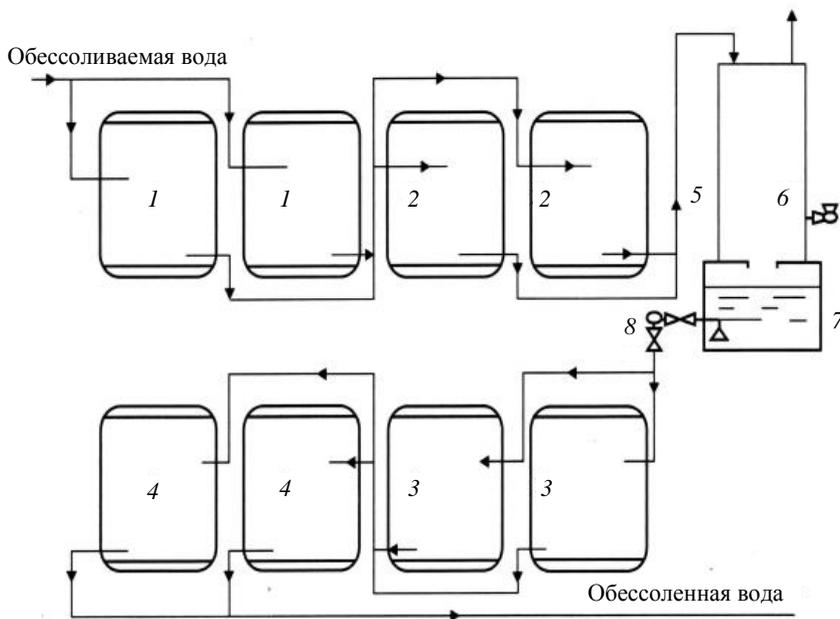


Рисунок 3.27 – Схема обессоливания воды с двухступенчатым катионированием и анионированием:

1 – Н-катионитовые фильтры I ступени; 2 – анионитовые фильтры I ступени (со слабоосновным анионитом); 3 – Н-катионитовые фильтры II ступени; 4 – анионитовые фильтры II ступени (с сильноосновным анионитом); 5 – дегазатор; 6 – вентилиатор; 7 – бак для сбора частично обессоленной воды; 8 – насос

Н-катионитовые фильтры I ступени отключаются на регенерацию по проскоку ионов кальция и магния, II ступени – по проскоку ионов натрия. Анионитовые фильтры I ступени задерживают анионы сильных кислот, II ступени – кремниевую кислоту и недесорбированную в дегазаторе углекислоту. Барьерные фильтры снижают расход воды на отмывку анионитовых фильтров II ступени.

В установках с *трехступенчатой схемой обессоливания* (рисунок 3.28) вместо барьерного фильтра применяется фильтр со смешанной загрузкой катионита и анионита или Н-катионитовые фильтры III ступени и за ними анионитовые фильтры III ступени с сильноосновным анионитом.

Третья ступень Н-катионирования предусматривается для извлечения из воды небольших количеств натрия, попадающего в нее при плохой отмывке сильноосновного анионита, третья ступень анионирования предусматривается для удаления из воды продуктов растворения и разрушения катионитов и для повышения степени использования анионита на фильтрах II ступени.

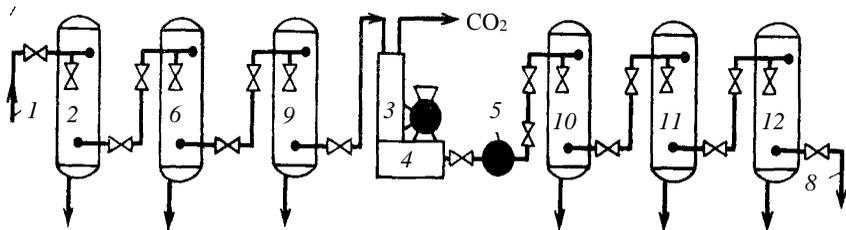


Рисунок 3.28 – Схема трехступенчатого обессоливания воды:

1, 8 – подача исходной и отвод обессоленной воды; 2 – водород-катионитовые фильтры; 3 – дегазатор; 4 – промежуточный резервуар; 5 – насос; 6 – анионитовые фильтры; 7 – буферный натрийкатионитовый фильтр; 9 – водородкатионитовые фильтры II ступени; 10 – анионитовые фильтры II ступени (с сильноосновным анионом); 11 – водородкатионитовые фильтры III ступени; 12 – анионитовые фильтры III ступени

Водород-катионитовые фильтры выводятся на регенерацию при снижении кислотности на 20 % от максимальной. Регенерация производится кислотой с расходом 70–75 г/г-экв.

При расчете Н-катионитовых фильтров II и III ступеней принимается:

- скорость фильтрования – 50–60 м/ч;
- высота слоя катионита – 1,5 м;
- удельный расход 100%-й серной кислоты – 100 г на 1 г-экв поглощенных катионов;
- время регенерации и отмывки фильтров – 3 ч;
- расход воды на отмывку катионита – 10 м³/м³ катионита.

Вода после отмывки Н-катионитовых фильтров II ступени может использоваться:

- для взрыхления слоя катионита в фильтрах I ступени;
- приготовления регенерационного раствора кислоты.

Регенерация анионитовых фильтров I ступени производится кальцинированной содой:

- удельный расход – 100 г соды на 1 г-экв поглощенных анионов;
- концентрация регенерационного раствора, приготовленного на водород-катионированной воде, – 4 %.

Отмывка анионитовых фильтров I ступени после регенерации осуществляется водород-катионированной водой с расходом 10 м³ воды на 1 м³ анионита [27, таблица 21.3].

В анионитовых фильтрах II ступени толщина слоя сильноосновного анионита принимается равной 1,5 м, скорость фильтрования – 15–25 м/ч, кремнеемкость анионита определяется по паспортным данным.

Регенерация слоя анионита производится 4%-м раствором гидроксида натрия, приготовленного на водород-катионированной воде, удельный расход 100 % NaOH составляет 120–140 кг/м³ анионита.

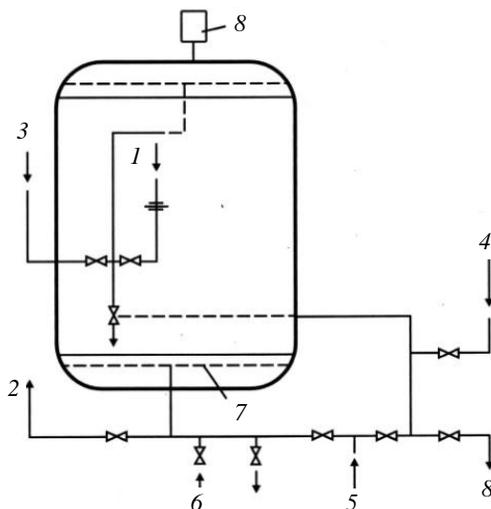
Для приготовления регенерационного раствора едкого натра и отмывки анионита на фильтрах III ступени после регенерации применяется обессоленная вода после анионитовых фильтров II ступени. Удельный расход едкого натра принимается равным 2000 г/г-экв поглощенной кремниевой кислоты, продолжительность регенерации – 3 ч.

Особенностью установок с анионитовыми фильтрами является необходимость аппаратуры для приготовления растворов кальцинированной соды, гидрокарбоната натрия и едкого натра.

Возможно использование отработанных растворов гидроксида натрия после регенерации анионитовых фильтров II ступени для регенерации слоя анионита на фильтрах I ступени. При этом регенерирующий агент будет один – гидроксид натрия.

В схемах глубокого обессоливания воды применяют **фильтры смешанного действия** (ФСД), содержащие смесь Н-катионита и ОН-анионита (рисунок 3.29).

Рисунок 3.29 – Фильтр смешанного действия:
 1 – подача обрабатываемой воды;
 2 – отвод обрабатываемой воды;
 3 – подвод раствора щелочи;
 4 – подвод раствора кислоты;
 5 – подвод осветленной воды;
 6 – подвод сжатого воздуха;
 7 – дренаж;
 8 – отвод воздуха



ФСД оборудуется распределительными устройствами для подачи обессоливаемой воды и регенерационных растворов, а также дренажной системой и специальным промежуточным коллектором, располагаемым на границе раздела «анионит – катионит». Иониты подбираются так, чтобы во влажном состоянии насыпания масса анионита была меньше, чем катионита. На дне фильтра располагается система для подачи сжатого воздуха для перемешивания ионитов после регенерации. Для загрузки ФСД применяются хорошо отсортированные иониты (АВ 17-8 и КУ-2). При этом зерна катионита должны быть крупнее, чем анионита, чтобы при взрыхлении и последующем

снижении подачи воды катионит осаждался внизу, а сверху располагался слой анионита.

В процессе регенерации раствор кислоты вводится через нижнее дренажное устройство и отводится через промежуточную распределительную систему. Одновременно, для того чтобы кислота не попала в анионит, через него сверху вниз пропускают обессоленную воду, отводя ее через промежуточный коллектор.

Отмывка катионита сочетается с регенерацией анионита, при этом раствор щелочи вводится через верхнее распределительное устройство, расположенное над слоем анионита, и отводится через промежуточную распределительную систему. Обессоленная вода для отмывки катионита подводится так же, как и раствор кислоты (снизу вверх).

Затем отмывается анионит, после чего иониты в фильтре перемешиваются сжатым воздухом и окончательно отмываются от продуктов регенерации. В этом виде фильтр представляет собой множество «сдвоенных» катионит-анионитовых фильтров. Высота слоев за грузки принимается по 0,6 м, скорость фильтрования 40–50 м/ч.

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.

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 малосолесных вод и доочистки воды, обессоленной ранее обратным осмосом, когда регенерация проводится редко или иониты применяются однократно.

Ионообменная технология является самой применяемой в настоящее время для умягчения и деминерализации воды. Эта технология позволяет добиться качества воды, соответствующего нормам разных промышленных и энергетических объектов.

Почти все конструкции ионообменных фильтров – параллельноточные (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 определяют принципиальные *недостатки ионообменной технологии очистки воды*:

- большой расход реагентов, воды для отмывки ионита от остатков регенерационного раствора;

- большое количество сточных вод, качество которых не соответствует требованиям отведения в системы канализации.

Выходом из положения может служить двухступенчатое (для натрий-кационирования) и трехступенчатое (для деминерализации ионированием) фильтрование. Разновидностью двухступенчатого умягчения можно считать параллельноточно-противоточное фильтрование: несмотря на название, в каждом из пары фильтров осуществляется параллельноточное фильтрование [7, 27].

3.4 Удаление из воды кремниевой кислоты

3.4.1 Технология удаления из воды кремниевой кислоты, классификация методов

Формы присутствия в воде кремниевой кислоты варьируются от коллоидной до ионнодисперсной в зависимости от ее температуры, pH и от соотношения различных примесей воды.

В подземных водах содержание кремниевой кислоты достигает половины их общего анионного состава. Концентрация кремниевой кислоты в воде равнинных рек обычно значительно ниже, чем в воде горных рек.

Воду, содержащую кремниевую кислоту, нельзя использовать для питания котлов высокого и сверхвысокого давления, при производстве капрона и текстиля, в химико-фармацевтической промышленности, при переработке цветных металлов.

Кремниевая кислота является основным компонентом сложных силикатных накипей, которые способны отлагаться на стенках котлов и теплообменных аппаратов. Кремниевая кислота образует накипи с катионами кальция, магния, натрия, железа, аммония. Силикатная накипь обладает низким коэффициентом теплопроводности и поэтому существенно снижает теплотехнические показатели работы котлов и теплообменных аппаратов.

Таким образом, вода, содержащая кремниевую кислоту, осложняет и ухудшает работу котлов, турбин, а также различных теплообменных аппаратов, понижает качество продукции ряда производств, поэтому при ее использовании для указанных целей необходимо произвести предварительное обескремнивание воды. Глубина обескремнивания питательной воды для котлов

зависит от их рабочего давления, температуры и конструкции. Содержание кремниевой кислоты в добавочной воде обычно составляет до 0,05–0,1 мг/л (считая по SiO_3^{2-}).

Соли кремниевой кислоты достаточно хорошо растворимы в воде. Наименее растворимы в воде силикаты марганца, цинка, кадмия и кальция. Использование солей этих металлов в технологии обескремнивания воды неэкономично из-за больших расходов осадителя. Кремниевая кислота хорошо сорбируется на хлопьях гидроксидов магния, железа и алюминия.

Кремниевая кислота не извлекается из воды в результате обменной адсорбции на слабоосновных анионитах, а средне- и сильноосновными анионитами сорбируется при отсутствии в воде сильных и слабых кислот (особенно угольной).

Обескремнивание воды достигается осаждением известью, сорбцией гидроксидами железа, алюминия, оксидом или гидроксидом магния, фильтрованием через магниальный сорбент, ионным обменом и электрокоагулированием.

Методы удаления кремниевой кислоты приведены в таблице 3.11. Выбор метода обескремнивания воды зависит от предъявляемых к ней требований и экономических показателей.

При обескремнивании воды с температурой 98 °С осаждением известью и при значительном избытке осадителя содержание кремниевой кислоты может быть снижено до 0,4–0,5 мг/л, а сорбцией гидроксидами алюминия и железа – до 1,5–2 мг/л. При обескремнивании воды, нагретой до 40 °С, сорбцией гидроксидом магния или каустическим магнезитом достигается снижение соединений кремния в ней до 0,8–1,2 мг/л, а при подогреве воды до 120 °С – до 0,25–0,5 мг/л.

При обескремнивании воды фильтрованием через магниальный сорбент остаточное содержание кремниевой кислоты снижается до 0,1–0,2 мг/л.

Наиболее глубокое обескремнивание воды достигается в цикле ее ионитового обессоливания: до 0,05–0,01 мг/л. Однако этот метод является наиболее дорогостоящим.

Обескремнивание воды при электролизе растворимым алюминиевым анодом основано на способности образующегося в процессе электролиза гидроксида алюминия сорбировать соединения кремния. Наиболее эффективно данный процесс протекает при неглубоком обескремнивании воды, т. е. при снижении концентрации SiO_2 на 60–80 %. В этом случае при расходе алюминия 2–3 г/м³ и потреблении электроэнергии 0,01–0,02 кВт·ч/м³ концентрация SiO_2 снижается в 2 раза.

При небольших расходах обрабатываемой воды метод может использоваться и для глубокого обескремнивания, однако в этом случае требуется повышенный расход алюминия и электроэнергии.

Таблица 3.11 – Методы удаления из воды кремниевой кислоты

Метод	Краткое описание метода	Область применения	Особенности
Известкование	Осаждение в виде силикатов кальция с подогревом воды до 40–80 °С	Неглубокое снижение высоких концентраций кремния в воде (до 6–8 мг/л)	Большое потребление энергии, большое количество осадков
Коагулирование	Сорбция на хлопьях гидроксида железа или алюминия при подогреве воды до 35–40 °С, рециркуляции осадка	Водоподготовка котельной воды	Очень большое потребление энергии и реагентов
Осаждение гидроксидом магния	Осаждение в виде силиката магния при подогреве до 35–40 °С	Универсальный метод	Гидроксид магния – дорогой реагент, однако достигается глубокое снижение концентрации кремния
Сорбция на магнезиальных сорбентах	Поглощение сорбционной загрузки, изготовленной из активированного оксида алюминия и бокситов. Фильтр регенерируется щелочью	Универсальный метод	Эффективный метод, срок службы загрузки составляет 6–8 месяцев. Требуется только щелочь, а также не расходуется тепло
Анионитное обескремнивание	Ионообменная обработка с использованием сильноосновных анионитов	Водоподготовка котельной воды	Эффективный метод, но образуется большое количество промывных вод
Электрохимическое удаление	Сорбция на хлопьях гидроксида алюминия, который образуется в результате электрохимического растворения анодов	Для питьевой воды	Эффективное удаление кремния до 4–5 мг/л

3.4.2 Реагентные методы удаления кремниевой кислоты

Удаление кремниевой кислоты *реагентной обработкой известью* основано на небольшой растворимости силиката кальция. Применяется при исходном содержании кремниевой кислоты в исходной воде не более 20 мг/л по SiO_2 , а также при содержании ионов магния в соотношении 5–6 мг на 1 мг SiO_3^{2-} .

При температуре обрабатываемой воды 20–30 °С эффективность удаления кремниевой кислоты составляет 25–30 %.

При нагревании обрабатываемой воды до температуры 80–90 °С остаточная концентрация кремниевой кислоты достигает 0,4–0,5 мг/л. Величину pH при обработке воды необходимо поддерживать в пределах 10,2–10,3.

В технологической схеме удаления кремниевой кислоты *реагентной обработкой известью с подогревом* подлежащая обескремниванию вода нагревается в каскадном подогревателе до температуры 80–90 °С, насыщается известью в сатураторе (рисунок 3.30). При этом выпадают в осадок гидроксид магния, сорбирующий SiO_3^{2-} , силикат и карбонат кальция. Подача извести предусматривается в сатураторе, осветление воды предусматривается в фильтрах, удалением избытка гидроксида кальция – в скрубберах продувкой дымовыми газами. Для доочистки воды от осадка карбоната кальция, образующегося при продувке дымовыми газами в скрубберах предусматривается обработка в осветлителях и скорых фильтрах. При необходимости после скорого фильтра вода направляется на буферный натрий-катионитовый фильтр с термостойким катионитом.

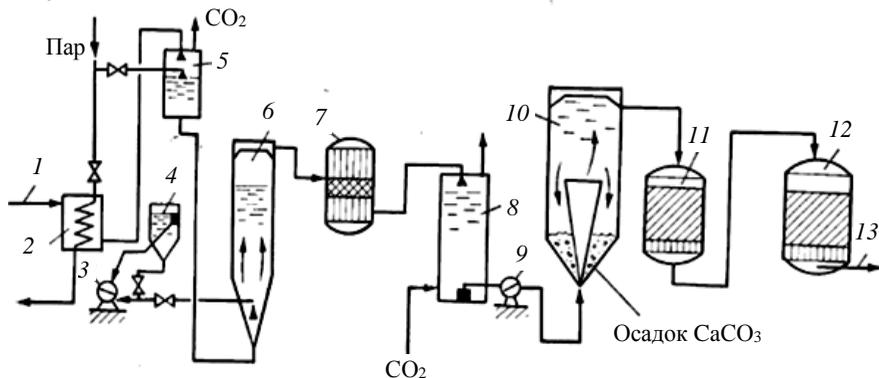


Рисунок 3.30 – Технологическая схема удаления кремниевой кислоты реагентной обработкой известью с подогревом:

- 1, 13 – подача исходной и отвод воды; 2 – теплообменник; 3 – насос-дозатор; 4 – бак известкового молока; 5 – дегазатор; 6 – сатуратор; 7 – фильтр с мраморной крошкой; 8 – скруббер; 9 – повысительный насос; 10 – напорный осветлитель; 11 – фильтр с мраморной (или антрацитовой) крошкой; 12 – натрий-катионитовый фильтр с термостойким катионитом.

В очищенной воде остаточная концентрация кремниевой кислоты составляет 0,35–0,50 мг/л (считая по SiO_3^{2-}), солей жесткости – не более 0,01 мг-экв/л, щелочность не превышает 0,3 мг-экв/л. Из воды удаляется углекислота и происходит разложение гидрокарбонатов.

Удаление кремниевой кислоты *реагентной обработкой солями трехвалентного железа* предусматривается путем дозирования хлорида железа FeCl_3 или сульфата железа $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ при их расходе по безводному веществу 10–15 мг/л на 1 мг/л удаляемой кремниевой кислоты по SiO_3^{2-} . Величина pH при обработке поддерживается в пределах 8,5–9,5 добавлением извести.

Доза добавляемой извести мг/л, определяется по формуле

$$D_{\text{и}} = 28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} \right), \quad (3.82)$$

где $[\text{CO}_2]$ – содержание диоксида углерода в исходной воде, мг/л;

$D_{\text{к}}$ – доза коагулянта в пересчете на безводный продукт, мг/л;

$e_{\text{к}}$ – эквивалентная масса активного вещества коагулянта, мг-экв/л (для $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ $e_{\text{к}} = 76$, для FeCl_3 $e_{\text{к}} = 54$).

Задержание соединений кремниевой кислоты осуществляется в осветлителях со слоем взвешенного осадка. Скорость восходящего потока в осветлителе поддерживается в пределах 0,9–1,0 мм/с, высота слоя взвешенного осадка – не менее 2,5 м. При необходимости предусматривается доочистка после осветлителя на скорых фильтрах.

Установка состоит из вертикального смесителя, дозаторов реагента и известкового молока, осветлителя, фильтра и насоса для рециркуляции осадка (рисунок 3.31). Благодаря рециркуляции осадка значительно снижается расход коагулянта, достигается остаточная концентрация кремниевой кислоты порядка 3–5 мг/л.

Для удаления кремниевой кислоты *реагентной обработкой солями алюминия* применяется дозирование сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ и алюмината натрия NaAlO_2 , при обосновании допускается использование других коагулянтов, содержащих алюминий.

Доза сульфата алюминия принимается до 15 мг/л $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ на 1 мг/л удаляемой кремниевой кислоты по SiO_3^{2-} . Величина pH поддерживается в пределах 8,5–9,0 добавлением извести. Доза извести определяется по формуле (3.57). Эквивалентная масса активного вещества коагулянта для $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ составляет 57 мг/мг-экв.

При дозировании алюмината натрия NaAlO_2 доза в пересчете на Al_2O_3 принимается 2,0–2,6 мг на 1 мг удаляемой кремневой кислоты по SiO_2 . Величина pH поддерживается в пределах 8,6–9,5.

Остаточная концентрация кремниевой кислоты при температурах 20–30 °C составляет 8–10 мг/л, при повышении температуры до 40 °C – 2 мг/л.

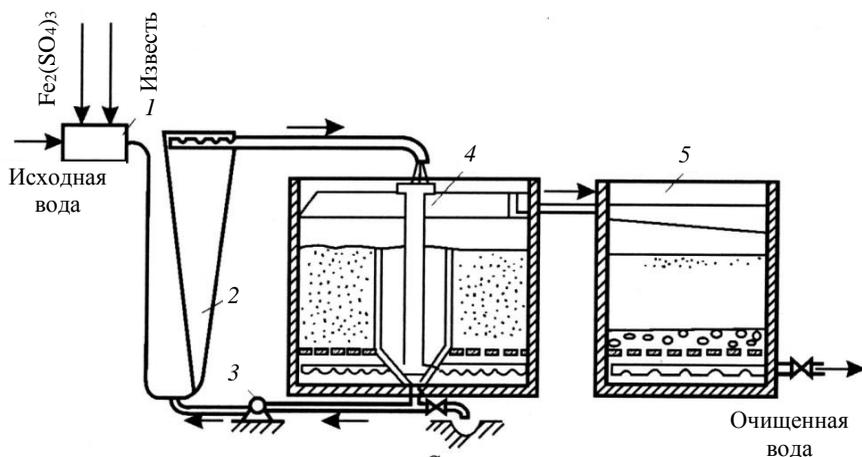


Рисунок 3.31 – Технологическая схема удаления кремниевой кислоты реагентной обработкой сульфатом железа:

- 1 – смеситель; 2 – вихревая камера реакции; 3 – рециркуляционный насос;
4 – осветлитель со взвешенным слоем осадка; 5 – фильтр

Для снижения концентрации алюминия в обработанной воде сочетается дозирование алюмината натрия NaAlO_2 с хлоридом железа FeCl_3 . Остаточное содержание алюминия составляет 0,2–0,3 мг/л.

Задержание соединений кремниевой кислоты производится в осветлителях со слоем взвешенного осадка. Для снижения дозы коагулянта применяется рециркуляция осадка в осветлителе.

Применение вместо алюмината натрия более дешевого сульфата алюминия уменьшает глубину декарбонизации и увеличивает содержание сульфатов, что нежелательно для вод, идущих на питание паровых котлов.

Перечисленные методы имеют *недостатки*, среди которых наиболее значительными являются большой расход и высокая стоимость реагентов, а также увеличение количества сухого остатка декремнизированной воды.

Магнезиальный метод обескремнивания воды (рисунок 3.32) основан на способности соединений магния (оксида магния, обожженного доломита, каустического магнезита и др.) сорбировать из водных растворов коллоидную и молекулярно-дисперсную кремниевую кислоту.

При дозировании порошкового *оксида магния* MgO в количестве 1,8–3,2 мг на 1,0 мг удаляемой кремниевой кислоты по SiO_3^{2-} остаточная концентрация кремниевой кислоты составляет 4–6 мг/л при температурах 50–55 °С.

Для снижения расхода магнезитовых реагентов (в 3–4 раза) применяется высокий подогрев и рециркуляцию шлама из отстойников в смеситель или камеру реакции.

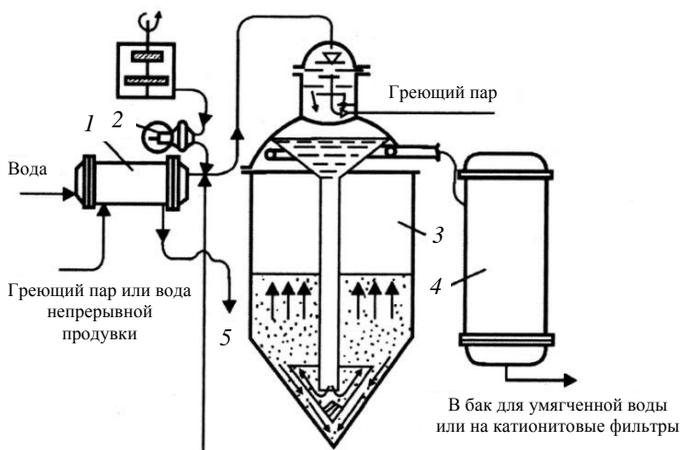


Рисунок 3.32 – Технологическая схема магниального удаления кремниевой кислоты:

1 – подогреватель воды; 2 – напорный дозатор; 3 – осветлитель с каскадным подогревателем; 4 – фильтр с загрузкой магномассы или антрацита; 5 – рециркуляционный насос

При подогреве воды до температуры 35–45 °С остаточное содержание кремниевой кислоты при обработке оксидом магния не превышает 2 мг/л, до 86–105 °С – 0,5 мг/л. Доза оксида магния составляет 5–7 мг на 1 мг удаляемой кремниевой кислоты по SiO_3^{2-} .

Из-за дефицитности и высокой стоимости оксида магния в качестве магниезитовых реагентов часто применяются:

- обожженный декарбонизованный доломит $\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$;
- полубоженный каустический доломит $\text{MgO} \times \text{CaCO}_3$;
- каустический магнезит MgCO_3 .

Обожженный доломит заливается водой и через 1,5–2 ч дозируется в обрабатываемую воду в виде 5%-го раствора (по сумме CaO и MgO). В осветлителе образуется осадок из карбоната кальция и оксида магния, который сорбирует кремниевую кислоту.

Поскольку *обоженный доломит* промышленностью не выпускается и его необходимо получать на месте потребления, при обескремнивании воды чаще всего применяют *каустический магнезит*, который представляет собой пыль, улавливаемую из отходящих газов при обжиге природного магнезита MgCO_3 .

Каустический магнезит дозируется в виде суспензии или порошка. В воде он образует тяжелую быстрооседающую взвесь, эффект обескремнивания которой зависит:

- от дозы реагента;

- времени контакта реагента с водой;
- температуры воды.

Доза магnezитовых реагентов, мг/л, определяется по формуле

$$D_o = \left([\text{SiO}_3^{2-}] 12 - 1,7 [\text{Mg}^{2+}] \right) \frac{100}{C_{\text{MgO}}}, \quad (3.83)$$

где $[\text{SiO}_3^{2-}]$ – концентрация ионов кремниевой кислоты в исходной воде, мг/л;

$[\text{Mg}^{2+}]$ – концентрация ионов магния в исходной воде, мг/л;

C_{MgO} – содержание MgO в магnezитовых реагентах, %.

Декремнизация воды происходит достаточно полно при pH 10,1–10,3, поэтому в нее добавляют известь, так как при больших количествах углекислоты и гидрокарбонатов гидроксид магния растворяется и процесс извлечения кремниевой кислоты ухудшается.

При использовании для удаления кремниевой кислоты магnezитовых реагентов (обоженного доломита $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, полуобоженного каустического доломита $\text{MgO} \cdot \text{CaCO}_3$ каустического магnezита MgCO_3).

Величину pH при обработке необходимо поддерживать более 10,0, температуру – 40–50 °С. При щелочности обрабатываемой воды более 2 мг-экв/л предусматривается дополнительное дозирование извести для предотвращения растворения гидроксида магния.

Доза извести мг/л, определяется по формуле

$$D_{\text{и}} = \left[28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + \text{Ж}_к + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} + 0,5 \right) - \frac{D_o C_{\text{CaO}}}{100} \right] \frac{100}{C_{\text{и}}}, \quad (3.84)$$

где $[\text{CO}_2]$ – концентрация в воде свободного диоксида углерода, мг/л;

$\text{Ж}_к$ – карбонатная жесткость исходной воды, мг-экв/л;

$[\text{Mg}^{2+}]$ – концентрация ионов магния в исходной воде, мг/л;

$D_{\text{к}}$ – доза коагулянта (FeSO_4 , или FeCl_3), дозируемого для интенсификации осаждения взвеси, мг/л;

$e_{\text{к}}$ – эквивалентная масса активного вещества коагулянта, мг/мг-экв;

C_{CaO} , $C_{\text{и}}$ – содержание CaO в магnezитовых реагентах и в извести соответственно, %.

Задержание соединений кремниевой кислоты при дозировании магnezитовых реагентов осуществляется в осветлителях со слоем взвешенного осадка со следующими параметрами:

- высота слоя взвешенного осадка – 3,5–4,0 м;
- высота зоны осветления – 2,0–2,5 м;
- скорость восходящего потока – 0,7–0,8 мм/с;
- время контакта реагента с водой – 60–90 мин.

– отведение в осадкоуплотнитель – 30–40 % от расхода поступающей в осветлитель воды.

Оптимальная температура процесса обескремнивания составляет 40 °С, однако установлено, что при температуре воды выше 120–130 °С эффект обескремнивания повышается до 0,3–0,5 мг/л, а расход реагентов и время нахождения воды в осветлителе сокращаются вдвое.

3.4.3 Фильтрационное обескремнивание воды

Для удаление кремниевой кислоты *фильтрованием* предусматривается пропуск воды через слой загрузки из магнезиальных материалов. В качестве загрузки фильтров применяются дробленые:

- обожженный доломит;
- полубоженный каустический доломит;
- каустический магнезит;
- каустический магнезит, обработанный соляной кислотой или хлоридом магния;
- активированный оксид алюминия.

Сущность обескремнивания воды фильтрованием через такой сорбент заключается в образовании малорастворимого в воде силиката магния.

Магнезиальный сорбент получается следующим образом: смесь каустического магнезита с соляной кислотой или хлоридом магния, имеющая консистенцию теста, высушивается при температуре 80–100 °С, измельчается и просеивается. Полученный магнезиальный сорбент представляет собой зерна светло-серого цвета крупностью 0,5–1,5 мм. Массовое отношение Mg/Cl в сорбенте составляет примерно 1,5:1, а его насыпная масса – 0,75–0,85 т/м³.

Рекомендуемые параметры при проектировании фильтров, загруженных каустическим магнезитом, который обработан соляной кислотой или хлоридом магния или активированным оксидом алюминия, приведены в таблице 3.12.

Большое *преимущество* фильтрационного метода заключается в компактности установок и простоте их обслуживания.

3.4.4 Обескремнивание воды анионитами

При удалении кремниевой кислоты ионообменным методом может применяться:

- двухступенчатая схема ионообменного обессоливания для получения воды с остаточным содержанием кремниевой кислоты после обработки не более 0,2 мг/л;
- трехступенчатая схема ионообменного обессоливания для получения воды с остаточным содержанием кремниевой кислоты после обработки не более 0,05 мг/л.

Таблица 3.12 – Параметры сорбционных фильтров

Параметр	Загрузка фильтра	
	каустический магнезит, обработанный соляной кислотой или хлоридом магния	активированный оксид алюминия
Высота загрузки фильтра, м	3,5–4,0	1,5–2,0
Диаметр зерен загрузки, мм	0,5–1,5	1,0–1,5
Скорость фильтрования, м/ч	Не более 10	Не более 8–6
Емкость по задерживаемой кремниевой кислоте кг SiO ₂ /м ³	85–90	10–12
Температура обрабатываемой воды, °С	Не менее 40	–
Остаточное содержание кремниевой кислоты после обработки, мг/л	0,1–0,3	0,3–0,5
Регенерация	Не регенерируется (необходима замена через каждые шесть месяцев)	0,1%-м раствором NaOH

К воде, подаваемой на ионообменные установки, предъявляются следующие требования:

- солесодержание должно быть не более 3 г/л;
- содержание сульфатов и хлоридов – не более 5 ммоль/л;
- содержание взвешенных веществ – не более 8 мг/л;
- цветность – не более 30 град;
- перманганатная окисляемость – не более 7 мг/л.

При использовании двухступенчатой схемы ионообменного обессоливания вода последовательно пропускается через:

- Н-катионитовые фильтры первой ступени с сильнокислотным катионитом – из воды удаляются катионы Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ и Na⁺;
- анионитовые фильтры первой ступени со слабоосновным анионитом – удаляются анионы сильных кислот (SiO₄²⁻, Cl⁻, NO₂⁻);
- Н-катионитовые фильтры второй ступени с сильнокислотным катионитом;
- дегазатор – удаляется углекислота;
- анионитовые фильтры второй ступени с сильноосновным анионитом – удаляется слабая кремниевая кислота.

Для получения воды с общим содержанием соли менее 1 мг/л, в том числе с общим содержанием кремниевой кислоты менее 0,03 мг/л, применяется трехступенчатая схема ионирования, предусматривающая после анионитовых фильтров II ступени с сильноосновным анионитом установке Н-катионитовых фильтров III ступени с сильнокислотным катионитом, анионитовые фильтры III ступени с сильноосновным анионитом.

К недостаткам анионитового метода удаления кремниевой кислоты относится его сравнительно высокая стоимость, что объясняется большим расходом гидроксида натрия на регенерацию и быстрым уменьшением в процессе эксплуатации кремнеемкости высокоосновных анионитов (необходима их замена через каждые 1,5–2 года).

Фторидный метод обескремнивания воды (рисунок 3.33) специальными реагентами позволяет использовать слабоосновные аниониты.

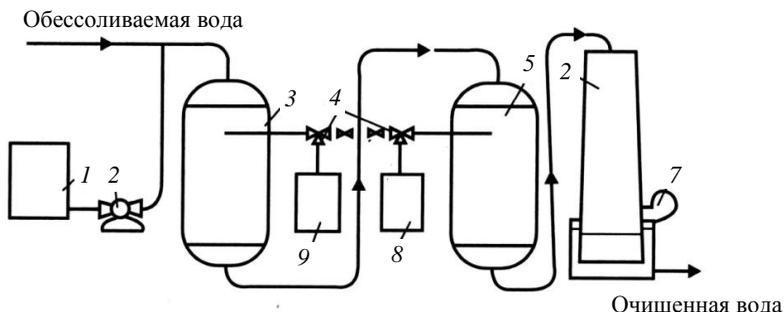


Рисунок 3.33 – Схема установки для обескремнивания воды фторидным методом при ее обессоливании:

- 1 – бак с раствором фтористого натрия; 2 – насос-дозатор; 3 – Н-катионитовый фильтр;
 4 – эжектор; 5 – ОН-анионитовый фильтр; 6 – удалитель углекислоты; 7 – вентилятор;
 8 – бак с раствором щелочи; 9 – бак с раствором серной кислоты

Дозируемые в обрабатываемую воду плавиковая кислота или фторид натрия переводят кремниевую кислоту в сильную кремнефтористоводородную, которая достаточно полно поглощается слабоосновными анионитами.

3.5 Обработка воды для предупреждения коррозии и зарастания трубопроводов и оборудования систем промышленного водоснабжения

3.5.1 Причины и виды зарастания труб и оборудования. Понятие о стабильности воды

В процессе эксплуатации систем промышленного водоснабжения на стенках трубопроводов и оборудования образуются различные отложения, приводящие к зарастанию сечения труб, сужению водопроходных отверстий и каналов технологических установок, снижению пропускной способности и повышению гидравлического сопротивления, что приводит к нерациональным затратам энергии на транспортирование воды и может нарушить нормальные условия эксплуатации технологического оборудования. Появление отложений, как правило, связано со свойствами воды, ее химическим составом, эффективностью и качеством предварительной обработки.

Отложения на стенках труб и оборудовании:

- сплошные, равномерно уменьшающие живое сечение;
- бугристые, возникающие в виде отдельных выступов;
- донные, образующиеся в нижней части труб, каналов и технологического оборудования.

Сплошные отложения образуются при использовании воды, пересыщенной карбонатом кальция. В этом случае они состоят в основном из кристаллов карбоната кальция, которые прикрепляются к стенкам труб и оборудования. При наличии взвешенных веществ возможна их цементация карбонатом кальция с образованием достаточно прочных, трудноудаляемых отложений.

Бугристые отложения образуются в результате коррозии металла под действием воды и представляют собой отдельные прочные бугорки неправильной формы высотой до 20–30 мм. Эти отложения характеризуются значительной прочностью и крепким сцеплением со стенкой. Значительная роль в их образовании принадлежит железобактериям, которые в процессе своей жизнедеятельности перерабатывают оксиды железа в гидроксиды железа.

Донные отложения являются следствием недостаточной очистки воды от грубых примесей и малых скоростей движения воды, а также результатом выпадения, уплотнения и цементирования транспортируемых водой продуктов коррозии.

Зарастание трубопроводов и оборудования различными отложениями, особенно карбонатом кальция, а также интенсивность коррозии в значительной степени связаны с количественными соотношениями присутствующих в воде различных углекислых соединений. От того, в каких формах и в каких концентрациях присутствуют соединения углекислоты в той или иной воде, зависит выбор метода и режима подготовки воды.

В природных водах углекислота может содержаться в следующих основных формах:

- в виде свободной углекислоты, т. е. молекулярно-растворенного в воде газа CO_2 ;
- недиссоциированных молекул H_2CO_3 ;
- гидрокарбонатных ионов HCO_3^- ;
- карбонатных ионов CO_3^{2-} .

Гидрокарбонатные и карбонатные ионы образуются при первой и второй ступенях диссоциации угольной кислоты:

- 1-я ступень: $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$;
- 2-я ступень: $\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-}$.

Соотношение между различными формами углекислоты при данной температуре зависит воды от активности ионов водорода, т. е. от pH раствора.

При $\text{pH} \leq 4$ вся имеющаяся в воде углекислота находится в форме свободной CO_2 (рисунок 3.34). При увеличении pH до 8,3 содержание свободной

углекислоты уменьшается почти до нуля, а содержание гидрокарбонатных ионов возрастает от нуля до максимума.

При pH в диапазоне 8,3–8,4 содержание ионов HCO_3^- достигает 98 % общего количества соединений угольной кислоты, а на долю остальных компонентов ($\text{CO}_2 + \text{CO}_3^{2-}$) приходится около 2 %.

При дальнейшем повышении pH содержание ионов CO_3^{2-} в воде увеличивается за счет уменьшения содержания ионов HCO_3^- . Свободная углекислота при $\text{pH} > 8,4$ практически отсутствует. Указанное соотношение между различными формами углекислоты наблюдается при стационарных условиях.

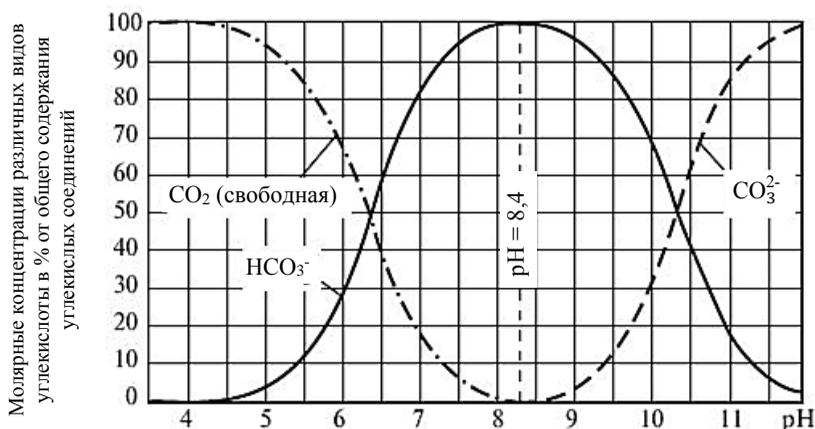
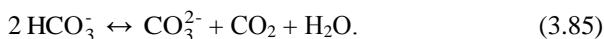


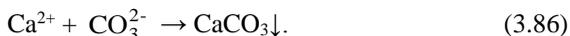
Рисунок 3.34 – Соотношение различных форм углекислоты и pH воды при температуре 25 °C

Изменение температуры воды приводит к перераспределению различных форм углекислоты. Увеличение или уменьшение в воде концентрации какого-либо компонента углекислотного равновесия приводит к соответствующему изменению концентраций других компонентов до тех пор, пока снова не установится равновесие согласно уравнению



Если в воде, находящейся в состоянии углекислотного равновесия, уменьшить каким-либо образом концентрацию свободной углекислоты, то равновесие в уравнении сдвинется вправо, т. е. произойдет распад части гидрокарбонатных ионов с выделением карбонатных ионов и свободной углекислоты. Образовавшиеся карбонатные ионы в результате реакции с обычно

имеющимися в природных водах ионами кальция дают малорастворимый карбонат кальция, который, выделяясь в осадок, образует карбонатные отложения:



Если в раствор, характеризующийся равновесием углекислотных соединений, ввести некоторое количество свободной углекислоты, то равновесие в уравнении сдвинется влево, т. е. при контакте такой воды с карбонатом кальция часть его, соответствующая избыточному количеству углекислоты, перейдет в раствор. Такие воды называют *агрессивными*, а та часть избытка свободной углекислоты над равновесной ее концентрацией, которая вступает в реакцию с ионами CO_3^{2-} , называется *агрессивной углекислотой*.

Агрессивные воды и воды, склонные к карбонатным отложениям, создают значительные трудности при эксплуатации систем промышленного водоснабжения. При контакте агрессивных вод с бетоном происходит его разрушение вследствие растворения входящих в его состав карбонатных компонентов. В трубопроводах и теплообменных аппаратах такие воды вызывают растворение защитной карбонатной пленки, а затем и коррозию металла.

В системах производственного водоснабжения (в частности оборотных) более распространены случаи, когда вода склонна к карбонатным отложениям (содержание свободной углекислоты в воде в концентрации меньше равновесной, что ведет к распаду гидрокарбонатов), чем когда вода обладает агрессивными свойствами (содержание свободной углекислоты в воде в концентрации больше равновесной). Следовательно, определение условий углекислотного равновесия воды, т. е. определение равновесных концентраций углекислоты при различной температуре и химическом составе воды, при которых не происходит распад гидрокарбоната кальция и растворение карбоната кальция, является важнейшим фактором борьбы с зарастанием трубопроводов и оборудования и защиты их от коррозии. Практические задачи обычно заключаются в определении склонности воды к какому-либо из этих процессов и в выявлении их интенсивности.

Одним из основных показателей качества воды является ее *стабильность*. Очищенную воду нельзя считать удовлетворительной по качеству, если она, проходя по трубам, приобретает окраску или образует осадок.

Стабильной считается вода, которая не выделяет и не растворяет карбонат кальция.

Нарушение стабильности воды может быть вызвано:

- наличием растворенной угольной кислоты, сероводорода или кислорода;
- низким значением рН;
- пересыщенностью угольной кислоты или кислорода;
- пересыщенностью карбонатом кальция или гидроксидом магния;

– повышенной концентрацией сульфатов или хлоридов.

Существует два метода определения стабильности воды: экспериментальный и расчетный.

Экспериментальный метод определения стабильности воды основан на увеличении щелочности воды при взаимодействии свободной (агрессивной) углекислоты CO_2 с карбонатом кальция



Показатель стабильности воды определяется из выражений

$$C = \frac{\text{Щ}_{\text{исх}}}{\text{Щ}_{\text{н}}}; \quad (3.88)$$

$$C = \frac{\text{pH}}{\text{pH}_s}, \quad (3.89)$$

где $\text{Щ}_{\text{исх}}$ – исходная фактическая щелочность воды в естественном состоянии, мг-экв/дм³;

$\text{Щ}_{\text{н}}$ – щелочность воды после смешивания (насыщения) ее с карбонатом кальция, мг-экв/дм³;

pH – pH исходной воды;

pH_s – pH воды, насыщенной карбонатом кальция.

При $C = 1$ вода стабильна, $C < 1$ – вода агрессивна, $C > 1$ – вода способна к отложению карбоната кальция.

Расчетный метод определения стабильности воды основан на определении индекса насыщения воды карбонатом кальция (индекса Ланжелье):

$$J = \text{pH} - \text{pH}_s. \quad (3.90)$$

При $\text{pH} > \text{pH}_s$ ($J > 0$) вода нестабильна и склонна к образованию карбонатных отложений.

Если $\text{pH} < \text{pH}_s$ ($J < 0$) вода агрессивна и вызывает растворение карбонатных отложений и коррозию металлов.

При $\text{pH} = \text{pH}_s$ ($J = 0$) вода стабильна и не склонна ни к одному из вышеперечисленных процессов.

Индекс Ланжелье не является количественной характеристикой агрессивных свойств воды, а является лишь качественным показателем склонности воды к тому или иному процессу.

Значение pH_s определяется по номограмме (рисунок 3.35) исходя из содержания кальция C_{Ca} , общего солесодержания P , щелочности Щ и температуры воды t .

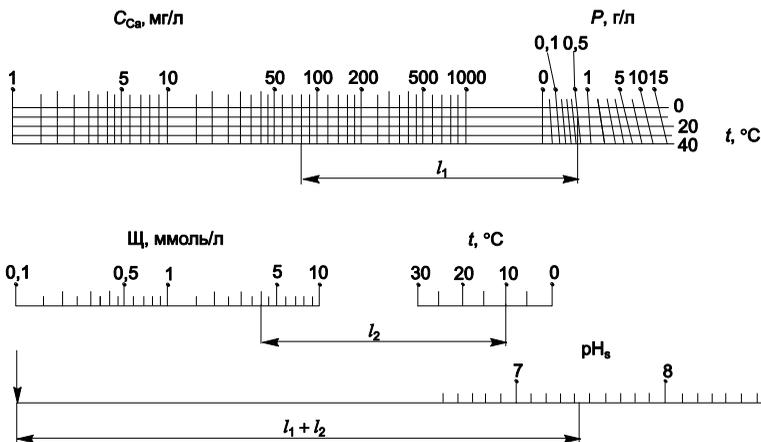


Рисунок 3.35 – Номограмма для определения pH насыщения воды карбонатом кальция (pH_s)

Пример: если $C_{Ca} = 78$ мг/л, $\text{Щ} = 4$ мг-экв/л, $P = 0,5$ г/л, $t = 10$ °C, то $\text{pH}_s = 7,43$.

При определении стабильности воды необходимо учитывать изменение ее качества в результате предшествующей обработки.

Щелочность воды Щ_k , мг-экв/л, после обработки ее коагулянтами определяется по формуле

$$\text{Щ}_k = \text{Щ} - D_k / e_k, \quad (3.91)$$

где Щ – щелочность исходной воды, мг-экв/л;

D_k – доза коагулянта в расчете на безводный продукт, мг/л;

e_k – эквивалентная масса безводного вещества коагулянта, мг/мг-экв, для $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - 57$; $\text{FeCl}_3 - 54$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 - 67$ мг/мг-экв.

Количество свободной углекислоты в воде после коагулирования определяется по формуле

$$[\text{CO}_2]_{\text{св}} = [\text{CO}_2]_{\text{исх}} + 44D_k / e_k, \quad (3.92)$$

где $[\text{CO}_2]_{\text{исх}}$ – концентрация углекислоты в исходной воде, мг/л.

Величина pH воды, насыщенной карбонатом кальция, также может быть определена по формуле

$$\text{pH}_s = f_1(t) - f_2(\text{Ca}^{2+}) - f_3(\text{Щ}) + f_4(P), \quad (3.93)$$

где $f_1(t)$ – функция температуры воды;

$f_2(\text{Ca}^{2+})$ – функция содержания в воде кальция;

$f_3(\text{Щ})$ – функция щелочности;

$f_4(P)$ – функция общего содержания в воде солей.

Расчеты по формуле (3.93) удобно проводить с помощью расчетного графика, приведенного на рисунке 3.36.

Слева на каждой шкале отложены числовые значения показателей качества воды, справа – значения функций этих величин, которые подставляются в формулу (3.93).

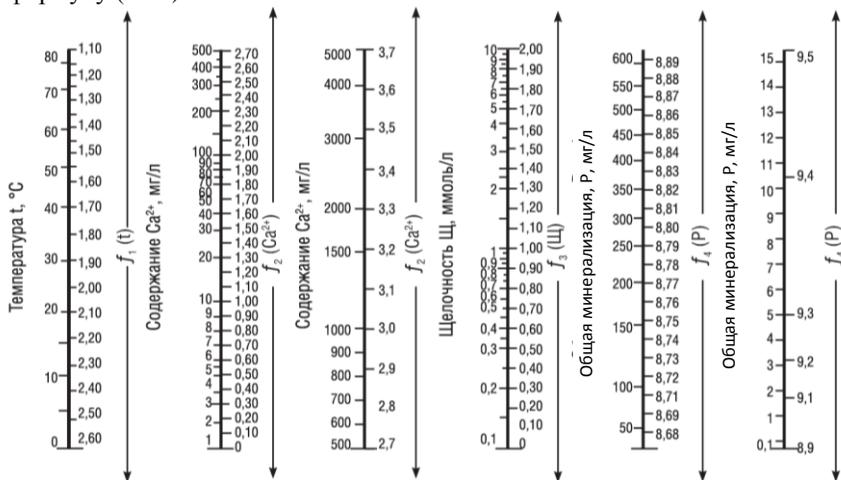


Рисунок 3.36 – График для определения рН.

По индексу стабильности решается вопрос о целесообразности стабилизационной обработки воды.

Степень агрессивности воды устанавливается в процессе эксплуатации. Агрессивное действие воды при очистке объясняется нарушением в ней карбонатного равновесия, поскольку при добавлении в воду 1 мг сульфата алюминия или хлорида железа (III) выделяется около 0,8 мг оксида углерода (IV) за счет разложения гидрокарбонатов. Вода при этом становится нестабильной, т. е. способной растворять защитные пленки на внутренней поверхности трубопроводов в результате появления в ней агрессивной угольной кислоты. При оголении поверхности трубопроводов усиливается электрохимическая коррозия, которой способствует присутствие растворенного в воде кислорода и сероводорода.

Вода может быть слабоагрессивной, что соответствует:

- солесодержанию – менее 500 мг/л;
- содержанию хлоридов и сульфатов – менее 150 мг/л;
- карбонатной жесткости – более 2,5–3 мг-экв/л;
- рН до 6–7;
- малому содержанию растворенных газов, способствующих коррозии.

Агрессивность воды возрастает при увеличении ее соледержания, сульфатов и хлоридов, карбонатной жесткости воды менее 2,5 мг-экв/л и рН менее 6, при увеличении содержания кислорода более 6 мг/л и биологических обрастаниях.

Коррозия труб и оборудования может вызываться разнообразными агрессивными средами, к которым относятся воздух, топочные газы, сернистые соединения, реагенты, применяемые для обработки воды, продукты их разложения и др.

Для определения коррозионности воды по отношению к стали (чугуну) используется *индекс Ризнера*, определяемый по формуле

$$R = 2pH_s - pH. \quad (3.94)$$

Характеристики воды по индексу Ризнера:

$R = 4 \dots 5$ – интенсивные карбонатные отложения;

$R = 5 \dots 6$ – слабые карбонатные отложения;

$6 < R < 7$ – близко к равновесию или слабая коррозия стали, чугуна;

$R = 7,0 \dots 9,0$ – сильная коррозия;

$R > 9,0$ – 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. R дает лишь общие представления о направленности коррозионных процессов и процессов образования в воде карбонатных отложений, но не учитывает влияния некоторых важных параметров, таких как наличие ионов Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ , различных загрязнений и т. д.

3.5.2 Стабилизационная обработка воды для предотвращения коррозии

При отрицательном индексе насыщения воды карбонатом кальция для получения стабильной воды и защиты от коррозии систем производственного водоснабжения предусматривается:

– обработка воды щелочными реагентами (известью, содой или данными реагентами совместно), гексаметафосфатом или триполифосфатом натрия;

– *фильтрование* через мраморную крошку ($CaCO_3$), полуобожженный доломит-магномассу ($CaCO_3 \cdot MgO$) или обожженный магнезит (MgO);

– удаление углекислоты *дегазацией*.

Щелочные реагенты подаются перед вторичным хлорированием воды и поступлением ее в резервуары чистой воды или, если это не мешает процессу очистки и стабилизации воды, до отстаивания или фильтров.

При этом происходят следующие реакции:





Доза извести $D_{\text{и}}$, мг/л, в расчете на CaO, определяется по формуле

$$D_{\text{и}} = 28\beta_{\text{и}} K_t \text{Щ}, \quad (3.97)$$

где $\beta_{\text{и}}$ – коэффициент, определяемый по номограмме (рисунок 3.37) в зависимости от pH воды (до стабилизационной обработки) и индекса насыщения J ;

K_t – коэффициент, зависящий от температуры воды: если $t = 20^\circ\text{C}$, $K_t = 1$; если $t = 50^\circ\text{C}$, $K_t = 1,3$;

Щ – щелочность воды до стабилизационной обработки, мг-экв/л.

Доза соды в расчете на Na_2CO_3 , мг/л, принимается в 3–3,5 раза больше дозы извести в расчете на CaO, мг/л.

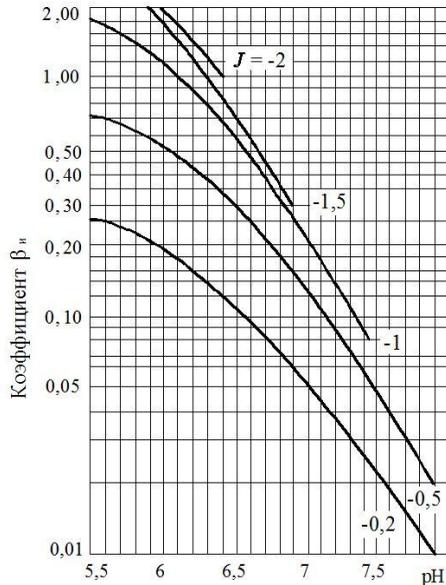
Если по формуле доза извести $D_{\text{и}} / 28$, мг-экв/л, получается больше величины $D_{\text{щ}}$, мг-экв/л, определяемой по формуле

$$D_{\text{щ}} = 0,7([\text{CO}_2] / 22 + \text{Щ}), \quad (3.98)$$

то в воду кроме извести в количестве $D_{\text{щ}}$, мг-экв/л, следует вводить также соду, доза которой, мг/л, определяется по формуле

$$D_{\text{с}} = (D_{\text{и}} / 28 - D_{\text{щ}}) \cdot 100. \quad (3.99)$$

Рисунок 3.37 – Номограмма для определения коэффициента $\beta_{\text{и}}$ при расчете дозы щелочи



Необходимо предусматривать возможность одновременно с введением щелочных реагентов дозировать гексаметафосфат или триполифосфат натрия дозой 0,5–1,5 мг/л (в расчете на P_2O_5) для повышения степени равномерности распределения защитной карбонатной пленки по длине трубопроводов.

При стабилизации воды **методом фильтрации** фильтры загружаются мраморной крошкой, магномассовой или магнезитовой крошкой с частицами размером 0,5–3 мм.

При проектировании фильтров принимается:

- высота загрузки – до 2 м;
- скорость фильтрации в зависимости от температуры, щелочности воды и концентрации агрессивной углекислоты 10–20 м/ч.

Промывка фильтров осуществляется водой с интенсивностью 15 л/(с·м²) в течение 10–15 мин, или применяется водовоздушная промывка с интенсивностью подачи воздуха 20–25 л/(с·м²) в течение 5 мин, а затем водой с интенсивностью 3–4 л/(с·м²) в течение 2–3 мин.

В обрабатываемой воде ограничивается содержание железа до 0,5 мг/л, приводящее при больших концентрациях к цементированию зерен загрузки. На 1 мг агрессивной углекислоты расходуется около 2,3 мг мрамора или 1,1 мг магномассы, поэтому фильтр периодически догружается свежей загрузкой.

При необходимости одновременной стабилизации и осветления воды применяются фильтры со *смешанной загрузкой*, состоящей из песка и мраморной крошки или магномассы. Контроль за процессом стабилизации воды ведется по величине рН.

Стабилизация воды при отрицательном индексе насыщения может быть достигнута удалением из нее избыточной углекислоты **дегазацией** с применением различных типов дегазаторов. Нагрузка на дегазатор с пластмассовой насадкой или кольцами Рашига составляет соответственно 70 и 60 м³/(м²·ч), расход воздуха – 20 м³/м³ воды. При заданном остаточном содержании СО₂ в воде (3–10 мг/л) и исходной щелочности воды значение рН определяется по номограмме (см. рисунок 3.35).

Для *предупреждения коррозии и защиты трубопроводов* и оборудования в системах промышленного водоснабжения применяются как методы стабилизации воды, так и другие приемы:

- нанесение различных защитных покрытий с использованием традиционно применяемых для этого материалов (защитные лаки, эмали, окрашивающие поверхности и др.), применение катодной защиты и т. п.;
- введение ингибиторов;
- введение фосфатов, образующих защитные пленки на катодных и анодных участках поверхности металла и тормозящих коррозионный процесс;

- введение извести для создания и поддержания защитной пленки CaCO_3 ;
- применение магнитной, ультразвуковой и других физических методов обработки воды.

Для повышения степени равномерности распределения защитной пленки карбоната кальция одновременно с введением щелочных реагентов предусматривается дозирование гексаметофосфата или триполифосфата натрия в количестве 0,5–1,5 мг/л (по P_2O_5).

Гексаметофосфат натрия и *тринатрийфосфат* обладают поверхностно-активными свойствами и адсорбируются не только на поверхности металла, но и на поверхности зародышей кристаллов карбоната кальция в виде пленки гексаметофосфата кальция и натрия или малорастворимого ортофосфата кальция, препятствуя росту микрокристаллов, что приводит к торможению процесса кристаллизации и образованию вместо накипи рыхлого легко удаляемого шлама.

Если щелочные реагенты не применяются, то для производственных водопроводов доза фосфатных реагентов (гексаметофосфата или триполифосфата натрия) принимается 5–10 мг/л (для хозяйственно-питьевых водопроводов – менее 2,5 мг/л).

При вводе в эксплуатацию новых трубопроводов для создания защитной пленки и снижения интенсивности коррозии их заполняют на 2–3 суток раствором этих реагентов с концентрацией 100 мг/л, а затем доза фосфатов снижается до обычной.

Концентрация вводимых растворов фосфатов принимается 0,5–3 % в расчете на товарный продукт. Они растворяются сжатым воздухом или в механических мешалках. Продолжительность растворения зависит от температуры воды (при температуре воды 50 °С – 2 ч, 20 °С – 4 ч). Растворно-расходные баки реагентного хозяйства выполняются с антикоррозионной защитой.

Защитное действие фосфатов ограничивается карбонатной жесткостью воды 5,5–6 мг-экв/л, выше которой наблюдается рост кристаллов и выпадение карбоната кальция.

Для формирования защитной пленки карбоната кальция на внутренней поверхности трубопровода в начальный период его эксплуатации предусматривается обработка воды вдвое увеличенными дозами щелочных реагентов, а в дальнейшем, для поддержания защитной пленки на 10–20 % больше, чем требуется из условия сохранения стабильности воды. Доза реагентов и продолжительность периода формирования защитной карбонатной пленки уточняются в процессе эксплуатации.

Для маломинерализованных вод с содержанием кальция менее 20–30 мг/л и щелочностью $\text{Щ} = 1 \dots 1,5$ мг-экв/л необходимость стабилизационной обработки должна быть соответствующим образом обоснована.

3.5.3 Стабилизационная обработка воды для предотвращения отложений карбоната кальция

При положительном *индексе стабильности* для предупреждения зарастания труб и оборудования карбонатом кальция вода стабилизируется **подкислением** серной или соляной кислотой, гексаметофосфатом или триполифосфатом натрия.

При подкислении понижается содержание в воде гидрокарбонатов и увеличивается концентрация углекислоты, что препятствует образованию карбоната кальция и зарастанию трубопроводов.

Техническая серная кислота содержит 75–94 % H_2SO_4 , техническая соляная кислота содержит 28–35 % HCl .

Подкисление осуществляется разбавленными растворами кислот. Оборудование реagenтного хозяйства должно быть кислотостойким.

Доза кислоты $D_{кис}$, мг/л, (в расчете на товарный продукт) определяется по формуле

$$D_{кис} = 100 \alpha_{кис} Щ e_{кис} / C_{кис}, \quad (3.100)$$

где $\alpha_{кис}$ – коэффициент, определяется по номограмме (рисунок 3.38);

$Щ$ – щелочность воды до стабилизационной обработки, мг-экв/л;

$e_{кис}$ – эквивалентная масса кислоты, мг/мг-экв (для серной кислоты $e_{кис} = 49$, для соляной кислоты $e_{кис} = 36,5$);

$C_{кис}$ – содержание активной части в товарной кислоте, %.

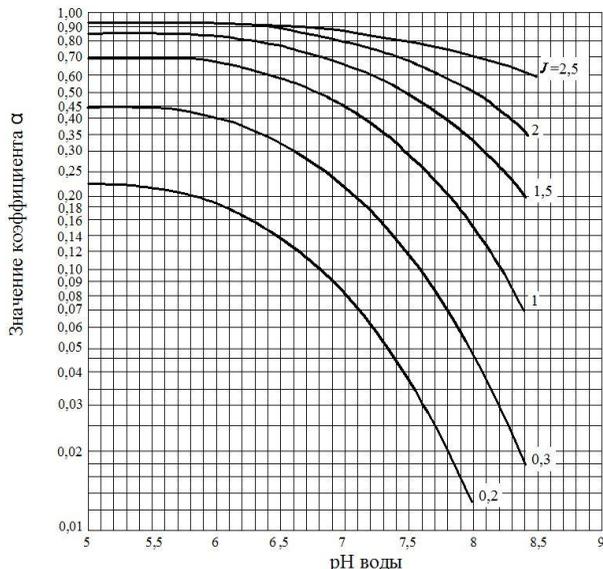


Рисунок 3.38 – Номограмма для определения коэффициента $\alpha_{кис}$ при расчете дозы кислоты

Доза гексаметафосфата или триполифосфата натрия (в расчете на P_2O_5) принимается для хозяйственно-питьевых водопроводов не более 2,5 мг/л (3,5 мг/л в расчете на PO_4), для производственных водопроводов – до 4 мг/л.

Особо важное значение имеет стабилизационная обработка воды для предотвращения карбонатных отложений в оборотных системах водяного охлаждения. Специфический водный и тепловой режимы систем оборотного водоснабжения существенно влияют на интенсивность отложений. Способы борьбы с ними в системах охлаждения рассмотрены в п. 3.6.

При проектировании систем водоснабжения промышленных предприятий вопросы обработки воды для предупреждения коррозии и зарастания трубопроводов и оборудования требуют тщательной проработки, поскольку существенно влияют на технико-экономическую эффективность и надежность работы технологического оборудования и предприятия в целом.

3.6 Обработка охлаждающей воды

3.6.1 Причины и виды зарастания охлаждающих аппаратов

На промышленных предприятиях при эксплуатации оборотных систем водоснабжения нередко наблюдаются различные нарушения в работе этих систем, связанные с неудовлетворительным качеством охлаждающей воды. Наиболее часто нормальная работа оборотных систем нарушается вследствие образования *отложений, биологических обрастаний и коррозии* металлических элементов системы. Отложения на стенках аппаратов и труб вызывают увеличение потерь напора, уменьшение живого сечения труб, из-за чего количество охлаждающей воды, подаваемое насосами, может оказаться недостаточным. Уменьшение расходов охлаждающей воды, ухудшение условий теплопередачи приводят к снижению эффекта охлаждения, нарушению технологических режимов работы теплообменных аппаратов и, следовательно, к значительным производственным потерям.

Причиной развития *биологических обрастаний* является наличие в воде питательных веществ и благоприятных температурных условий. В большинстве случаев в охлаждаемых водой системах (трубопроводах, конденсаторах) происходит интенсивный рост бактерий, что приводит к обрастанию стенок охлаждаемых аппаратов слизистыми биологическими обрастаниями, к которым прилипают взвешенные вещества, содержащиеся в охлаждающей воде, увеличивая слой отложений.

Наиболее интенсивное развитие биологических обрастаний наблюдается при повышенном содержании в воде *органических веществ*.

Присутствие в охлаждающей воде *железа и марганца* способствует развитию железобактерий и марганцевых бактерий, которые быстро размножаются и способны почти полностью закупорить трубки охлаждаемых аппаратов.

На открытых поверхностях сооружений оборотных систем водоснабжения (градирнях, брызгальных бассейнах) могут развиваться водоросли, мшанки и губки.

Биологические обрастания:

- осложняют эксплуатацию охлаждающих систем;
- ухудшают теплотехнические показатели работы аппаратов;
- способны вызвать интенсивную коррозию.

Методы обработки охлаждающей воды для предотвращения биологических обрастаний приводятся в п. 3.6.2.

При эксплуатации оборотных систем на поверхностях теплообмена и в трубопроводах происходит образование *карбонатных отложений* (в основном карбоната кальция) вследствие нарушения углекислотного равновесия за счет распада гидрокарбонатных ионов под влиянием нагрева воды и потери растворенной углекислоты при разбрызгивании воды на градирнях и в брызгальных бассейнах.

Растворимость карбоната магния значительно больше, чем карбоната кальция, поэтому он входит в состав накипи в незначительном количестве (до 1 % от общей массы накипи).

Методы обработки охлаждающей воды для предотвращения карбонатных отложений рассматриваются в п. 3.6.3.

В системах охлаждения *коррозия* стальных элементов вызывается растворенным в воде кислородом, которым обогащается обратная вода при разбрызгивании в охладителях. Коррозия усиливается относительно высокой температурой, которая характерна для охлаждающих систем.

Другими факторами, стимулирующими коррозию, являются свободная углекислота, нитраты, хлориды, низкая величина рН.

Для предотвращения коррозии элементов систем оборотного водоснабжения используются различные методы, рассматриваемые в п. 3.6.4.

Механические отложения могут образовываться на участках систем охлаждения с малыми скоростями движения воды при значительном содержании в охлаждающей воде взвешенных веществ. Для предотвращения и удаления механических отложений в системах оборотного водоснабжения следует предусматривать периодическую гидроимпульсную или гидропневматическую очистку их в процессе работы, а также частичное осветление обратной воды.

При наличии железа в воде источника водоснабжения, используемого для пополнения оборотной системы, в трубах, холодильниках и охладителях может отлагаться осадок гидроксида железа. Наиболее часто подобные явления могут наблюдаться при использовании для подпитки системы подземных вод. В этом случае необходимо подвергать добавочную воду обезжелезиванию до поступления воды в систему.

3.6.2 Обработка охлаждающей воды для предупреждения развития биологических обрастаний

Для предупреждения развития бактериальных биологических обрастаний применяется *хлорирование* охлаждающей оборотной воды.

Требуемый режим хлорирования обычно устанавливают в период пуска и наладки:

- хлорировать воду нужно каждые 15–20 мин в течение 2 ч;
- при необходимости очистки охлаждаемых аппаратов через 3–5 дней необходимо воду хлорировать через 20–30 мин в течение 4 ч;
- если очистка проводится через 10–12 дней, то воду рекомендуется хлорировать через 12 ч по 30–45 мин;
- если охлаждаемые аппараты очищаются от биологических обрастаний 1 раз в месяц, хлорирование воды можно производить 1 раз в сутки в течение 1 ч.

Необходимая доза хлора зависит от концентрации в охлаждающей воде органических и минеральных примесей, окисляемых хлором в данных условиях. Точно она может быть определена только опытным путем, в процессе пуска и наладки хлораторной установки. Доза хлора подбирается с таким расчетом, чтобы обеспечивать содержание остаточного активного хлора в оборотной воде после наиболее удаленных теплообменных аппаратов 1 мг/л в течение 30–40 мин.

Обработка воды медным купоросом применяется для борьбы:

- с цветением водоемов;
- биологическим обрастанием трубопроводов.

Предупреждение биологического обрастания микроорганизмами и водорослями градирен, брызгальных бассейнов и оросительных теплообменных аппаратов достигается совместной обработкой оборотной воды хлором и медным купоросом (сульфатом меди).

Доза хлора принимается 7–10 г/м³, доза медного купороса (сульфата меди) – 4–6 г/м³, что соответствует 1–1,5 г/м³ иона меди. Продолжительность обработки принимается равной 1 ч, периодичность обработки – 3–4 раза в месяц в теплое время года (с апреля по октябрь).

Для борьбы с цветением воды в водохранилищах- и прудах-охладителях, наблюдающемся в летние месяцы года, применяется обработка воды медным купоросом. Доза реагента по иону меди составляет 0,1–0,5 г/м³. Количество вводимого реагента для водохранилищ-охладителей рассчитывается на объем верхнего слоя воды толщиной 1–1,5 м, для прудов-охладителей – на весь объем. Продолжительность и периодичность обработки воды устанавливается опытным путем.

В водохранилищах- и прудах-охладителях рыбохозяйственного назначения обработка воды медным купоросом не производится.

3.6.3 Обработка охлаждающей воды для предотвращения карбонатных отложений

Сущность методов предотвращения накипеобразования в оборотных системах охлаждения заключается в соблюдении условий, обеспечивающих предотвращение выпадения карбоната кальция.

Для предотвращения карбонатных отложений в охлаждающих оборотных системах водоснабжения существуют **реагентные и безреагентные методы** обработки воды. Из реагентных методов используют *подкисление, фосфатирование, комбинированную фосфатно-кислотную обработку, рекарбонизацию и дозирование комплексонов*¹.

Реагентные методы обработки воды для предотвращения карбонатных отложений применяются при следующих условиях:

– подкисление – при любых значениях щелочности и общей жесткости природных вод и коэффициента концентрирования солей в системах;

– фосфатирование – при щелочности добавочной воды $\text{Щ}_{\text{доб}}$ не более 5,5 ммоль/дм³;

– комбинированная фосфатно-кислотная обработка воды – в случаях, когда фосфатирование не предотвращает карбонатных отложений или величина продувки экономически нецелесообразна;

– рекарбонизация дымовыми газами или газообразным диоксидом углерода – при щелочности добавочной воды до 3,5 ммоль/дм³ и коэффициенте концентрирования солей, не превышающем 1,5;

– дозирование комплексонов – при величинах щелочности и других параметров, указываемых производителями комплексонов. При отсутствии таких данных дозирование комплексонов следует применять при величинах щелочности не более 7 ммоль/дм³, рН – не более 8,5; при содержании железа – не более 0,5 мг/дм³.

К *безреагентным методам* относятся магнитная и ультразвуковая обработка воды.

Подкисление применяется для достижения углекислотного равновесия в системе. При обработке воды кислотой (соляной или серной) часть солей карбонатной жесткости переводится в эквивалентное количество солей некарбонатной жесткости, хорошо растворимых в воде и не выпадающих в осадок при обычных условиях. Кислота вводится в добавочную воду непосредственно перед градирней, при этом удаляется образовавшаяся углекислота.

Преимуществом способа является небольшая сравнительно с другими методами стоимость и минимальные значения продувочных расходов либо их отсутствие вообще. Недостатками способа подкисления является агрессивность применяемых реагентов (серной H₂SO₄ или соляной HCl кислот) и возможность коррозии оборудования в случае передозировки кислоты.

¹ Комплексоны – органические хелатообразующие соединения, главным образом аминокислоты и их производные, которые способны образовывать устойчивые комплексные соединения с катионами металлов.

Фосфатирование. Фосфаты относятся к реагентам, связывающим соли жесткости в малорастворимые соединения. Наиболее часто в промышленности применяют тринатрийфосфат, гексаметафосфат, триполифосфат.

В основе действия *тринатрийфосфата* (Na_3PO_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 тринатрийфосфата.

Гексаметафосфат и триполифосфат относятся к так называемым кислым фосфатам. Поэтому их целесообразно применять лишь при наличии в воде свободной щелочи (NaOH) или одновременном введении в воду соды (NaHCO_3 или Na_2CO_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 создают плотную пленку, которая предотвращает непосредственное соприкосновение воды с металлом, защищая его от коррозии.

Схема фосфатирования оборотной воды приведена на рисунке 3.39.

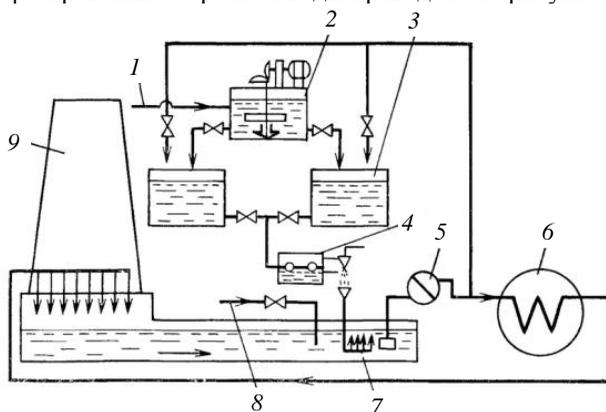


Рисунок 3.39 – Схема фосфатирования оборотной воды:

1 – подача пара на подогрев воды или горячей воды; 2 – растворный бак; 3 – расходный бак; 4 – дозатор; 5 – циркуляционный насос; 6 – охлаждаемый агрегат; 7 – резервуар охлажденной воды; 8 – подача свежей воды; 9 – охладитель оборотной воды

При высокой карбонатной жесткости добавочной воды (более 4 мг-экв/дм³) целесообразно обрабатывать охлаждающую воду *комбинированным способом* – совместно подкислением и фосфатированием. Кислота предназначена для снижения карбонатной жесткости до значения, стабилизируемого фосфатами, что позволяет сократить расход кислоты и обеспечить безнакипный режим системы охлаждения.

Рекарбонизацию (обработку воды оборотной системы газообразной двуокисью углерода) целесообразно применять на предприятиях, где этот газ является продуктом отхода промышленного производства (например, дымовые газы котельных). Основной технологической операцией при введении CO₂ в циркуляционную воду является организация его растворения, составляющая 40–60 % в известных технических устройствах. При обороте воды в градирне происходит непрерывный «отдув» CO₂, поэтому требуется непрерывный ввод дымовых газов в циркуляционную воду. Продукты сгорания отбираются за дымососом и очищаются от золы в сухих мультициклонах. Наиболее рациональной среди различных систем насыщения воды газом является схема с использованием эжектора (рисунок 3.40), который обеспечивает хорошее перемешивание дымовых газов с обрабатываемой водой. После эжектора водогазовая смесь поступает через барботажное устройство в приемный колодец циркуляционных насосов [3].

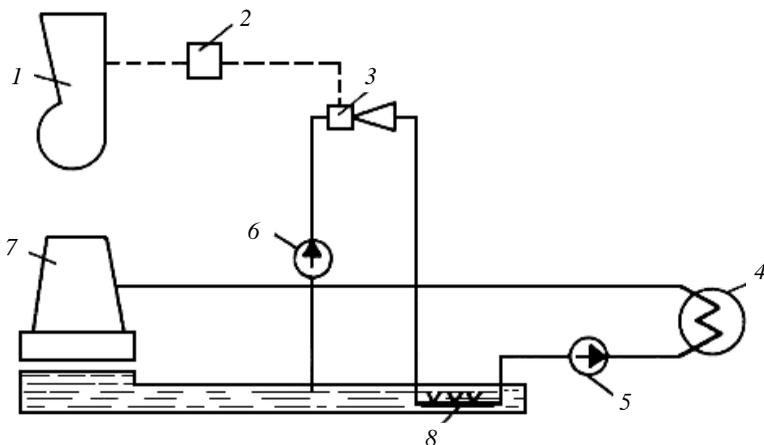


Рисунок 3.40 – Схема рекарбонизации охлаждающей воды дымовыми газами:

- 1 – дымосос; 2 – золоуловитель; 3 – водоструйный эжектор; 4 – конденсатор;
5 – циркуляционный насос; 6 – насос подачи воды к эжектору; 7 – градирня;
8 – барботажное устройство

Применение **комплексон**ов для стабилизационной обработки воды позволяет решить следующие задачи:

- стабилизирование насыщенных растворов;

- ингибирование коррозии;
- удаление отложений накипи и продуктов коррозии с поверхности теплообменного оборудования.

В последние годы широкое распространение получили фосфорорганические комплексоны – *фосфонаты* и композиции на их основе.

Ингибирование процесса солеотложения с помощью фосфонатов основано на пороговом эффекте: при малых концентрациях фосфонаты тормозят процесс образования 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.

Основные ограничения применения фосфонатов:

- щелочность – не более 7 ммоль/л;
- рН – не более 8,5;
- железо – не более 0,5 мг/л.
- температура – до 130 °С.

К безреагентным (физическим) методам для предотвращения отложений карбоната кальция относятся магнитная и ультразвуковая обработка воды.

Принципиальное отличие методов физической обработки от химической заключается в том, что в воду не добавляют химические реагенты.

Магнитная обработка заключается в пропускании потока воды через магнитное поле, создаваемое постоянным магнитом или электромагнитом.

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.

В процессе магнитной обработки воды происходят следующие процессы:

- смещение электромагнитным полем равновесия между структурными компонентами воды и гидратированными ионами;
- увеличение центров кристаллизации растворенных в воде солей в заданном объеме воды на микровключениях из дисперсных феррочастиц;
- изменение скорости коагуляции и седиментации дисперсных частиц в обрабатываемом потоке жидкости.

Противонакипный эффект при магнитной обработке воды *зависит*:

- от состава обрабатываемой воды;
- напряженности магнитного поля;
- скорости движения воды;
- продолжительности пребывания воды в магнитном поле и др.

Противонакипный эффект усиливается:

- с повышением температуры обрабатываемой воды;
- при более высоком содержании ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} ;
- с увеличением рН воды;
- при уменьшении общей минерализации воды.

Конструктивно большинство аппаратов магнитной обработки воды представляют собой магнитодинамическую ячейку, изготавливаемую в виде полового цилиндрического элемента из ферромагнитного материала, с магнитами внутри, врезающегося в водопроводную трубу с помощью фланцевого или резьбового соединения (см. рисунок 3.40) с кольцевым зазором, площадь поперечного сечения которого не меньше площади проходного сечения подводящего и отводящего трубопроводов, что не приводит к существенному падению давления на выходе аппарата.

Аппарат устанавливается как можно ближе к защищаемому оборудованию. При наличии в системе центробежного насоса аппарат магнитной обработки устанавливается после него.

Отечественной промышленностью выпускается два типа аппаратов для магнитной обработки воды: на постоянных магнитах (рисунок 3.41) и работающих от источников переменного тока электромагнитах (соленоид с ферромагнетиком), генерирующих переменное магнитное поле (рисунок 3.42). Также применяются аппараты импульсного магнитного поля.



Рисунок 3.41 – Виды аппаратов для магнитной обработки воды (ГМС) на постоянных магнитах с фланцевыми и резьбовыми соединениями



Рисунок 3.42 – Аппарат магнитной обработки воды на электромагнитах АМО-25УХЛ

Время пребывания воды в аппарате определяется ее скоростью в пределах 1–3 м/с. Метод эффективен при обработке вод кальциево-карбонатного класса.

Требования, регламентирующие условия работы всех аппаратов магнитной обработки воды следующие:

- подогрев воды в аппарате должен быть не выше 95 °С;
- содержание ионов железа Fe^{2+} , Fe^{3+} в обрабатываемой воде – не более 0,3 мг/л.
- суммарное содержание хлоридов и сульфатов кальция и магния ($CaSO_4$, $CaCl_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$) – не более 50 мг/л;
- карбонатная жесткость – не выше 9 мг-экв/л;
- содержание в воде растворенного кислорода – не более 3 мг/л;
- скорость движения потока воды в аппарате – 1–3 м/с.

Преимуществами магнитной обработки является:

- простота технологической схемы;
- экономичность;
- экологическая безопасность (не требует каких-либо химических реактивов).

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.

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 турбулизовать 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.

Существуют 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 изменяют структуру растворенных веществ таким образом, что 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 гидрокарбонат 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.

Аппараты электромагнитного воздействия с переменной частотой состоят:

- из электронного блока, формирующего электрический сигнал с заданными параметрами;
- излучателей – проводов с термостойкой изоляцией, намотанных на трубопровод с обрабатываемой водой.

Количество излучателей принимается от двух и более, в зависимости от типа прибора. С помощью них поток излучения концентрируется в объеме воды, протекающей в трубопроводе, при этом сигналы распространяются в обе стороны трубопровода. При подборе типа прибора электромагнитной обработки воды необходимо руководствоваться зависимостями:

- 1) для прямоточных систем водоснабжения –

$$Q < (0,005 \dots 0,010)d, \quad (3.103)$$

где Q – расход воды, м³/ч;

d – внутренний диаметр трубопровода, мм;
2) для системы с циркуляционным контуром –

$$Q_{\text{расх}} / Q_{\text{цирк}} \leq 0,8, \quad (3.104)$$

где $Q_{\text{расх}}$ – количество воды, отбираемой из системы на потребление, м³/ч;
 $Q_{\text{цирк}}$ – объемный поток воды, циркулирующий в системе, м³/ч.

Преимущества:

- простота монтажа и эксплуатации;
- небольшой расход электроэнергии;
- электромагнитному воздействию подвержена только карбонатная жесткость;
- происходит разрушение сформировавшихся ранее отложений солей жесткости в течение 1–3 месяцев;
- вода не меняет солевой состав;
- противонакипной эффект будет увеличиваться: с повышением температуры воды вплоть до температуры кипения; при более высоком содержании ионов Ca²⁺ и Mg²⁺; с понижением содержания в воде углекислоты; с повышением щелочности воды; при уменьшении общей минерализации.

При применении *метода обработки охлаждающей воды акустическим полем* применяются генераторы с ультразвуковой частотой (10–120 кГц колебаний). Механизм действия акустического поля заключается в создании кавитации, которая способствует, с одной стороны, нарушению процесса кристаллизации, а с другой – разрушению ультразвуковыми волнами уже образовавшихся отложений на поверхностях нагрева.

Акустические аппараты состоят:

- из импульсного генератора;
- источника ультразвуковых колебаний;
- преобразователя, который крепится к объекту и преобразует акустические колебания генератора в механические.

Преимущества акустических аппаратов:

- компактность;
- малая потребляемая мощность.

3.6.4 Обработка охлаждающей воды для предотвращения коррозии металлических трубопроводов и теплообменных аппаратов

Понятие «коррозионность» относится к свойствам воды, характеризующим отношение к металлу трубопроводов.

При анализе химического состава коррозионной среды (воды) необходимо учитывать, что ионы железа, хлориды и сульфаты являются активаторами коррозии.

Коррозионную активность определяют статическим методом (в частности, на вращающемся коррозиметре) по количеству прородированного металла и классифицируют по группам:

- невысокая – менее 0,15 мг/см²;
- средняя – 0,15–0,25 мг/см²;
- высокая – более 0,25 мг/см².

Углеродистые стали и чугун, из которых обычно изготавливают водопроводные трубы, характеризуются коррозионной стойкостью, т. е. способностью сопротивляться коррозионному воздействию среды (воды).

Для оценки коррозионной стойкости, обусловленной свойствами металла, используются следующие показатели:

- изменение массы (скорость коррозии), K_m , г/м²/ч,
- проницаемость, K_r , мм/год.

По этим параметрам, используя принятую десятибалльную шкалу коррозионной стойкости, находят группу стойкости и балл для испытуемого образца металла.

Понятие «агрессивности» воды связано с содержанием в ней соединений угольной кислоты, присутствующей в форме недиссоциированных молекул H_2CO_3 (незначительные концентрации), молекулярно растворенного углекислого газа CO_2 , гидрокарбонатных ионов HCO_3^- и карбонатных ионов CO_3^{2-} (при pH > 8,4).

Параметры, оказывающие основное влияние на коррозию:

- низкое значение pH, при котором скорость коррозии возрастает. Резкое уменьшение скорости при pH > 10 связано с образованием на стали защитных гидроксидных пленок железа;

- хлориды и сульфаты, являющиеся одним из наиболее важных факторов, определяющих интенсивность локальной коррозии металла;

- кислород и уголекислота, увеличивающие скорость коррозии;

- соледержание – присутствие в воде растворенных солей, способствующее коррозии, то есть увеличивающее удельную электропроводимость воды;

- повышение температуры, которое ускоряет коррозию;

- наличие сероводорода, которое способствует развитию коррозии и возникает при определенных условиях в результате жизнедеятельности сульфатостанавливающих анаэробных бактерий;

- состояние поверхности – поскольку процесс коррозии включает этап образования гальванических элементов, то наличие различных неоднородностей 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 являются ингибиторами коррозии.

Абсолютное значение каждого из указанных параметров и их сочетание определяет агрессивность воды по отношению к металлу.

При проектировании систем оборотного водоснабжения с вынужденным применением агрессивной (по отношению к металлу и бетону) воды следует выбирать стойкие материалы для оборудования, трубопроводов и сооружений, предусматривать их защиту покрытиями или соответствующую обработку воды. Обеспечение коррозионной стойкости производственных аппаратов и другого оборудования должно предусматриваться в технологических проектах производства с учетом степени агрессивности воды.

Защита металла от коррозии может быть осуществлена многими способами. Выбор того или иного из них в каждом отдельном случае должен основываться прежде всего на знании причин возникновения коррозии, ее формы и т. д. При этом необходимо учитывать следующие требования:

- эффективность защиты;
- сохранение металлом всех требуемых от него механических свойств;
- экономический фактор (защита должна быть наиболее дешевой).

Основными методами защиты металлов от электрохимической коррозии в системах оборотного водоснабжения являются следующие:

– обработка коррозионной среды, представляющая собой в основном нейтрализацию оборотной воды;

– обработка воды замедлителями (ингибиторами) коррозии с образованием защитных оксидных и других неметаллических пленок:

а) к неорганическим замедлителям коррозии относятся нитрат натрия NaNO_3 , хромат калия K_2CrO_4 и бихромат калия $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, силикат натрия Na_2SiO_3 , фосфаты (гексаметафосфат натрия, триполифосфат натрия и динарийфосфат) и др.;

б) к органическим замедлителям коррозии относятся глюкозаты хрома, сульфоглюкозаты хрома, сульфоглюкозаты натрия и др.;

– защитные покрытия поверхности металлами, пластиком, лаками, красками, смолами, эмалями, эпоксидными составами;

- электрохимическая протекторная защита металла [16].

4 ОБРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ОСАДКОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ОЧИСТКЕ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

4.1 Классификация осадков. Источники образования, состав и свойства осадков

Многие процессы и оборудование, применяемые в технологии обработки осадка сооружений водоподготовки, а также для обработки промывных вод, аналогичны применяемым в технологии обработки осадков сточных вод. Обычно применяется оборот промывных вод. При их обороте промывные воды фильтров сначала направляются в песколовки, а затем на отстаивание, в результате чего образуются соответствующие осадки. Однако целесообразность оборота промывных вод должна быть подтверждена технико-экономическими расчетами. В некоторых случаях эти воды выгоднее сбрасывать в системы канализации предприятия или населенного пункта.

Отстаивание промывных вод после фильтров осуществляется в резервуарах или отстойниках, количество которых должно быть не менее двух. Объем их при времени отстаивания от двух до четырех часов назначается в соответствии с графиком поступления и перекачки промывных вод, которые после отстаивания обычно направляют в голову очистных сооружений. При использовании полиакриламида (ПАА) время отстаивания может быть уменьшено до одного часа. Образующийся осадок направляется на уплотнение или обезвоживание. Влажность осадка в зоне накопления его в отстойнике составляет 99 %, время накопления принимается не менее 8 ч.

Состав и свойства осадков связаны с количеством обрабатываемой воды, видом применяемых реагентов и технологией ее очистки.

Основными компонентами осадков станций водоподготовки являются продукты гидролиза реагентов и загрязнения, минерального и органического происхождения, содержащиеся в исходной воде.

Осадки, образующиеся в процессе водоподготовки, разнообразны по составу и свойствам.

Вода в осадке может находиться в виде:

- свободной воды, которая легко отделяется отстаиванием;
- связанной (коллоидной, гидратной, капиллярной, клеточной), выделение которой требует значительных усилий. Так, клеточная вода может быть отделена только тепловой обработкой осадка.

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

В связи с этим осадки можно **классифицировать**:

- по происхождению: органические, минеральные;
- по качеству исходной воды, определяющей свойства осадка: соотношению цветности (Ц) и мутности (М);
- по содержанию гидрофильных коллоидов: гидрофильные, гидрофобные;
- по водоотдающей способности: удельное сопротивление фильтрации, сжимаемость.

Гидрофильные органические осадки плохо обезвоживаются из-за большой доли связанной воды в виде гидрофильных коллоидов. К ним относятся все осадки, образующиеся при биологической очистке воды, содержащие до 90 % беззольного вещества. В них могут присутствовать также гидрофильные гидроксиды железа и алюминия.

Гидрофильные неорганические осадки содержат гидроксиды металлов, образующихся при физико-химических процессах обработки воды, содержащей различные металлы (Al, Fe, Zn, Cr и др.) или благодаря использованию неорганических флокулянтов и реагентов (солей алюминия и железа). В них могут содержаться органические соединения, обусловленные цветностью исходной воды. К этой категории относятся практически все осадки сооружений водоподготовки.

Гидрофобные неорганические осадки отличаются небольшим содержанием или отсутствием связанной воды (песок, шлак, окалина). Они, как правило, хорошо отдают воду.

В зависимости от качества исходной воды (*соотношения цветности и мутности*) осадки подразделяются:

- на осадки маломутных цветных вод ($Ц/М > 10$);
- осадки вод средней цветности и мутности ($Ц/М$ от 5 до 10);
- осадки вод повышенной мутности ($Ц/М < 5$).

Осадки, образующиеся при очистке маломутных цветных вод, характеризуются более высокой влажностью, высоким содержанием органики и гидроксида алюминия и более низкими водоотдающими свойствами, чем осадки вод повышенной мутности.

Водоотдающая способность осадков характеризуется коэффициентом сжимаемости и удельным сопротивлением фильтрации, которое оказывает единица массы твердой фазы, равномерно отлагающаяся на единицу площади фильтра при фильтрации осадка с вязкостью жидкой фазы, равной единице.

Осадки цветных вод малой мутности имеют высокое удельное сопротивление фильтрации $r = (500 \dots 1200) \cdot 10^{-10}$ см/г и высокий коэффициент сжимаемости $S = 0,85 \dots 0,96$.

Улучшение фильтрационных свойств осадков достигается их предварительным кондиционированием, чаще всего с применением реагентов.

При кондиционировании происходит разрушение стабильности гидрофильных коллоидов осадка, причем часть связанной воды может быть освобождена и трансформирована в свободную воду. Предварительно осадки сгущают.

К основным способам обработки осадков станций водоподготовки относятся:

- 1) совместная обработка с осадками сточных вод на очистных сооружениях канализации;
- 2) естественное обезвоживание в накопителях осадка;
- 3) естественное и искусственное замораживание и оттаивание осадка;
- 4) механическое обезвоживание осадков;
- 5) обезвоживание осадков с одновременной регенерацией коагулянта.

Обработка осадка станций водоподготовки совместно с осадками сточных вод является обычно экономически выгодной, так как не требует больших капитальных затрат на ее реализацию. Для этого на станциях водоподготовки необходимо строительство резервуара усреднителя осадка и насосной станции. На станциях очистки сточных вод требуется лишь некоторое увеличение эксплуатационных затрат. При сбросе осадков от сооружений водоподготовки в канализацию предприятия или города количество осадков на станции очистки сточных вод увеличивается на 2–20 %, что необходимо учитывать в расчетах. Поскольку на промышленных предприятиях сооружения водоподготовки являются частью общей системы водного хозяйства предприятия, включающей, как правило, и местные очистные сооружения систем канализации, такое решение, предусматривающее совместную обработку осадков, при минимальных расходах на его транспортировку, может оказаться целесообразным.

Утилизация обезвоженных осадков. После обезвоживания осадков остается проблема их утилизации или ликвидации.

Утилизация осадков зависит от химического состава, который определяется качеством исходной воды и видами используемых реагентов в процессе водоподготовки и обработки осадков.

Осадки могут быть использованы:

- в качестве исходного сырья при производстве различных строительных материалов: бетонной смеси, цементов, кирпича, керамзита и др.;
- для улучшения структуры плодородия почв.

Однако основным способом остается складирование обезвоженных осадков в согласованных с соответствующими органами местах или использование его в качестве подсыпки территории при удовлетворении всем требованиям технической целесообразности и экологической безопасности.

4.2 Уплотнение осадков

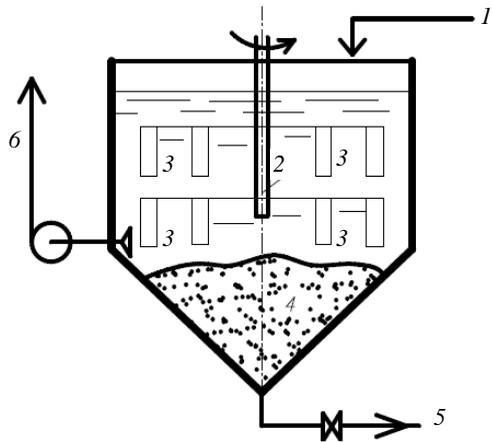
Уплотнение – самый простой способ уменьшения объема осадка без больших затрат энергии. Влажность осадка после уплотнения снижается до 97–98 %, а для хорошо уплотняющихся минеральных осадков – до 70–80 %.

Осадки из отстойников, осветлителей и установок для приготовления реагентов, а также осадки промывных вод, обычно уплотняются отстаиванием в сгустителях в течение 5–10 ч.

Сгустители представляют собой вертикальные (для маломутных цветных вод) или радиальные (для вод мутностью более 100 мг/л) отстойники, оборудованные лопастями для медленного перемешивания осадка (рисунок 4.1). При перемешивании происходит вторичное агрегирование хлопьев, разрушенных при выпуске осадка. Вода, отделившаяся от осадка, перекачивается насосами в смесительный узел и подмешивается к воде из источника.

Рисунок 4.1 – Сгуститель осадка в виде вертикального отстойника:

- 1 – сброс осадка; 2 – вращающийся вал; 3 – лопасти; 4 – осадок;
- 5 – сброс сгущенного осадка;
- 6 – откачка воды, отделенной от осадка



Объем одного сгустителя должен вмещать всю порцию выпускаемого из сооружений I ступени осадка, их количество должно быть не менее двух.

Объем сгустителя, м^3 , определяете по формуле

$$W = 1,3k_{\text{po}}W_{\text{oc}}, \quad (4.1)$$

где k_{po} – коэффициент разбавления осадка, принимаемый при гидравлическом удалении осадка 1,5; при механическом $k_{\text{po}} = 1,2$; при напорном смыве $k_{\text{po}} = 2 \dots 3$;

W_{oc} – объем осадочной части сооружений водоподготовки, м^3 .

Осадок в сгустители подается самотеком, а на сооружения обезвоживания – плунжерными или шнековыми насосами. Гидравлический расчет трубопроводов производится с учетом свойств транспортируемого осадка.

4.3 Обезвоживание осадков в естественных условиях

Осадконакопители (*шламонакопители, илонакопители*) являются наиболее распространенным сооружением для обезвоживания и складирования осадков (рисунок 4.2), выполняются в виде спланированных площадок на естественном основании, а также для этих целей могут использоваться существующие овраги и отработавшие карьеры. При складировании осадков, содержащих токсичные вещества, основание накопителя должно быть водонепроницаемым.

Осадконакопитель оборудуется колодцем-водосбросом с несколькими ярусами окон, перекрываемых по мере накопления осадка щитовыми затворами.

Через вышерасположенные окна вода, отделенная от осадка, сливается в колодец и сбрасывается из накопителя.

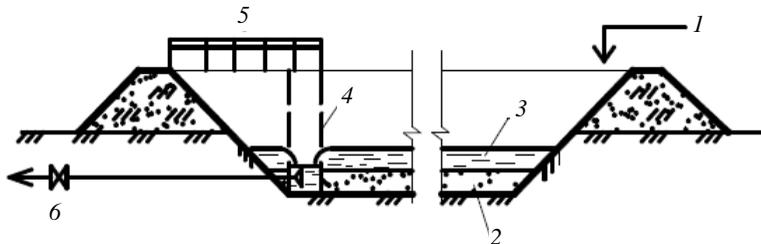


Рисунок 4.2 – Осадконакопитель:

1 – сброс осадка; 2 – обезвоженный осадок; 3 – вода, отделенная от осадка;
4 – колодец-водосброс; 5 – мостик; 6 – сброс воды, отделенной от осадка

Накопители разбиваются на две секции, наполняемые попеременно по годам. Суммарный объем накопителя определяется из расчета складирования осадка на срок $N > 5$ лет.

После исчерпания полезного объема накопители чистятся с вывозом нетекучего осадка на полигоны. Глубина осадконакопителей составляет от 2 до 5 метров. Вода, отделенная от осадка, возвращается на станцию водоподготовки.

Площадки замораживания.

Обезвоживание методом замораживания-оттаивания осадка является наиболее распространенным методом обработки осадков станции водоподготовки.

Процесс замораживания-оттаивания осадка характеризуется изменением количественного соотношения между находящейся в структуре осадка связанной влаги и свободной в сторону увеличения последней. Однако это явление наблюдается только при определенных условиях теплообмена между осадком и охлаждающей средой. Такие условия обеспечиваются в процессе

естественного замораживания осадка или в искусственных условиях на специальных холодильных установках.

Чем выше интенсивность замораживания, тем меньше количество связанной воды успевает перейти в свободное состояние и может быть удалено из осадка. Для каждого типа осадка существует допустимый уровень интенсивности замораживания, превышение которого не приводит к существенным изменениям водоотдающей способности осадка после оттаивания, и она сохраняется практически такой же, как у исходного осадка.

Площадки замораживания для обезвоживания осадка устраиваются в районах с устойчивым зимним периодом более 2 месяцев в году с удалением его в места складирования через 1–3 года. Их рекомендуется устраивать секционными.

Площадки для замораживания проектируются аналогично иловым площадкам систем канализации. Транспортирование осадка осуществляется с помощью лотков, прокладываемых с уклоном более 0,01. Расстояние между напусками, а также местами отвода отстоявшейся воды принимается не более 30 м, ширина секции – не более 40 м.

Устройства для напуска и отвода отстоявшейся воды предусматриваются на противоположных сторонах секций площадок. Устройства для отвода отстоявшейся воды должны обеспечивать удаление ее с любого уровня по глубине площадки.

4.4 Механическое обезвоживание осадков, физико-химические методы обработки осадков

Наиболее перспективным и широко применяемым за рубежом способом обработки осадков станций водоподготовки является их механическое обезвоживание с предварительным кондиционированием различными реагентами: известью, флокулянтами анионного, неионогенного и катионного типов, коагулянтами.

Наиболее дешевым реагентом является известь. Известь при введении в осадок выполняет двойную функцию: как химический реагент, частично растворяющий гидроксид алюминия, и как присадочный материал, снижающий величину показателя сжимаемости. Это приводит к улучшению фильтрационных свойств осадка. Одновременно известь оказывает обеззараживающее действие.

Механическое обезвоживание осадков природных вод на станциях водоподготовки может осуществляться на камерных и ленточных фильтр-прессах. Технологическая схема обработки осадков на ленточных фильтр-прессах включает в себя следующие операции:

- усреднение и уплотнение осадков;
- приготовление растворов известкового молока и флокулянта;

- дозированное введение химических реагентов;
- дозированную подачу кондиционированного осадка в аппараты
- механическое обезвоживание;
- выгрузку и транспортирование обезвоженного осадка.

В зависимости от технологической схемы очистки воды усреднению и уплотнению подвергаются осадки из отстойников и осадки, образующиеся при усреднении и отстаивании промывных вод фильтров и контактных осветителей.

Уплотнение осадков перед механическим обезвоживанием является необходимой операцией, так как исходный осадок, особенно маломутных цветных вод, имеет высокую влажность (99 % и выше). В процессе гравитационного уплотнения влажность осадков снижается до 92–98 % в зависимости от их исходного качества. Как уже отмечалось, для интенсификации уплотнения возможны медленное перемешивание осадка в уплотнителях и предварительная обработка флокулянтами.

Для кондиционирования осадков наиболее целесообразно использовать сочетание извести с флокулянтами, преимущественно анионного типа. Известь используется в виде 10%-го известкового молока; флокулянт в виде 0,1–0,2%-го рабочего раствора, приготовление которого осуществляется в специальных установках или баках с диспергаторами и мешалками. Первоначально в осадок вводится известь в количестве 20–80 % от массы сухого вещества), а затем раствор флокулянта (до 2 кг/т).

Для дозирования растворов извести и флокулянта используются шнековые (винтовые) насосы-дозаторы.

В качестве оборудования механического обезвоживания наиболее часто применяются камерные фильтр-прессы типа ФПАКМ. Режим их работы включает:

- подачу кондиционированного осадка под давлением в фильтр-пресс;
- фильтрование под давлением;
- отжим;
- выгрузку кека и регенерацию ткани.

Влажность обезвоженного осадка после обработки составляет 60–75 %.

При использовании ленточных фильтр-прессов не требуются насосы высокого давления, режим работы этих аппаратов не циклический, как камерных, а непрерывный. Влажность обезвоженного на ленточном фильтр-прессе осадка выше, чем на камерном и зависит от качества самого осадка, дозы извести и составляет 70–85 %.

Вакуум-фильтры имеют ограниченную применимость для обработки гидроксидных осадков природных вод. Производительность этих аппаратов для обработки осадков, содержащих гидроксид алюминия, получается весьма низкой, а влажность кека составляет более 80 %. Область применения вакуум-фильтров ограничивается осадками, образующимися при водоподготовке с подщелачиванием известью и коагуляцией железосодержащими реагентами при известковом умягчении воды.

Центрифугирование осадков станций водоподготовки, содержащих гидроксид алюминия, не применяется из-за малой эффективности и необходимости сложной и дорогостоящей предварительной его подготовки.

Основным недостатком метода механического обезвоживания гидроксидных осадков, сдерживающих его широкое распространение, являются относительно большие расходы реагентов и энергоемкость.

4.5 Обработка осадков с одновременной регенерацией коагулянта

На станциях водоподготовки может осуществляться обработка образующихся осадков с одновременной регенерацией коагулянтов. При этом применяется кислотная или щелочная обработка.

Кислотная обработка осадков для регенерации сульфата алюминия производится в три этапа:

- 1) уплотнение осадка до концентрации сульфата 20 г/л;
- 2) введение серной кислоты до достижения $\text{pH} = 2 \dots 3$;
- 3) отделение осадка от сульфата алюминия.

Таким способом возможно восстановление до 90 % сульфата алюминия.

Для повышения эффективности процесса и снижения кислотности среды в конце цикла обработки осадка на фильтр-прессы подается известковое молоко, а также добавляются флокулянты. Обезвоживание осадка достигается до концентрации сухого вещества 40–45 %.

Расход кислоты (100%-й концентрации) составляет ориентировочно 3 кг на 1 кг оксида алюминия. Этот метод обработки нецелесообразно применять для осадков, образующихся при очистке высокоцветных и высокомутных вод, а также при возможности попадания в обрабатываемую воду растворимых кислотой токсичных загрязнений осадка.

Щелочная обработка. На станциях водоподготовки, осуществляющих обработку воды с низким значением pH , целесообразно осуществлять обработку осадка с одновременной регенерацией коагулянта в виде щелочного раствора.

Для регенерации коагулянта в усредненный осадок вводится известковое молоко до $\text{pH} = 10,5 \dots 11,5$. Происходит переход части гидроксида алюминия в раствор при отделении образующегося при этом осадка и остается раствор щелочного коагулянта с концентрацией 400–800 мг/л по Al_2O_3 .

Оптимальные условия обработки осадка известны, обеспечивающие эффективное использование гидроксида алюминия:

- отношение $\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$ примерно равно 3;
- концентрация Al_2O_3 , полученная путём растворения или концентрирования осадка (массовой концентрацией 1–3 г/л), составляет 0,5–0,7 г/л;
- значение $\text{pH} = 11,2 \dots 11,7$.

Щелочной регенерированный коагулянт используется в сочетании с товарным сульфатом алюминия, доза которого может быть сокращена на 20 – 40 %. Использование регенерированного коагулянта приводит к увеличению остаточных значений рН и щелочности обработанной воды, а также к снижению ее коррозионной активности, что позволяет исключить или снизить расход реагентов, необходимых для подщелачивания и стабилизации обработанной воды.

Вторичные осадки отличаются от исходных по химическому составу и свойствам. Содержание гидроксида алюминия во вторичных осадках на 20–40 % ниже, чем в исходных, а содержание СаО возрастает до 30–45 %; влажность осадка составляет 98,5–96 %; рН = 11,2...12,0. Удельное сопротивление фильтрации вторичных осадков снижается до величин, обеспечивающих возможность их механического обезвоживания без дополнительного введения извести. Вторичные осадки могут быть обезвожены на вакуум-фильтрах и фильтр-прессах. При обезвоживании на вакуум-фильтрах влажность обезвоженного осадка – 70–77 %, удельная производительность вакуум-фильтра – 10–15 кг/(м²·ч), а на фильтр-прессах типа ФПАКМ влажность осадка снижается до 55–60 %, удельная производительность фильтр-пресса – 3,5–5 кг/(м²·ч).

5 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДООЧИСТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

5.1 Размещение водоочистных сооружений в промышленном узле, генплан и высотная схема

Размещение водоочистных комплексов, их состав и количество на площадке промышленного предприятия определяется общей схемой водоснабжения и расположением основных производств, а также технологическими требованиями к качеству производственной воды и назначению ее в производстве, целесообразностью объединения систем водоснабжения отдельных потребителей, технико-экономическими соображениями. Существенную роль играют также природно-климатические и экологические условия. Проектирование сооружений водоподготовки необходимо осуществлять исходя из условий оборота воды, общего для всего предприятия, или в виде замкнутых циклов для отдельных производств, технологических цехов или установок. В зависимости от назначения оборотной воды предусматривается ее необходимая очистка или охлаждение. Количество оборотных циклов устанавливается исходя из назначения воды и требований к ее качеству, способа очистки, технологии производства и территориального размещения водопотребителей.

Для сокращения протяженности и диаметра трубопроводов целесообразно предусматривать на предприятиях отдельные оборотные системы с местными локальными очистными сооружениями для отдельных производств, цехов или установок с максимальным приближением их к потребителям воды. При необходимости на локальных или централизованных сооружениях осуществляется обработка оборотной воды соответствующими реагентами для предотвращения коррозии, накипеобразования, биологических обрастаний, а также предусматриваются устройства для обработки стабилизационного расхода в замкнутых оборотных циклах с целью корректировки содержания взвешенных веществ, соленосодержания и ионного состава воды.

При решении генплана сооружений водоподготовки кроме природно-климатических, топографических и геологических условий основополагающими факторами являются производительность и состав сооружений. Состав сооружений водоподготовки промышленных предприятий отличается значительным разнообразием, а расчетные расходы воды находятся в широком диапазоне от нескольких до десятков и даже сотен тысяч кубометров в час.

Полный расход воды, поступающий на комплекс водоподготовки, определяется с учетом расхода воды на собственные технологические нужды (приготовление раствора и суспензий реагентов, потери воды при выпуске осадка из отстойников и осветлителей, удаление пены из флотаторов, промывку фильтров, резервуаров, регенерацию катионитовых фильтров и т. п.).

Расход воды на собственные нужды станции доочистки, %, может быть ориентировочно принят:

- для компенсации потерь воды при выпуске осадка – 1,5–3,0;
- на промывку фильтров – 3–5;
- промывку контактных осветлителей – 8–10;
- при ионитовом умягчении воды – 10–15;
- при глубоком ионитовом обессоливании воды – 15–25.

При соответствующем технико-экономическом обосновании повторное использование промывных вод после их отстаивания с применением реагентов или без них, когда это возможно, позволяет существенно сократить расходы промывной воды.

Коммуникации станции при проектировании необходимо рассчитывать на возможность пропуска расхода воды на 20–30 % больше расчетного, по соображениям дальнейшей интенсификации или реконструкции водоочистных сооружений.

При расположении на площадке предприятия градирен и других охладителей необходимо учитывать характер застройки окружающей территории, направление господствующих ветров зимой и летом, возможное туманообразование, вынос капель воды за пределы охладительной, вызывающих обмерзание расположенных вблизи сооружений, а также стремиться к наименьшей протяженности циркуляционных трубопроводов, соединяющих потребителей охлаждающей воды с охладителями.

В целях уменьшения диаметров и протяженности трубопроводов применяют при соответствующем обосновании децентрализацию систем оборотного водоснабжения с максимальным приближением охладительной оборотной воды к цехам и потребителям воды.

Минимальные расстояния между охладителями воды при проектировании назначаются с учетом взаимного влияния их друг на друга в отношении эффективности охлаждения воды (таблица 5.1), а до зданий и сооружений – в соответствии с рекомендациями по проектированию генеральных планов промышленных предприятий (таблица 5.2) [26].

Минимальное расстояние между градирнями в одном ряду для градирен открытого типа и вентиляторных секционных принимается 3 м, башенных – 0,5 диаметра градирен, одновентиляторных – две высоты воздухоподводящих окон. При числе секций в ряду менее трех расстояния между открытыми градирнями сокращаются на 30 %.

Таблица 5.1 – Минимальное расстояние между охладителями

Сооружения	Расстояния до градирен, м			
	открытых	башенных	вентиляторных	
			секционных	одиночных
Брызгальные бассейны	–	30	30	30
Открытые градирни	–	20	30	20
Башенные градирни	30	D	$0,5D$	21–33
Вентиляторные секционные градирни площадью секции, м ² :				
до 10	30	$0,5D$	9	15–20
до 20	30	–	12	15–20
до 100	30	–	21	20–25
до 200	30	–	27	20–30
более 200	30	–	33	21–33
Одновентиляторные градирни площадью, м ² :				
300–400	30	21	21	21
400–800	30	27	27	27
800–1200	30	33	33	33
<i>Примечание – D – диаметр градирни на уровне входных окон.</i>				

Таблица 5.2 – Расстояние от градирен до зданий и сооружений [26]

Здания и сооружения	Брызгальные бассейны	Башенные градирни	Вентиляторные секционные градирни	
			наземные	на покрытиях зданий
Здания со стенами из материалов, имеющих марки по морозостойкости не менее М _{рз} 25	42	21	21	9
Открытые электрические подстанции и линии электропередачи	80	30	42	42
Открытые наземные склады	60	Не менее		
		21	24	15
Наземные и надземные инженерные сети	9	9	9	9
Ось железнодорожных путей внешних и сортировочных	80	42	60	21
Ось внутренних железнодорожных подъездных путей	30	12	12	9
Край проезжей части автодорог общего пользования	60	21	39	9
Край проезжей части подъездных и внутризаводских автомобильных дорог	21	9	9	9

При проектировании комплексов водоподготовки для промышленных предприятий необходимо стремиться к рациональному использованию земельных ресурсов, стоимость которых зависит от их назначения и типов почв. В условиях дефицита свободных площадей и высокой стоимости земельных участков уменьшение занимаемой площади под сооружения водоподготовки становится важным фактором, влияющим на экономичность проектных решений.

В связи с этим оправдано широкое применение вентиляторных градирен, так как площади, требуемые для вентиляторных градирен, в 1,4 раза меньше, чем под башенные градирни, в 17 раз меньше, чем для размещения брызгальных бассейнов и в 134 раза меньше по сравнению с занимаемой водохранилищами-охладителями [12].

Блоки охладителей воды большой производительности с резервуарами и насосными станциями, как правило, располагаются отдельно, вблизи потребителей охлажденной воды, или komponуются на общей площадке совместно с другими сооружениями водоподготовки. Насосно-силовое оборудование размещается в одном здании с оборудованием для очистки воды.

Генплан комплекса очистных сооружений определяется их составом и местными условиями. На территории водоочистных комплексов помимо основных технологических сооружений размещаются все вспомогательные помещения (склады реагентов, кислот, щелочей, фильтрующих материалов, адсорбентов, мастерские, лаборатория, диспетчерская и др.). Склады реагентов, кроме хлора и аммиака, кислот и щелочей, располагаются вплотную к реагентному цеху, где непосредственно производится приготовление их к использованию.

На генеральный план водоочистного комплекса наносятся все технологические и подсобные сооружения, трансформаторная подстанция, материальный склад, песковое хозяйство, котельная, мастерские, проходная. Для внутриплощадных станций водоподготовки, как правило, отдельная котельная, электроподстанция, мастерские, проходная не требуются, так как они часто бывают общими для всего предприятия. Хлораторная и склад хлора совмещаются и располагаются в наиболее низкой части территории на расстоянии более 30 м от зданий. Территория водоочистных сооружений ограждается с соблюдением требований СанПиН [20]. Для обеспечения надежности их функционирования производится дублирование отдельных сооружений, устройство обводных и дублирующих водопроводных линий.

На генплан наносятся технологические трубопроводы исходной, очищенной и охлажденной воды, трубопроводы подачи, отвода и оборота промывной воды, а также производственная и бытовая канализация, хозяйственно-противопожарный водопровод, отводной коллектор, теплосеть, кабели и другие коммуникации. Кроме того, показываются сооружения, предусматривающиеся для улавливания песка из промывных вод, и сооружения

обезвоживания и складирования осадка. Песковое хозяйство водоочистных станций предусматривается для хранения загрузочных материалов. Там же производится их сортировка и промывка перед загрузкой в фильтр. Если используются фильтры с двухслойной загрузкой, то на территории пескового хозяйства располагается установка для дробления и отсева антрацита и площади для его хранения.

При решении генплана водоочистного комплекса необходимо предусматривать возможность его расширения и строительство по очередям. С этой целью на генплане предусматривается территория для размещения сооружений, прокладки трубопроводов второй очереди и последующего расширения. Стороны здания, в направлении которых производится пристройка при расширении комплекса, не должны загромождаться постройками постоянного типа или другими сооружениями и коммуникациями. Каналы и трубопроводы рассчитываются с запасом на возможность пропуски воды после реконструкции отдельных сооружений или целых блоков.

При проектировании генерального плана водоочистного комплекса необходимо предусматривать:

- минимальную протяженность путей перемещения реагентов;
- максимально возможную механизацию погрузочно-разгрузочных работ и замены загрузки фильтров;
- маневренность эксплуатации как отдельных технологических сооружений, так и целых блоков.

Планировка территории комплекса должна обеспечивать отведение атмосферных осадков от всех технологических сооружений, отдельных зданий и всей площадки. На территории комплекса помимо дорог предусматривается устройство тротуаров и озеленение.

Высотная схема водоочистных сооружений для осветления и обесцвечивания, умягчения, обессоливания и других видов подготовки воды для производственных целей может быть самотечной, напорной или самотечной с включением напорных элементов (напорных фильтров, электрообессоливающих установок, аппаратов электромагнитной обработки воды и т. п.).

В открытых сооружениях водоочистной станции обрабатываемая вода от начального сооружения, например, смесителя до конечного, резервуара обработанной воды движется самотеком. Для верного определения взаимного высотного расположения отдельных элементов очистной станции, необходимо знать максимально возможные потери напора во всех сооружениях станции, через которые движется обрабатываемая вода, а также потери напора в коммуникациях, соединяющих эти сооружения.

При составлении высотной схемы безнапорных сооружений расчет ведется от максимальной отметки воды в резервуаре обработанной воды, которая принимается не ниже 0,2–0,5 м от поверхности земли около резервуара. Далее отметка воды в каждом элементе очистных сооружений определяется по ориентировочным данным потерь напора (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Потери напора воды в сооружениях, соединительных коммуникациях [22]

В метрах	
Сооружение, соединительная коммуникация	Потери напора
<i>Сооружения</i>	
Барабанные сетки	0,4–0,6
Микрофильтры	0,5–1,0
Входные (контактные) камеры	0,3–0,5
Устройства для ввода реагентов	0,1–0,3
Гидравлические смесители	0,5–1,0
Механические смесители	0,1–0,2
Гидравлические камеры хлопьеобразования	0,4–0,5
Механические камеры хлопьеобразования	0,1–0,2
Отстойники	0,7–1,0
Осветлители со взвешенным осадком	0,7–0,8
Скорые фильтры	3,0–3,5
Контактные осветлители и префильтры	2,5–3,0
<i>Соединительные коммуникации</i>	
От сетчатых барабанных фильтров (барабанных сеток, микрофильтров) до входных камер или смесителей	0,2–0,4
От смесителей к отстойникам, осветлителям со взвешенным осадком, контактными осветлителям	0,3–0,5
От отстойников, осветлителей со взвешенным осадком, префильтров к фильтрам	0,5–0,6
От фильтров или контактных осветлителей к резервуарам фильтрованной воды	0,5–1,0
От резервуаров фильтрованной воды к насосным станциям	1,0–1,5
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 В указанных значениях учтены потери напора в распределительных и сборных устройствах сооружений.</p> <p>2 Потери напора в измерительных устройствах учитываются дополнительно согласно их типам: для измерительных сужающих устройств: на выходе со станции – 1,0 м; в технологических расходомерах на отдельных сооружениях – от 0,2 до 0,5 м; для ультразвуковых измерительных устройств – от 0,1 до 0,3 м.</p> <p>3 При определении расчетами перепадов уровней воды между сооружениями с учетом потерь напора в соединительных коммуникациях и измерительных устройствах следует учитывать необходимость пропуска форсированных расходов воды на 20–30 % больше расчетного.</p>	

Для составления высотной схемы также определяются отметки дна сооружений по отношению к поверхности земли, что является значительно более трудной задачей, чем определение отметок уровней воды в сооружениях, так как при определении отметок дниц сооружений необходимо учитывать не только предварительно определенную технологическими расчетами высоту сооружений, но и ряд местных условий, которые могут потребовать ее корректировки:

- максимальный уровень воды в водном объекте в период паводков;
- условия производства земляных работ и их объем;
- возможность самотечного отведения воды и осадка от всех сооружений станции;
- условия работы насосов, подающих обработанную воду на производственные установки;
- рельеф площадки очистных сооружений.

Учет максимального уровня воды в ближайшем водном объекте необходим для того, чтобы сооружения очистной станции не могли быть подтоплены через водостоки и канализационную сеть предприятия в период паводков.

Отметки днищ основных сооружений очистной станции принимаются с таким расчетом, чтобы общий объем земляных и строительных работ был минимальным, а условия производства работ – наиболее благоприятными.

Высокий уровень грунтовых вод на площадке очистных сооружений может существенно повлиять на степень заглубления основных сооружений станции. В таком случае нужно стремиться назначать минимально возможную высоту основных сооружений и минимальное их заглубление, хотя это и вызовет увеличение объема земляной подсыпки тех сооружений, которые обычно располагаются вне помещений (резервуаров очищенной воды, горизонтальных отстойников, камер хлопьеобразования), будет значительно сокращен объем наиболее трудоемких работ в водонасыщенных грунтах по устройству фундаментов сооружений и водоотводящих сетей. Во всех случаях заглубление сооружений очистной станции и резервуаров должно обеспечивать возможность в течение года (включая и периоды максимальных паводков) самотечного выпуска из них воды и осадка. Перекачка воды при опорожнении сооружений может допускаться только в виде исключения при соответствующем обосновании.

С этой точки зрения для облегчения задачи определения глубины заложения сооружений водоподготовки следует одновременно с разработкой ее высотной схемы в первом приближении, наметить трассу водоотводящей сети площадки очистных сооружений и определить необходимое заглубление этой сети.

При расположении очистных сооружений обязательно следует учитывать рельеф площадки, так как это дает возможность значительно сократить объем земляных работ и, следовательно, уменьшить строительную стоимость станции. В частности, при расположении сооружений вдоль небольшого склона можно уменьшить заглубление отдельных сооружений, так как необходимая разность отметок в последовательно работающих сооружениях может создаваться не за счет различной степени заглубления сооружений и их высоты, а за счет уклона площадки, на которой располагаются сооружения.

На станциях осветления, умягчения и обессоливания воды для промышленных целей широко применяются конусные сетки, самопромывающиеся

фильтры, ионообменные напорные фильтры, электродиализные установки, остаточный напор после которых используется для подачи воды на другие сооружения очистки или на производственные нужды. В этом случае решение высотной схемы станции упрощается. Напорные фильтры располагают на отметке пола очистных сооружений и обеспечивают подачу воды в них насосами. Отметки остальных сооружений определяют исходя из высотного расположения напорных фильтров.

Отметка оси насосов определяется из условия установки насосов под заливом при заборе воды из резервуаров:

– от верхнего уровня воды пожарного объема – при одном расчетном пожаре;

– уровня воды, соответствующего объему минимального расхода воды на тушение одного пожара, – при двух или более расчетных пожарах;

– уровня воды аварийного объема – при отсутствии пожарного объема;

– среднего уровня воды – при отсутствии пожарного и аварийного объемов.

При заборе воды из водных объектов отметка оси насосов принимается из условия установки насосов под заливом от минимального расчетного уровня воды в водном объекте в зависимости от категории водозабора.

Резервуары технической воды обычно располагаются в земле за пределами здания. Объем их принимается равным 5–10 мин производительности насосной станции [11, 12].

5.2 Основные принципы компоновки станций осветления, умягчения и обессоливания воды

При компоновке очистных станций следует все технологические сооружения и основные вспомогательные помещения располагать в одном здании, так как это значительно упрощает эксплуатацию станции и снижает ее строительную стоимость.

Компоновка отдельных блоков очистных сооружений в разных зданиях допускается только для крупных водоочистных станций и то при наличии достаточных технико-экономических обоснований.

При решении компоновки блока основных сооружений необходимо исходить из логической последовательности передачи воды от сооружения к сооружению, учитывая возможность интенсификации работы отдельных сооружений или расширения станции, удобства размещения вспомогательных сооружений (узла приготовления реагентов и регенерационных растворов, устройств замены фильтрующей загрузки, установок регенерации адсорбентов, узлов дозирования химических реагентов).

Взаимное расположение отдельных сооружений на плане станции должно осуществляться так, чтобы обеспечивалась минимальная протяженность трубопроводов между ними и чтобы каждый тип очистных сооружений можно было бы вводить в эксплуатацию по очередям, а в дальнейшем расширять без

существенной реконструкции в целом и при минимальном выключении из работы действующих сооружений. Сооружения целесообразно располагать блоками по их назначению в схеме очистки. Насосно-силовое оборудование обычно размещается в здании станций водоподготовки, трубопроводы в зданиях и сооружениях прокладываются над поверхностью пола на опорах или кронштейнах с устройством мостиков над ними для обеспечения подхода и обслуживания оборудования и арматуры. Допускается прокладка трубопроводов в каналах, перекрываемых съемными плитами или в подвалах. Ширина каналов принимается при диаметре труб до 400 мм на 600 мм, а глубина – на 400 мм больше диаметра прокладываемого в канале трубопровода. При диаметре труб 500 мм и выше ширина канала принимается на 800 мм, а глубина – на 600 мм больше его диаметра.

Расстояния между соседними сооружениями должны быть минимальными при условии сохранения удобной их эксплуатации и ремонта.

При определении габаритов помещений для установки основного технологического, подъемно-транспортного и другого вспомогательного оборудования, а также укладки трубопроводов в зданиях и сооружениях водоподготовки ширина проходов должна приниматься:

- между насосами или электродвигателями – 1 м;
- между насосами или электродвигателями и стеной в заглубленных помещениях – 0,7 м, в прочих – 1 м (при этом ширина прохода со стороны электродвигателя должна быть достаточна для демонтажа ротора);
- между компрессорами или воздуходувками – 1,5 м;
- между ними и стеной – 1 м;
- между неподвижными выступающими частями оборудования – 0,7 м;
- перед распределительным электрическим щитом – 2 м;
- для агрегатов с диаметром нагнетательного патрубка до 100 мм, которые могут устанавливаться у стены на кронштейнах или на одном фундаменте, расстояние между выступающими частями агрегатов – 0,25 м с проходами вокруг сдвоенной установки – не менее 0,7 м;
- для монтажной площадки – 0,7 м вокруг установленного на ней оборудования.

Площадка и мостики обслуживания предусматриваются при расположении органов управления на высоте более 1,4 м от пола, при этом высота до мест обслуживания должна быть не более 1 м.

По фронту напорных фильтров в местах установки предохранительной и запорно-регулирующей арматуры, контрольно-измерительных устройств, а также между блоками сооружений водоочистной станции предусматриваются необходимые проходы и места для прокладки технологических трубопроводов, обеспечивающие удобство их обслуживания и ремонта.

При проектировании сооружений водоподготовки необходимо ориентироваться на стандартные пролеты фильтровальных залов и учитывать, что

капитальные вложения и эксплуатационные расходы на станциях водоподготовки с фильтрами в значительной степени зависят от размеров фильтровальных сооружений, их количества и производительности.

Технико-экономическое сравнение вариантов фильтрованных сооружений с использованием безнапорных открытых фильтров при производительности станции от 5 до 200 тыс. м³/сут позволило определить наиболее экономичные решения по приведенным затратам. Установлено, что наиболее оптимальные решения относятся к фильтровальным залам с пролетами длиной 18, 24 и 30 м (рисунк 5.1) при двухрядном расположении фильтров [12].

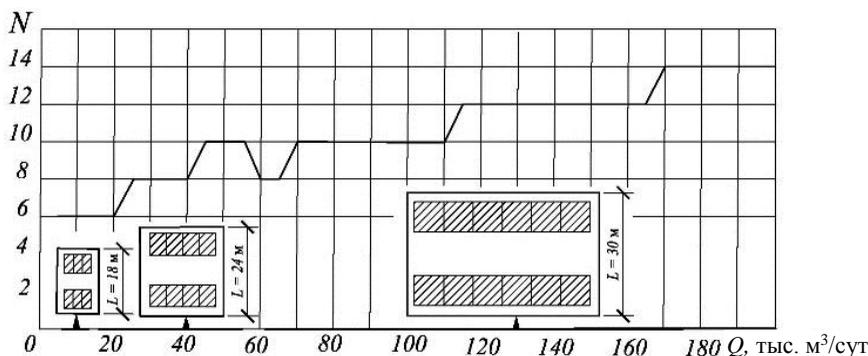


Рисунок 5.1 – График зависимости оптимально числа фильтров от их суммарной производительности

Минимальное количество широко применяемых в промышленном водоснабжении напорных фильтров в блоках одинакового назначения для удобства в эксплуатации должно быть, как правило, не менее 3–4.

Для обеспечения бесперебойности водоснабжения на каждой очистной станции должна быть предусмотрена система обводных линий, гарантирующих возможность подачи воды, минуя сооружения, а также отключения отдельных сооружений.

В зданиях станции водоподготовки следует предусматривать лаборатории (химическую, бактериологическую) с помещениями для хранения посуды и реактивов, мастерские для текущего ремонта оборудования, комнату для дежурного персонала и бытовые помещения (гардеробные, душ и санитарно-технический узел), местный пункт управления и другие вспомогательные помещения. Состав и площади помещений принимаются в зависимости от назначения и производительности станции, а также источника промышленного водоснабжения (подземные воды, поверхностные воды, биологически очищенные и доочищенные сточные воды, сбросные воды оборотных циклов).

Кроме вспомогательных помещений на каждой станции водоподготовки должны предусматриваются склады для реагентов (коагулянта, извести, соды, хлора, аммиака) и песковое хозяйство, а также склады для хранения запаса ионообменных смол, сорбционных материалов и т. п.

Склады коагулянта и извести, как правило, примыкают к помещению, где располагаются баки для приготовления раствора коагулянта и известкового молока. Аналогично решается схема размещения блока приготовления регенерирующих растворов для регенерации ионообменных фильтров.

При определении необходимой площади складов запас реагентов, в зависимости от местных условий их доставки, принимается 15–30 суток. Высота слоя при хранении навалом для коагулянта принимается 2,0–3,5 м, а для извести – 1,5–2,5 м. Большее значение принимается для складов с механизированной выгрузкой. Условия хранения реагентов принимаются в соответствии с указаниями изготовителя. При мокром хранении концентрированного раствора (15–20 %) в растворных баках их количество должно быть не менее 3. Объем баков определяется из расчета 2,2–2,5 м³ на одну тонну товарного неочищенного коагулянта и 1,9–2,2 м³ – на одну тонну очищенного коагулянта. Общая емкость растворных баков определяется с учетом объема разовой поставки коагулянта.

При сухом хранении извести предусматриваются дробилки и известегасильные аппараты, при мокром – резервуары-хранилища и устройства для отбора, транспортировки теста и его гидравлического или механического перемешивания при приготовлении известкового молока. Емкость для гашения извести размещается в изолированном помещении. Склад активированного угля размещается также в отдельном помещении, которое относится к классу пожарной опасности категории В. Помещения для хранения запаса катионита и анионита рассчитываются на объем загрузки двух катионитовых фильтров, одного анионитового фильтра со слабоосновным и сильноосновным анионитом в случае его применения. Склады для хранения реагентов (кроме хлора и аммиака) располагаются вблизи помещений для приготовления их растворов и суспензий. Для поваренной соли применяются склады мокрого хранения. Объем баков определяется из расчета 1,5 м³ на 1 т соли. Допускается применение складов сухого хранения, при этом слой соли не должен превышать 2 м.

При необходимости предварительного осветления воды перед ее умягчением или обессоливанием предусматривается специальное хозяйство для хранения, дробления, промывки, сортировки и транспортирования фильтрующих материалов (песок, антрацит, керамзит и др.) из расчета 10%-го ежегодного пополнения и аварийной перегрузки 1–2 фильтров. Транспортирование фильтрующих материалов предусматривается водоструйными или песковыми насосами по трубопроводам диаметром не менее 50 мм со скоростью движения пульпы 1,5–2 м/с.

Для хранения кислот и щелочей применяются металлические цистерны. При сливе в них кислот и щелочей из железнодорожных или автомобильных цистерн, а также дальнейшего использования, предусматривается специальное оборудование (насосы, мерники, дозаторы) и необходимые мероприятия по технике безопасности.

Кроме блока реагентного хозяйства с необходимыми складскими помещениями, подсобных и вспомогательных помещений в одном здании, где размещаются основные технологические сооружения, следует размещать распределительные устройства, трансформаторные подстанции и щиты управления во встраиваемых или пристраиваемых помещениях с учетом возможного их расширения и увеличения мощности.

При большой производительности сооружений реагентный цех очистной станции, служебные и вспомогательные помещения могут быть вынесены в отдельное здание, обычно соединяемое с блоком основных сооружений проходной галереей.

В одном здании станции водоподготовки могут быть размещены сооружения нескольких оборотных циклов различного назначения, а также насосы охлажденной и горячей воды цикла охлаждения. При этом возможны различные схемы расположения насосно-силового оборудования, основных технологических сооружений и трубопроводов. Для станций водоподготовки с большим числом оборотных циклов целесообразно устанавливать насосное оборудование вдоль длинных сторон цеха очистки воды с расположением насосов, забирающих воду из резервуаров, под залив и размещением основного очистного оборудования в несколько рядов в центрально расположенном зале.

Возможно также расположение насосно-силового оборудования с одной стороны здания станции водоподготовки и только по ширине или на части его длины, размещение фильтров в один ряд или блоками по назначению и принадлежности к определенным оборотным циклам или технологическому признаку с выделением специальных мест для удобной прокладки основных коммуникаций.

При этом ширина пролетов здания и другие его габаритные размеры должны соответствовать требованиям строительной модульной сетки (ширина пролетов 6, 9, 12, 18, 24 м, длина здания кратна 6 м).

Размеры встраиваемых в здания резервуаров принимаются кратными 1,5 м для прямоугольных и 1 м – для круглых в плане конструкций, а по высоте – кратными 0,6 м [12, 22].

На рисунках 5.2–5.6 приведены примеры проектов станций подготовки воды для подпитки теплосетей, питания паровых котлов среднего и высокого давления с применением технологий обратного осмоса и ионного обмена для умягчения и обессоливания воды, а также с использованием технологий осветления и ультрафильтрации в качестве предочистки.

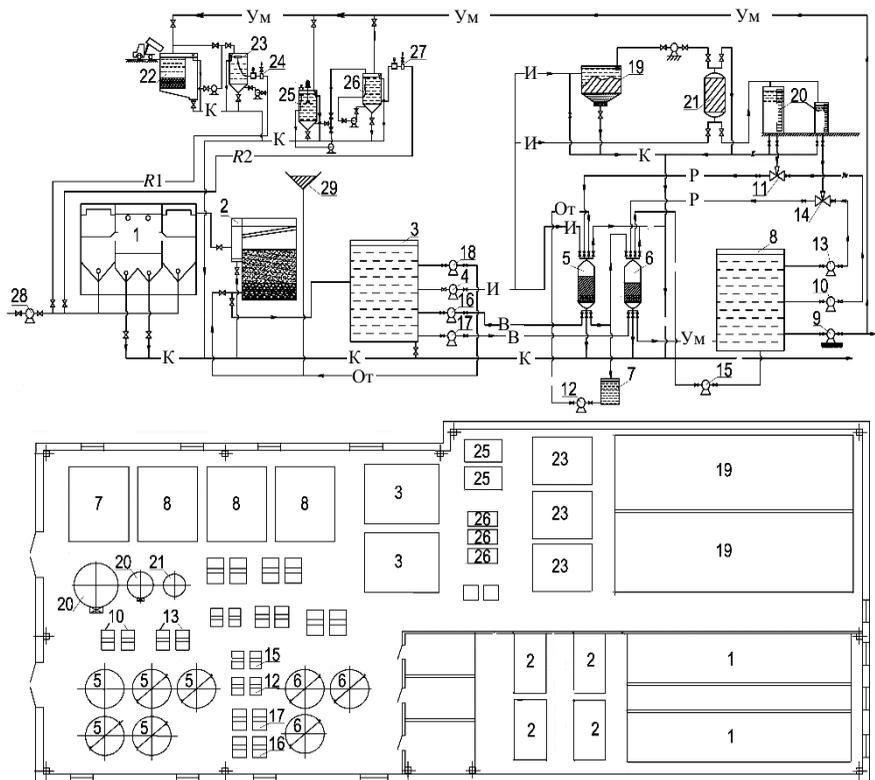


Рисунок 5.2 – Проект станции подготовки поверхностной воды для паровых котлов среднего давления производительностью 150 м³/ч (схема двухступенчатого Na-катионирования) [27]:

a – высотная схема; *б* – компоновка оборудования; И – исходная вода; Р – регенерационный раствор; В – взрыхление; К – канализация; Ум – умягчение; От – отмывка; R1 – раствор коагулянта; R2 – раствор флокулянта; 1 – коридорный осветлитель со взвешенным осадком; 2 – открытый скорый фильтр; 3 – бак сбора осветленной воды; 4 – насос подачи воды в Na-катионитовый фильтр I ступени; 5 – Na-катионитовый фильтр I ступени; 6 – Na-катионитовый фильтр II ступени; 7 – бак фильтрата I ступени для отмывки фильтра I ступени; 8 – бак сбора умягченной воды; 9 – насос подачи умягченной воды; 10 – насос подачи регенерационного раствора в фильтр I ступени; 11 – эжектор подачи солевого раствора в фильтр I ступени; 12 – насос отмывки фильтра I ступени; 13 – насос подачи регенерационного раствора в фильтр II ступени; 14 – эжектор подачи солевого раствора в фильтр II ступени; 15 – насос отмывки фильтра II ступени; 16 – насос взрыхления фильтра I ступени; 17 – насос взрыхления фильтра II ступени; 18 – промывной насос скорых фильтров; 19 – бак мокрого хранения соли; 20 – расходный бак-мерник солевого раствора; 21 – фильтр очистки солевого раствора; 22 – бак мокрого хранения коагулянта; 23 – расходный бак хранения коагулянта; 24 – дозатор раствора коагулянта; 25 – расходный бак ПАА; 26 – расходный бак ПАА; 27 – дозатор; 28 – насос подачи исходной воды; 29 – водонапорная башня промывной воды для скорых фильтров

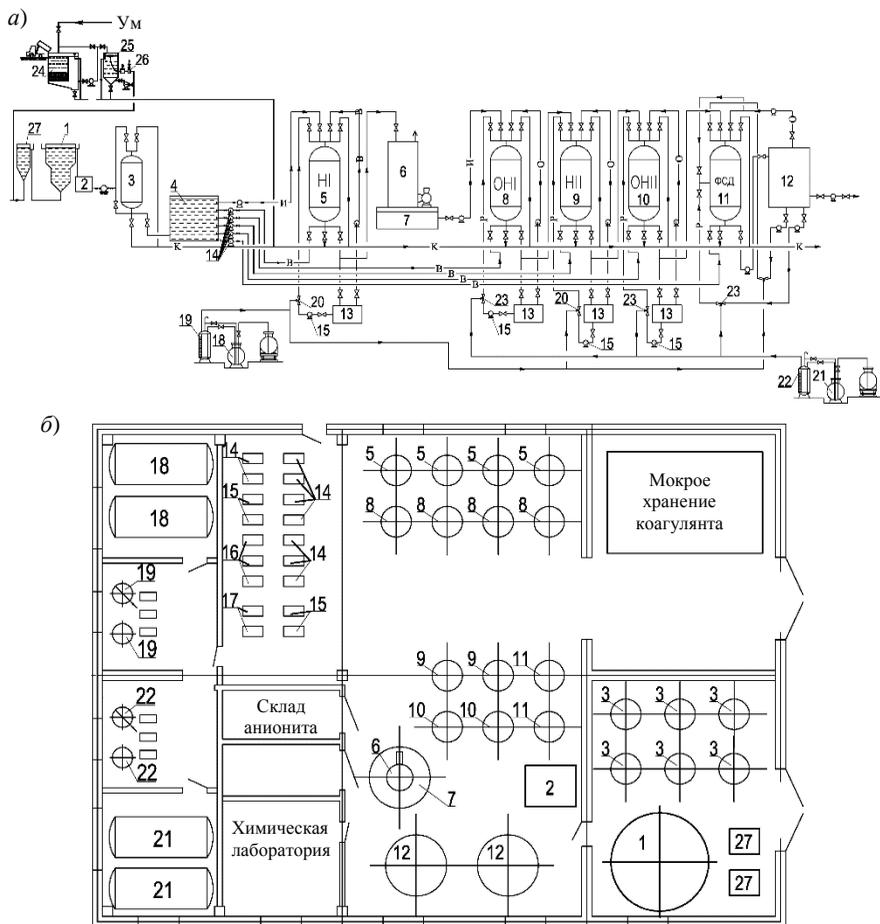


Рисунок 5.3 – Проект станции подготовки воды котлов высокого давления (схема полного обессоливания) производительностью $10 \text{ м}^3/\text{ч}$ [27]:

а – высотная схема; *б* – компоновка оборудования; И – исходная вода; Р – регенерационный раствор; В – взрыхление; К – канализация; О – отмывка; 1 – осветлитель ЦНИИ-3; 2 – промежуточный бак осветленной воды; 3 – механический фильтр; 4 – бак сбора воды после механического фильтра; 5 – Н-катионитовый фильтр I ступени; 6 – дегазатор; 7 – бак сбора воды после дегазатора; 8 – ОН-катионитовый фильтр I ступени; 9 – Н-катионитовый фильтр II ступени; 10 – ОН-катионитовый фильтр II ступени; 11 – фильтр смешанного действия; 12 – бак сбора обессоленной воды; 13 – баки для сбора воды для взрыхления, отмывки и регенерации; 14 – насосы взрыхления; 15 – насосы подачи регенерационного раствора; 16 – насосы отмывки; 17 – насосы обратной промывки механических фильтров; 18 – цистерна хранения кислоты; 19 – мерник кислоты; 20 – эжекторы подачи кислоты; 21 – цистерна хранения щелочи; 22 – мерник щелочи; 23 – эжекторы подачи щелочи; 24 – бак мокрого хранения коагулянта; 25 – расходный бак раствора коагулянта; 26 – насос-дозатор подачи раствора коагулянта

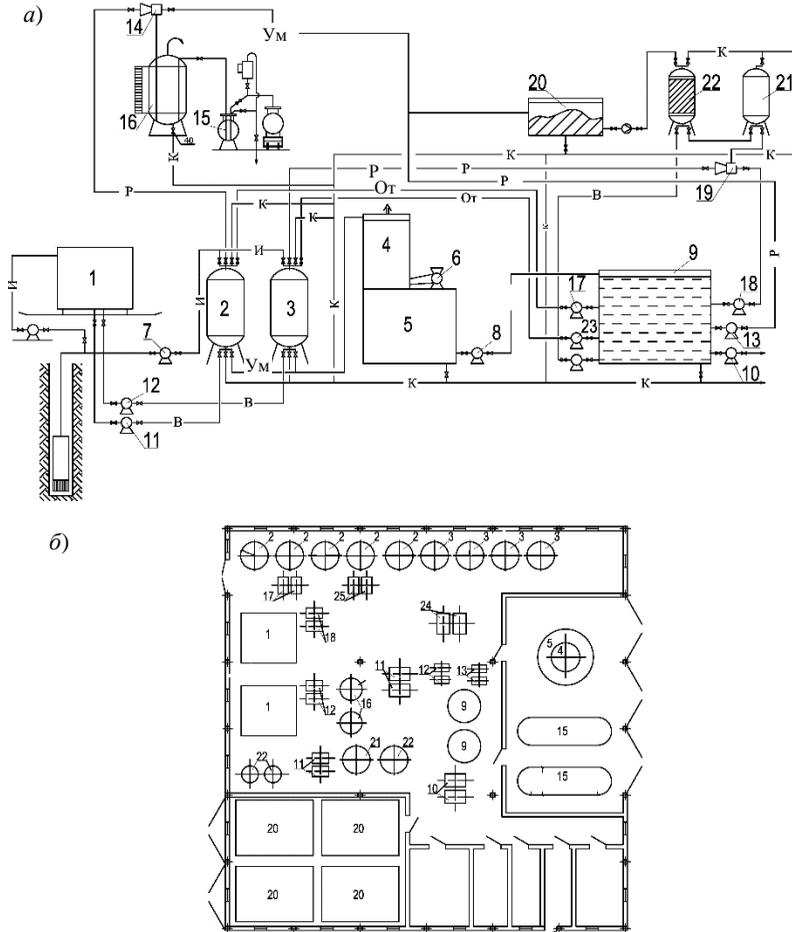


Рисунок 5.4 – Проект станции подготовки воды для подпитки теплосети производительностью 300 м³/ч (схема параллельного Н-Na катионирования) [27]:

a – высотная схема; *б* – компоновка оборудования; И – исходная вода; Р – регенерационный раствор; В – взрыхление; К – канализация; Ум – умягчение; От – отмывка; 1 – бак исходной воды; 2 – Н-катионитовый фильтр; 3 – Ca-катионитовый фильтр; 4 – дегазатор; 5 – бак сбора умягченной воды после дегазатора; 6 – вентилятор; 7 – насос подачи воды на установку; 8 – насос подачи умягченной воды в бак; 9 – бак хранения умягченной воды; 10 – насос подачи воды в деаэратор; 11 – насос взрыхления Н-катионитового фильтра; 12 – насос взрыхления Na-катионитового фильтра; 13 – насос подачи регенерационного раствора в Н-катионитовый фильтр; 14 – эжектор подачи кислоты; 15 – цистерна с кислотой; 16 – мерник кислоты; 17 – насос отмывки Н-катионитового фильтра; 18 – насос подачи регенерационного раствора поваренной соли в Na-катионитовый фильтр; 19 – эжектор подачи соли; 20 – бак мокрого хранения соли; 21 – расходный бак раствора соли; 22 – фильтр очистки солевого раствора; 23 – насос отмывки Na-катионитового фильтра

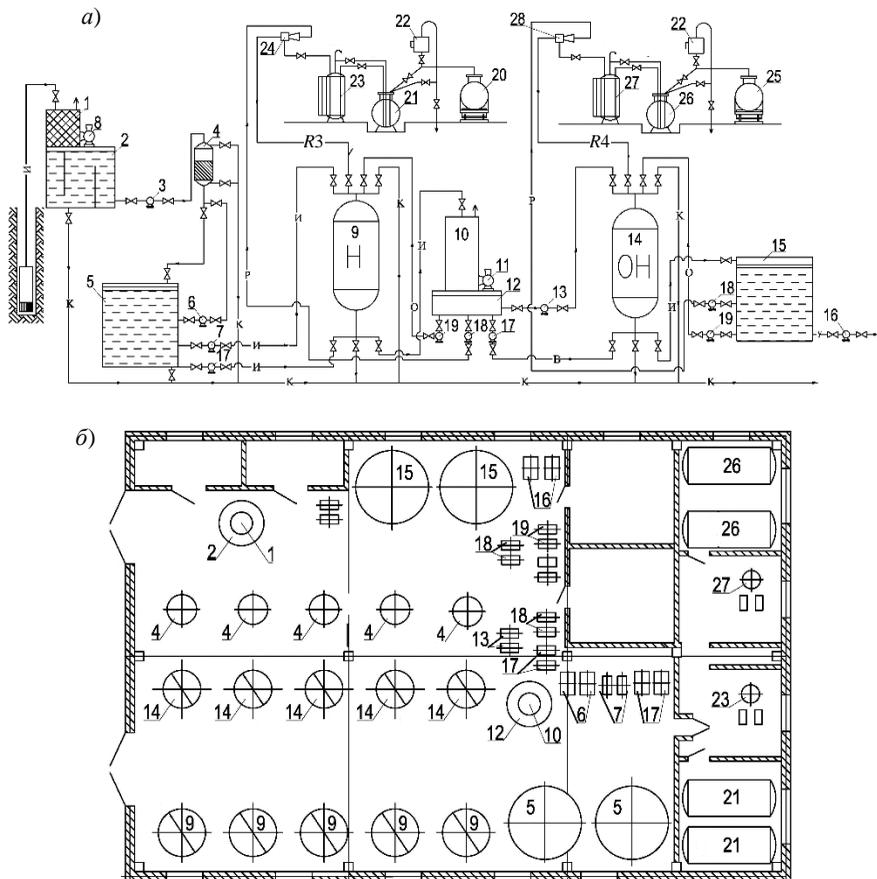


Рисунок 5.5 – Проект станции подготовки воды для паровых котлов с высокой температурной напряженностью (схема частичного обессоливания) производительностью 150 м³/ч [27]:

a – высотная схема; *б* – компоновка оборудования; И – исходная вода; Р – регенерационный раствор; В – взрыхление; К – канализация; У – умягчение; Отг – отмывка; R3 – регенерация раствором кислоты; R4 – регенерация раствором щелочи; 1 – дегазатор для аэрации воды; 2 – бак дегазатора; 3 – насос подачи воды на фильтр обезжелезивания; 4 – напорный механический фильтр для обезжелезивания; 5 – бак сбора обезжелезенной воды; 6 – насос промывки фильтров обезжелезивания; 7 – насос подачи воды на Н-катионитовые фильтры; 8 – воздуходувка; 9 – Н-катионитовый фильтр; 10 – дегазатор; 11 – вентилятор; 12 – бак дегазатора; 13 – насос подачи воды на ОН-анионитовый фильтр; 14 – ОН-анионитовый фильтр; 15 – бак сбора обессоленной воды; 16 – насос подачи обессоленной воды в деаэратор; 17 – насосы взрыхления; 18 – насосы подачи регенерационного раствора; 19 – насосы подачи воды на отмывку; 20 – цистерна с кислотой; 21 – цистерна хранения кислоты; 22 – промежуточный бак; 23 – бак-мерник с едким натром; 24 – эжектор кислоты; 25 – цистерна с едким натром; 26 – цистерна хранения щелочи; 27 – мерник щелочи; 28 – эжектор щелочи

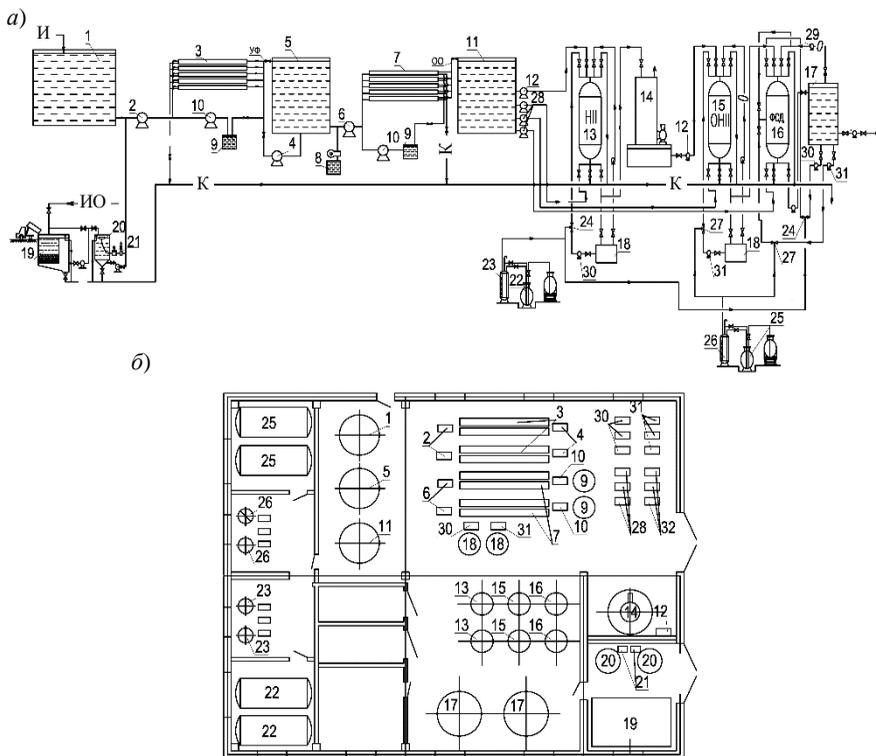


Рисунок 5.6 – Проект станции подготовки питательной воды котлов высокого давления (ТЭЦ) из поверхностного водоисточника с использованием современных мембранных технологий ультрафильтрации и обратного осмоса производительностью 100 м³/ч [27]:

а – высотная схема; *б* – компоновка оборудования; И – исходная вода; Р – регенерационный раствор; В – взрыхление; К – канализация; О – отмывка; УФ – осветленная вода после УФ-установки; ОО – обессоленная вода после установки обратного осмоса; ИО – обессоленная вода после ионообменных фильтров; 1 – приемный резервуар исходной воды; 2 – насос подачи исходной воды на ультрафильтрационные блоки; 3 – блоки с ультрафильтрационными аппаратами; 4 – насос промывки ультрафильтрационных аппаратов; 5 – бак осветленной воды; 6 – рабочий насос обратноосмотической установки; 7 – обратноосмотические аппараты; 8 – блок дозирования ингибитора; 9 – бак промывки мембранных модулей; 10 – насос химической промывки мембранных модулей; 11 – бак сбора filtrата обратноосмотической установки; 12 – насосы подачи воды на установку ионного обмена; 13 – Н-катионитовый фильтр II ступени; 14 – дегазатор; 15 – ОН-анионитовый фильтр II ступени; 16 – фильтр смешанного действия; 17 – бак сбора обессоленной воды; 18 – бак для сбора воды для отмывки, воды для взрыхления и приготовления регенерационных растворов; 19 – резервуар мокрого хранения коагулянта; 20 – расходный бак раствора коагулянта; 21 – блок дозирования коагулянта; 22 – цистерна с кислотой; 23 – мерник кислоты; 24 – эжекторы подачи кислоты; 25 – цистерна со щелочью; 26 – мерник щелочи; 27 – эжектор подачи щелочи; 28 – насос взрыхления; 29 – насос отмывки; 30 – насос подачи регенерационного раствора кислоты; 31 – насос подачи регенерационного раствора щелочи; 32 – насос подачи воды на отмывку

5.3 Применение современных конструкций сооружений водоподготовки и автоматизация их работы, основные мероприятия по технике безопасности

Проектированием внутриплощадочных систем и водоочистных комплексов промышленных предприятий занимаются отраслевые проектные организации, имеющие соответствующую нормативную базу и опыт реализации разработанных ими проектных решений в соответствующих специфических отраслях промышленного производства. Общая направленность проектных решений в области водоснабжения промышленных предприятий состоит в максимальном использовании передовых достижений науки и техники с целью интенсификации работы систем и сооружений водного хозяйства промышленных предприятий, внедрения новых высокопроизводительных процессов и оборудования, рациональных конструкций и экономичных материалов, что обеспечивает снижение капитальных вложений и эксплуатационных затрат, а также экономию трудовых ресурсов.

При проектировании новых и реконструкции существующих сооружений целесообразно применять современные конструкции самопромывающихся сеток, сетчатых фильтров и микрофильтров, радиальных и вертикальных отстойников, позволяющих повысить пропускную способность их на 20–25 % и облегчить эксплуатацию по сравнению с обычными; компактные отстойники с блоками тонкослойных элементов, использование которых гарантирует повышение производительности в 1,5–3 раза и высокий эффект очистки отработавшей воды, обеспечивающий для целого ряда производственных циклов возможность ее оборотного использования.

Эффективно применение современных конструкций механических и сорбционных фильтров с прогрессивными видами инертной и активной загрузки, противоточных катионитовых фильтров для умягчения воды с выносной обратной промывкой, установок непрерывного ионирования, современных полимерных ионообменных материалов. В системах водоподготовки применение напорных фильтров вместо безнапорных во многих случаях позволяет исключить вторую ступень перекачки воды и использовать остаточный напор для подачи ее на охладители, сооружения глубокой очистки или непосредственно потребителю. Для производств, требующих сверхчистую воду, рекомендуется применять обратноосмотические установки, в которых реализуются мембранные технологии очистки воды.

При разработке конструкций сооружений и их элементов целесообразно широкое использование сборного железобетона и различных пластмасс. Применение для изготовления тонкослойных блоков полимерных материалов позволяет индустриализировать процесс производства блоков, существенно облегчить конструкцию тонкослойных отстойников, повысить их долговечность и получить существенный экономический эффект.

Значительные преимущества дает также использование водоуловителей и оросителей градирен из полимерных материалов более стойких к воздействию повышенных температур и влажности среды, позволяющих повысить компактность этих чрезвычайно важных элементов конструкций градирен при одновременном увеличении их гидравлической и тепловой нагрузок. Применение закрытых радиаторных охладителей вместо открытых испарительных исключает потери воды на испарение и капельный унос, что позволяет обеспечить существенную экономию воды.

При проектировании трубопроводов необходимо снижать их материалоемкость за счет максимального сокращения применения стальных и чугунных труб с заменой их на напорные железобетонные, пластмассовые, асбестоцементные и др. Для систем производственного водоснабжения необходимо шире применять специальные методы защиты внутренней и наружной поверхностей стальных труб от химической коррозии и биоповреждений.

Здания насосных станций, насосно-воздуходувных станций, блоков производственных и бытовых помещений, хлораторных мастерских, складов и других объектов проектируются из унифицированных изделий для промышленных зданий и сооружений. Применение типовых проектов и типовых элементов сооружений существенно ускоряет процесс проектирования и уменьшает стоимость строительства.

Наибольшую сложность представляет проектирование и осуществление строительства емкостных сооружений: резервуаров, отстойников, усреднителей, осветлителей и др. Для индустриализации их строительства разработаны габаритные схемы наиболее часто применяемых сооружений прямоугольной и цилиндрической форм. Размеры прямоугольных и диаметры круглых в плане сооружений предусмотрено принимать кратными 3 м, а по высоте – 0,6 м; для емкостных сооружений, встраиваемых в здания, они принимаются кратными 1,5 м; круглых – 1 м.

Действует серия 3.900-3 «Сборные железобетонные конструкции емкостных сооружений водоснабжения и канализации», а также серии 3.900.1-10 – для прямоугольных сооружений; 3.900-11 – для круглых сооружений; 3.900.1-14 – для круглых колодцев; 3.900.1-12 – для лотков.

В целях значительного сокращения сроков строительства объектов водоподготовки внедряется комплектно-блочное решение зданий и сооружений. При этом многие операции по изготовлению строительных конструкций и комплектации оборудования осуществляются в заводских условиях с последующим монтажом оборудования заводского изготовления на строительной площадке.

С целью сокращения габаритов, упрощения конструкции насосных станций или исключения части их из схемы очистных сооружений для перекачки сточных вод целесообразно применять погружные центробежные насосы отечественных и зарубежных конструкций. Такие насосы могут

устанавливаться непосредственно в емкостях, резервуарах и отстойниках без устройства отдельных насосных станций или выделения соответствующих дополнительных площадей для их размещения, что уменьшает габариты станции водоподготовки и снижает их стоимость.

В качестве водоохладителей при небольшой производительности рекомендуется применять радиаторные охладительные агрегаты типа АВО (аппараты воздушного охлаждения) и аппараты испарительного охлаждения, пенно-испарительные водоохладители, малогабаритные градирни различных типов, поставляемые в виде единого блока с насосом, вентилятором и системами управления. Во многих из них исключен контакт воды с воздухом, ее загрязнение и потери вследствие этого.

Системы управления технологическими процессами водоподготовки и объем автоматизации сооружений принимаются из условий эксплуатации с учетом экономических и социальных факторов.

Насосные станции всех назначений на сооружениях водоподготовки должны проектироваться без постоянного обслуживающего персонала с автоматическим, дистанционным (телемеханическим) или местным управлением в зависимости от уровня воды в емкостях, давления или расхода в системе. В автоматизируемых насосных станциях при аварийном отключении рабочих насосных агрегатов предусматривается автоматическое включение резервного агрегата. Это требование относится также к насосным станциям I категории с дистанционным управлением. В насосных станциях предусматривается автоматизация вспомогательных процессов (промывка сеток по заданной программе, откачка дренажных вод, электроотопление, вентиляция).

В насосных станциях необходимо предусматривать измерение:

- давления в напорных водоводах и во всасывающих линиях;
- давления у каждого насоса перед задвижкой на напорном патрубке;
- расходов воды в напорных водоводах;
- уровня воды в дренажных приемках;
- температуры обмоток электродвигателей и подшипников насосов (при необходимости);
- аварийного уровня затопления;
- нагрузки насосов.

В насосных станциях необходимо предусматривать блокировку, исключая сработку аварийного объема воды в резервуарах. Блокировку сработки пожарного объема в резервуарах необходимо предусматривать в соответствии с требованиями [19].

В системах оборотного водоснабжения контролируется:

- расход добавочной воды;
- уровни в резервуарах нагретой и охлажденной воды;
- температура нагретой и охлажденной воды;
- концентрация остаточного хлора в охлажденной воде;
- концентрация солей в нагретой воде.

Автоматическое регулирование подачи добавочной воды в обратную систему обеспечивается по уровню в камере охлажденной воды.

В вентиляционных градирнях в зависимости от температуры охлажденной воды должно предусматриваться изменение числа работающих вентиляторов или числа оборотов вентилятора.

При стабилизационной обработке воды автоматизируется дозирование растворов фосфатов (по расходу добавочной воды); кислоты (по pH), хлора и медного купороса (по заданной программе).

Должна также предусматриваться автоматизация вспомогательных процессов (промывка сеток, откачка дренажных вод, электроотопление и вентиляция). На станциях водоподготовки автоматизируется дозирование коагулянтов и других реагентов, процессы обеззараживания, регулирование скорости фильтрации, а также промывка фильтров при их количестве более 10. Насосы для перекачки растворов реагентов должны иметь местное управление с автоматическим отключением их при заданных уровнях растворов в баках. На установках реагентного умягчения воды, удаления карбонатной жесткости и рекарбонизации автоматизируется дозирование реагентов, дымовых газов по pH и электропроводности. Регенерация ионообменных катионитовых фильтров автоматизируется по остаточной жесткости воды, анионитовых – по электропроводности обработанной воды. При необходимости в емкостях для хранения воды всех назначений предусматривается измерение уровней воды и их контроль для использования в системах автоматики и передачи на пункт управления или на насосную станцию.

Система управления водопроводными и водоочистными сооружениями должна быть централизованной и находится в подчинении пункта управления промышленного предприятия. Она может быть диспетчерской (обеспечивающей контроль и поддержание заданных параметров на основе использования средств контроля) и автоматизированной (АСУТП), включающей применение средств вычислительной техники. В пунктах управления предусматриваются: диспетчерские для размещения персонала, щиты пульта, мнемосхемы, средства связи, аппаратная для установки средств телемеханики, электропитание и т. п., комната отдыха, мастерская текущего ремонта, аккумуляторная, а для пунктов АСУТП дополнительно помещение для размещения технических средств АСУТП.

Пункты управления могут быть размещены в зданиях насосных станций, очистных сооружений, в административно-бытовых зданиях.

При проектировании очистных сооружений должны быть предусмотрены мероприятия для обеспечения безопасности и нормальных условий труда обслуживающего персонала. В их число должны входить мероприятия по электробезопасности и защите от шума и вибрации, вентиляции, освещению и, при необходимости, отоплению помещений, ограждению.

Во всех помещениях очистных сооружений независимо от их назначения и категории пожаро- и взрывоопасности должна быть предусмотрена, как правило, проточно-вытяжная вентиляция, обеспечивающая непрерывный гарантированный воздухообмен. Независимо от наличия вентиляции площадь открывающихся проемов проветривания должна быть не менее 50 % площади остекления. Кратность воздухообмена в помещениях очистных сооружений следует принимать по данным технологической части проекта. Для отделения реагентного хозяйства с приготовлением хлорного железа, гипохлорита, хлора, аммиака, серной кислоты она составляет 6, для отделений приготовления растворов сернокислого алюминия, известкового молока, гексамефосфата, полиакриламида, кремниевой кислоты, фосфатов, активированного угля – 3.

В помещениях очистных сооружений должно быть предусмотрено естественное и искусственное освещение рабочих мест, оборудования и проходов, обеспечивающее безопасную работу обслуживающего персонала. Для обеспечения удобной и безопасной работы обслуживающего персонала и проведения ремонта отдельные установки и оборудование должны быть отделены друг от друга и от стен помещения переходами соответствующей ширины. Должны быть предусмотрены ограждения емкостных сооружений, перекрытия и рабочие мостики. Высота ограждений не менее 1 м, ширина мостиков – 0,6 м. Необходимо предусматривать возможность слива воды из сооружений при промывке или опорожнении и уклон пола в сторону прямого тока для сбора воды. В резервуарах, отстойниках, шахтах должны предусматриваться ходовые скобы, лестницы и другие приспособления для безопасного спуска обслуживающего персонала.

При проектировании очистных сооружений необходимо предусматривать грузоподъемные устройства или приспособления для установки переносных грузоподъемных устройств. При массе груза до 5 т предусматривается таль ручная или кран-балка подвесная ручная при массе груза более 5 т – кран мостовой ручной, а при высоте подъема груза более 6 м или длине подкранового пути более 18 м – электрическое крановое оборудование.

Для защиты от вредных воздействий шума и вибрации следует предусматривать виброизоляционные основания и мягкие вставки для насосов и вентиляционных установок, шумозащитные кабины для обслуживающего персонала и другие мероприятия, снижающие уровень шума и вибрации в рабочих помещениях [12].

6 ОСОБЕННОСТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

6.1 Водоснабжение тепловых и атомных электростанций

Тепловые и атомные электрические станции являются крупными потребителями воды, основное количество которой поступает в конденсаторы паровых турбин для конденсации отработавшего пара. В среднем для конденсации 1 т отработавшего в турбине пара, в зависимости от времени года, приходится расходовать 50–60 т охлаждающей воды. Кроме того, значительное количество воды подводится к воздухо- или газоохладителям электрогенераторов, воздухоохладителям питательных электронасосов, маслоохладителям турбин и вспомогательного оборудования, к системам охлаждения подшипников и вращающихся механизмов.

На тепловых электростанциях (ТЭС), сжигающих твердое топливо, техническая вода используется также в системе гидротранспорта золы и шлака.

Вода, используемая на ТЭС и АЭС для восполнения потерь в основном пароводяном цикле и тепловых сетях, тоже берется из системы технического водоснабжения.

Суммарный расход технической воды на ТЭС и АЭС зависит:

- от мощности станции;
- типа установленного оборудования;
- кратности охлаждения пара;
- температуры охлаждающей воды.

Удельный расход охлаждающей воды на 1 кВт установленной мощности тем меньше, чем выше начальные параметры пара и чем больше единичная мощность турбин [28].

Тепловые электростанции вырабатывают около 95 % всей потребляемой электроэнергии и являются крупными потребителями воды. Так как транспортирование электроэнергии на значительное расстояние приводит к дополнительным затратам, на энергоемких предприятиях, например металлургических, нефтеперерабатывающих, химических и др., имеются свои тепловые электрические станции.

Теплоэлектростанции оборудуются тепловыми установками, вырабатывающими электрическую энергию. Такие станции, обслуживающие заводы, группы предприятий или города и снабжающие их не только электроэнергией, но также паром и горячей водой, называются *теплоэлектроцентралями* (ТЭЦ). На ТЭС и ТЭЦ имеются устройства для транспорта и подогрева

топлива перед сжиганием, котельные установки, паровые турбины, приводящие в действие электрогенераторы и имеющие устройства для отбора пара с целью использования его на технологические нужды и отопление. Электрогенераторы преобразуют механическую энергию в электрическую. На ТЭЦ большая часть пара после турбин поступает не в конденсаторы, а направляется в бойлеры – аппараты для приготовления горячей воды, подаваемой в сеть теплоснабжения и горячего водоснабжения.

На тепловых электростанциях *вода используется:*

- для выработки пара;
- охлаждения конденсаторов паровых турбин;
- охлаждения подшипников;
- на охлаждение в воздухо- и газоохладителях;
- гидрозолоудаление.

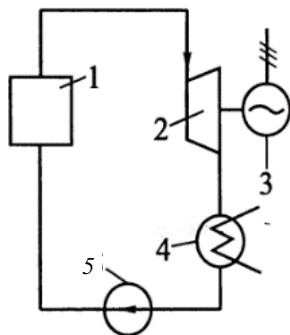


Рисунок 6.1 – Схема паротурбинной установки:

- 1 – парогенератор; 2 – турбина;
- 3 – электрогенератор; 4 – конденсатор; 5 – насос

Работа теплосиловой установки осуществляется следующим образом: в парогенераторе 1 за счет теплоты сжигаемого топлива вода, нагнетаемая в парогенератор насосом 5, превращается в водяной пар, который затем поступает в турбину 2, вращающую электрогенератор 3. Тепловая энергия пара преобразуется в турбине в механическую работу, которая в свою очередь преобразуется в генераторе в электроэнергию. Из турбины отработанный пар поступает в конденсатор 4, где он конденсируется (превращается в воду). Насос 5 нагнетает конденсат в парогенератор, замыкая таким образом цикл (рисунок 6.1).

При использовании в конденсаторах и других теплообменных аппаратах закрытого типа вода не загрязняется, а только нагревается. В зимний период количество поступающего в конденсаторы пара сокращается, и водопотребление их снижается на 30–50 % от летнего периода. Коэффициент полезного действия турбины возрастает при снижении температуры и давления насыщенного пара на выходе из турбины, что достигается конденсацией пара.

Конденсаторы предназначены:

- для поддержания заданного вакуума на выходе пара из турбины, что достигается его конденсацией и удалением неконденсировавшихся газов, попадающих в конденсатор;
- получения чистого конденсата из пара для дальнейшего использования в котлах;
- удаления воздуха и газа из конденсата.

Конденсатор (рисунок 6.2) состоит из большого числа параллельных охлаждающих трубок 7, заключенных в стальной цилиндр (кожух) 5 между дисками 4. Пар из турбины поступает в конденсатор через патрубок 6, омывает трубки, по которым движется холодная вода, поступающая по трубе 9 и выходящая по трубе 1. В результате охлаждения пар конденсируется, превращаясь в конденсат. Конденсат стекает вниз и выходит из конденсатора через патрубок 8. Охлаждающая вода нагревается в конденсаторах на 5–10 °С. Из-за незначительного перепада температуры теплоту охлаждающей воды в широких масштабах использовать невозможно. Конденсаторы бывают:

- одноходовыми, в которых вода входит с одной стороны и, пройдя по трубкам, выходит с другой;
- двухходовыми – вода входит и выходит с одной стороны.

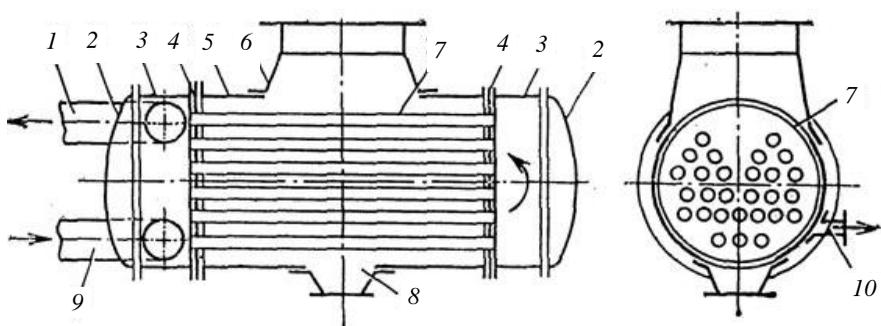


Рисунок 6.2 – Поверхностный конденсатор паровой турбины:

- 1 – патрубок для выхода воды; 2 – крышка водяных камер; 3 – водяные камеры;
- 4 – трубные решетки; 5 – корпус конденсатора; 6 – пароприемная горловина;
- 7 – трубки; 8 – сборник конденсата; 9 – патрубок для подвода воды;
- 10 – патрубок для удаления воздуха

Применяется оборотная или прямоточная системы охлаждения конденсаторов (рисунки 6.3, 6.4).

На работу паровой турбины исключительно большое влияние оказывает величина вакуума в конденсаторе: с уменьшением вакуума падает КПД турбины, возрастает удельный расход пара и топлива.

Воздухо- и газоохладители. При работе электрогенераторов происходит нагрев обмоток. Для охлаждения их применяют принудительное охлаждение с помощью вентиляторов, подающих воздух или газ к обмоткам генераторов. Нагревшийся в генераторе газ или воздух после охлаждения его в воздухоохладителе, вновь поступает в генератор.

Воздухоохладитель конструктивно устроен так же, как и конденсатор: трубки, по которым проходит охлаждающая вода, омываются газом или воздухом, в результате чего он охлаждается.

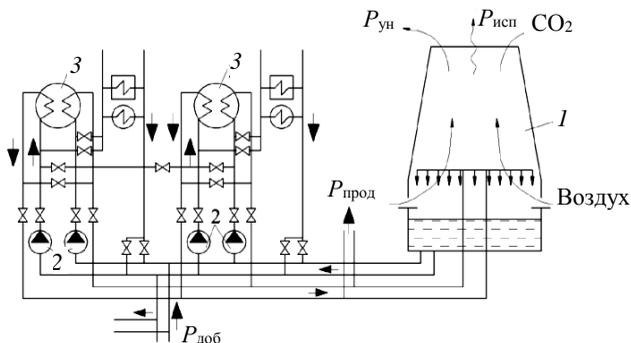


Рисунок 6.3 – Схема оборотного охлаждения конденсатора с градирней:

1 – градирня; 2 – циркуляционный насос; 3 – конденсатор;
 $P_{исп}$, $P_{ун}$ – потери воды в градирне на испарение и унос; $P_{прод}$ – про-
 дувка оборотной воды; $P_{доб}$ – добавка в систему свежей воды

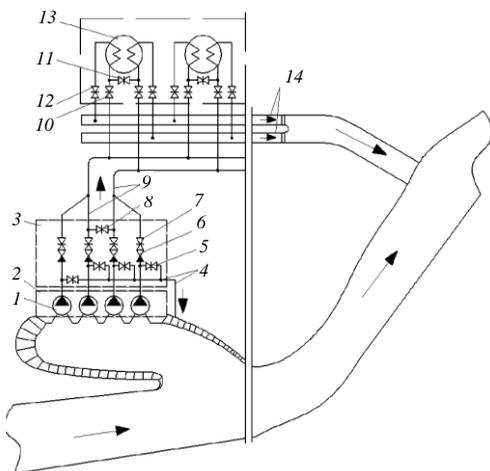


Рисунок 6.4 – Схема
 прямоточного охлаждения
 конденсаторов:

1 – насос; 2 – насосная станция;
 3 – камера переключений; 4 – холо-
 стой сброс; 5 – задвижки холостого
 сброса; 6 – обратный затвор;
 7 – задвижки на напорной патрубке
 насоса; 8, 11 – задвижка на пере-
 мычке; 9 – магистральные трубопро-
 воды; 10, 12 – задвижки на подводя-
 щих и сливных трубопроводах
 конденсаторов; 13 – конденсатор;
 14 – отводящий канал

Температура охлаждающего воздуха должна быть ниже $35\text{--}37^\circ\text{C}$, поэтому охлаждающая вода, подаваемая в охладитель, должна иметь температуру $30\text{--}33^\circ\text{C}$. Обычно к охладителям подается свежая вода.

Маслоохладители. Для смазки подшипников паровых турбин и генераторов, а также регулирующих механизмов применяют турбинное масло. Оно подается насосом под давлением $0,4\text{--}0,5$ МПа и, циркулируя, отводит тепло, выделяющееся от трения. Нагревшееся масло охлаждается в маслоохладителе и вновь подается к подшипникам. По своей конструкции маслоохладитель такой же, как и воздухоохладитель. Он ставится на нагнетательной

линии масляных насосов. Напор масла должен быть выше, чем напор охлаждающей воды в трубках, чтобы вода не попала в масло из-за неплотностей в конструкции маслоохладителя.

Охлаждение подшипников. Расход воды на охлаждение подшипников питательных и конденсатных насосов незначительный и составляет 1–2 % от общего водопотребления, но прекращение подачи воды недопустимо, поэтому рекомендуется устанавливать резервные баки, включаемые в работу автоматически в случае неисправности постоянного источника. Емкость баков определяется из расчета 30-минутного запаса воды.

Питание котлов осуществляется химически очищенной и обессоленной водой. Подготовка воды производится в цехе химводоочистки. В качестве исходной воды используется нагретая вода после конденсаторов паровых турбин.

Гидрозолоудаление применяется при сжигании твердого топлива. Удаление шлака и золы на большинстве электростанций производится гидравлическим способом (рисунок 6.5). Для этого используется вода после конденсаторов, охлаждения подшипников, а также другие сбросные воды.

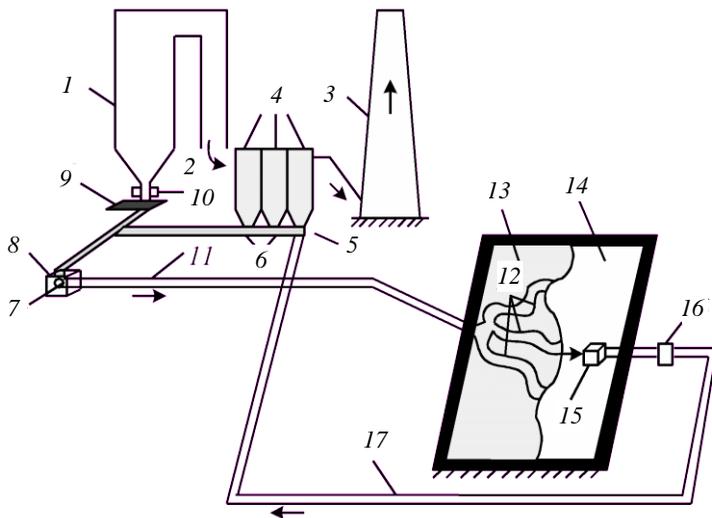


Рисунок 6.5 – Схема гидрозолоудаления:

- 1 – котел; 2 – дымовой (зольный) канал; 3 – дымовая труба; 4 – золоуловители; 5 – смывной канал золоудаления; 6 – побудительные сопла; 7 – багерный насос; 8 – приемный зумпф; 9 – решетка, задерживающая крупные включения шлака; 10 – шлаковая дробилка; 11 – напорный пульпопровод;
- 12 – потоки пульпы; 13 – надводный откос намыва; 14 – отстойный пруд; 15 – водосбросный колодец; 16 – насосная станция оборотного водоснабжения; 17 – водовод очищенной воды

Шлак и зола, разбавленные водой транспортируются самотеком или с помощью побудительных сопел к багерным насосам, которые перекачивают пульпу на золоотвалы.

Гидрозолоудаление может быть *оборотным* (замкнутым) и *разомкнутым*, когда вода, разбавляющая золу, стекает из золоотвалов в водные объекты. В первом случае осветленная в золоотстойниках вода подается к смывным аппаратам.

Производственное водоснабжение ТЭС может осуществляться по *прямоточной, оборотной или комбинированной системам*.

При оборотном водоснабжении для охлаждения воды применяются градирни или в отдельных случаях – пруды-охладители, обеспечивающие достаточно низкую температуру охлаждения воды. Забор воды из источника для пополнения системы оборотного водоснабжения с учетом обработки воды принимается в пределах 2 % от расхода охлаждающей воды.

Потери воды в системе гидрозолоудаления составляют до 20 % и более расхода оборотной воды в этой системе.

Питьевая вода расходуется на хозяйственно-бытовые нужды станции, химводоочистку (для подпитки сети теплофикации) и на горячее водоснабжение.

Для мощных электростанций количество охлаждающей воды, подаваемой в конденсаторы паровых турбин, достигает 1 млн м³/ч. Системы противопожарного водоснабжения ТЭС проектируются, как правило, высокого давления [3, 9, 28].

Водоснабжение атомных электростанций

Технология тепловых электрических станций на ядерном топливе аналогична технологии станций, использующих твердое, жидкое топливо или природный газ. Вместо парового котла применен реактор, выделяющееся в нем тепло используется для получения пара, который направляется в паровые турбины.

Корпусный реактор ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) отличается типом замедлителя и теплофизическими характеристиками теплоносителя (рисунок 6.6). Прокачиваемая через активную зону ВВЭР под высоким давлением обычная не кипящая вода выполняет функции теплоносителя и замедлителя. В таком реакторе пар не образуется, поэтому он может работать только в системе двухконтурной АЭС. Высокое давление воды-теплоносителя требует расположения активной зоны внутри толстостенного корпуса, изготавливаемого на специализированных заводах. Реакторы ВВЭР компактны, конструктивно просты и получили распространение на различных АЭС. Активная зона состоит из 61 регулируемой и 102 нерегулируемых бесчехловых тепловыделяющих сборок (ТВС), при трехгодичной кампании 54 периферийные ТВС устанавливаются со стержнями выгорающих поглотителей (СВП).

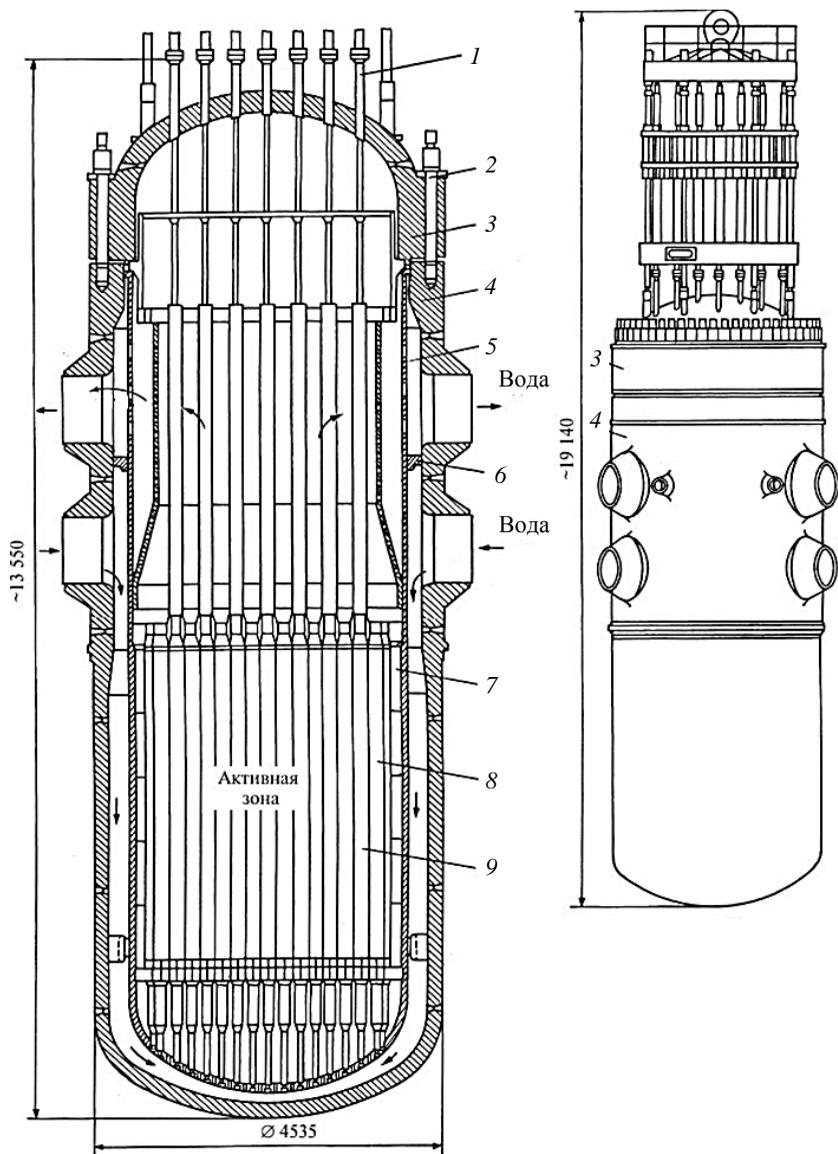


Рисунок 6.6 – Схема реактора ВВЭР-1000:

a – продольный разрез; *б* – общий вид; 1 – привод стержней СУЗ; 2 – шпилька с колпачковой гайкой; 3 – крышка корпуса реактора; 4 – корпус реактора; 5 – подвесная шахта; 6 – кольцевое уплотнение; 7 – пояс активной зоны; 8 – тепловыделяющая сборка (ТВС); 9 – ТВС с регулирующим элементом генератора горизонтального типа

Тепловыделяющая сборка состоит из 312 тепловыделяющих элементов (ТВЭлов). В качестве топлива используется слабообогащенный диоксид урана. Масса горючего в активной зоне 795 000 кг.

Управление цепной реакцией осуществляется с помощью поглощающих стержней, предназначенных также для системы защиты реактора. Основная часть поглощающихборок системы управления и защиты (ПС СУЗ) – поглощающие элементы. В качестве поглощающего материала используется карбид бора ВС.

Пучок поглотителей устанавливается в ТВС активной зоны реактора неподвижно. Принцип действия его основан на постоянном падении поглощающей способности вследствие выгорания поглощающего материала (диборида хрома СтВ).

Поглощающие сборки системы управления и защиты скомпонованы в 10 групп в зависимости от их положения. Десятая группа является группой, с помощью которой идет автоматическое управление цепной реакцией деления. Скорость перемещения ПС СУЗ в номинальном режиме 0,02 м/с. Время опускания ПС СУЗ из крайнего верхнего положения в крайнее нижнее положение – 4 с. Водно-химический режим активной зоны реактора – аммиачно-калиевый с борной кислотой.

Теплота, выделяющаяся внутри матриц ТВЭлов в результате контролируемой и управляемой ядерной реакции расщепления ядер урана-235 тепловыми нейтронами, отводится теплоносителем первого контура, циркулирующим под давлением, через активную зону корпуса реактора. Полученная тепловая энергия передается через герметичную поверхность теплообмена парогенераторов теплоносителю второго контура.

Топливная матрица, оболочка ТВЭла, герметичный парогенератор со стороны первого контура составляют три последовательных барьера на пути распространения радиоактивных загрязнений. Четвертым барьером на пути распространения радиоактивности является герметичная защитная оболочка, внутри которой и располагается всё радиоактивное оборудование первого контура.

Пар, выработанный в парогенераторах, поступает в турбину, где, срабатывая на рабочих лопатках, обеспечивает вращательное движение вала турбины и жесткосоединенного с ним ротора генератора [28].

Реакторы ВВЭР охлаждаются водой под давлением, подогревая водный теплоноситель в активной зоне с 270 до 300 °С. Этот температурный перепад используется для образования насыщенного пара соответствующих температуры и давления в парогенераторах, число которых на энергоблоке АЭС должно соответствовать числу циркуляционных петель. Поскольку паротурбинный контур не имеет непосредственной связи с первым контуром, его называют вторым.

Тепловая схема двухконтурной АЭС с ВВЭР приведена на рисунке 6.7. Первый контур расположен в реакторном отделении. Он включает реактор типа ВВЭР, через который с помощью ГЦН прокачивается вода под давлением 15,7 МПа (160 атм.). На входе в реактор вода имеет температуру 289 °С, на выходе – 322 °С. При давлении в 15,7 МПа вода может закипеть только при температуре 346 °С, таким образом, в первом контуре двухконтурной АЭС всегда циркулирует только вода без образования пара.

Из ядерного реактора (ЯР) вода с температурой 322 °С поступает в парогенератор (горизонтальный цилиндрический сосуд, частично заполненный питательной водой второго контура). Над водой имеется паровое пространство. В воду погружены многочисленные трубы парогенератора (ПГ), в которые поступает вода из ядерного реактора. Можно сказать, что парогенератор – это кипятильник, выпаривающий воду при повышенном давлении. С помощью питательного насоса (ПН) и соответствующего выбора турбины в парогенераторе создается давление, существенно меньшее, чем в первом контуре. Поэтому уже при нагреве до 275 °С вода в парогенераторе закипает вследствие нагрева ее теплоносителем, имеющим температуру 322 °С.

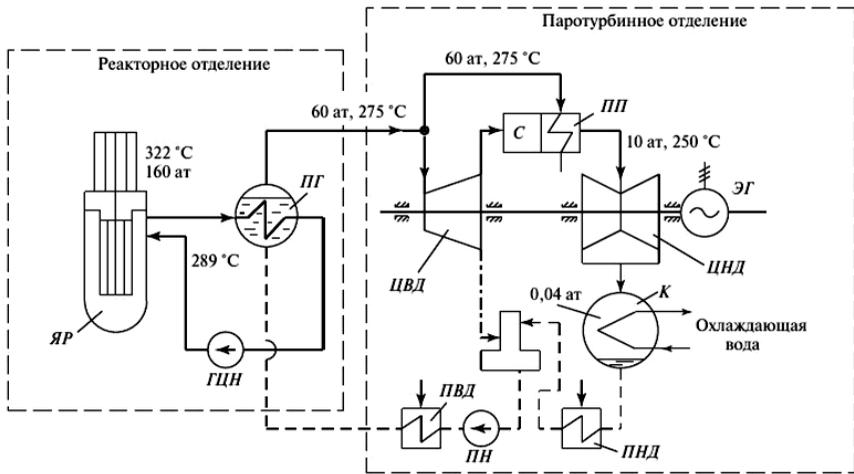


Рисунок 6.7 – Схема двухконтурной АЭС с водоводяным реактором типа ВВЭР (приведенные числовые данные относятся к ВВЭР-1000)

В парогенераторе, являющемся связывающим звеном первого и второго контуров (но расположенном в реакторном отделении), генерируется насыщенный пар влажностью 0,5 %.

Особенностью АЭС являются низкие начальные параметры и влажный пар на входе в турбину.

Этот пар направляется в ЦВД паровой турбины, где он расширяется до давления примерно 1 МПа. Выбор данного значения обусловлен тем, что уже при этом давлении влажность пара достигает 10–12 % и капли влаги, движущиеся с большой скоростью, приводят к интенсивной капельной эрозии и размывам деталей проточной части паровой турбины.

Поэтому из ЦВД пар направляется в сепаратор-пароперегреватель. В сепараторе от пара отделяется влага, и он поступает в пароперегреватель (ПП), где его параметры доводятся до значений 1 МПа, 250 °С. Таким образом, пар на выходе из СПП является перегретым, и эти параметры выбраны такими, чтобы получить допустимую влажность в конце турбины, где угроза эрозии еще бóльшая, чем за ЦВД. Пар с указанными параметрами поступает в ЦНД, где расширившись поступает в конденсатор К, а из него – в конденсатно-питательный тракт.

Во втором контуре циркулирует нерадиоактивная среда, что существенно упрощает эксплуатацию и повышает безопасность АЭС.

Основное количество воды на АЭС, как и на паротурбинных ТЭС, идет на охлаждение конденсаторов паровых турбин (конденсацию пара). Оно в 50–100 раз превышает расход конденсируемого пара. Кроме того, *вода расходуется*:

- на подготовку обессоленной и химически очищенной (умягченной) воды;
- охлаждение воздуха и охлаждающих газов, масла, подшипников насосов и различных механизмов;
- уплотнение сальников;
- восполнение потерь оборотной воды.

Для восполнения потерь пара и конденсата при работе станции служит система подготовки добавочной воды для контуров АЭС.

Система поддержания водно-химического режима предназначена для обработки воды и предотвращения образования отложений и коррозионных повреждений трубопроводов и оборудования. При прямоточной схеме водоснабжения расход охлаждающей конденсаторы турбин воды для АЭС мощностью 4 млн кВт достигает 240 м³/с. Сбросная вода не содержит радиоактивных примесей, но имеет температуру примерно на 10 °С выше, чем исходная, что приводит к повышению естественной температуры воды в водном объекте, снижению концентрации кислорода, цветению воды и развитию водорослей. Поэтому перспективы развития АЭС связаны с использованием оборотных систем с градирнями и прудами-охладителями, но такие системы в 1,5–2 раза дороже и имеют более высокие безвозвратные потери воды на испарение.

В современных реакторах применяется химическое регулирование реактивности (борной кислотой Н₃ВО₃). Для уменьшения коррозии на АЭС вводятся КОН и водный раствор аммиака, обеспечивая щелочной режим

(рН ~ 9,6). Водный теплоноситель первого контура реактора ВВЭР для сильнощелочного водно-химического режима должен отвечать следующим *основным требованиям*:

- рН – более 6;
- концентрация хлоридов и фторидов – менее 0,1 мг/л;
- кислорода – менее 0,01 мг/л;
- аммиака – более 5;
- продуктов коррозии в пересчете на железо менее 0,2 мг/л (при переходных режимах – до 1,0), в пересчете на медь – менее 0,02 мг/л;
- удельная активность – менее 3,7–108 Бк/л.

Кроме того, нормируется содержание водорода, борной кислоты, ионов калия, лития, натрия.

При эксплуатации АЭС вода и пар, находящиеся в реакторном и парогенерирующем контурах, загрязняются примесями, поступающими с добавочной водой, вводимой в контур для восполнения потерь водного теплоносителя; с присосами охлаждающей воды в конденсаторах; с растворами, вводимыми в конденсатно-питательный тракт, реакторную воду и воду парогенераторов для корректирования их состава; в результате коррозии материалов оборудования и трубопроводов контура АЭС с водным теплоносителем; при выходе продуктов деления ядерного топлива из-за негерметичности оболочек некоторых твэлов в реакторную воду. Кроме того, водный теплоноситель загрязняется продуктами собственного радиолития и газами.

Примеси, содержащиеся в воде, особенно продукты коррозии, образуют отложения на поверхности твэлов, парогенераторов теплообменников, что снижает эффективность работы станции и может привести к аварии.

На *интенсивность отложений* оказывают влияние концентрация и ионный состав примесей, растворимость веществ в воде и паре, массообмен на греющих поверхностях, тепловой и гидравлический режимы работы оборудования, физико-химические превращения веществ в условиях радиации.

Требуемый водно-химический режим АЭС обеспечивается в процессе эксплуатации соответствующих систем очистки и водоподготовки. На рисунке 6.8 представлена схема водоснабжения двухконтурной АЭС, включающая основной реакторный (первый) контур со вспомогательными системами (очистки теплоносителя, подпитки и расхолаживания реактора и т. п.) и парогенерирующий второй контур.

Образующиеся на АЭС сточные воды, загрязненные радионуклидами, не могут быть сброшены в водные объекты. Они проходят системы спецводоочистки (СВО), снижающие до безопасной концентрации содержащиеся в них радиоактивные примеси и повторно используются в производственном цикле АЭС.

Концентрированные радиоактивные растворы, образующиеся при очистке сточных вод АЭС, подлежат захоронению в специальных хранилищах жидких отходов [9, 12, 28].

- водоснабжение котельной;
- охлаждение компрессоров, выпрямителей тока тяговых подстанций;
- на нужды ремонтно-механических мастерских и хозяйственно-бытовые нужды.

Охлаждение оборудования осуществляется по оборотной схеме.

Общий расход воды на 1 т добытой горной массы составляет 0,1–1 м³.

Обогатительные фабрики предназначены для отделения от горной массы пустой породы и вредных примесей гравитацией (промывкой), магнитной или электрической сепарацией или флотацией.

При *сухом обогащении* производится только дробление руды, отборка пустой породы и отделение мелкой пылевой руды. Расход воды при этом незначительный – 0,15 м³ на 1 т рудной массы (охлаждение подшипников механизмов, обеспыливание и хозяйственно-питьевые нужды).

При *мокром гравитационном методе* обогащение состоит в отделении рудной породы путем промывки рудной массы водой.

При обогащении *флотацией* руда измельчается, взбалтывается в воде, к ней добавляются флотореагенты и она флотируется. При этом пустая порода остается в осадке, образуя вместе с водой пульпу, а полезные минералы переходят в пену.

В этом процессе *вода используется*:

- для приготовления реагентов;
- промывки;
- как среда, транспортирующая и поглощающая загрязнения.

Общее потребление воды на 1 т железорудной массы составляет до 8 м³. Расход свежей воды – около 30 %.

Система водоснабжения обогатительных фабрик оборотная с очисткой воды в хвостохранилищах или шламонакопителях (рисунок 6.9).

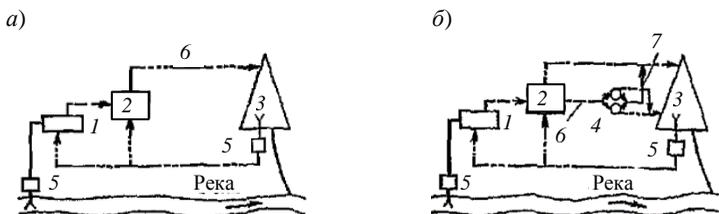


Рисунок 6.9 – Схема оборотного водоснабжения рудообогатительных фабрик:
 1 – рудообогатительная фабрика; 2 – флотационная фабрика; 3 – пруд-осветитель оборотной воды и шламонакопитель; 4 – отстойники сточных вод; 5 – насосная станция; 6 – коагулянт; 7 – осадок

В случае обогащения руды по двухступенчатой схеме при участии воды в процессах промывки и флотации, когда содержание флотореагентов в оборотной воде, подаваемой на промывку и флотацию, не нормируется, может быть применена схема водоснабжения (рисунок 6.9, а). Общий расход

сточных вод коагулируется и направляется в пруд-осветлитель (хвостохранилище). Осветленная вода полностью возвращается на промывку и флотацию руды, свежая вода подается только на восполнение потерь в производстве и хвостохранилище.

Оборотная схема водоснабжения, приведенная на рисунке 6.9, б, предполагает предварительную обработку коагулянтами не всех образующихся сточных вод фабрики, а только содержащих флотореагенты. Эти сточные воды направляются в радиальные отстойники, а затем после отстаивания – в шламонакопители. Осадок из отстойников поступает в поток сточной воды, не содержащий флотореагентов, для коагуляции им мелкодисперсных примесей и далее вместе с этой водой поступает в шламонакопитель, где осветляется и затем подается насосной станцией второго подъема на промывку и флотацию. Восполнение потерь обеспечивается свежей водой, которая подается из источника насосной станцией первого подъема [3].

6.2.2 Metallurgical combines

Современные металлургические комбинаты имеют сложные системы водного хозяйства, включающие до 30 и более оборотных циклов, обеспечивающих потребности в воде отдельных производств, отличающихся качеством воды и необходимыми напорами в сети (рисунок 6.10).

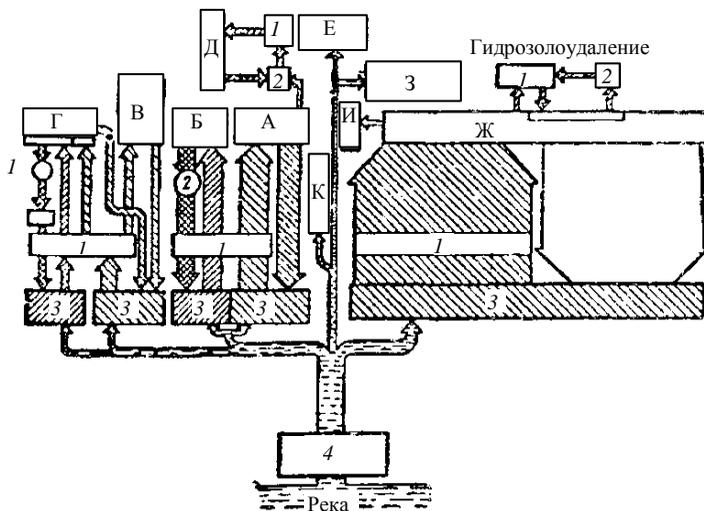


Рисунок 6.10 – Схема оборотного водоснабжения металлургического комбината [12]: А – доменный цех; Б – газоочистка; В – сталеплавильный цех; Г – прокатный цех; Д – разливочные машины; Е – коксохимический цех; Ж – ТЭЦ и паровоздуходувная станция; З – цех огнеупоров; И – химводоочистка; К – прочие цеха; 1 – насосные станции циклов оборотного водоснабжения; 2 – отстойники; 3 – брызгальные бассейны; 4 – насосная станция I подъема

Число систем оборотного водоснабжения принимается по числу производств. Расход воды для выплавки 1 т металла составляет до 300–350 м³ воды.

На металлургических комбинатах с полным технологическим циклом выплавляется чугун, затем переплавляемый в сталь, изготавливаются различные профили проката или трубы. В комплексе современного металлургического комбината имеются коксохимическое, огнеупорное и другие производства, а также ТЭЦ, паровоздуходувные станции (ПВС), механический, транспортный и другие вспомогательные цеха. Чугун выплавляется в непрерывно действующих доменных печах с использованием в качестве топлива кокса и природного газа. Сталь выплавляется из чугуна и металлического лома в непрерывно действующих мартеновских печах, периодически действующих электропечах или конверторах. Получающиеся слитки стали затем нагревают и превращают в различные профили на прокатных станах, для изготовления изделий. На ряде заводов применяется непрерывная разливка стали в общий профиль. Многие сорта профильного металла подвергаются дополнительной обработке травлением кислотами, термической обработке и т. п.

Вода на металлургических комбинатах расходуется:

- на охлаждение металлургических печей (60–70 %);
- конденсацию отработавшего пара на ТЭЦ и ПВС;
- очистку дымовых газов доменного и сталеплавильного производства;
- охлаждение прокатных станов, металла, шлака (25–35 %);
- прочие нужды (до 5 %);
- питание и продувку котлов, охлаждение конденсаторов, масло- и воздухоохладителей, подшипников, золоудаление, сероочистку на ПВС.

Питание котлов осуществляется химически очищенной водой высокого качества, в которой недопустимо присутствие механических примесей и солей жесткости. Полученный в котлах пар, пройдя турбину, поступает в конденсаторы и снова в виде конденсата возвращается в котел. Потери составляют 3–5 % общего расхода воды, циркулирующей в системе. Расход пара зависит от величины вакуума в конденсаторах.

Продувка котлов с добавкой свежей воды производится для поддержания требуемого состава минеральных примесей.

С учетом собственных нужд водоумягчительной установки суммарный расход воды для котлов составляет 0,8–0,9 л на 1 кВт мощности.

Конденсаторы силовых станций являются наиболее крупными водопотребителями на металлургических комбинатах. При прямоточном водоснабжении кратность охлаждения принимается 80–100 и используются одноходовые конденсаторы, а при оборотном кратность охлаждения – 50–70 и применяются двухходовые конденсаторы.

Для ориентировочных подсчетов в среднем принимается расход пара 5 кг на 1 кВт·ч, при кратности охлаждения $n = 60$ расход воды в конденсаторах составляет 0,3 м³ на 1 кВт·ч.

Удельный расход воды в паровоздуховных станциях (ПВС) составляет около 40 м^3 на 1 т чугуна.

В зависимости от технологических требований к качеству воды и особенностями производства можно выделить несколько *групп водопотребителей*:

1) доменные и коксовые печи, нагревательные печи прокатного производства, электроплавильные и мартеновские печи, конвертеры, конденсаторы паровоздуховных станций (ПВС) и теплоэлектростанций (ТЭС), компрессорные и кислородные станции (содержание взвешенных веществ – до $20\text{--}50 \text{ мг/дм}^3$, жесткость карбонатная $J_k < 3 \text{ мг-экв/дм}^3$, температура – до $30 \text{ }^\circ\text{C}$);

2) кристаллизаторы установок непрерывной разливки стали (содержание взвешенных веществ – до $20\text{--}50 \text{ мг/дм}^3$, $J_k < 1 \text{ мг-экв/дм}^3$, температура – до $30 \text{ }^\circ\text{C}$);

3) установки по очистке загрязненных газов доменного, сталеплавильного и агломерационного производства (допускается содержание взвешенных веществ до 150 мг/дм^3);

4) установки гидротранспорта отходов металлургического производства (зола, шлак, окалина) (допускается содержание взвешенных веществ до 300 мг/дм^3 , любая температура и солесодержание);

5) установки кондиционирования воздуха и санитарно-технические устройства, требующие подачи воды питьевого качества.

Основное количество воды на металлургических комбинатах (до 75 %) расходуется на охлаждение доменных, сталеплавильных и нагревательных печей и на конденсацию пара на воздуховодных и электрических станциях. Остальная часть воды расходуется на охлаждение оборудования и продукции (газа, металла), а также транспортирование механических примесей и прочие нужды [3, 12].

6.2.3 Коксохимические заводы

Коксохимические заводы включают коксовые, химические цеха и отделения:

– улавливания химических продуктов с отделениями конденсации и охлаждения газа;

– машинное отделение с электрофильтрами;

– аммиачно-сульфатное отделение с пиридиновыми и обесфеноливающими установками;

– отделения улавливания и дистилляции бензола;

– цех отгонки газа от сероводорода с сероводородными и сернокислотными отделениями;

– смолоразгонный цех.

На действующих предприятиях существуют обратное и оборотно-прямоточное водоснабжение, причем прямоточное используется только в отдельных случаях для закрытой теплообменной аппаратуры, в которой отработавшая вода в процессе использования только нагревается.

Для строящихся и реконструируемых предприятий из условий ликвидации загрязнения водных объектов, как правило, принимается только обратное водоснабжение, которое осуществляется в виде отдельных замкнутых циклов соответственно технологии производства.

Отдельные системы обратного водоснабжения применяются для углеобогатительной фабрики, тушения кокса, охлаждения газа и химических продуктов в закрытой теплообменной аппаратуре, конечного охлаждения газа в холодильниках непосредственного действия, охлаждения и грануляции пека, охлаждения серной кислоты в оросительных холодильниках и др.

Принципиальная типовая схема обратного водоснабжения коксохимического производства приведена на рисунке 6.11.

Водоснабжение закрытой теплообменной аппаратуры химических цехов оборотной водой, также как и подача свежей добавочной воды, централизовано.

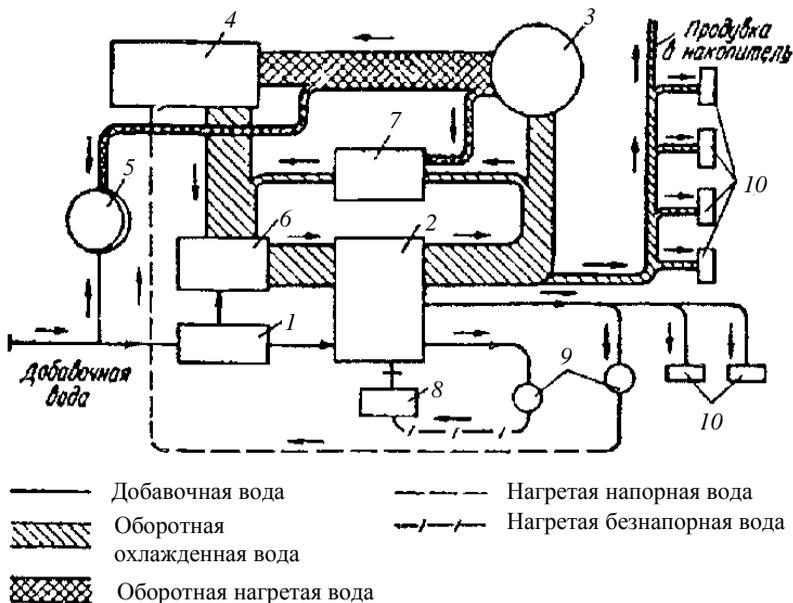


Рисунок 6.11 – Схема водоснабжения коксохимического производства [12]:

1 – резервуар добавочной воды; 2 – насосная; 3 – закрытая теплообменная аппаратура; 4 – градирня; 5 – углеобогатительная фабрика; 6 – резервуар оборотной воды; 7 – осветлитель; 8 – резервуар нагретой воды; 9 – потребители добавочной воды; 10 – пополнение оборотных систем (тушение кокса, конечное охлаждение газа и др.)

Объединенная насосная станция располагается в одном узле с градирнями, запасными резервуарами технической воды и сооружениями по очистке и обработке воды. Другие оборотные системы, как правило, решаются локально в составе соответствующих цехов.

При оборотном водоснабжении коксохимических производств расход повторно используемой воды составит 23 м^3 , а свежей – $1,73 \text{ м}^3$ на 1 т кокса. Количество сточных вод $0,42 \text{ м}^3$ на 1 т кокса.

На *углеобогащительных фабриках* техническая вода расходуется на обогащение в отсадочных машинах, гидроклассификаторах, грохотах, в установках тяжелых сред и флотации, для очистки нагретого запыленного воздуха в сушильных отделениях, для работы шламовых насосов, вакуум-насосов, воздуходувок и др. Принципиальная схема производственного водоснабжения углеобогащительной фабрики приведена на рисунке 6.12.

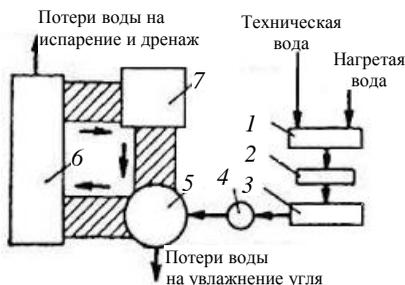


Рисунок 6.12 – Принципиальная схема производственного водоснабжения углеобогащительной фабрики:

- 1 – регулирующая емкость; 2 – насосная станция; 3 – напорный резервуар;
- 4 – потребители технической воды;
- 5 – потребители воды из шламового оборотного цикла; 6 – очистные сооружения (шламонакопитель, отстойники); 7 – насосная станция осветленной воды

Вода на углеобогащительных фабриках находится в водо-шламовых оборотных циклах.

После осветления в гидроциклонах, отстойниках и шламонакопителях ее используют повторно. Потери воды в обороте, на увлажнение угля, шлама, породы, на испарение и дренаж в отстойниках и накопителях восполняют технической водой.

Циркуляционная вода углефабрики в основном загрязняется механическими примесями до $50\text{--}60 \text{ г/дм}^3$ в виде частичек земли, породы угля и следов флотореагентов.

Расход воды на 1 т обогащенного угля составляет:

- технической воды на восполнение потерь в обороте – $0,1 \text{ м}^3$;
- оборотной воды – 3 м^3 .

Для обогащительных фабрик обычно подается техническая и частично нагретая оборотная вода из оборотного цикла теплообменных аппаратов химических цехов.

Вода используется для следующих целей.

- 1 *Тушение кокса* (мокрый или сухой способ).

Расход оборотной воды на тушение 1 т кокса составляет 3–4 м³, добавочной на пополнение потерь в обороте (испарение в башне, увлажнение кокса) – 0,5 м³.

Пополнение потерь воды в обороте обычно осуществляется оборотной водой из цикла закрытых теплообменников и очищенными фенольными водами.

При сухом тушении кокса расход умягченной воды для производства пара на 1 т кокса составляет 0,5 м³;

2 *Водоснабжение закрытой теплообменной аппаратуры.*

Расходы оборотной воды, составляют:

- в отделении конденсации и улавливания на 1 т кокса – 20 м³;
- в цехе ректификации на 1 т бензола – 210 м³;
- в смолоперерабатывающем цехе на 1 т смолы – 27 м³;
- в цехе очистки коксового газа от сероводорода на 1000 м³ коксового газа – 17 м³.

Освежение оборотной воды осуществляется непрерывной продувкой в систему фенольной воды в размере 2 % расхода оборотной воды. Расход оборотной воды на 1000 м³ охлаждаемого газа составляет 6,5 м³.

3 *Охлаждение серной кислоты в оросительных холодильниках.* Расход оборотной воды на 1 т 100 % серной кислоты составляет 75 м³;

4 *Охлаждение и грануляция пека при непосредственном контакте.* Расход оборотной воды на 1 т песка составляет 15 м³; вода в процессе использования нагревается до 35–40 °С и загрязняется частицами песка.

Потери воды на испарение и увлажнение пека составляют 10 % от расхода оборотной воды [3, 12].

6.2.4 Агломерационные фабрики

Агломерационные фабрики располагаются у рудообогатительных фабрик или на металлургических заводах. Они предназначены для спекания в куски шихты, состоящей из продуктов флотации, переработки мелких руд и пылеватых материалов доменных пылеуловителей сухой газоочистки сталеплавильных цехов и окалины прокатных цехов в окускованный материал для загрузки в доменную печь.

Суммарное потребление воды составляет 3,5–6,8 м³ на 1 т агломерата.

На агломерационных фабриках *вода используется:*

- на обеспыливание шихтовых материалов;
- увлажнение шихты;
- охлаждение горнов и масла подшипников эксгаустеров, электродвигателей, барабанов;
- охлаждение агломерата;
- гидророборку полов и стен помещений;
- мокрую газоочистку;

- гидротранспорт пыли от аппаратов газоочистки (скрубберов);
- хозяйственно-бытовые нужды.

По характеру использования воды *потребители* аглофабрик подразделяются на три группы.

1 Потребители, использующие воду для охлаждения и гидроуплотнения оборудования.

Вода в процессе производства не загрязняется, а только нагревается. Отработанная вода от воздухоохладителей эксгаустерного отделения собирается в резервуар чистой воды и насосами подается на использование для охлаждения горна агломерационных машин и уплотнения сальников насосов. Вода от потребителей повторного использования, если ее температура не превышает 30 °С, является допустимой для мокрой газоочистки, может подаваться на аппараты мокрой очистки и охлаждения агломерационных газов зоны спекания.

Используемая вода не должна содержать взвешенных веществ более 50 мг/дм³, вызывать коррозию металла и отложение солей жесткости.

2 Потребители, у которых используемая вода нагревается и загрязняется (гидросмыв пыли из газоочистных аппаратов, смыв полов и стен, промывка шламопроводов др.). Содержание взвешенных веществ допускается до 150–200 мг/дм³.

3 Потребители, у которых происходит полная потеря воды (увлажнение шихты в смесительных барабанах, питание форсунок и др.). На эти цели может быть использована вода грязного цикла от потребителей второй группы.

Система водоснабжения агломерационных фабрик – *оборотная с разделением на циклы* чистой охлаждающей воды (с градирней) и грязной воды (с отстойниками и градирней) (рисунок 6.13).

Расход оборотной воды чистого цикла составляет 0,7–1,7 м³, грязного – 3–5 м³ на тонну агломерата. Задержанный в отстойниках шлам используется в агломерационном процессе [3, 12].

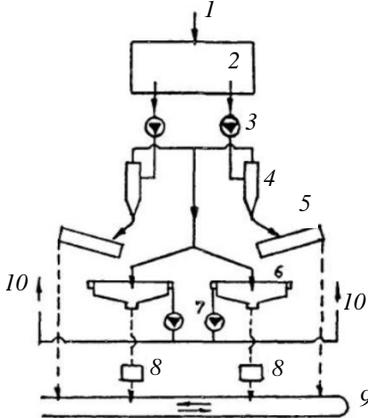


Рисунок 6.13 – Схема оборотного водоснабжения грязного цикла аглофабрики:

- 1 – приток шламовых вод; 2 – приемная камера; 3 – насосы; 4 – гидроциклоны;
- 5 – классификаторы; 6 – радиальные отстойники; 7 – насосы осветленной воды;
- 8 – вакуум-фильтры; 9 – транспортер на шихтовый склад; 10 – подача воды на повторное использование

6.3 Водоснабжение нефтеперерабатывающих заводов, предприятий нефтехимической и химической промышленности

На нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) в результате перегонки нефти получают бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, гудрон и другие фракции. В результате дальнейшей нефтехимической переработки этих фракций, производят различные масла, консистентные смазки, парафин, пропилен, полиэтилен, сжиженные газы, серную кислоту и элементарную серу, кокс, битумы и другие нефтехимические продукты. На нефтеперерабатывающих заводах вода используется главным образом для охлаждения, конденсации и промывки готовой продукции. Основная масса воды до 90–95 % на нефтеперерабатывающих и химических предприятиях расходуется на охлаждение оборудования и конденсацию. На заводах топливного профиля расходуется от 13,2 до 39,6 м воды на 1 т нефти в зависимости от глубины ее переработки, на заводах топливо-масляного профиля – от 27,5 до 68,5 м³, а на НПЗ с некоторыми нефтехимическими производствами – до 85 м³ на 1 т.

Водопотребление на химических предприятиях по выпуску: этилена и пропилена, полипропилена, бутиловых спиртов, синтетических жирных спиртов, циклогексана составляет от 550 до 120 м³ на 1 т продукта.

На всех перечисленных производствах вода в основном расходуется:

- на охлаждение продукта и сырья в закрытых теплообменных аппаратах;
- охлаждение компрессоров;
- кондиционирование воздуха;
- химводоочистку;
- периодическую промывку аппаратов и емкостей;
- во вспомогательных цехах.

Система водоснабжения основных потребителей воды *оборотная* с градирнями, для мелких потребителей – *прямоточная*. Добавочная вода предварительно осветляется. Химически загрязненные сточные воды очищаются совместно с хозяйственно-бытовыми, а отдельные виды концентрированных сточных вод сжигаются. Значительной величины достигают расходы воды на заводах синтетического каучука. На заводах резинотехнических изделий расходуется 230 м³ на 1 т изделий, а на сажевых заводах – 40 м³/т.

На заводах резиновой промышленности вода расходуется на охлаждение различных машин и продукта. По технологическим требованиям производства используемая вода должна иметь различную температуру.

Для потребителей *первой группы* требуемая вода с температурой не выше 14 °С охлаждается на холодильной станции, машины которой имеют свою систему обратного водоснабжения с градирнями.

Для потребителей *второй группы* требуется вода с температурой не более 16–18 °С. Для них используется свежая вода и частично вода, отработавшая в первом цикле.

Для потребителей *третьей группы* подается вода с температурой до 20–25 °С, а для потребителей *четвертой группы* требуется умягченная вода. Система водоснабжения оборотная с частичным использованием отработавшей воды для мойки изделий, оборудования, полов и на других операциях.

В схеме оборотного водоснабжения НПЗ предусматривается **четыре самостоятельные системы**, отличающиеся по качеству воды (рисунок 6.14).

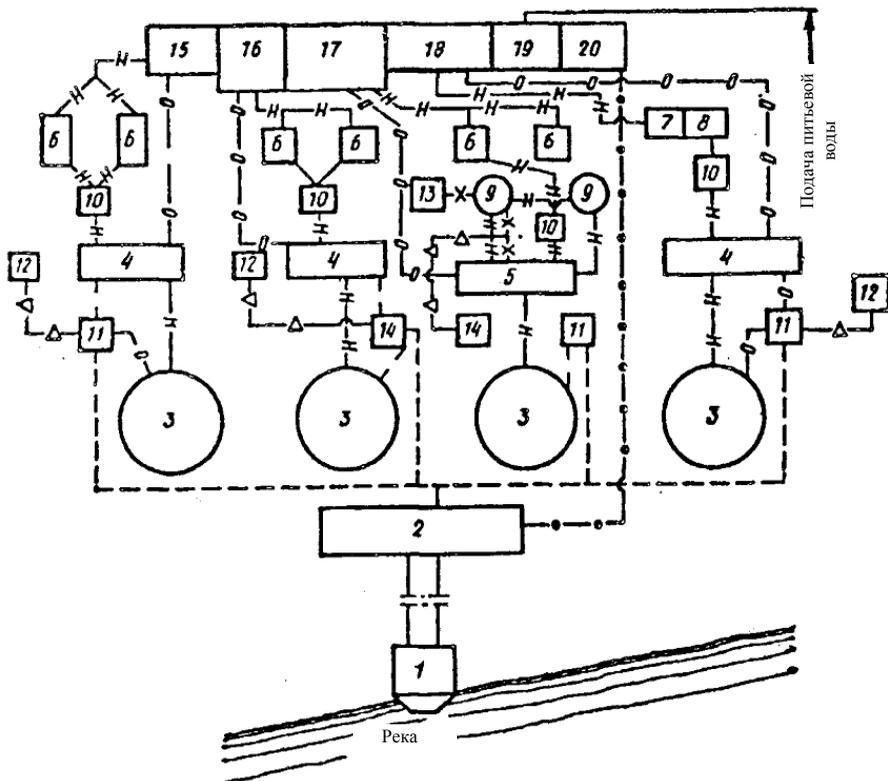


Рисунок 6.14 – Схема водоснабжения нефтеперерабатывающего завода [12]:
 1 – водоприемник, совмещенный с насосной станцией I подъема; 2 – насосная станция II подъема; 3 – вентиляторные градирни; 4 – циркуляционные насосные станции; 5 – насосно-компрессорная станция; 6 – нефтеловушки; 7 – жируловитель; 8 – десорбер; 9 – резервуар горячей воды; 10 – камеры горячей воды; 11 – камеры охлажденной воды; 12 – установка для стабилизации и хлорирования воды; 13 – установка для очистки воздуха от сероводорода; 14 – установки для подкисления воды; 15–18 – потребители воды соответственно I, II, III и IV систем; 19 – установки, использующие питьевую воду на производственные нужды; 20 – установки, использующие исходную воду на производственные нужды; — — — — производственный водопровод низкого давления; - · - · - · - производственный водопровод высокого давления; — Н — — производственный водопровод нагретой воды; — О — — производственный водопровод охлажденной воды; — Δ — — подача реагента; — X — — воздуховод

Отработавшая загрязненная нефтепродуктами вода сначала очищается в нефтеловушках, а затем охлаждается на градирнях и снова направляется в оборот. Безвозвратные потери и количество сбрасываемой продувочной воды составляет 7–10 % от общего водопотребления.

Первая система водоснабжения обеспечивает водой установки, перерабатывающие тяжелые и легкие нефтепродукты. При этом вода загрязняется случайно попадающими нефтепродуктами в количестве до 100 мг/л. Удельный расход оборотной воды в системе составляет 45–50 м³ на 1 т перерабатываемой нефти.

Вторая система обеспечивает водой установки, в которых вода практически не загрязняется нефтепродуктами (сернокислотный цех, катализаторная фабрика, установка разлива парафина, компрессорные станции, реакгентное хозяйство и др.). Удельный расход воды во второй системе доходит до 40 м³/т.

Третья система обеспечивает водой аппараты и установки, вода загрязняется сероводородом и нефтепродуктами (установки АВТ), электрообессоливающие установки (ЭЛОУ), установки каталитического крекинга, гидроочистки дизтоплива и бензина, деасфальтазации, депарафинизации, контактного коксования и др.). Отмывку нефти от серной кислоты и солей производят частично умягченной осветленной водой в водопромывочных колоннах, растворяющих их в противотоке. Расход отмывочной воды составляет 0,1–1 м³/т продукта. Обессоливание нефти производят обессоленной водой (концентрация солей – не более 3 мг-экв/л) с содержанием взвеси не более 3 мг/л, отмывку бензина – водой с содержанием взвеси не более 2 мг/л при нелIMITИРУЕМОМ СОЛОСОДЕРЖАНИИ.

Четвертая система обеспечивает водой аппараты и установки цехов производства синтетических жирных кислот, вода от которых загрязняется жирными кислотами и парафином. Перед поступлением на градирни вода очищается в жируловителях. Удельный расход воды в четвертой системе составляет около 1 м³/т.

На нефтеперерабатывающих заводах предусматривается водопровод свежей воды для восполнения потерь в оборотных системах и для подачи воды некоторым потребителям (приготовление растворов щелочей, работы некоторых установок, реакгентное хозяйство), которая затем используется последовательно.

Кроме того, устраивается система хозяйственно-питьевого водоснабжения, которая подает воду на хозяйственно-бытовые цели, к некоторым технологическим потребителям. Расход этой воды не превышает 6 м³/т.

Особое значение для НПЗ и предприятий нефтехимической промышленности при наличии на территории предприятия большого количества легковоспламеняющихся материалов имеет противопожарное водоснабжение. Оно устраивается в виде специального противопожарного водопровода высокого давления.

На предприятиях химической промышленности, включающих горно-химические производства, предприятия основной химии, синтеза аммиака, азотной, серной и других кислот, азотных удобрений, лакокрасочные, пластмасс, предприятий химических волокон, синтетических моющих средств, кислородные и ацетиленовые станции и др., вода используется:

- для приготовления растворов;
- охлаждения и нагревания аппаратов и оборудования;
- кристаллизации;
- адсорбции;
- экстракции;
- флотации;
- гидротранспорта сырья и отходов;
- теплоэнергетических процессов;
- уборки помещений;
- промывки оборудования и других хозяйственно-питьевых и бытовых целей.

Во многих отраслях химического производства вода является основной частью готовой продукции, сырьем или полуфабрикатом. Кроме нефтехимических предприятий наиболее крупными и специфическими потребителями воды в химической промышленности являются *заводы искусственного и синтетического волокна, азотно-туковые, органических красителей, синтетического каучука.*

Водопотребление в цехах производства капрона составляет 720–1000 м³/т, лавсана – 270–340 м³/т, корда – 120–130 м³/т, целлофана – 410–510 м³/т. Количество воды, потребляемое кислотными станциями и установками рабочих отделочных растворов, достигает 750–1150 м³/т.

Требования, предъявляемые к качеству воды, зависят от ее назначения в производстве и особенностей установленного технологического оборудования. Вода, используемая для охлаждения, не должна приводить к образованию карбонатных отложений и отложениям взвешенных веществ, биологическим обрастаниям и коррозии труб и теплообменных аппаратов.

При использовании воды в качестве среды, поглощающей и транспортирующей загрязнения при непосредственном контакте ее с производимым или отмываемым продуктом, требования к воде устанавливаются в зависимости от вида производства. Требования к качеству воды для технологических процессов, как правило, являются более высокими и определяются соответствующими ведомственными нормами.

Достаточно большое количество воды расходуется на теплоэнергетические нужды. Для котлов высокого давления требуется вода с содержанием взвешенных веществ не более 3 мг/л, практически обессоленная, полностью умягченная, обескремненная, деаэрированная и химически обескислороженная (жесткость менее 0,005–0,003 мг-экв/л, содержание оксидов железа, меди

и кремния – соответственно 0,01, 0,005 и 0,002 мг/л, нитратов и нитритов – менее 0,02 мг/л и кислорода – до 0,01 мг/л).

На современных предприятиях химической промышленности применяются схемы оборотного и замкнутого водоснабжения с последовательным использованием воды отдельных циклов. В зависимости от вида производственных процессов, решения генплана предприятия, требуемых расходов и напоров для отдельных производств и ряда других факторов, система производственного водоснабжения может включать до 20 различных оборотных систем, в числе которых кроме систем охлаждения имеются системы фильтрованной, умягченной, обессоленной воды. Кроме того, на предприятиях предусматривается водопровод хозяйственно-питьевого водоснабжения и объединенный с ним или отдельно устраиваемый противопожарный водопровод.

6.3 Водоснабжение предприятий железнодорожного транспорта

К предприятиям железнодорожного транспорта относятся вагоноремонтные и локомотивные заводы (тепловозоремонтные и электровозоремонтные); вагонные и локомотивные депо, шпалопропиточные станции, дезинфекционные промывочные станции и пункты, пункты экипировки пассажирских составов и вагонов, промывочно-пропарочные станции и пункты промывки грузовых вагонов, тяговые подстанции, котельные и другие предприятия, а также железнодорожные станции.

Специфика предприятий, их многочисленность и разбросанность, различие в технологии работы, недостаток свободных площадей требуют применения малогабаритных, компактных сооружений для охлаждения и очистки воды, унифицированного водоочистного оборудования, упрощения и облегчения эксплуатации, полного отказа или ограниченного применения дефицитных реагентов и оборудования.

Основные технологические процессы на этих предприятиях весьма разнообразны и связаны с работой, выполняемой предприятиями железнодорожного транспорта. Потребляемая на железнодорожном транспорте вода расходуется на производственные нужды станций и предприятий (около 30 %) и питьевые и хозяйственно-бытовые потребности работников предприятий, жителей пристанционных поселков и пассажиров (около 70 %).

Системы общего водоснабжения железнодорожных станций, как правило, являются объединенными, т. е. вода ко всем потребителям подается по единой системе трубопроводов и сооружений. К особой категории железнодорожных водопроводов относится *схема водоснабжения с продольными водопроводами* (рисунок 6.15), прокладываемыми для водоснабжения железнодорожных станций и населения пристанционных поселков в безводной местности.

Продольные водопроводы строятся в одну линию, но с запасными регулируемыми резервуарами, обеспечивающими потребность в воде данной станции обычно в течение 2–3 суток (не менее 1 суток).

В маловодных районах для подачи воды в несколько центров обводнения (железнодорожные станции, населенные пункты, фермы и другие объекты) применяют *схемы водоснабжения с групповыми водопроводами*.

Для этой схемы характерна большая протяженность водоводов. В состав групповых водопроводов входит ряд насосных станций и резервуаров-накопителей чистой воды, а также мощные очистные сооружения. С целью бесперебойного снабжения водой потребителей в случае аварии на магистральных водоводах на территории объектов помимо водонапорных башен устраивают резервуары.

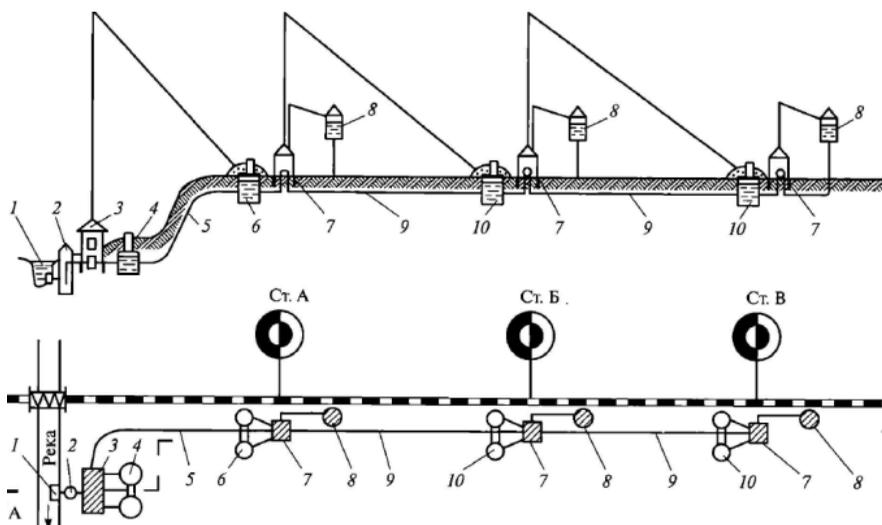


Рисунок 6.15 – Схема водоснабжения с продольными водопроводами:

- 1 – водоприемник; 2 – береговой колодезь; 3 – насосные станции I и II подъемов, совмещенные со станциями водоподготовки; 4 – резервуары чистой воды; 5, 9 – напорные трубопроводы; 6, 10 – резервуары-накопители на станциях; 7 – линейные насосные станции; 8 – водонапорные башни

Схемы местного водоснабжения применяют для снабжения водой отдельных зданий или малочисленных групп населения, в этой схеме обычно используют подземные источники с забором воды из водозаборных скважин, горизонтальных водосборов или шахтных колодцев. Для подъема воды и подачи ее потребителям применяют автоматически действующую безбашенную установку с воздушно-водяным баком, вибрационные насосы типа НЭБ или электромагнитные вибрационные подъемники ВПУ-1 [8].

На железнодорожных предприятиях вода используется главным образом в качестве:

– *теплоносителя* при охлаждении различного оборудования (компрессоров, двигателей внутреннего сгорания, электропечей, дымососов, дистилляторов и т. п.); вода остается практически чистой, но при использовании повышается ее температура;

– *рабочей жидкости и транспортирующей среды* при очистке и промывке подвижного состава, различных узлов и деталей, технологического оборудования, смотровых канав, помещений и т. п.; при этом вода загрязняется механическими и растворенными примесями органического и минерального происхождения;

– *сырья* для получения пара в котельных установках: в виде пара вода используется при отоплении и для различных технологических нужд, превращаясь в чистый или загрязненный конденсат;

– *растворителя* для приготовления различных технологических растворов, применяемых при обмывке и очистке подвижного состава, нанесения гальванопокрытий, регенерационных растворов ионообменных установок и др. Эти растворы могут иметь высокую температуру и содержать различные моющие средства, соли, механические примеси.

Кроме того, на предприятиях вода расходуется для мокрой очистки воздуха в пылеулавливающих установках, для водяных завес, поливки территории и зеленых насаждений и для хозяйственно-бытовых целей. В зависимости от особенностей технологических процессов, операций и местных условий применяются прямоточная, последовательная, обратная системы водоснабжения, а также их комбинации. Применение обратных и комбинированных систем с минимизацией подачи свежей и сброса отработавшей нагретой или загрязненной воды является наиболее перспективным направлением развития систем железнодорожного водоснабжения.

Примерная балансовая схема водопотребления и водоотведения на железнодорожных предприятиях показана на рисунке 6.16.

Значительное количество воды безвозвратно тратится на заправку и пополнение систем водоснабжения и отопления пассажирских вагонов и на водопой перевозимых животных. Удельные нормы расхода воды на различные нужды предприятий железнодорожного транспорта зависят от системы водоснабжения, вида технологического процесса и особенностей его реализации.

Вода, используемая в качестве теплоносителя при охлаждении компрессоров и другого оборудования, только нагревается. Нагретая вода может использоваться последовательно в других технологических процессах (промывка вагонов и деталей, растворение реагентов, охлаждение устройств, не требующих низкой температуры воды) или после охлаждения в охладителях по оборотной схеме (рисунк 6.17).

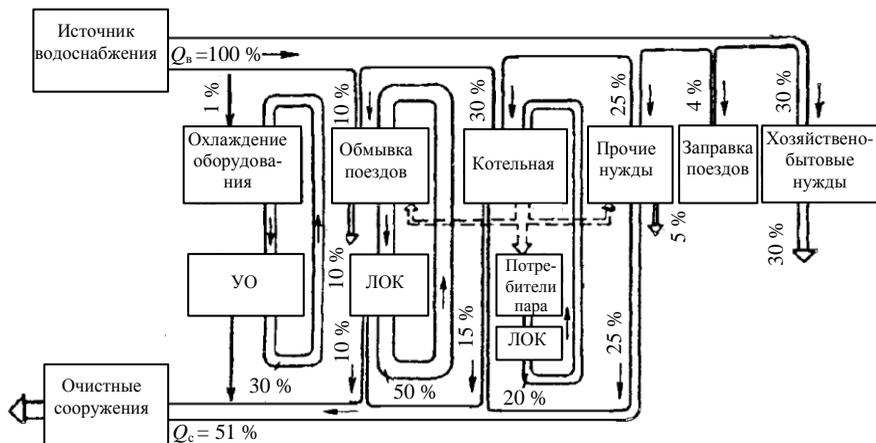


Рисунок 6.16 – Примерная балансовая схема водопотребления и водоотведения на железнодорожных предприятиях [12]:

Q_n , Q_c – общий расход потребляемой воды и сбрасываемых сточных вод; $Q_б$ – расход бытовых сточных вод, передаваемых в городскую канализацию; q_n , $q_{об}$, q_c – расходы водопроводной и оборотной воды и производственных сточных вод в отдельных технологических процессах; q_n – технологически оправданные потери воды; ОУ – охлаждающие устройства; ЛОС – локальные очистные сооружения

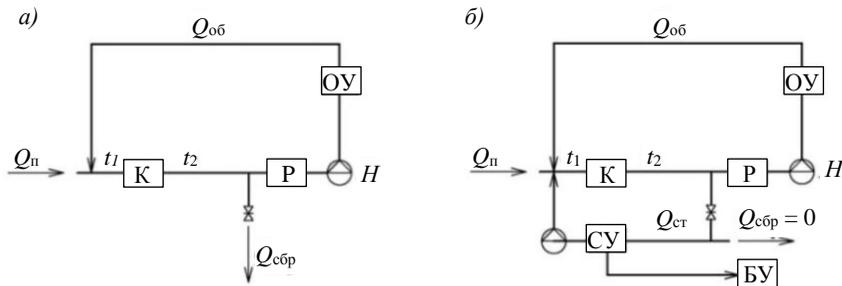


Рисунок 6.17 – Системы охлаждения компрессорных установок:

a – оборотная; *б* – замкнутая; К – компрессор; ОУ – охладитель; Р – резервуар; Н – насос; СУ – стабилизационная установка; БУ – блок утилизации регенерационных растворов; Q_n – расходы подпиточной (свежей) воды; $Q_{сбр}$, $q_{ст}$ – сбросный и стабилизационный расходы; $Q_{об}$ – расход оборотной воды

В случае перегрева воды (более 35–40 °С) предусмотрена подача в систему воды из водопровода. При выходе из строя оборотной системы компрессор может быть переведен на охлаждение проточной водой со сбросом нагретой воды в канализацию, поэтому дублирование охладителя нецелесообразно. Работа компрессоров и системы охлаждения автоматизируется.

Для применяемых на транспорте компрессоров с расходом охлаждающей воды 3–10 м³/ч всё оборудование оборотной системы может быть размещено в компрессорной, за исключением вентилятора, который размещается вне здания.

Наиболее перспективными охладителями для предприятий железнодорожного транспорта являются:

- компактные пенно-испарительные водоохладители (ПИВ);
- прямоточные испарительные водоохладители;
- малогабаритные вентиляторные градирни (МГ).

К качеству воды для охлаждения компрессоров предъявляются следующие требования:

- температура воды $t_1 \leq 28$ °С;
- содержание взвешенных веществ – не более 30 мг/л;
- эфирорастворимые вещества – не более 20 мг/л;
- рН = 7...8;
- карбонатная жесткость – не более 3 мг-экв/л;
- общая щелочность – не более 4 мг-экв/л;
- сухой остаток – не более 2000 мг/л;
- сульфаты – до 500 мг/л;
- хлориды – до 350 мг/л;
- фосфаты (Р₂О₅) не более 0,5 мг/л;
- азот аммонийный – не более 0,5 мг/л;
- температура на выходе из компрессора – не более 40 °С;
- запах оборотной воды не более 3–4 баллов.

Для большинства технологических процессов предприятий железнодорожного транспорта разработаны схемы многократного использования производственных сточных вод после соответствующей очистки. Состав и количество этих вод, а также режим их поступления в канализационную сеть различны и зависят от вида предприятия, технологии производства, используемого топлива, сырья, реагентов и т. д.

На ремонтных заводах, в локомотивных и вагонных депо сточные воды образуются при обмывке подвижного состава, очистке узлов и деталей в мочных машинах и ваннах, гальванической обработке деталей, промывке деталей, промывке аккумуляторов, регенерации умягчительных фильтров, промывке и продувке котлов, гидравлических испытаниях различных емкостей, спуске подтоварной воды из хранилищ для нефтепродуктов, обмывке полов, смотровых канав и т. д. В этих процессах вода загрязняется нефтепродуктами, минеральной и органической взвесью, щелочами, кислотами, поверхностно-активными веществами (ПАВ), солями металлов (хрома, никеля, железа, меди и др.).

На пунктах подготовки пассажирских вагонов при наружной обмывке кузовов и ходовых частей образуются сточные воды, содержащие

нефтепродукты, продукты коррозии металлов, пыль, различные органические примеси, а также моющие средства, используемые при обмывке вагонов.

На пунктах подготовки грузовых вагонов, где их промывают изнутри, в сточные воды попадают остатки перевозимых грузов – цемента, извести, мела, кирпича, минеральных удобрений, зерна, овощей, комбикормов, мяса, рыбы и др. Характерной особенностью этих сточных вод является высокое содержание взвешенных веществ и растворенных солей.

На промывочно-пропарочных станциях сточные воды образуются при промывке и пропарке цистерн из-под нефти, нефтепродуктов и других наливных грузов, а также при обмывке промывочных эстакад, путей, лотков, стирке спецодежды, спуске подтоварной воды из отстойных резервуаров и пр. Эти воды могут иметь сложный состав и содержать плавающие и эмульгированные нефтепродукты, взвешенные вещества, фенолы, тетраэтилсвинец и другие органические примеси. Цистерны промывают горячей водой, поэтому стоки обычно имеют повышенную температуру.

На дезинфекционно-промывочных станциях, где обрабатывают вагоны после перевозки скота, птицы, кожсырья, шерсти, костей, сточные воды загрязняются остатками навоза, соломы, перевозимых грузов, дезинфекционными средствами (хлорной известью, каустической содой и др.), а также могут иметь бактериальные загрязнения, включая возбудителей различных заболеваний. На дезинфекционно-промывочных станциях нередко обрабатывают и другие грузовые вагоны, поэтому в сточных водах могут присутствовать минеральная взвесь и растворенные соли.

На шпалопропиточных заводах сточные воды образуются при отстаивании обводненного пропиточного масла, работе вакуум-насосов, охлаждении конденсаторов, сбросе конденсата из змеевиковых пароподогревателей, сбросе стоков с предцилиндровых площадок, тракционных путей, складов готовой продукции, продувке котлов, регенерации водоумягчительных фильтров, обмывке оборудования и производственных помещений. Основными загрязнениями воды является каменноугольное или сланцевое пропиточное масло с примесями растворимых смол, фенолов и органических веществ, содержащихся в древесине (скипидар, ацетон, органические кислоты и др.).

На щебеночных заводах производственные сточные воды образуются при мокрой очистке воздуха от пыли, промывке щебня, уборке помещений, охлаждения дробилок, в основном загрязненные взвешенными веществами и в незначительной степени некоторыми другими примесями.

Кроме дезинфекционно-промывочных станций и шпалопропиточных заводов перечисленные выше объекты оборудуются локальными оборотными системами с очисткой и многократным использованием оборотной воды. Для очистки воды перед ее повторным использованием применяют отстаивание, флотацию, фильтрацию, сорбцию, а также другие известные методы.

Локальные оборотные системы на предприятиях железнодорожного транспорта предусматриваются для водоснабжения моечных машин различного типа, для промывки деталей и узлов (букс, колесных пар, рессор, тележек, тормозных тяг и т. п.), в гальванических цехах, где производится хромирование, никелирование, цинкование, меднение. В гальванических цехах вода расходуется на приготовление электролитов, промывку деталей после нанесения покрытий. Промывные воды после нейтрализации и электрокоагуляции или ионного обмена для удаления шестивалентного хрома и других металлов вновь используют в обороте. Отработавшие травильные растворы применяются для нейтрализации щелочных сточных вод от моечных машин.

Значительное количество водопроводной воды и топлива позволяет экономить возврат конденсата для приготовления пара в котельной после его очистки от масла и железа, которыми он загрязняется в трубопроводах и технологических аппаратах, подачи его на пополнение оборотных систем предприятия, приготовление моющих растворов, мытья производственных помещений и другие нужды. Локальная очистка конденсата состоит из фильтров, загруженных коксом, антрацитом или активированным углем при концентрации нефтепродуктов до 20 мг/л, а при больших концентрациях применяют предварительное отстаивание или флотацию. Дробленный кокс задерживает 50–60 % масла. Для повышения эффекта очистки производят обработку конденсата коагулянтами, что снижает остатки содержания масла до 1–2 мг/л.

Наиболее глубокое обезмасливание конденсата достигается путем фильтрации его через березовый активированный уголь с крупностью частиц 0,3–1,5 мм (высота загрузки 1–1,5 м, скорость фильтрации 7–10 м/ч). При исходном содержании масла 5 мг/л его остаточные концентрации составляют 0,3–1 мг/л. Маслосъемность угля – около 25–30 % его веса. Загрузку коксовых и угольных фильтров периодически заменяют.

В крупных котельных помимо конденсата повторно используются также регенерационные растворы Na-катионитовых фильтров, что позволяет экономить до 50 % соли и снижает сброс засоленных стоков в канализацию.

В оборотных схемах водоснабжения моечных машин предусмотрена двойная промежуточная очистка: от грубых механических примесей и от нефтепродуктов и мелкой взвеси. Система очистки от нефтепродуктов и мелкой взвеси работает по принципу отстаивания с коагуляцией. Очистка производится в отстойнике с подогревом паром. В качестве отстойника может использоваться имеющийся при моечной машине бак моющего раствора, дополнительно оборудованный устройством для удаления осадка и для перемешивания раствора с коагулянтом. В отстойнике тяжелые фракции оседают на дно, а нефтепродукты частично всплывают на поверхность. Очищенный раствор самотеком возвращается в бак моечной машины. Продолжительность отстаивания – более 2 часов. Очистка с коагуляцией производится

периодически по мере загрязнения раствора, тогда, когда качество воды будет близко к нормируемому технологическими требованиями.

Независимо от качества очистки и восполнения потерь при оборотном использовании воды периодически необходимо освежать воду в системе за счет сброса части воды, так как в ней накапливаются не удаляемые очисткой примеси. Сбрасываемая вода, как правило, требует доочистки. Для доочистки воды в оборотных системах железнодорожных предприятий перед сбросом ее в водоем или систему водоотведения населенного пункта или, например, при необходимости опорожнения их в связи с ремонтом, применяется повторная флотация с последующей фильтрацией через зернистую загрузку из кварцевого песка, дробленого керамзита, кокса, сульфогля, горелой породы. При фильтрации удаляются наиболее мелкие частицы загрязнений и хлопья коагулянта, не задержанные флотацией. Благодаря дополнительной очистке остаточное содержание эфирорастворимых и взвешенных веществ снижается до 5–10 мг/л; после фильтрации через активированный уголь – до 1–2 мг/л. Применение коагулянтов и флокулянтов повышает эффект очистки. Используются стандартные напорные фильтры. Высота загрузки составляет 1–1,2 м, крупность зерен – 0,5–2 мм, скорость фильтрации – 3–5 м/ч. Вода подается в фильтр насосом из промежуточного резервуара. Промывка осуществляется фильтрованной водой. Продолжительность промывки принимается 15–20 мин. Периодичность промывки – 7–10 дней.

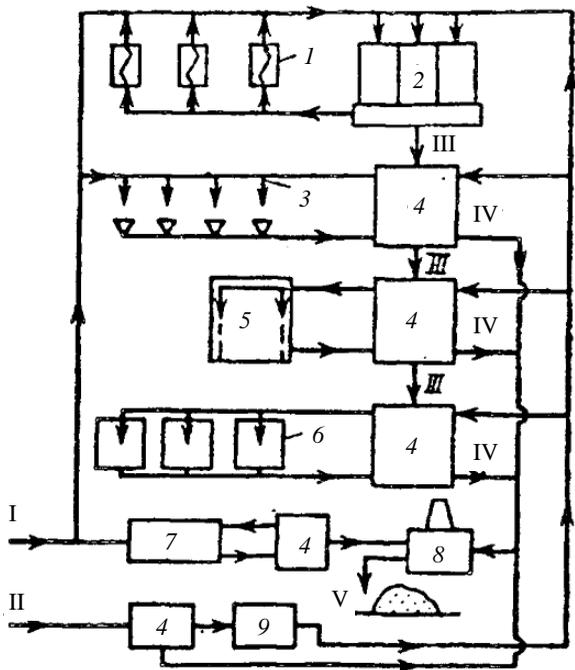
В настоящее время разработаны и реализованы на нескольких вагоноремонтных заводах и промывочно-пропарочных станциях замкнутые бессточные системы производственного водоснабжения. Разработанная для вагоноремонтного завода замкнутая система водоснабжения включает пять самостоятельных локальных оборотных контуров (рисунок 6.18), в которые выделяются щелочные моющие растворы от имеющихся на предприятиях моечных машин, нефтесодержащие сточные воды от различных источников, краскосодержащие стоки гидрофильтров окрасочных камер, стоки гальванического отделения и охлаждающая вода. В каждом контуре имеются соответствующие очистке сооружения, насосные станции, регулирующие емкости, устройства для сбора и транспортирования нефтепродуктов и осадков.

В схему также включены блок термического обезвреживания отходов и сооружения для сбора и очистки поверхностных сточных вод, который направляется на подпитку технологических контуров.

После локальной очистки отработавшей воды, она снова применяется для производственных целей. При этом вода отдельных локальных систем используется в своем контуре, а также последовательно для подпитки других локальных систем. Для пополнения контура моющих растворов используется продувочная вода контуров нефтесодержащих стоков и гальванического отделения. Продувочная вода контура охлаждения подается в контур нефтесодержащих сточных вод.

Рисунок 6.18 – Схема бессточной системы производственного водоснабжения:

1 – теплообменник; 2 – водоохладитель; 3 – технологические потребители; 4 – локальные очистные сооружения; 5 – окрасочная камера; 6 – моечные машины; 7 – гальваническая ванна; 8 – установка для термообезвреживания нефтеотходов; 9 – накопитель атмосферного стока; I – свежая водопроводная вода; II – поверхностные сточные воды; III – промывка сооружений; IV – нефтеотходы; V – негорючие отходы



Контуры гальванического отделения и охлаждающей воды пополняются из водопровода или очищенным поверхностным стоком.

Применение замкнутых систем водоснабжения на предприятиях железнодорожного транспорта с точки зрения защиты окружающей природной среды является целесообразным, но в каждом конкретном случае оно должно быть обосновано соответствующими технико-экономическими расчетами.

6.3 Водоснабжение объектов строительства

При разработке проекта организации строительства и проекта производства строительных работ решаются вопросы организации водоснабжения. Выявляются возможные источники водоснабжения, потребность в хозяйственно-питьевой и технической воде различных категорий потребителей, определяются их количество, режим водопотребления и требования к качеству воды. На строительном объекте необходимо устройство временного водопровода для подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды рабочих и населения временных поселков строителей, технологические цели и для пожаротушения.

Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды строительных рабочих на строительной площадке при наличии канализации определяется исходя из нормы 25 л/чел. в смену, а для неканализованных объектов – 15 л/чел. Вода должна удовлетворять требованиям СанПиН [19].

Для питания рабочих сооружают обеспечиваемые санитарно-бытовыми условиями в соответствии с действующими нормами их проектирования стационарные или передвижные столовые, оборудованные умывальниками, с расходом воды 10–15 л на одного обедающего.

В соответствии с санитарными требованиями объекты строительства относятся к категории производств, вызывающих загрязнение одежды и рук, поэтому на строительной площадке предусматриваются гардеробные, умывальные и душевые из расчета одна душевая сетка на 20 чел. при расходе воды 500 л на одну душевую сетку.

В строительном деле вода необходима для производства земляных и свайных работ, бетонных, каменных и штукатурных работ, для передвижных силовых и компрессорных станций и автотракторного парка.

При эксплуатации землеройной техники, оборудованной двигателями внутреннего сгорания, расход воды определяется из расчета 10–15 л на 1 машину в смену. Расход воды для уплотнения насыпей зависит от естественной влажности грунта, степени уплотнения и толщины уплотняемого слоя и составляет ориентировочно 0,13–0,16 м³ на 1 м³ уплотняемого грунта.

Значительное количество воды расходуется при бетонных и других работах на промывку заполнителей бетона и приготовление растворов из расчета: на 1 м³ щебня или гравия – 0,5–1 м³, песка – 1,2–1,5 м³, на приготовление 1 м³ бетона – 0,2–0,4 м³, для 1 м³ кирпичной кладки 1–1,2 м³, для штукатурных работ 0,002–0,008 м³ на 1 м² поверхности. Также вода идет на гашение извести, поливку территории и другие нужды.

Вода для приготовления бетонов и растворов не должна содержать вещества, разрушающие камень (нефтепродукты, жиры, масла, кислоты, щелочи), и значительное количество взвешенных глинистых частиц. Вода для охлаждения силовых и компрессорных станций, питания паровых и водогрейных котлов должна иметь минимальную жесткость (не более 4,5–5 мг-экв/л для двигателей внутреннего сгорания и компрессоров) и содержать взвешенных веществ не более 20–25 мг/л. Для котлов нельзя использовать воду с жесткостью более 3,5 мг-экв/л и содержанием кислорода более 1–2 мг/л.

Удельные расходы воды на мойку техники и заливку радиаторов двигателей машин и тракторов составляют соответственно 0,5–0,6 и 0,3–0,6 м³. Требования к воде, заливаемой в двигатели, соответствуют изложенному выше. Требования к обмывочной воде не нормируются.

Водоснабжение объектов строительства является временным, однако при разработке схемы водоснабжения строительных площадок обычно

предусматривается максимальное использование временных сооружений для постоянной эксплуатации после завершения строительства.

При строительстве вблизи существующих населенных пунктов целесообразно в качестве источника водоснабжения использовать городские водопроводы для водоснабжения объекта строительства в целом или только хозяйственно-питьевого водоснабжения. Для технологических нужд в этом случае вода может забираться из ближайших поверхностных источников.

При значительном удалении объекта строительства от населенного пункта предусматривается его самостоятельное временное водоснабжение из подземных или поверхностных источников. Как правило, подземные источники обеспечивают требования к питьевой воде, но могут оказаться непригодными для технических целей из-за повышенной минерализации или агрессивности к бетону. При необходимости на строительной площадке устраиваются отдельные хозяйственно-питьевые и технические водопроводы. Противопожарный водопровод объединяется с хозяйственно-питьевым.

При организации временных водозаборов из поверхностных источников применяют передвижные насосные станции, располагаемые на понтонах или сваях. Для противопожарного водоснабжения устраивают открытые водоемы необходимого объема с соответствующей гидроизоляцией боковых откосов и днища глиной, полимерным пленочным материалом или асфальтом, бетонными плитами.

Для транспортирования воды от водозабора к потребителям устраивается разводящая сеть, которая прокладывается по поверхности или под землей на глубине промерзания, а также в насыпи или по эстакадам.

При временном водоснабжении строительных площадок широко применяются передвижные или стационарные установки заводской готовности для перекачки и улучшения качества воды. Такие установки имеют максимальную производительность до $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Алексеев, В. И.** Проектирование сооружений переработки и утилизации осадков сточных вод с использованием элементов компьютерных информационных технологий : учеб. пособие / В. И. Алексеев, Т. Е. Винокурова, Е. А. Пугачев. – М. : АСВ, 2003. – 125 с.
- 2 Виды градирен [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://acs-nnov.ru/gradirnya.html>. – Дата доступа : 29.06.2020.
- 3 Водное хозяйство промышленных предприятий: Справочное издание. В 2 кн. Кн. 1 / В. И. Аксенов [и др.] ; под ред. В. И. Аксенова. – М : Теплотехник, 2005. – 640 с.
- 4 Водоподготовка : справочник / под ред. С. Е. Беликова. – М. : Аква-Терм, 2007. – 240 с.
- 5 Водоснабжение : учеб. пособие / Н. И. Куликов [и др.]. – Новосибирск, 2016. – 704 с.
- 6 Водоснабжение. Водоотведение. Оборудование и технологии : справочник. – М. : Стройинформ, 2006. – 456 с.
- 7 Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : учеб. пособие для вузов. В 3 т. Т. 2 : Очистка и кондиционирование природных вод / М. Г. Журба [и др.] ; под общ. ред. М. Г. Журбы. – Вологда : ВоГТУ, 2001. – 324 с.
- 8 Водоснабжение и водоотведение на железнодорожном транспорте : учеб. / под ред. В. С. Дикаревского. – 2-е изд. перераб. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2009. – 447 с.
- 9 **Воронов, В. Н.** Водно-химические режимы ТЭС и АЭС : учеб. пособие / В. Н. Воронов, Т. И. Петрова ; под ред. А. П. Пильщикова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 240 с.
- 10 **Гусаковский, В. Б.** Водоснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие / В. Б. Гусаковский, Е. Э. Вуглинская. – СПб. : СПбГАСУ, 2016. – 144 с.
- 11 **Гусаковский, В. Б.** Водопроводные очистные сооружения : учеб. пособие / В. Б. Гусаковский, А. И. Езерский, Е. Э. Вуглинская. – СПб. : СПбГАСУ, 2010. – 120 с.
- 12 **Иванов, В. Г.** Водоснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 537 с.
- 13 **Копылов, А. С.** Водоподготовка в энергетике : учеб. пособие для вузов / А. С. Копылов, В. М. Лавыгин, В. Ф. Очков. – М., 2016. – 310 с.
- 14 Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. В 2 ч. Ч. 2. – СПб. : Профессионал, 2006. – 916 с.
- 15 Опыт использования мембранных технологий для очистки и опреснения воды / А. В. Десятов [и др.] ; под ред. А. С. Коротеева. – М. : Химия, 2008. – 240 с.
- 16 Промышленное водоснабжение : учеб. пособие / В. И. Аксенов [и др.]. – Екатеринбург : УрФУ, 2010. – 221 с.
- 17 Промышленные системы охлаждения: Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 20-2016 – М. : Бюро НДТ, 2016. – 328 с.

18 **Рябчиков, Б. Е.** Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б. Е. Рябчиков. – М. : ДеЛиПринт, 2004. – 328 с.

19 СанПиН 10-124 РБ 99. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 19.10.99 № 46. – Минск, 2011. – 50 с.

20 Санитарные нормы и правила «Требования к санитарно-защитным зонам организаций, сооружений и иных объектов, оказывающих воздействие на здоровье человека и окружающую среду»: утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 11.10.2017 № 91. – Минск, 2017. – 18 с.

21 СН 2.02.02–2019. Противопожарное водоснабжение. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 34 с.

22 СН 4.01.01–2019. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – Минск : Минстройархитектуры, 2020 – 68 с.

23 СН 4.01.03–2019 Системы внутреннего водоснабжения и канализации зданий. – Минск : Минстройархитектуры, 2020. – 40 с.

24 Справочник наилучших эффективных технологий. Водозаборы. Сооружения водоподготовки / под ред. Д. А. Даниловича. – М., 2015. – 111 с.

25 Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке / А. А. Пантелеев [и др.]. – М. : ДеЛи плюс, 2012. – 429 с.

26 ТКП 45-3.01-155-2009. Генеральные планы промышленных предприятий. Строительные нормы проектирования. – Минск, 2010. – 34 с.

27 **Фрог, Б. Н.** Водоподготовка : учеб. пособие для вузов / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – М. : АСВ, 2007. – 655 с.

28 **Чиж, В. А.** Водно-химические режимы ТЭС и АЭС : учеб. пособие / В. А. Чиж, Н. Б. Карницкий, А. В. Нерезько. – Минск : Выш. шк., 2010. – 351 с.

Учебное издание

НОВИКОВА Ольга Константиновна
РАТНИКОВА Анна Михайловна

ВОДОСНАБЖЕНИЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Учебное пособие

Редактор *А. А. Павлюченкова*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 08.12.2021 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л 13,02. Уч.-изд. л. 13,93 . Тираж 70 экз.
Зак. №. 3010 Изд. № 10.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель