

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

В.А.Карелин

**ВОДОПОДГОТОВКА.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОДЫ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия
Редакционно-издательским советом
Томского политехнического университета*

Издательство
Томского политехнического университета
2012

УДК 621.182.12(075.8)

ББК 31.391я73

К22

Карелин В.А.

К22 Водоподготовка. Физико-химические основы процессов обработки воды: учебное пособие / В.А. Карелин; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 97 с.

В учебном пособии описаны физико-химические основы процесса очистки воды, используемое оборудование и средства автоматизации водоподготовительных установок атомных электростанций. Подробно рассмотрены процессы коагуляции, осветления воды фильтрованием на механических фильтрах, снижения щелочности, умягчения и обескремнивания природных вод методом осаждения, декарбонизации и ионного обмена на катионитных и анионитных фильтрах.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 240600 «Химическая технология материалов современной энергетики», а также может быть полезным специалистам, работающим в области подготовки воды для атомных электростанций.

УДК 621.182.12(075.8)

ББК 31.391я73

Рецензенты:

Заведующий кафедрой химии ТГАСУ,
Доктор технических наук, профессор
Ю.С. Саркисов

Заместитель директора Томского атомного центра,
А.С. Ситников

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2012

© Карелин В.А., 2012

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2012

Оглавление

| | |
|--|-----------|
| Оглавление..... | 3 |
| Введение..... | 5 |
| 1. Предварительная очистка воды..... | 7 |
| 1.1 Коагуляция и осветление..... | 7 |
| <i>1.1.1. Физико-химические основы процесса коагуляции...</i> | <i>7</i> |
| <i>1.1.2. Коагуляция воды в осветлителе.....</i> | <i>15</i> |
| 1.2. Коагуляция и осветление воды фильтрованием..... | 21 |
| <i>1.2.1. Физико-химические основы фильтрования.....</i> | <i>21</i> |
| <i>1.2.2. Осветлительные фильтры.....</i> | <i>25</i> |
| <i>1.2.3. Фильтрующие материалы.....</i> | <i>29</i> |
| <i>1.2.4. Эксплуатация осветлительных фильтров.....</i> | |
| 1.3. Снижение щелочности, умягчение и обескремнивание природных вод методом осаждения..... | 31 |
| <i>1.3.1. Основные положения.....</i> | <i>31</i> |
| <i>1.3.2 Физико-химические основы обработки воды методом осаждения. Снижение щелочности и умягчение воды известкованием.....</i> | <i>32</i> |
| <i>1.3.3 Обескремнивание воды магниезиальными реагентами.....</i> | <i>34</i> |
| <i>1.3.4 Схемы и аппаратура установок для умягчения и обескремнивания воды методом осаждения.....</i> | <i>35</i> |
| <i>1.3.5 Эксплуатация установок для умягчения и обескремнивания воды методом осаждения.....</i> | <i>40</i> |
| 2 Обработка природных вод и конденсатов методом ионного об- мена..... | 42 |
| 2.1 Физико-химические основы процесса..... | 42 |
| 2.2 Характеристика и свойства ионитов..... | 47 |
| <i>2.2.1 Катиониты и их свойства.....</i> | <i>47</i> |
| <i>2.2.2 Аниониты и их свойства.....</i> | <i>50</i> |
| 2.3 Физико-химические основы процесса ионного обмена... 54 | |
| <i>2.3.1 Водород-катионирование.....</i> | <i>54</i> |
| <i>2.3.2 Анионирование.....</i> | <i>58</i> |
| 2.4 Оборудование ионообменных водоподготовительных установок..... | 62 |
| <i>2.4.1 Конструкции ионитных фильтров.....</i> | <i>62</i> |
| <i>2.4.2 Ионитные фильтры с внешней регенерацией и пульсирующего действия.....</i> | <i>68</i> |
| 3. Декарбонизация..... | 73 |

| | |
|---|-----------|
| 4. Схемы ионообменных водоподготовительных установок для питания парогенераторов и области их применения.. | 76 |
| 5. Эксплуатация ионитных установок..... | 80 |
| 6. Автоматизация комбинированных ионитных водоподготовительных установок..... | 85 |
| Заключение..... | 95 |
| Список литературы..... | 96 |

Введение

Технический прогресс во всех областях науки и техники привел к развитию такой специфической отрасли химической технологии как обработка воды на ТЭС и АЭС. Для настоящего периода характерно постепенное превращение данной отрасли технологии в науку, опирающуюся не только на эмпирическое описание тех или иных процессов и аппаратов, но и на их теоретический расчет. В первую очередь к ним относятся такие процессы как сорбция, ионный обмен, очистка от взвешенных примесей. Особенно важное значение имеют эти процессы при получении воды высокой чистоты, например, обессоленного конденсата или теплоносителя. Известно, что атомная энергетика развивается по пути создания крупных ядерных реакторов типа ВВЭР и РБМК на тепловых нейтронах с водным теплоносителем, который является одновременно и замедлителем нейтронов для реакторов типа ВВЭР. Возможность длительной бесперебойной, надежной эксплуатации АЭС в значительной степени определяется интенсивностью протекания физико-химических процессов образования нерастворимых отложений на поверхности нагрева парогенераторов, а также на поверхности ТВЭЛов. Интенсивность протекания этих процессов зависит от качества теплоносителя, который получают на водоподготовительных установках (ВПУ).

От качества воды, получаемой на ВПУ, зависит также надежность и срок службы турбины (турбогенератора), в которую поступает пар из парогенераторов, т. к. с паром происходит унос различных солей кремниевой кислоты, оксидов металлов и образование отложений на лопастях турбин, а также коррозия металла всего энергетического оборудования и трубопроводов. Опыт многолетней эксплуатации мощных энергоблоков в России и за рубежом убедительно доказал, что безаварийная работа АЭС зависит от рациональной организации водоподготовки и водного режима АЭС и что необходимо строгое соблюдение экспериментально обоснованных норм качества теплоносителя, пара, конденсата и других типов технологических вод АЭС. Основной задачей ВПУ является предотвращение образования отложений, в том числе и кальциевых соединений, на внутренних поверхностях парообразующих и пароперегревательных труб, а также на ТВЭЛах. Важной задачей является уменьшение образования отложений на внутренних поверхностях турбогенераторов в виде соединений меди, железа, кремниевой кислоты, натрия и солей жесткости.

В пособии описаны физико-химические основы процесса очистки воды, используемое оборудование и средства автоматизации ВПУ атомных электростанций, которые необходимы при разработке технологических проектов ВПУ для АЭС с реакторами типа РБМК и ВВЭР. В специ-

альной литературе в достаточном количестве не имеется необходимых систематизированных данных для выполнения курсового и дипломного проектов по вышеуказанной тематике, поэтому возникла необходимость в создании настоящего учебного пособия.

При проектировании ВПУ для АЭС в качестве исходного сырья широко используются природные воды поверхностных водоемов (рек, озер,охранилищ). Обычно в задании на курсовое или дипломное проектирование указывается состав исходной воды или литература, в которой приводится название водоема или реки и качественный и количественный состав исходной воды.

При подготовке воды на ВПУ для АЭС одними из основных стадий очистки воды являются:

- коагуляция и осветление, т.е. удаление коллоидных взвешенных частиц,
- механическая фильтрация грубодисперсных частиц,
- удаление растворенных в воде газов (декарбонизация),
- удаление из воды растворенных солей на ионообменных материалах.

Рассмотрим основные теоретические положения каждой из перечисленных стадий очистки воды.

1. Предварительная очистка воды

1.1. Коагуляция и осветление

1.1.1. Физико-химические основы процесса коагуляции

Необходимость удаления из воды грубодисперсных и коллоидных примесей на первых стадиях очистки воды диктуется требованиями улучшения технико-экономических показателей последующих ступеней очистки природных вод от других видов примесей. Из опыта эксплуатации установок ионообменного обессоливания воды известно, что присутствие в исходной воде органических веществ приводит к "старению" ионитов, т.е. к необратимому изменению их технологических свойств.

Снижение срока службы ионитов в 4-7 раз вызывает не только повышение стоимости обессоленной воды, но и необходимость увеличения производства ионообменных материалов. Разрешение проблемы старения ионообменных смол и улучшение технико-экономических показателей обессоливания воды методом ионного обмена стало возможным при совершенствовании технологии первых стадий очистки воды.

Предварительную очистку воды осуществляют путем совмещения нескольких технологических процессов.

В настоящее время предварительную очистку воды на ВПУ осуществляют при совмещении следующих процессов: коагуляции и осветления; коагуляции, известкования и осветления; коагуляции, известкования, магниезиального обескремнивания и осветления воды.

Коагуляция – это процесс, при котором происходит понижение степени дисперсности коллоидно-растворенных примесей в результате агломерации их частиц с образованием макрофазы.

Для того чтобы понять сущность процесса коагуляции, рассмотрим сначала причины устойчивости коллоидных растворов, т. е. причины того, почему коллоидные частицы неопределенно долгое время находятся во взвешенном состоянии и не осаждаются.

Коллоидные частицы, содержащиеся в воде, находятся в непрерывном и беспорядочном броуновском движении. Между ними действуют силы взаимного притяжения и отталкивания [2]. Силы взаимного отталкивания объясняются тем, что однородные коллоидные частицы имеют электрические заряды одного знака. Наличие электрических зарядов объясняется следующими причинами. Каждая коллоидная частица обладает весьма значительной адсорбционной способностью, благодаря чему она адсорбирует из раствора ионы электролитов одного знака, которые распределяются равномерно по ее поверхности, образуя адсорбционный слой. Коллоидная частица вместе с адсорбционным слоем называется гранулой. Ввиду наличия у гранулы электрического заряда

вокруг нее концентрируются ионы с зарядами противоположного знака (противоионы). Противоионы не связаны прочно с гранулой; они сохраняют способность к диффузии в окружающую жидкость, образуя вокруг гранулы диффузный слой, в котором концентрация противоионов уменьшается по мере удаления от гранулы. Гранула вместе с диффузным слоем называется мицеллой, схема строения которой показана на рис. 1.

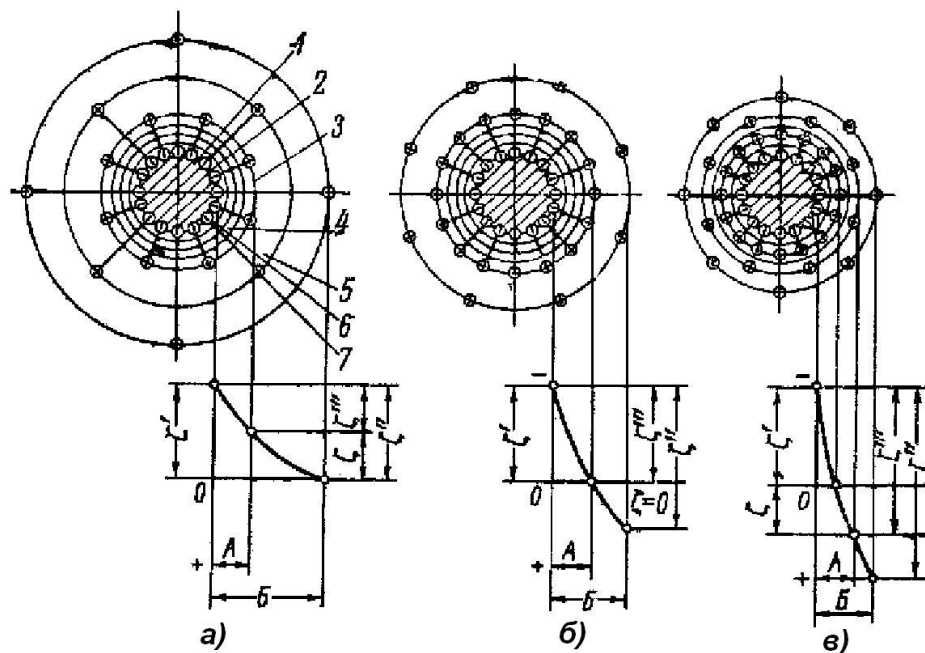


Рис. 1.1. Схема строения коллоидной мицеллы:

1 – ядро коллоидной частицы; 2 – адсорбционный слой; 3 – поверхность скольжения; 4 – двойной электрический слой толщиной A ; 5 – диффузионный слой толщиной B ; 6 – адсорбированные ионы; 7 – противоионы: а – состояние мицеллы, при котором коллоидная частица имеет отрицательный заряд; б – состояние мицеллы, при котором коллоидная частица не имеет заряда; в – состояние мицеллы, при котором знак заряда коллоидной частицы переменяется с отрицательного на положительный.

При броуновском движении вместе с коллоидной частицей движется двойной электрический слой, состоящий из ионов адсорбционного слоя и части противоионов диффузного слоя, содержащихся в оболочке воды, окружающей частицу. Остальные противоионы, расположенные вокруг двойного электрического слоя, отрываются от движущейся частицы. Благодаря этому частица, потеряв часть противоионов, приобретает некоторый заряд, одинаковый по знаку с зарядом гранулы, но меньший по сравнению с ним по величине. Граница между двойным слоем и остальной частью диффузного слоя называется поверхностью скольжения коллоидной частицы в растворе.

Так как все однородные частицы имеют на поверхности скольжения заряды одного знака, то между ними действуют силы взаимного отталкивания, которые, так же как и силы взаимного притяжения, уменьшаются с увеличением расстояния между частицами. Зависимость взаимодействия сил притяжения и отталкивания графически изображена на **рис. 2**.

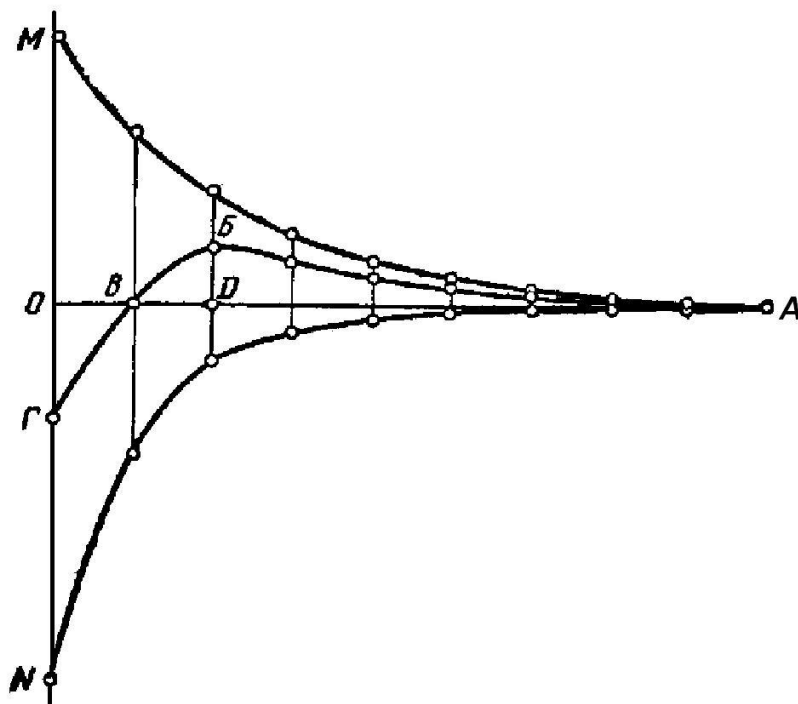


Рис. 1.2. Зависимость взаимодействия сил отталкивания и притяжения от расстояния между коллоидными частицами:
OA – расстояние между коллоидными частицами; *AM* – кривая отталкивания; *AN* – кривая притяжения; *ABVG* – результирующая кривая взаимодействия коллоидных частиц; *BD* – «силовой барьер».

При уменьшении расстояния между частицами сначала действует результирующая сила взаимного отталкивания, возрастающая до своей максимальной величины в точке **Б**, после которой она уменьшается до нуля в точке **В**, а затем результирующая сила взаимного притяжения, возрастающая до своей наибольшей величины в точке **Г** при расстоянии между частицами, равном нулю.

Для того чтобы произошла коагуляция, т. е. взаимное притяжение и слипание движущихся частиц, они должны преодолеть максимальную результирующую силу отталкивания – «силовой барьер» **БД**. Чем выше «силовой барьер», тем труднее его преодолеть и вызвать коагуляцию. Чем меньше величина электрических зарядов, тем меньше сила взаимного отталкивания, тем ниже «силовой барьер». Снижение величины

зарядов частиц может быть достигнуто увеличением концентрации противоионов в растворе путем добавления к этому раствору соответствующих электролитов.

При повышении концентрации противоионов в растворе требуется меньший объем диффузного слоя для нейтрализации ионов адсорбционного слоя, т. е. происходит как бы сжатие его. Это сжатие может произойти до такого объема, при котором диффузный слой не будет выходить за пределы поверхности скольжения, т. е. он будет находиться в пределах двойного электрического слоя и противоионы будут полностью уравновешены (**рис. 1,б**) и частицы лишаются электрических зарядов, а следовательно, и сил взаимного отталкивания. В результате между частицами будут действовать только силы взаимного притяжения, благодаря которым они начнут слипаться, укрупняться и далее выпадать из коагулированной воды.

При дальнейшем увеличении концентрации противоионов диффузный слой может оказаться по объему меньше объема, ограниченного поверхностью скольжения. В этом случае произойдет перемена знака заряда частиц на поверхности скольжения (**рис. 1,в**), и между частицами вновь начнут действовать силы взаимного отталкивания.

Содержащиеся в поверхностных природных водах коллоидные частицы соединений алюминия, железа, кремния и гумусовых веществ, которые подчиняются изложенным закономерностям, являются амфолитами, т. е. веществами, обладающими амфотерными свойствами. Их молекулы, находящиеся на поверхности частиц, соприкасающейся с водой, способны в определенных условиях в зависимости от рН диссоциировать в воде как кислоты или щелочи. В результате этого вокруг каждой из коллоидных частиц образуется двойной электрический слой, причем величина заряда частицы зависит от степени диссоциации, а знак заряда – от того, как диссоциируют молекулы амфолита: как кислоты или как щелочь. Степень и характер диссоциации зависят от концентрации ионов водорода, т. е. от значения рН. Для каждого амфолита существует такое значение рН среды, при котором его молекула не диссоциирует на ионы и заряд его частиц равен нулю. Такое состояние коллоидной системы называется изоэлектрическим, а соответствующее ему значение рН среды – рН изоэлектрической точки коллоидной системы. Если рН среды больше рН изоэлектрической точки амфолита, то молекулы амфолита диссоциируют как кислоты, и частицы его имеют отрицательные заряды. Если рН среды меньше рН изоэлектрической точки амфолита, то молекулы амфолита диссоциируют как щелочь, и частицы его имеют положительные заряды. Чем больше разность между

pH среды и pH изоэлектрической точки амфолита, тем больше величина зарядов его частиц, тем устойчивее коллоидная система.

Изоэлектрическая точка глины достигается при pH=5, гуминовых веществ – при pH=4. Поверхностные воды обычно имеют pH в пределах 6-8. Следовательно, эти вещества, находясь в поверхностной воде, диссоциируют как кислоты: на поверхности их частиц располагаются анионы, а в диффузном слое концентрируются катионы. Благодаря этому частицы приобретают отрицательные заряды, и их система отличается относительно высокой степенью устойчивости.

Понижая pH путем подкисления воды до pH изоэлектрической точки амфолитов, т.е. увеличивая концентрацию ионов водорода, являющихся в данном случае противоионами, можно нейтрализовать отрицательные заряды частиц. В результате этого устойчивость коллоидной системы уменьшается и становится возможным слипание однородных частиц. Однако силы прилипания, действующие между взвешенными частицами, имеющими заряды различных знаков, недостаточно велики, что препятствует образованию прочных и крупных агрегатов. Кроме того, этим процессом трудно управлять. Более эффективным способом коагуляции является процесс взаимодействия различных по своей природе веществ, загрязняющих поверхностные воды, и реагентов, добавляемых в осветляемую воду при ее коагуляции. Сущность такой коагуляции, получившей широкое практическое применение, базируется на слипании разнородных частиц в растворах электролитов. В смеси различных коллоидных и грубодисперсных веществ достаточно, чтобы частицы одного какого-либо вещества оказались неустойчивыми, чтобы вся система начала коагулировать. В воде при ее химической обработке таким неустойчивым компонентом являются гидроксиды алюминия или железа, образующиеся в результате гидролиза коагулянтов. Взвешенные частицы соединяются не непосредственно, а с помощью гидроксидов алюминия или железа, находящихся в изоэлектрическом состоянии. Частицы гидроксида сорбируются на поверхностях взвешенных частиц и одновременно образуют как бы «клеевые мостики», изображенные на **рис. 3**, связывающие взвесь в достаточно крупные и тяжелые агрегаты, осаждающиеся с приемлемой скоростью.

Для осуществления технологического процесса коагулирования содержащихся в воде коллоидных примесей о качестве коагулянтов применяются сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, сульфат и хлорид железа $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ и $FeCl_3$.

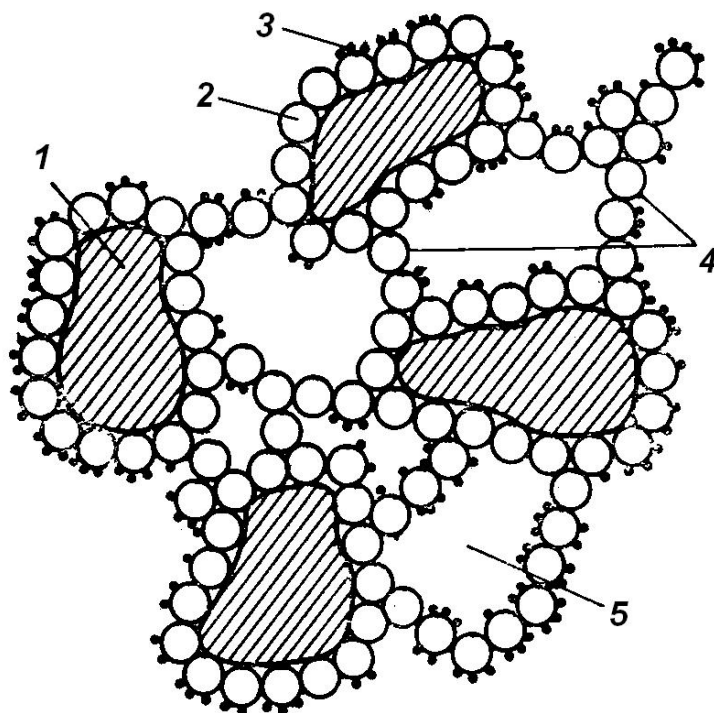
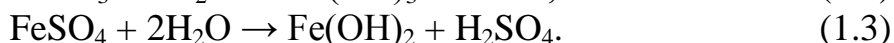
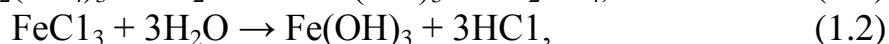
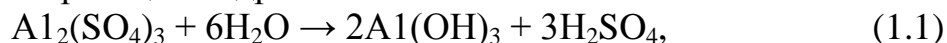
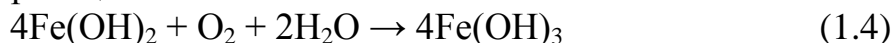


Рис. 1.3. Структура хлопьев, образующихся при коагуляции:
 1 – частицы взвеси; 2 – частицы гидроксида алюминия; 3 – гуминовые вещества; 4 – «клеевые мостики»; 5 – «захваченная» вода.

В результате реакций гидролиза:

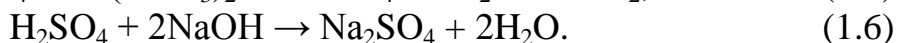
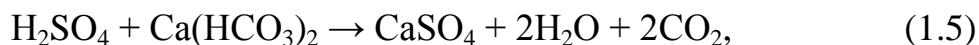


и последующего окисления гидроксида железа (2+) растворенным в воде кислородом по реакции:



образуются почти нерастворимые в воде гидроксиды алюминия и железа, которые являются неустойчивыми компонентами коллоидной системы.

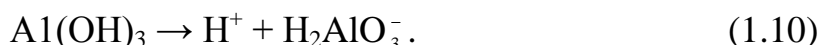
Приведенные реакции гидролиза могут протекать лишь при условии, если образующаяся при этом серная или соляная кислоты будут частично нейтрализованы содержащимися в воде гидрокарбонатами кальция и магния, а при их отсутствии или недостатке – добавляемыми в воду щелочными реагентами: известью $\text{Ca}(\text{OH})_2$, содой Na_2CO_3 или едким натром NaOH с доведением рН до оптимальной величины. Например:



Образовавшиеся гидроксиды алюминия и железа обладают амфотерными свойствами. Например, гидроксид алюминия при $\text{pH} < 6,5$, т.е. в кислой среде диссоциирует как щелочь:



Благодаря выходу из твердой фазы аномально подвижных ионов OH^- частицы гидроксида алюминия приобретают положительные заряды, а отрицательные противоионы OH^- образуют атмосферу диффузного слоя. В щелочной среде при $\text{pH} > 7,5$ гидроксид алюминия диссоциирует как кислота:

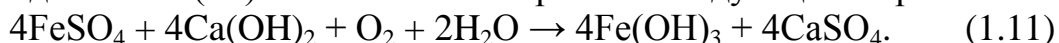


Благодаря выходу из твердой фазы аномально подвижных ионов H^+ частицы гидроксида алюминия приобретают отрицательные заряды, а положительные противоионы H^+ образуют атмосферу диффузного слоя. При значениях $\text{pH} > 8$ гидроксид алюминия диссоциирует практически полностью. Поскольку диссоциируют только молекулы электролитов, растворенных в воде, то можно считать, что при указанных значениях pH все молекулы гидроксида алюминия, диссоциированные на ионы, полностью растворены в воде при полном отсутствии в последней нерастворимых хлопьев $\text{Al}(\text{OH})_3$.

При значениях pH в пределах 6,5-7,5 степень диссоциации гидроксида алюминия минимальна; он находится в изоэлектрическом состоянии и коллоидные частицы его или заряжены незначительно, или вовсе не имеют заряда и поэтому быстро коагулируют, слипаясь в хлопья. Одновременно с автокоагуляцией коллоидных частиц гидроксида алюминия происходит слипание их с частицами коллоидных примесей воды. Двойной электрический слой защищает частицы взвеси только от слипания между собой, но не препятствует слипанию их с частицами гидроксида алюминия, с помощью которого только и происходит соединение разнородных частиц в хлопья. Поэтому для того, чтобы процесс коагуляции шел достаточно быстро, необходимо вести его близко к изоэлектрической точке гидроксида алюминия. В дистиллированной воде изоэлектрическая точка коагуляции коллоида $\text{Al}(\text{OH})_3$, образующегося в результате гидролиза $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, близка к $\text{pH} = 7,2$. Наличие в воде, помимо $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, других электролитов смещает изоэлектрическую точку коагуляции коллоида $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Реакция окисления гидроксида железа (2+) в гидроксид железа (3+) в кислой и нейтральной средах протекает медленно, и процесс коагуляции не завершается в очистных сооружениях. Так как при $\text{pH} > 6$ ско-

рость этого процесса повышается, необходимо одновременно с введением в воду сульфата железа добавлять щелочь, сочетая коагуляцию, например, с известкованием воды. В этом случае реакция образования гидроксида железа (3+) может быть изображена следующим образом:



Независимо от применяемого коагулянта процесс коагуляции протекает не мгновенно, а требует для своего завершения некоторого промежутка времени. Установлено, что в процессе укрупнения коллоидные частицы проходят стадии «скрытой», а затем «явной» коагуляции, сопровождаемые образованием хлопьев и осаждением их в осадок. Хлопья, образующиеся непосредственно после присадки коагулянта и невидимые простым глазом, постепенно соединяются в крупные комплексы, происходит помутнение воды, которое с течением времени усиливается, после чего образуются еще более крупные рыхлые хлопья, осаждающиеся на дно и увлекающие с собой все грубодисперсные загрязнения. Постепенное осаждение хлопьев сопровождается повышением прозрачности воды.

Для ускорения процесса коагуляции применяют подогрев коагулируемой воды до 30-40 °С и перемешивание ее, благодаря чему коллоидные частицы загрязнений и коагулянта испытывают более частые и сильные столкновения, приводящие к их слипанию. Однако перемешивание не должно производиться слишком энергично, чтобы не раздробить образовавшихся хлопьев. Повышение температуры сверх 40 °С ухудшает эффект осветления вследствие более быстрого броуновского движения коллоидных частиц и торможения адсорбции их хлопьями. Процесс коагуляции в некоторых случаях можно ускорить также при применении смеси коагулянтов FeCl_3 и $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Для ускорения процесса коагуляции в последнее время все более широкое применение получает полиакриламид. Добавление полиакриламида в коагулируемую воду после образования хлопьев коагулянта даже в очень малых дозах (0,5-2,0 мг/кг) значительно укрупняет и утяжеляет хлопья коагулянта, что приводит к ускорению их осаждения и дает возможность повысить скорость подъема воды в осветлителях и их производительность. Полиакриламид выпускается в виде студнеподобной массы и применяется в виде раствора 0,1-0,2 %-ной концентрации.

Сульфат железа (FeSO_4), как коагулянт, имеет следующие преимущества по сравнению с сульфатом алюминия ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$):

а) процесс коагуляции сульфатом железа не зависит от температуры воды и поэтому не требует ее подогрева;

б) скорость осаждения гидроксида железа выше, чем гидроксида алюминия, так как плотность гидроксида железа в 1,5 раза больше

плотности гидроксида алюминия, что позволяет уменьшить продолжительность отстаивания и размеры осветлителей.

Несмотря на эти преимущества сульфата железа, в прямоточных ко-агуляционных установках целесообразнее применять в качестве коагулянта сульфат алюминия, не требующий, как правило, подщелачивания воды при наличии достаточной для создания оптимального рН естественной щелочности (карбонатной жесткости).

Выбор вида и эксплуатационной дозы коагулянта, а также дозы щелочного реагента и оптимальной величины рН производят на основе результатов пробной коагуляции воды различными реагентами, проводимой в лабораторных условиях в характерные для источника водоснабжения периоды года.

1.1.2. Коагуляция воды в осветлителе

На **рис. 4** приведена принципиальная схема коагуляционной установки с осветлителем. Исходная вода после подогрева ее до температуры 25-30 °С поступает в осветлитель вместе или отдельно с раствором коагулянта. В трубопровод исходной воды перед осветлителем вводится раствор кислоты или щелочи для создания оптимального значения рН, а в случае применения в качестве коагулянта сульфата железа (Fe^{2+}) вводится раствор хлора для окисления двухвалентного железа в трехвалентное.

В осветлителе происходит хлопьеобразование и осветление воды. Осветленная вода поступает в промежуточный бак, из которого насосами подается на осветлительные фильтры для окончательного освобождения от тончайшей взвеси, не задержанной в осветлителе. Из фильтров взвесь удаляется взрыхляющей промывкой обратным током воды. Промывочные воды собираются в специальном отстойнике, из которого равномерно перекачиваются насосом в линию исходной воды. Кроме экономии воды, тепла и реагентов, эта операция позволяет интенсифицировать образование хлопьев вследствие благоприятного влияния взвеси, содержащейся в промывочной воде. Для более глубокого удаления органических веществ из коагулированной воды ее после осветлительных фильтров пропускают через сорбционные фильтры, загруженные активированным углем.

На **рис. 5** изображена схема осветлителя ЦНИИ-2, предназначенного для удаления из воды грубодисперсных и коллоидных примесей с применением коагуляции сульфатом алюминия.

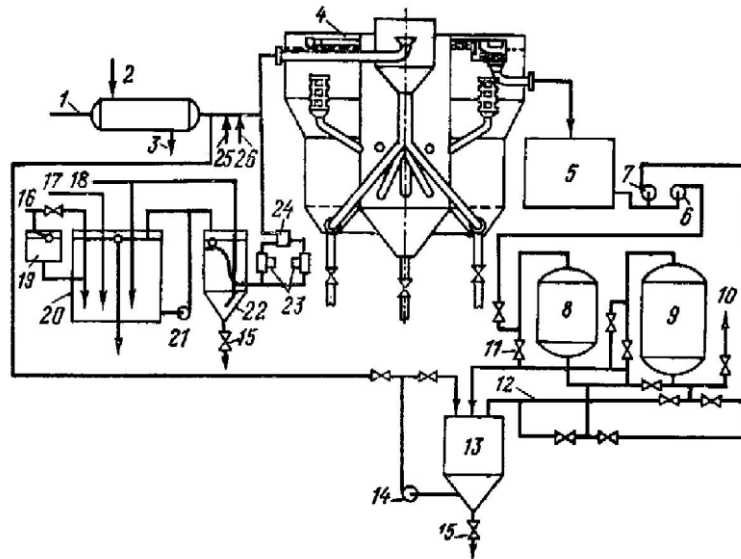


Рис. 1.4. Принципиальная схема коагуляционной установки с осветлителем:

1 – исходная вода; 2 – греющий пар; 3 – конденсат; 4 – осветлитель; 5 – бак коагулированной воды; 6 – насос коагулированной воды; 7 – насос для промывки фильтров; 8 – осветлительный фильтр; 9 – адсорбционный фильтр; 10 – осветленная вода; 11 – сброс промывочной воды; 12 – сброс первого фильтрата; 13 – бак для сбора промывочных вод; 14 – насос для перекачки промывочных вод в осветлитель; 15 – дренаж; 16 – техническая вода; 17 – горячая вода или пар для растворения коагулянта; 18 – сжатый воздух для перемешивания; 19 – бачок постоянного уровня; 20 – ячейка мокрого хранения коагулянта; 21 – перекачивающий насос коагулянта; 22 – расходный бак коагулянта; 23 – насосы-дозаторы раствора коагулянта; 24 – воздушный колпак; 25 – ввод хлора; 26 – ввод кислоты или щелочи для создания необходимого значения pH.

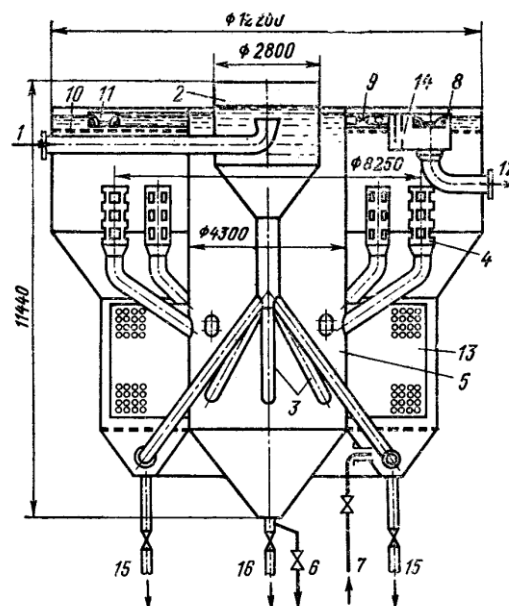


Рис. 1.5. Схема осветлителя ЦНИИ-2.

Корпус осветлителя состоит из двух цилиндров разного диаметра, соединенных переходом, имеющим форму усеченного конуса. Днище осветлителя имеет кольцевую коническую форму. В центральной части осветлителя расположен цилиндрический шламоотделитель с коническим днищем и шламоотводными трубами. Исходная вода 1 подается по трубопроводу в воздухоотделитель 2, предназначенный для удаления из воды воздуха, который может вызвать в осветлителе взмучивание и вынос шлама. Далее по центральной и распределительным трубам 3, которые заканчиваются тангенциально расположенными соплами, вода поступает в нижнюю смесительную часть осветлителя. Сюда же вводится раствор коагулянта 7. Иногда раствор коагулянта вводится в трубопровод исходной воды. Сопла, расположенные горизонтально, приводят воду во вращательное движение в нижней части осветлителя, имеющей кольцевую форму. Такое движение воды способствует перемешиванию ее с реагентами, усиливает контакт выделяемых из воды примесей с частицами шлама и улучшает условия протекания процессов коагуляции, кристаллизации, сорбции и адгезии.

Вращательное движение воды далее гасится смесительными перегородками 13 и переходит в восходящее поступательное движение снизу вверх. Продукты коагуляции, выделяющиеся в виде хлопьев, поддерживаются водой во взвешенном состоянии и образуют зону взвешенного шлама, т. е. контактную среду, способствующую ускорению и углублению процесса очистки воды. У верхней границы зоны взвешенного шлама вода освобождается от взвешенных хлопьев, проходит через зону осветления и распределительную решетку 10. Затем осветленная вода собирается в желобе 11 и через приямок распределительного устройства 8 отводится по патрубку 12 в промежуточные баки, откуда насосами перекачивается на осветлительные фильтры.

Избыток осадка из зоны взвешенного шлама непрерывно отводится с некоторым количеством воды через шламоотводные трубы 4 в шламоотделитель 5. Шламоотделитель 5, действующий как вертикальный отстойник, отделяет часть поступающей в него воды и подает ее по трубе через задвижку 9 в распределительное устройство 8. Расход этой воды и количество осадка, отводимого из осветлителя, регулируются с помощью задвижки 9 на отводящей трубе и измеряются по величине напора воды над калиброванными отверстиями 14 в перегородке распределительного устройства. Остальная часть воды с повышенной концентрацией шлама непрерывно удаляется в канализацию по трубе 6. Для опорожнения шламоотделителя служит труба 16, а всего осветлителя – труба 15.

На **рис. 6** приведена схема осветлителя производительностью 350 м³/ч, предназначенного для коагуляции воды на блочных электростанциях.

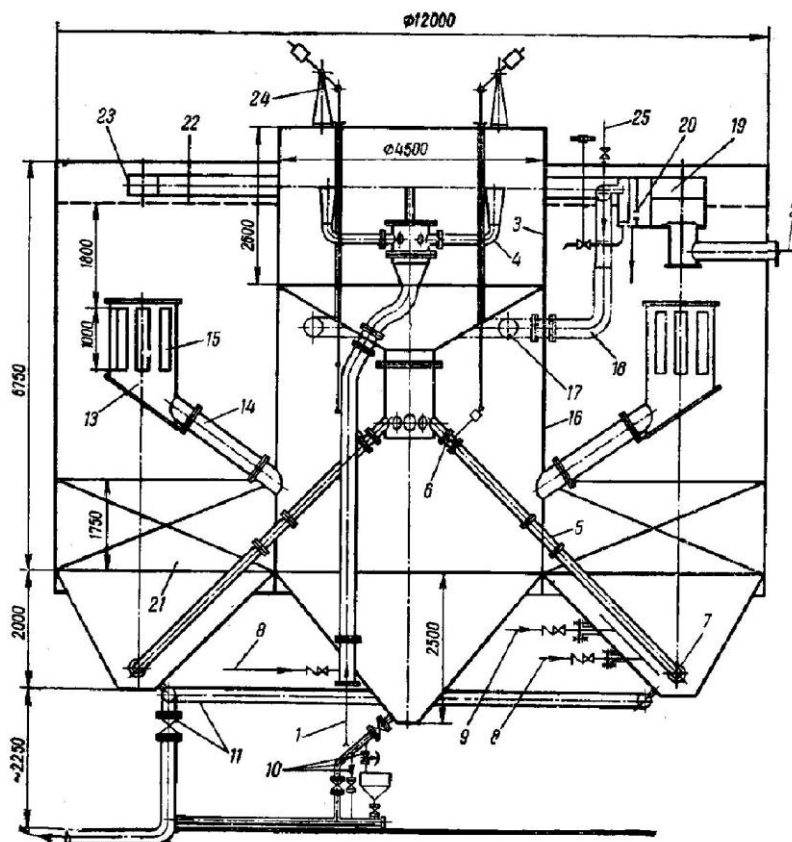


Рис. 1.6 – Осветлитель для коагуляции воды производительностью 350 м³/ч: 1 и 2 – ввод и вывод воды $d_y=300$ мм; 3 – воздухоотделитель; 4 – распределительные трубы в воздухоотделителе, 6 шт., $d_y=150$ мм; 5 – распределительные трубы осветлителя, 12 шт., $d_y=150$ мм; 6 – дроссельные заслонки, устанавливаются на шести трубах (через одну трубу); 7 – водяные сопла; 8 – ввод раствора коагулянта, $d_y=20$ мм; 9 – ввод раствора полиакриламида, $d_y=25$ мм; 10 – линия непрерывной продувки и опорожнения шламоуплотнителя; 11 – коллектор периодической продувки осветлителя; 12 – в канализацию; 13 – шламоприемные трубы, 8 шт., $d_y=1100$ мм; 14 – шламоотводящие трубы, $d_y=350$ мм; 15 – шламоприемные окна, 8 шт. в каждой трубе; 16 – шламоуплотнитель; 17 и 18 – сборный коллектор и труба, отводящая осветленную воду из шламоуплотнителя с дроссельной заслонкой на ней; 19 – распределительное устройство; 20 – измерительные отверстия; 21 – вертикальные смесительные перегородки, 8 шт.; 22 – верхняя распределительная решетка; 23 – кольцевой желоб для сбора осветленной воды; 24 – устройство для управления заслонками 6; 25 – вода на промывку коллектора 17.

Конструкция аппарата и расчетные показатели отличаются рядом особенностей и элементов новизны в сравнении с осветлителями типа ЦНИИ-2 (большая высота зон взвешенного шлама и осветленной воды,

меньшая восходящая скорость движения, воды в осветлителе и нисходящего движения в воздухоотделителе, улучшенные условия отвода воды из шламоотделителя и др.).

В коагуляционных установках с осветлителем растворы реагентов вводятся в обрабатываемую воду с помощью дозаторов, предназначенных для подачи заданного количества реагентов. На водоподготовительных установках постоянной производительности применяются дозаторы постоянного расхода, подающие в единицу времени одно и то же количество раствора коагулянта. На установках с меняющимся часовым расходом воды применяются пропорциональные дозаторы, изменяющие количество подаваемого в воду раствора коагулянта пропорционально изменению расхода осветляемой воды.

В качестве дозаторов растворов коагулянта и щелочных реагентов раньше применялись сифонные дозаторы, дозаторы с подвижной и плавающей трубкой, дозаторы-вытеснители и другие конструкции дозаторов открытого типа. Общим недостатком дозаторов открытого типа является то, что они требуют высотную компоновку водоподготовительной установки, так как должны устанавливаться над осветлителем, в который дозируют раствор реагента, и иметь над собой распределитель. Этому недостатка не имеет плунжерный насос-дозатор, что упрощает компоновку осветлителя.

На **рис. 7** изображен горизонтальный одноплунжерный насос-дозатор для раствора коагулянта и известкового молока с давлением 6 атм производительностью 120, 400, 800 и 1200 л/ч.

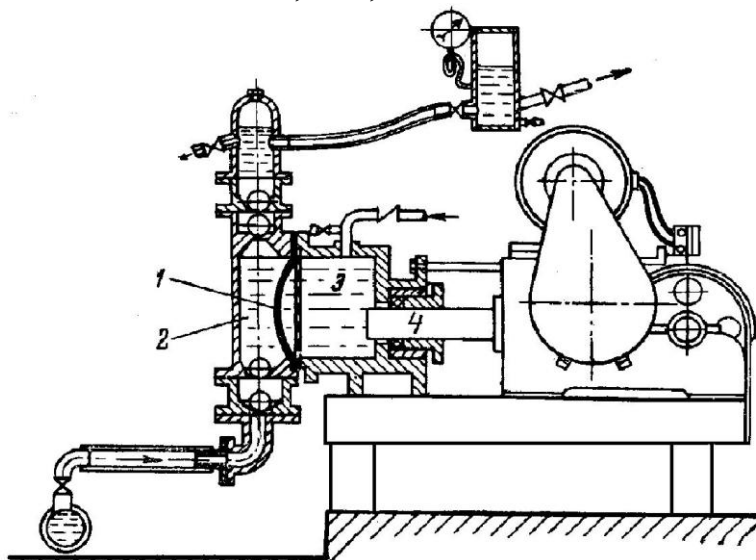


Рис. 1.7. Насос-дозатор плунжерного типа:

1 – резиновая диафрагма; 2 – рабочая камера; 3 – водяная камера; 4 – плунжер.

Резиновая диафрагма 1, зажатая между корпусом и крышкой, отделяет рабочую камеру 2 от водяной камеры 3. Плунжер 4 приводится в движение от эксцентрика с переменным эксцентриситетом для изменения длины хода плунжера при регулировании дозировки от максимального значения до нуля. На каждый осветлитель устанавливаются по два насоса-дозатора (рабочий и резервный).

Схема дозирования раствора коагулянта с помощью насоса-дозатора приведена на **рис. 8**. Концентрированный раствор коагулянта, приготовленный в мешалке 3, разбавляется водой до рабочей концентрации и перекачивается с помощью гидроэлеватора 4 в расходные баки 6; из которых через трубопровод 7 и фильтр-сетку 8 он забирается насосами-дозаторами 5 и подается в осветлители через коллекторы 1 по трубопроводам 2.

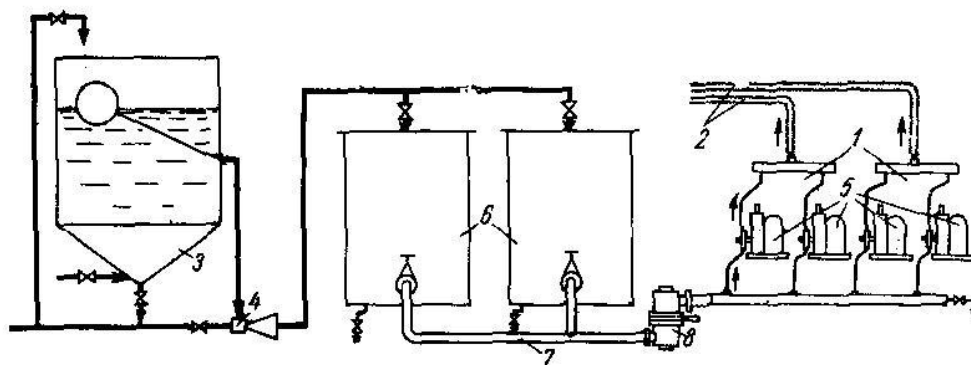


Рис. 1.8. Схема дозирования раствора коагулянта с помощью насосов-дозаторов.

Регулирование производительности плунжерного насоса-дозатора может осуществляться при применении электродвигателя переменного тока изменением средней скорости вращения путем периодического включения и отключения его. Дозы коагулянта зависят от количества содержащихся в воде примесей, их химического состава, окисляемости и температуры воды.

При таком многообразии факторов, определяющих дозу коагулянта, она может быть подобрана только опытным путем.

Размеры продувки должны быть минимальными, при которых в шламоотделителе не происходит прогрессирующего образования остаточных отложений взвеси. Верх шламового фильтра должен располагаться в нижней части выходной зоны осветлителя.

Наличие контактной среды в осветлителе улучшает условия коагуляции и оказывает существенное влияние на характер этого процесса. Практика показала, что эффективная работа шламового фильтра в осветлителе позволяет сократить расход реагентов на 25-50 %.

Для достижения эффективной и экономичной работы осветлителя необходимо избегать резких колебаний его нагрузки, производить правильное регулирование высоты шламowego фильтра, непрерывную продувку шламоотделителя и бесперебойное правильное дозирование реагентов. Необходимым условием хорошей работы осветлителя является поддержание стабильной температуры обрабатываемой воды, колебания которой не должны превышать $\pm (0,5-1,0)$ °С в течение часа при постепенном изменении температуры.

1.2. Коагуляция и осветление воды фильтрованием

1.2.1. Физико-химические основы фильтрования

Для глубокого удаления из воды грубодисперсных частиц, хлопьев коагулянта и скоагулированных коллоидных частиц применяется фильтрование, т. е. пропуск воды через слой зернистого или пористого материала, загруженного в осветлительные фильтры. При фильтровании воды твердые частицы задерживаются на поверхности или в толще фильтрующего материала. В результате фильтрования происходит осветление воды. При отсутствии предварительной коагуляции в осветлителях вода, содержащая грубодисперсную взвесь, образует фильтрующую пленку на поверхности фильтрующего материала. Если же применяется предварительная коагуляция в осветлителе, в котором задерживается основная масса взвеси, и на фильтры поступает вода, содержащая мельчайшие взвешенные частицы, фильтрование идет не на поверхности, а в толще фильтрующего слоя. При таком процессе полнее используется вся толща зернистой загрузки фильтра и обеспечивается высокая степень осветления.

На основании результатов изучения физической природы, механизма и закономерностей процесса осветления воды при движении ее через зернистые материалы осветлительных фильтров установлено, что процесс фильтрования имеет физико-химическую природу, а эффект осветления воды при фильтровании объясняется прилипанием взвешенных частиц к зернам фильтрующего слоя и ранее прилипшим частицам под действием молекулярных сил притяжения.

По своей физической сущности процесс взаимодействия и слипания разнородных частиц, значительно различающихся своими размерами, является коагуляционным, причем устойчивость и прилипание мелких частиц к крупным значительно выше, чем интенсивность взаимного слипания мелких частиц, так как вероятность попадания мелкой частицы в сферу притяжения крупной частицы значительно больше, чем вероятность столкновения мелких частиц. Явление прилипания мельчай-

ших частиц, содержащихся в воде, к поверхности зерен фильтрующего материала получило название контактной коагуляции.

Сооружения, специально предназначенные для очистки воды с использованием явлений контактной коагуляции, называются контактными осветлителями; в них вода сразу после смешивания с коагулянтом проходит через слой песка. За короткий промежуток времени от момента поступления воды в фильтрующий слой в воде успевают образоваться лишь микроэлементы слипшихся частиц, которые прилипают к поверхности зерен песка.

Такой же процесс имеет место при фильтровании воды через фильтры после коагулирования и предварительного осветления. Вместе с водой в фильтры поступают мелкие хлопья, не успевшие осесть в отстойниках или осветлителях. При фильтровании эти хлопья прилипают к зернам фильтрующего материала и осветляют воду. Основным фактором, определяющим эффект осветления воды фильтрами, является не соотношение размеров частиц, поступающих на фильтр, и пор в фильтрующем слое, как это предполагалось раньше, а способность частиц прилипать к поверхности зерен загрузки фильтров, которая является результатом химической обработки воды коагулянтом. Опыт показывает, что при фильтровании устойчивой суспензии, не обработанной коагулянтом, даже довольно крупные частицы свободно проходят через весь фильтрующий слой. Наоборот, при фильтровании коагулированной воды в фильтрующем слое задерживаются частицы любых размеров вплоть до мельчайших, чем достигается высокий эффект осветления воды при сравнительно высоких скоростях фильтрования. Таким образом, принцип скорой фильтрации заключается в фильтровании неустойчивой коагулирующей суспензии. Это же явление лежит в основе рассмотренного выше технологического процесса осветлителей со взвешенным осадком.

На **рис. 9** показан ход протекания процесса осветления воды по высоте фильтрующего слоя в зависимости от времени после начала фильтрования. Кривая 1 характерна для начала процесса t_1 , когда осветление воды происходит на участке толщиной x_0 . На остальной части фильтрующего слоя толщиной $(1-x_0)$ концентрация взвеси изменяется незначительно, так как после извлечения из воды всех способных к прилипанию частиц в ней остаются устойчивые частицы, которые плохо задерживаются фильтрами.

С течением времени по мере накопления осадка в фильтрующем слое роль его верхних слоев, как показывают зависимости 2, 3 и 4, уменьшается, и после предельного насыщения их осадком они перестают осветлять воду.

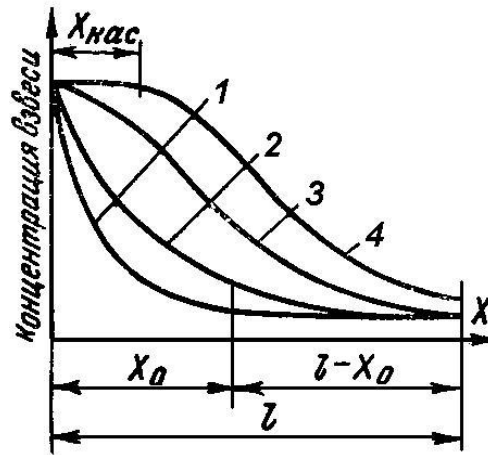


Рис. 1.9. Ход процесса осветления воды при фильтрации.

С уменьшением роли верхних слоев возрастает роль слоев загрузки, расположенных ниже, а толщина загрузки, участвующая в осветлении воды, увеличивается. Когда вся толщина загрузки окажется недостаточной для обеспечения требуемой полноты осветления воды, концентрация взвеси в фильтрате будет быстро возрастать. Толщина слоя загрузки, которая к моменту времени t_4 , находится в состоянии предельного насыщения, обозначена через $x_{нас}$. Интенсивность задержания взвеси каждым элементарным слоем загрузки с течением времени уменьшается; это влияние объясняется тем, что отложения на поверхности зерен загрузки образуют характерную для геля рыхлую сетчатую структуру, которая является весьма непрочной. В результате действия гидродинамических сил, возникающих при движении воды, структура отложений разрушается, и некоторая часть ранее прилипших частиц отрывается от зерен в виде мелких хлопьев и проносится в следующие слои загрузки, где вновь задерживается. Таким образом, эффект осветления воды каждым элементарным слоем фильтрующего материала является суммарным результатом двух противоположных процессов: прилипания извлеченных из воды частиц к поверхности зерен загрузки и отрыва под действием гидродинамических сил потока прилипших ранее частиц, обратно поступающих в воду. Эти два процесса обуславливают кинетику фильтрования воды, загрязненной взвешенными частицами: изменение концентрации взвеси в воде и количества отложений в толще фильтрующего слоя с течением времени. Осветление и накопление осадка в каждом элементарном слое фильтра происходит до тех пор, пока прилипание частиц идет быстрее, чем их отрыв. С накоплением осадка отрыв частиц увеличивается, и, когда насыщение элементарного слоя приблизится к предельному, слой перестанет осветлять воду.

В верхних слоях загрузки фильтра задерживается наибольшее количество взвеси, и эти слои раньше других могут оказаться в состоянии предельного насыщения. Постепенно область предельного насыщения распространяется в глубь загрузки. Одновременно в глубь загрузки перемещается и область интенсивного изменения концентрации взвеси в воде.

Интенсивность работы осветлительных фильтров характеризуется скоростью фильтрования, выраженной в м/ч и численно равной часовой производительности 1 м² сечения фильтра [м³/(м²·ч)]. Скорость фильтрования можно вычислить по формуле:

$$W = \frac{Q}{F} \text{ м/ч,}$$

где Q – часовое количество фильтруемой воды, м³/ч;

F – площадь фильтрования, м².

Фильтрование воды происходит за счет разности давления над h₁ и под h₂ фильтрующим слоем:

$$\Delta h = h_1 - h_2.$$

Величина Δh называется перепадом давления или потерей напора в фильтре. Потеря напора в фильтрующем слое или сопротивление этого слоя тем больше, чем больше скорость фильтрования, высота и степень засорения фильтрующего слоя загрязнениями, удаляемыми из воды, и чем меньше размеры зерен фильтрующего материала и температура фильтруемой воды. Процесс осветления воды фильтрованием сопровождается увеличением гидравлического сопротивления фильтра вследствие накопления в нем задержанной взвеси и уменьшения свободного объема пор между зернами фильтрующего материала. Потеря напора при этом повышается от некоторой наименьшей величины, соответствующей чистому слою и равной 0,4 м вод. ст., до максимально допустимой, составляющей 3 м вод. ст. для безнапорных и 10 м вод. ст. для напорных осветлительных фильтров.

По мере увеличения сопротивления фильтра уменьшаются скорость фильтрования и производительность фильтра. Поэтому для обеспечения необходимой производительности фильтра приходится периодически увеличивать перепад давлений в нем путем увеличения степени открытия задвижки на трубопроводе подвода воды к фильтру. При достижении максимально допустимого загрязнения, характеризуемого предельно допустимой потерей напора, фильтр выключается из работы на взрыхляющую промывку, которая состоит в пропуске через него осветленной воды снизу вверх. Период работы фильтра от начала одной промывки до начала следующей называется фильтроциклом. Продолжительность фильтроцикла T+t складывается из полезной работы фильтра

между промывками T и продолжительности выключения фильтра на промывку t . Величина $T+t$ зависит от удельной грязеемкости фильтра (т.е. от количества килограммов загрязнений, задержанных фильтром за цикл, отнесенного к 1 м^3 фильтрующей загрузки), основных размеров фильтра (площади фильтрования и высоты фильтрующей загрузки), концентрации взвешенных веществ в фильтруемой воде и часовой производительности фильтра.

1.2.2. Осветлительные фильтры

Осветлительные фильтры, применяемые на водоподготовительных установках электростанций, схемы которых приведены на **рис. 10**, классифицируются по следующим признакам:

- 1) по типу – на вертикальные (а-к) и горизонтальные (л, м);
- 2) по давлению воды над фильтрующим слоем – на самотечные или открытые (а), работающие под напором, создаваемым разностью уровней воды в фильтре и сборном баке осветленной воды, и напорные или закрытые (б-м), работающие под напором, создаваемым насосом или высоко расположенным баком;
- 3) по количеству последовательно работающих фильтрующих слоев – на однослойные (а, б, в, е, к, л, м) и двухслойные (г, д);
- 4) по числу параллельно работающих камер – на однокамерные (а, б, в, д, л, м), двухэтажные (е), двухкамерные (г, ж), трехкамерные (з) и батарейные (и, к);
- 5) по способу фильтрования – на однопоточные (а, б, г, д, л) и двухпоточные (в, м).

Наиболее широкое применение на электростанциях получили вертикальные напорные однопоточные фильтры диаметром до 3400 мм, определяемым габаритами транспортабельности, с предельной производительностью до $90 \text{ м}^3/\text{ч}$.

На **рис. 11** показана конструкция однопоточного вертикального осветлительного фильтра. Корпус такого фильтра представляет собой стальной цилиндр со штампованными эллиптическими днищами, рассчитанный на давление 6 атм. В верхнюю часть фильтра введены труба 1 с воронкой 8 для подвода и распределения по площади фильтра фильтруемой воды и труба 9 для отвода воздуха. В цилиндрической части корпуса имеются люки 10 и 11 для осмотра и ремонта фильтра и для выгрузки фильтрующего материала. Нижнее днище заполнено бетоном 4 для создания горизонтальной плоскости, на которой располагается дренажное устройство 5, предназначенное для равномерного распределения воды по площади фильтра, отвода 2 осветленной воды из-под фильтрующего слоя и предотвращения выноса из фильтра вместе с осветленной водой зерен фильтрующего материала 7. Над дренажным

устройством установлено аналогичное распределительное устройство 6 для сжатого воздуха. Через задвижку 3 подается вода для взрыхляющей промывки фильтрующего слоя.

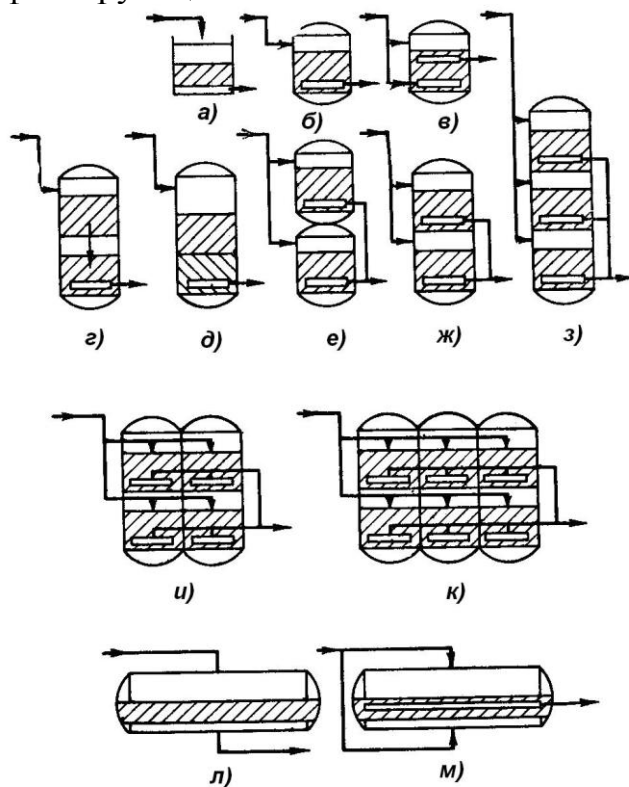


Рис. 1.10 – Принципиальные схемы осветлительных фильтров.

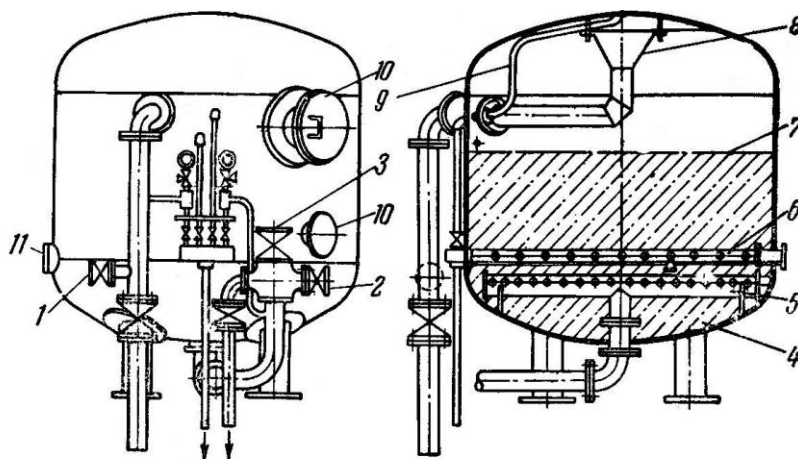


Рис. 1.11. Напорный осветлительный фильтр.

Дренажное устройство является весьма важным элементом осветлительного фильтра. Наиболее широкое распространение получили колпачковые дренажные устройства, в которых на ниппели стальных распределительных труб навинчиваются щелевые дренажные колпачки,

имеющие различные конструкции. На **рис. 12** показан фарфоровый дренажный колпачок, который достаточно стоек против истирания крупным песком при промывке фильтра. В последнее время все более широкое распространение приобретает бесколпачковое трубчато-щелевое дренажное устройство, которое является наиболее простым и прочным и представляет собой коллектор с боковыми распределительными трубками из винипласта, полиэтилена или нержавеющей стали с прорезанными в них вертикально или наклонно щелями шириной 0,5 мм. Во избежание нежелательного уноса в дренаж фильтрующего материала при взрыхляющей промывке фильтра на сливной линии устанавливаются специальные ограничители взрыхления (регуляторы скорости промывки), которые выполняются или в виде вращающейся в трубе заслонки, степень открытия которой регулируется поплавком, или в виде дроссельной шайбы.

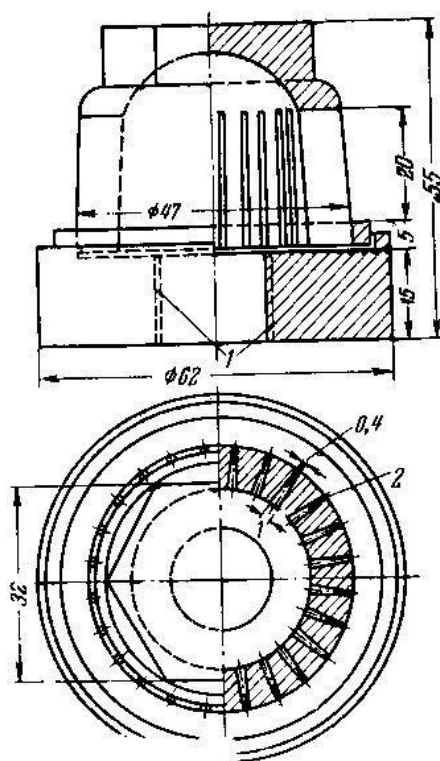


Рис. 1.12. Дренажный щелевой фарфоровый колпачок:
1 – резьба, 2 – щель.

Разработанные в последнее время двух- и трехкамерные фильтры, изображенные на **рис. 13**, разделены на две или три камеры плоскими промежуточными днищами, рассчитанными из условия возможного перепада давлений в соседних камерах, равного 1 атм. Плоские днища имеют анкерные трубы для обеспечения необходимой жесткости. В этих трубах в верхних зонах камер имеются щели для выравнивания

давления в камерах фильтров. На верхнем сферическом днище установлен вантуз для автоматического удаления воздуха из фильтра.

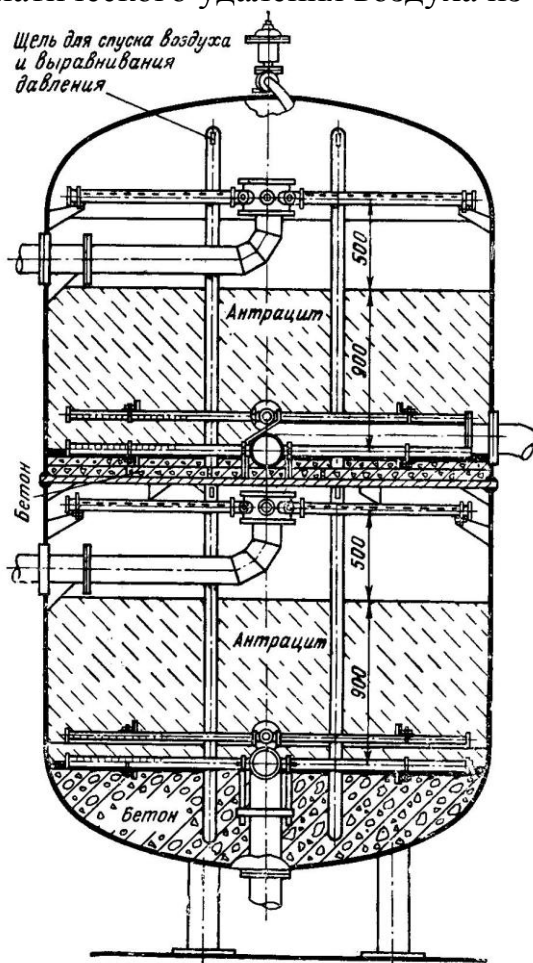


Рис. 1.13. Двухкамерный осветлительный фильтр.

Преимуществом двух- и трехкамерных фильтров по сравнению с однокамерными является то, что они при одном и том же диаметре имеют вдвое и втрое большую производительность, что создает возможность лучшего использования площади пола и кубатуры помещения водоподготовительной установки. Кроме того, благодаря меньшему количеству сферических днищ камерные фильтры получаются легче, чем два-три однопоточных фильтра той же суммарной производительности: двухкамерный фильтр (рис. 10,ж) легче, чем двухэтажный фильтр (рис. 10,е) той же производительности.

Еще более компактными осветлительными фильтрами являются четырехкамерный (рис. 10,и) и шестикамерный (рис. 10,к) батарейные фильтры большой производительности (364 и 546 м³/ч), созданные путем объединения двух и трех двухкамерных фильтров диаметром 3400 мм, имеющих общий фронт трубопроводов и арматуры.

При этом все камеры работают параллельно, но предусмотрена возможность отдельного отключения каждого из фильтров для промывки фильтрующей загрузки. При такой конструкции уменьшаются количество установленных фильтров, удельная кубатура здания водоподготовительной установки, количество необходимой арматуры и средств дистанционного управления фильтрами.

На водоподготовительных установках применяются двухслойные осветлительные фильтры большой грязеемкости (рис. 10,д). После загрузки этих фильтров кварцевым песком и взрыхляющей промывки последнего из них удаляется верхний слой высотой 200-300 мм наиболее мелкого песка, оставляя нижний слой загрузки с размером зерен 0,65-0,75 мм, на который загружается слой дробленого антрацита высотой 500 мм с размером зерен 1,0-1,25 мм. В результате такой замены фильтрующая пленка на поверхности антрацита образовываться не будет, а содержащиеся в воде взвешенные вещества будут проникать в поры слоя дробленого антрацита и задерживаться на поверхности его частиц и лежащем ниже слое кварцевого песка.

Так как плотность антрацита почти в 1,5 раза меньше плотности кварцевого песка, слой дробленого антрацита может состоять из более крупных зерен, чем зерна лежащего ниже кварцевого песка, без опасности перемешивания их во время взрыхляющей промывки. Такие фильтры могут применяться только в тех случаях, когда допустимо использование кварцевого песка в качестве фильтрующего материала.

1.2.3. Фильтрующие материалы

Материал, загружаемый в осветлительные фильтры, должен хорошо задерживать содержащиеся в осветляемой воде грубодисперсные вещества, легко отмываться от задержанной взвеси, не измельчаться и не истираться при промывке, быть стойким против химического воздействия на него фильтруемой воды и не загрязнять фильтруемую воду какими-либо веществами, входящими в состав самого материала. В качестве материалов, отвечающих этим требованиям, наиболее широкое применение получили кварцевый песок и дробленый антрацит. Кварцевый песок обычно применяется на коагуляционных установках, предназначенных для подготовки добавочной питательной воды парогенераторов низкого и среднего давлений при температуре не выше 60 °С и значении рН не выше 9. Применять кварцевый песок в осветлительных фильтрах для подготовки добавочной питательной воды парогенераторов высокого давления нецелесообразно ввиду опасности загрязнения фильтрата кремниевой кислотой. Поэтому на водоподготовительных установках электростанций с давлением 100 атм и выше в качестве фильтрующего материала применяется малозольный термостойкий дробле-

ный антрацит при температуре до 100 °С и значении рН в пределах от 4 до 10.

Крупность и степень неоднородности фильтрующего материала, высушенного при 105 °С, определяются ситовым анализом на ряде калиброванных сит. Для загрузки фильтров рекомендуется среднезернистый песок с размерами зерен 0,35-1,5 мм и крупнозернистый песок с размерами зерен 0,4-2,0 мм. В частности, в фильтрах, предназначенных для осветления некоагулированной воды или же воды, обработанной коагулянтом в осветлителе, принимается слой фильтрующей загрузки высотой 0,9-1,2 м с зернами диаметром 0,5-1,0 мм. При подаче на фильтры коагулированной воды без ее предварительного отстаивания высота слоя фильтрующей загрузки принимается в пределах 1,2-2,0 м с размерами зерен 1,0-1,5 мм.

Важным показателем качества фильтрующего материала является его механическая прочность. При недостаточной механической прочности при взрыхляющей промывке происходит истирание и измельчение зерен, в результате чего повышается гидравлическое сопротивление фильтрующей загрузки, происходят вынос измельченных зерен при промывке и безвозвратная потеря фильтрующего материала.

1.2.4. Эксплуатация осветлительных фильтров

Работа осветлительных фильтров состоит из трех периодов: полезной работы фильтра по осветлению воды, взрыхляющей промывки фильтра и спуска первого фильтрата в дренаж. Эксплуатация фильтра в межпромывочный период состоит в наблюдении за прозрачностью воды после пропуска ее через фильтр, производительностью фильтра и изменением его гидравлического сопротивления (величиной потери напора). Для этого на линиях осветляемой и осветленной воды установлены пробоотборные краны и манометры, а на линиях промывочной и осветленной воды – расходомеры.

При снижении прозрачности осветленной воды, а также при достижении максимально допустимой потери напора фильтр выводится из работы на промывку. Промывка фильтра заключается в пропуске через него осветленной воды снизу вверх. Для этого сначала фильтр выключается из работы, а затем подается вода из промывочного бака. Интенсивный поток промывочной воды, поднимаясь, разрыхляет и взвешивает весь фильтрующий слой, расширяющийся при этом на 40-50 %, что дает возможность зернам загруженного фильтрующего материала свободно двигаться в потоке воды и при столкновениях счищать прилипшие к ним частицы шлама и слизи.

Скорость воды при взрыхляющей промывке характеризуется ***интенсивностью промывки***, под которой подразумевается секундный

расход воды в литрах через 1 м² сечения фильтра [л/ (м²·с)]. Промывка фильтра должна проводиться с такой интенсивностью, которая, обеспечивая вымывание осадков, не приводит к выносу зерен фильтрующего материала. Величина интенсивности промывки зависит от рода материала, размера его зерен, температуры промывочной воды и обычно составляет 15-18 л/(м²·с) для кварцевого песка и 10-12 л/(м²·с) для дробленого антрацита. Контроль за интенсивностью промывки осуществляется по расходу промывочной воды, измеряемому расходомером. Продолжительность промывки составляет 6 мин. По окончании взрыхляющей промывки первый, мутный фильтрат спускается в канализацию со скоростью 5 м/ч в течение 5-10 мин, после чего фильтр включается в нормальную работу. Во время работы фильтра постепенно заполняется осветленной водой промывочный бак. Продолжительность остановки фильтра на промывку и спуск первого фильтрата со всеми переключениями задвижек составляет около 20 мин.

Скорость фильтрования воды в напорных осветлительных фильтрах, загруженных кварцевым песком или дробленным антрацитом, при предварительной обработке воды в осветлителях составляет 5,0-6,5 м/ч, а без предварительной обработки ее 4-5 м/ч.

Удельная грязеемкость фильтрующих материалов, в однопоточных фильтрах без предварительной обработки воды перед фильтрами составляет для кварцевого песка 0,75 кг/м³, для дробленого антрацита 1,0 кг/м³. При предварительной обработке воды в осветлителе удельная грязеемкость соответственно 1,25 и 1,5 кг/м³. С точки зрения экономичности работы установки и удобства обслуживания фильтров продолжительность фильтроцикла должна быть не менее 8 ч, а количество установленных фильтров не меньше трех.

Для уменьшения расхода воды на собственные нужды и повышения эффективности промывки иногда применяются устройства для верхней промывки фильтров, которые представляют собой систему дырчатых труб, уложенных на 50-75 мм выше поверхности фильтрующего слоя. Подводимая в устройство промывочная вода, проходя через отверстия, размывает пленку задержанной взвеси.

Эксплуатация осветлительных фильтров значительно облегчается применением автоматической системы управления их работой.

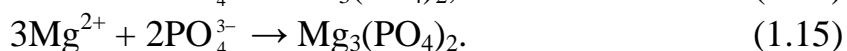
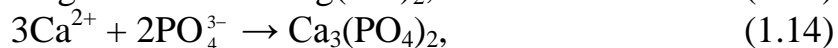
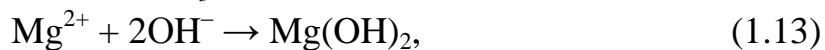
1.3. Снижение щелочности, умягчение и обескремнивание природных вод методом осаждения

1.3.1. Основные положения

Умягчение воды методом осаждения накипеобразователей заключается в обработке исходной воды такими реагентами, как Ca(OH)₂, Na₂CO₃,

NaOH, Na₃PO₄, анионы которых образуют с катионами Ca²⁺ и Mg²⁺ трудно растворимые соединения: карбонат кальция CaCO₃, гидроксид магния Mg(OH)₂, фосфат кальция и магния Ca₃(PO₄)₂ и Mg₃(PO₄)₂, которые отделяются от умягченной воды сначала в виде осадка в осветлителях, а затем в осветлительных фильтрах.

При обработке воды содой, известью, гидроксидом натрия и три-натрийфосфатом протекают следующие процессы:



Методом осаждения не удастся получить достаточно полного умягчения природной воды. Поэтому обычно применяют комбинированные схемы, в которых предварительная обработка воды (предочистка) осуществляется методом осаждения, а окончательная – методом ионного обмена. В этих схемах предочистка используется главным образом для снижения щелочности воды. Для этого применяется обработка воды известью, сочетая ее в необходимых случаях с коагуляцией.

Эффективность обработки воды методами осаждения определяется скоростью процесса выделения растворенных в воде веществ в твердую фазу, что связано с процессами кристаллизации. В зависимости от ряда условий процессы кристаллизации могут протекать с различной скоростью.

Основным приемом интенсификации процесса кристаллизации является использование выпавших ранее твердых частиц в качестве центров кристаллизации. Благодаря своей большой поверхности эти частицы способствуют более быстрому росту кристаллов и их дальнейшему укрупнению, что облегчает процесс отстаивания. Процесс кристаллизации еще более интенсифицируется с повышением температуры и при перемешивании вводимых отдельно воды и реагентов в присутствии ранее выпавшего осадка.

Использование осадка в качестве контактной среды при обработке методами осаждения позволяет сократить продолжительность обработки воды, повысить скорости движения ее в аппаратах, уменьшить расход реагентов и улучшить качество обработанной воды.

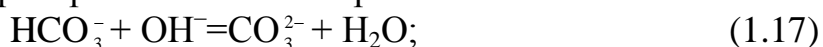
1.3.2 Физико-химические основы обработки воды методом осаждения. Снижение щелочности и умягчение воды известкованием

Гашеная известь в виде раствора или в виде суспензии (известкового молока) вводится в заранее подогретую обрабатываемую воду. Растворяясь, известь обогащает воду ионами OH⁻ и Ca²⁺:

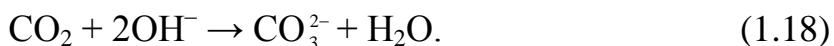


Обогащение воды ионами OH^- приводит:

а) к переводу гидрокарбонат ионов в карбонат ионы:



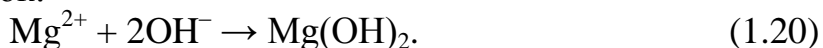
б) к связыванию растворенной в воде свободной углекислоты с образованием карбонат ионов:



Повышение концентрации ионов CO_3^{2-} в обрабатываемой воде и наличие в ней ионов Ca^{2+} , как содержащихся в исходной воде, так и введенных с известью, приводят к превышению произведения растворимости карбоната кальция $\text{PP}_{\text{CaCO}_3} = C_{\text{Ca}^{2+}} \cdot C_{\text{CO}_3^{2-}}$ и выделению в осадок почти нерастворимого в воде карбоната кальция:

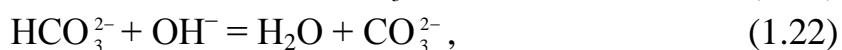
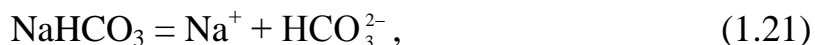


При дозировке извести в количестве, большем, чем это необходимо для осаждения ионов кальция и связывания свободной углекислоты, в воде появляется избыточная концентрация ионов, в результате чего достигается произведение растворимости и для гидроксида магния и выпадение Mg(OH)_2 в осадок:



Приведенные уравнения предполагают, что все кальций ионы выделяются в виде CaCO_3 , а все магний ионы – в виде Mg(OH)_2 .

С целью углубления процесса снижения щелочности и процесса удаления из воды грубодисперсных и коллоидных примесей одновременно с известкованием применяется коагуляция этих примесей. Для коагуляции при известковании обычно используется в качестве коагулянта сульфат железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. В зависимости от состава исходной воды и условий обработки щелочность обрабатываемой воды снижается при этом до 0,5-0,75 мг-экв/кг. Одновременно со снижением щелочности происходит уменьшение сухого остатка и жесткости обработанной воды. Известкование пригодно только для обработки вод, не обладающих высокой избыточной щелочностью, т. е. при $\text{Щ}_0 < \text{Ж}_0$. При известковании вод, у которых $\text{Щ}_0 > \text{Ж}_0$ и разность $\text{Щ}_0 - \text{Ж}_0$ равна концентрации гидрокарбоната натрия, последний, реагируя с анионами CO_3^{2-} и OH^- , переходит в соду или NaOH :



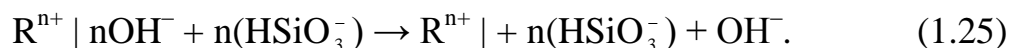
Следовательно, известкованием нельзя в необходимых размерах снизить избыточную щелочность исходной воды.

При обработке вод с большой некарбонатной жесткостью в отдельных случаях целесообразно применять метод осаждения не только для снижения щелочности, но и для более глубокого умягчения воды, чем только при одном известковании. Это может быть достигнуто дополнительным введением соды. При дозировании Na_2CO_3 в воде возрастает концентрация карбонат ионов, что позволяет снизить не только карбонатную жесткость, как при известковании, но и некарбонатную; при этом сода дозируется без избытка. При температуре около 40°C остаточная жесткость умягченной воды составляет 2-3 мг-экв/кг. Окончательное умягчение воды производится методами катионного обмена.

1.3.3 Обескремнивание воды магниезиальными реагентами

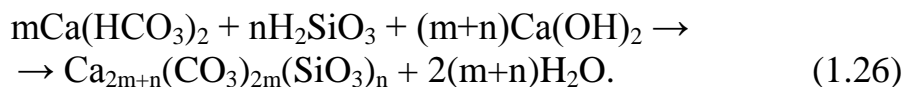
Для частичного обескремнивания воды в качестве реагента обычно применяется каустический магнезит MgO , являющийся продуктом обжига магнезита MgCO_3 при температуре $750-800^\circ\text{C}$.

Каустический магнезит может дозироваться в виде порошка (сухая дозировка), который затем с помощью водяного эжектора направляется в осветлитель. Применяется для дозировки также магниезиальное молоко, которое может готовиться отдельно либо совместно с известью. Одновременно с магниезиальным обескремниванием воды производится и известкование ее с целью снижения щелочности умягченной воды и создания оптимальной величины рН, определяющей активную концентрацию в воде гидроксид ионов, необходимую для осуществления процесса обескремнивания. Оксид магния, введенный в обрабатываемую воду в виде каустического магнезита, частично или полностью подвергается гидратации, образуя ассоциацию сложных молекул типа $(\text{MgO})_p[\text{Mg}(\text{OH})_2]_q$. Молекулы $\text{Mg}(\text{OH})_2$ частично подвергаются диссоциации, и часть гидроксид ионов переходит в раствор. При этом образуется сложная положительно заряженная мицелла, окруженная ионами OH^- . Степень диссоциации $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и прочность связи ионов с положительно заряженными мицеллами определяются значением рН среды. Гидросиликат ионы HSiO_3^- вступают в анионный обмен с гидроксид ионами, отщепляющимися от сложной молекулы обескремнивающего реагента:



При этом образуется химическое соединение, менее растворимое в воде, чем исходные силикаты, вследствие чего они выводятся из раствора. Частичное удаление из раствора кремниевой кислоты при извест-

ковании и выделении CaCO_3 можно представить как явление соосаждения:



Эффективность магниального обескремнивания воды зависит от качества обескремнивающего реагента и его удельных доз (мг) на 1 мг SiO_3^{2-} , продолжительности контакта обрабатываемой воды со взвешенным осадком, состава и свойств осадка, температуры обрабатываемой воды и режима известкования и коагуляции.

Магниальное обескремнивание рекомендуется проводить при следующих условиях: доза MgO , входящего в магниальный реагент, должна быть равна от 5 до 20 мг на 1 мг удаленного SiO_3^{2-} ; температура воды 40-45 °С при колебаниях не более ± 1 °С; продолжительность пребывания в зоне зашламливания 1 ч; доза коагулянта 0,26-0,5, иногда 1,0 мг-экв/кг; дозирование извести для поддержания в обработанной воде значения рН в пределах 10,1-10,3.

При соблюдении этих условий остаточное содержание кремнекислых соединений в среднем за сутки составляет не более 4 мг/кг SiO_3^{2-} и максимально в отдельные часы не более 1,25 мг/кг SiO_3^{2-} . Повышение температуры воды до 130 °С увеличивает эффект обескремнивания до остаточного кремнесодержания 0,2-0,3 мг/кг SiO_3^{2-} и требует одновременно аппаратуры, работающей под давлением, и температуростойких катионитов.

1.3.4 Схемы и аппаратура установок для умягчения и обескремнивания воды методом осаждения

Принципиальная схема водоподготовительной установки для известкования, коагуляции и обескремнивания воды каустическим магнезитом (MgO) приведена на **рис. 14**. Особенности этой схемы являются пневматическая разгрузка каустического магнезита через заборное сопло 35, сухое хранение его в бункере 39 и дозировка сухого каустического магнезита с помощью шнекового дозатора 40.

Известь применяется в виде суспензии или известкового молока с концентрацией 10-20 %.

Для дозирования известкового молока используются безнапорные дозаторы различных конструкций и плунжерные насосы-дозаторы. На **рис. 15** приведена схема безнапорного шайбового дозатора.

Исходная вода поступает по трубопроводу 1 в промежуточный бак 2 и через ограничительную шайбу 3 на дне его и отвод 4 направляется в осветлитель. Уровень исходной воды в баке тем выше, чем больше ее расход.

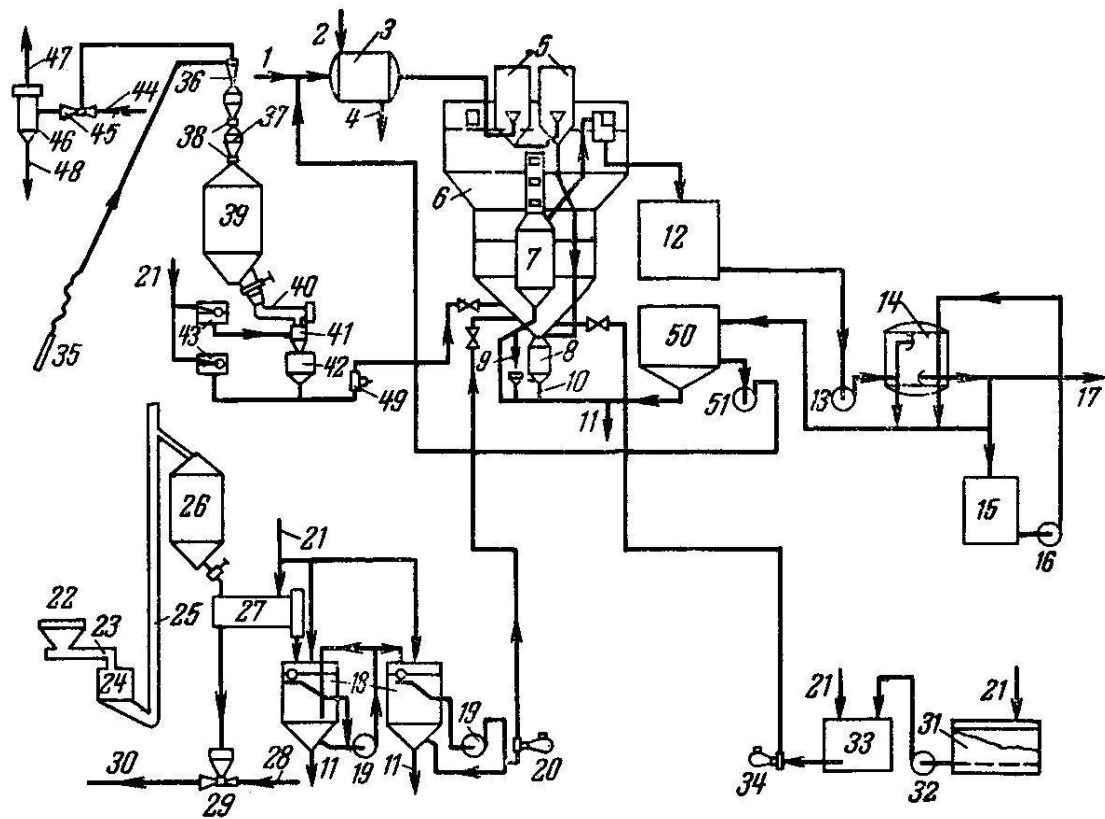


Рис. 1.14. Схема установки для известкования, коагуляции и магниезального обескремнивания воды:

1 – исходная вода; 2 – греющий пар; 3 – поверхностный подогреватель; 4 – конденсат; 5 – воздухоотделители; 6 – осветлитель; 7 – шламоотделитель; 8 – грязевик; 9 – непрерывная продувка шламоотделителя; 10 – периодическая продувка шламоотделителя; 11 – в дренаж; 12 – промежуточный бак; 13 – промежуточный насос; 14 – осветлительный фильтр; 15 – промывочный бак; 16 – промывочный насос; 17 – выход обработанной воды; 18 – известковая циркуляционная мешалка; 19 – известковые циркуляционные насосы; 20 – плунжерный насос-дозатор известкового молока; 21 – вода от линии собственных нужд; 22 – шинковый питатель; 23 – шнек; 24 – бункер дробилки негашеной извести; 25 – ковшовый элеватор; 26 – бункер-хранилище; 27 – аппарат МИК для гашения извести; 28 – вода; 29 – гидроэлеватор; 30 – на гидрозолоудаление; 31 – ячейка мокрого хранения коагулянта; 32 – кислотоупорный насос; 33 – расходный бак раствора коагулянта; 34 – кислотоупорный плунжерный насос-дозатор раствора коагулянта; 35 – заборное сопло для пневмотранспорта каустического магnezита; 36 – циклон; 37 – промежуточные бункера; 38 – заслонки с автоматическим управлением; 39 – бункер-хранилище каустического магnezита; 40 – шнек-дозатор каустического магnezита; 41 – смывное устройство; 41 – приемный бачок; 43 – бачок с постоянным уровнем; 44 – сжатый воздух; 45 – воздушный эжектор; 46 – мокрый скруббер; 47 – в атмосферу; 48 – в циркуляционную мешалку известкового молока; 49 – мембранный дозатор; 50 – отстойник для повторного использования отмывочной воды осветлительных фильтров; 51 – оборотный насос

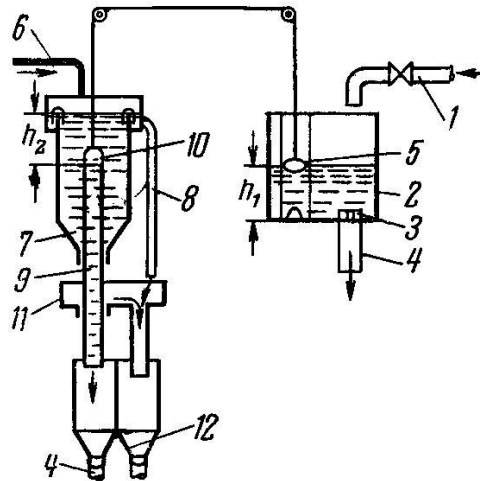


Рис. 1.15. Схема шайбового дозатора известкового молока

Известковое молоко из гидравлической мешалки по трубе 6 подается в бак 7. В баке 7 вертикально подвешена труба 9 с калиброванным отверстием 10 в верхней ее части, через которое известковое молоко стекает в нижний левый бак и дальше по трубе 4 – в осветлитель. Подвижная труба 9 с помощью троса связана с поплавком 5. При увеличении производительности установки увеличивается приток воды в промежуточный бак 2, что приводит к повышению уровня h_1 в нем, поднятию поплавка 5, увеличению погружения трубы 9 (уровень h_2) и дозы известкового молока, направляемого в осветлитель. При уменьшении расхода воды изменения идут в обратном порядке. Труба 9 проходит свободно через дно бака 7. Небольшое количество известкового молока, протекающее через кольцевую щель вокруг трубы 9, собирается противнем 11 и вместе с избытком известкового молока, протекающим по переливу 8, возвращается в гидравлическую мешалку через воронку 12.

В более совершенной конструкции шайбового дозатора труба 9 закреплена неподвижно на достаточной глубине, а к тросу, кинематически связанному с поплавком 5, подвешена калиброванная игла, подъемом и опусканием которой изменяют величину живого сечения отверстия в неподвижной трубе.

В этом варианте устранены затруднения, связанные с заклиниванием трубы 9.

Дозирование известкового молока можно осуществить также с помощью насоса-дозатора, изображенного на **рис. 7**.

Рабочие растворы легкорастворимых реагентов на небольших установках приготавливаются в расходном баке. Реагент загружается в сетчатую корзину, через которую бак заполняется водой.

Перемешивание раствора производится воздухом или паром. Для приготовления и перекачивания легкорастворимых реагентов на установках средней производительности применяются гидравлические мешалки. На каждый реагент устанавливается по одной мешалке с емкостью, обеспечивающей возможность зарядки двух расходных баков рабочего раствора реагента, имеющего концентрацию 5-10 %. После загрузки суточного или 8-часового расхода реагента в гидромешалку, заполненную на 2/3 водой, производится перемешивание раствора. После отстаивания раствор перекачивается насосом в распределительный бак, из которого производится заполнение дозаторов.

На установках большой производительности применяется «мокрое хранение» реагентов. Реагенты, расход которых рассчитан на 1-1,5 месяца, загружаются в специальные железобетонные ячейки реагентного склада, расположенные на уровне пола, и заливаются водой. Образовавшийся в них насыщенный раствор разбавляется до требуемой концентрации в трубопроводах, эжекторах или распределительных баках. Растворы легкорастворимых реагентов непрерывно дозируются в осветлитель с помощью сифонных дозаторов, насосов-дозаторов и дозаторов других конструкций. Наиболее рациональным способом дозирования реагентов в осветлители являются сниженное расположение дозатора и открытый и удобный для контроля поток реагента с подачей отдозированного раствора через воздухоотделитель при помощи гидроэлеватора или специального насоса, изображенного на **рис. 16**.

На **рис. 17** изображен шнековый дозатор каустического магnezита. Изменение максимальной производительности дозатора достигается сменой шнеков, различающихся диаметром вала (при неизменном наружном диаметре, равном 40 мм) и шагом винтовой поверхности, а также сменой червяков редуктора. Для обслуживания каждого осветлителя устанавливается один шнековый дозатор. Кроме того, на всю установку устанавливается резервный дозатор.

Для умягчения и магниезиального обескремнивания воды методом осаждения наиболее широкое распространение получил осветлитель типа ЦНИИ-2, схема которого приведена на **рис. 5**.

В осветлителе предусмотрены отдельный ввод реагентов и воды, принудительный отвод шлама в шламоотделитель и регулирование размеров этого отвода, а также непрерывная продувка через шламоотделитель и периодическая через грязевик 8. Вода и реагенты по отдельным трубопроводам поступают в нижнюю часть осветлителя. Интенсивное перемешивание жидкостей достигается благодаря тангенциальному подводу воды, придающему ей вращательное движение, которое гасится смесительными перегородками.

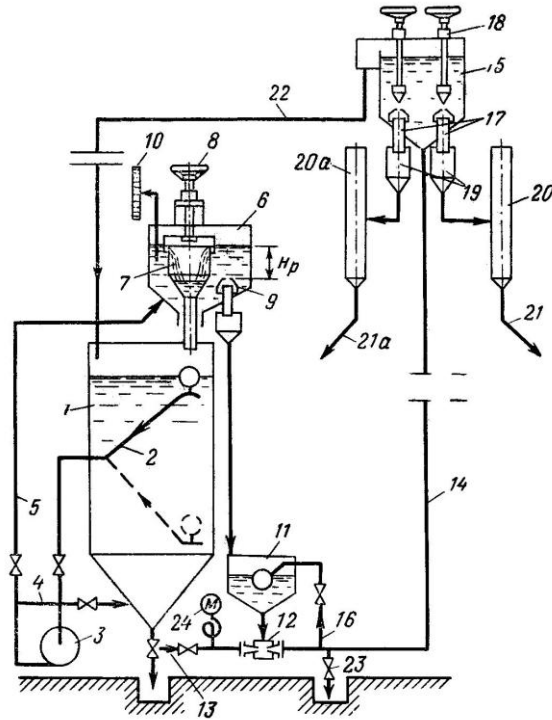


Рис. 1.16. Схема дозатора постоянной дозы известкового молока и делителя суспензии по осветителям:

1 – расходная мешалка; 2 – плавающий рукав; 3 – центробежный насос; 4 – линия возврата известкового молока в мешалку; 5 – линия подачи известкового молока в дозатор; 6 – дозатор; 7 – подвижная воронка; 8 – маховик для подъема и спуска воронки; 9 – насадка с калиброванным отверстием; 10 – указатель величины H_p , оттарированный при наладке в л/ч; 11 – промежуточный бачок отдозированного известкового молока; 12 – гидроэлеватор; 13 – подача воды в гидроэлеватор; 14 – линия подачи известкового молока в делитель суспензии 15 (при обслуживании одним дозатором нескольких осветителей); 16 – линия возврата части жидкости из трубопровода 14 в бачок 11 через поплавковый регулятор уровня; 17 – дозирующая насадка; 18 – коническая пробка для отключения насадки при выводе осветителя в резерв; 19 – воронка; 20 и 20а – воздухоотделители суспензии, направляемой в осветители; 21 и 21а – линии подачи известкового молока в соответствующие осветители, 22 – линия аварийного перелива; 23 – дренажная задвижка; 24 – манометр

Выделяющийся шлам, поддерживаемый водой во взвешенном состоянии, образует контактную среду, располагающуюся на 1-2 м ниже верхней распределительной решетки. Большая часть обрабатываемой воды, пройдя слой взвешенного шлама, зону осветления и отверстия верхней распределительной решетки, поступает в сборный желоб для отвода и осветлителя. Меньшая часть воды вместе с содержащимся в ней взвешенным шламом поступает в шламоотделитель 7 через шламоприемные окна. В шламоотделителе вода освобождается от взвешенного осадка и отводится из осветлителя вместе с остальным количеством обрабаты-

мой воды. Размер отсечки воды на шламоотделитель регулируется задвижкой на трубе, отводящей воду от шламоотделителя.

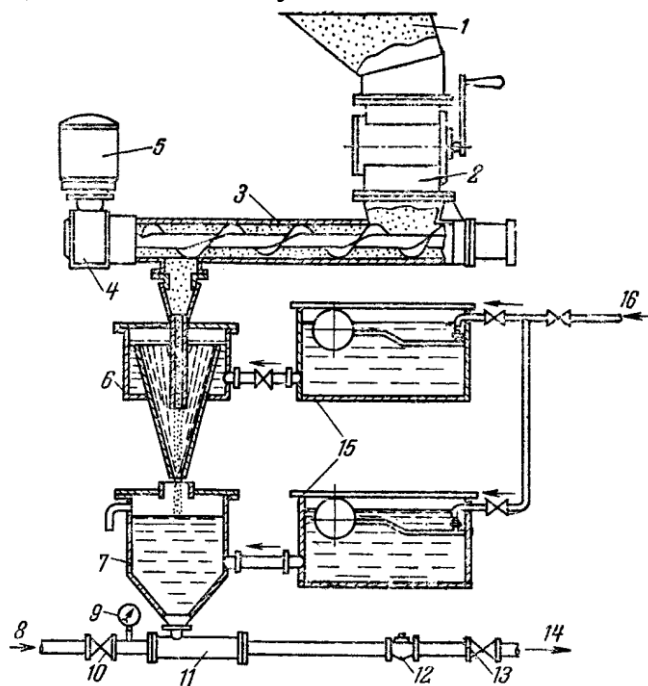


Рис. 1.17. Шнековый дозатор сухого каустического магnezита:

1 – тeчка из бункера-хранилища каустического магnezита; 2 – поворотная заслонка; 3 – шнек-дозатор; 4 – редуктор; 5 – электродвигатель; 6 – смывной бачок; 7 – смесительный бачок; 8 – эжектирующая вода; 9 – манометр; 10 – пробковый кран; 11 – гидроэлеватор; 12 – обратный клапан; 13 – пробковый кран; 14 – суспензия каустического магnezита, направляемая в осветлитель; 15 – бачок постоянного уровня; 16 – холодная вода

Рекомендуемые расчетные скорости подъемного движения воды в осветлителе при магниальном обескремнивании ее при 40 °С составляют при выходной зоне (осветления) 3,6-3,8 м/ч, в центральной зоне (зашламления) 7,2 м/ч. Продолжительность пребывания воды в зоне взвешенного шлама не меньше 1 ч. При использовании осветлителей только для известкования без магниального обескремнивания производительность осветлителя принимают примерно в 1,5 раза больше расчетной.

При нормальной эксплуатации осветлитель может значительно повышать прозрачность воды, но при колебаниях температуры больше ± 1 °С и быстрых изменениях производительности установки качество осветления заметно ухудшается.

1.3.5 Эксплуатация установок для умягчения и обескремнивания воды методом осаждения

Задачей оптимальной эксплуатации водоподготовительных установок для умягчения и обескремнивания воды методом осаждения является-

ся получение прозрачной, умягченной и обескремненной воды, соответствующей по ее показателям установленным нормам, при максимальной проектной производительности установки, экономичном расходе реагентов и минимальных потерях воды на собственные нужды водоподготовительной установки. Количество добавляемых в воду реагентов должно строго соответствовать необходимой их дозе, а поступление реагентов должно быть бесперебойным. Важно также строгое поддержание температурного режима.

Кроме непрерывной продувки осветлителя, требуется выполнять редкие (с интервалами от 2 до 20 суток) периодические продувки осветлителя и шламоотделителя. Такая продувка осветлителя вызывается постепенным накоплением в конической части его крупных частиц шлама. Периодические продувки шламоотделителя производятся для удаления возможных отложений с дренажной решетки.

При нормальных условиях и правильном режиме эксплуатации осветлителя качество обработанной воды должно иметь следующие показатели: жесткость воды при температуре до 20 °С должна составлять не более 1,8 мг-экв/кг; прозрачность 150-250 см по «кресту»; умягченная вода должна иметь стабильные показатели.

2 Обработка природных вод и конденсатов методом ионного обмена

2.1 Физико-химические основы процесса

Обработка воды методом ионного обмена основана на способности некоторых практически нерастворимых в воде веществ, называемых ионообменными материалами или ионитами изменять в желаемом направлении ионный состав воды. Для этого обрабатываемая вода пропускается через фильтры, загруженные ионитами. Просачиваясь между зернами ионита, обрабатываемая вода обменивает часть ионов растворенных в ней электролитов на эквивалентное количество ионов ионита, в результате чего изменяется ионный состав как фильтруемой воды, так и самого ионита.

Если в результате обработки воды методом ионного обмена происходит обмен катионов, то такой процесс называется катионированием; если же при этом происходит обмен анионов, то такой процесс называется анионированием. Как катионирование, так и анионирование получили широкое применение для умягчения, обессоливания и обескремнивания добавочной питательной воды парогенераторов, загрязненных конденсатов и подпиточной воды тепловых сетей.

Обработка воды методом ионного обмена принципиально отличается от обработки воды методами осаждения тем, что удаляемые из нее примеси не образуют осадка, и тем, что такая обработка не требует непрерывного дозирования реагентов. В связи с этим эксплуатация водоподготовительных установок, работающих по методу ионного обмена, значительно проще, габариты аппаратов меньше, а эффект обработки выше, чем установок, работающих по методу осаждения.

Продолжительность рабочего цикла ионитных фильтров определяется обменной емкостью ионита, т.е. способностью его к ионному обмену. После использования до заданного предела обменной емкости ионита необходимо восстановление обменной способности ионита путем удаления задержанных им из обрабатываемой воды ионов и введения взамен их ионов, которые он отдавал воде в период рабочего цикла. Таким образом, восстановление истощенного ионита является процессом ионного обмена, проводимого в обратном порядке.

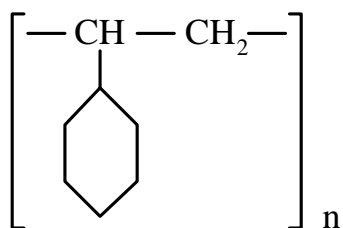
В качестве ионитов используются сульфоуголь и синтетические смолы, относящиеся к разряду пластических масс (полимеров). Отличительной особенностью синтетических смол являются размеры и структура их молекул, состоящих из тысяч, а иногда десятков тысяч прочно связанных атомов. Вещества, состоящие из таких молекул-гигантов, получили название высокомолекулярных веществ. Иониты, относящиеся к высокомолеку-

лярным веществам, характеризуются следующими специфическими свойствами: набухаемостью, нерастворимостью в воде и способностью к реакциям ионного обмена.

Промышленные ионообменные материалы, которые в настоящее время применяют при очистке воды, являются синтетическими продуктами. Исключительно широкое распространение получили органические иониты на основе искусственных смол, значительно меньше распространены органические иониты на основе углей и еще меньше – минеральные иониты.

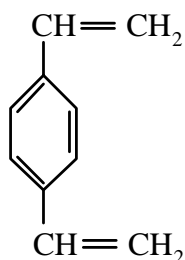
При существенных различиях в химическом составе и структуре для всех ионитов характерен один и тот же принцип построения: они имеют каркас, несущий избыточный заряд, и подвижные противоионы. У ионообменных смол каркас, называемый также углеводородной матрицей, состоит из высокополимерной пространственной сетки углеводородных цепей, в отдельных местах которой закреплены функционально-активные гидрофильные группы. Функционально-активная гидрофильная группа в свою очередь состоит из фиксированного иона и противоиона (ионообменного иона). Фиксированный ион жестко прикреплен к углеводородной матрице и не может выходить за ее пределы, а противоион может перемещаться как внутри углеводородной матрицы, так и выходить за ее пределы. Наличием противоиона и объясняется способность ионита к ионному обмену.

Углеводородная сетка, входящая в состав углеводородной матрицы, гидрофобна. Обычно углеводородная сетка создается на основе *полистирола*, имеющего структурную формулу:

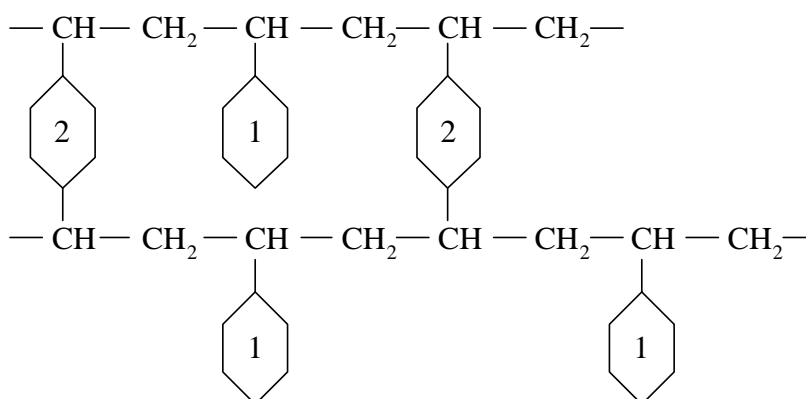


Между углеводородными цепями есть поперечные связи (“мостики”, “сшивка”), препятствующие разъединению цепей, но допускающие их деформацию. От числа поперечных связей зависят размеры ячеек между углеводородными цепями. Чем больше поперечных связей, тем меньше размер ячеек, и наоборот. Благодаря эластичности сетки зерна ионообменных смол могут набухать. При прочих равных условиях трехмерная сетка смол с меньшим числом поперечных связей деформируется сильнее, чем сетка смол с большим числом таких связей. Относительной характеристикой сетчатости смол служит процентное содержание агента, выполняющего в процессе синтеза роль мостикообразова-

теля. Для этой цели широко используется дивинилбензол (ДВБ), имеющий структурную формулу:

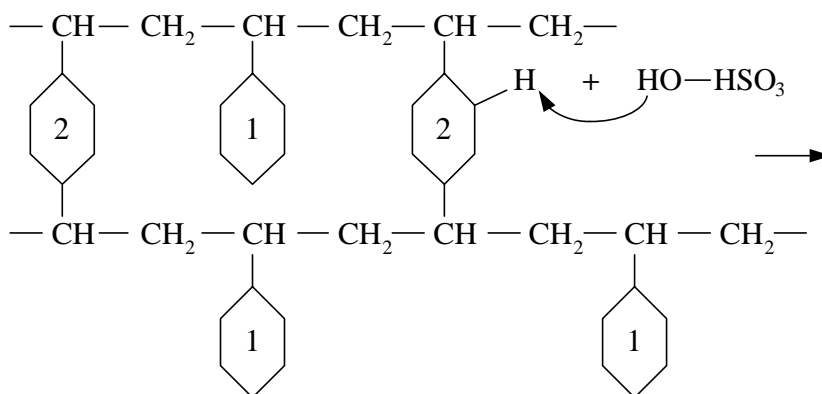


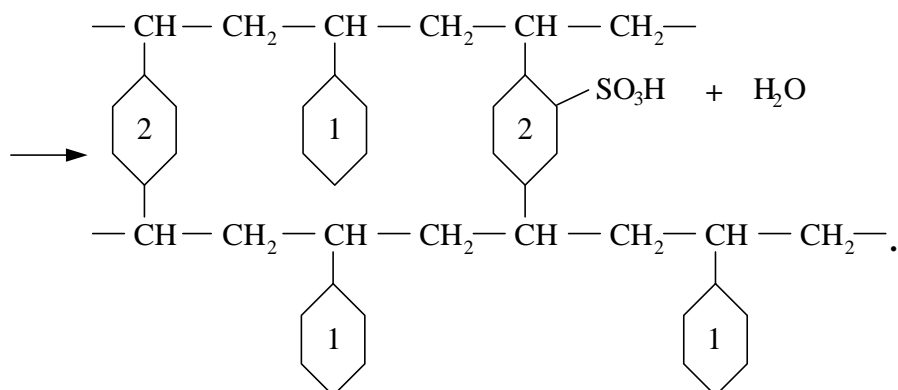
Ниже приведена структурная формула полистирольной смолы (1-остатки стирола; 2-остатки дивинилбензола):



Функционально-активные группы, придающие смоле такого типа ионообменные свойства, присоединяются к бензольным ядрам, замещая в них атомы водорода.

Схематично этот процесс можно выразить следующим образом:





От характера активных групп зависят знаки зарядов матрицы ионита и подвижных противоионов. Когда функциональные группы обладают кислыми свойствами, матрица при ионизации получает отрицательный заряд; подвижные противоионы заряжены положительно. При ионизации функциональных групп с основными свойствами матрица приобретает положительный заряд, а подвижные противоионы – отрицательный.

Диссоциация ионогенных групп протекает в присутствии растворителя. Если размеры ячеек каркаса больше размера молекул растворителя, они могут проникать в глубь зерна ионита и вызывать ионизацию функциональных групп, расположенных по всему объему зерна. Если размеры молекул растворителя превышают размеры ячеек каркаса, то процесс ионизации функциональных групп происходит только на поверхности зерна ионита. Размер ячеек пространственной сетки смол при большом числе поперечных связей (например, у стирольных смол при содержании ДВБ более 15%) составляет несколько ангстрем, при очень малом числе связей (у стирольных смол при содержании ДВБ менее 1%) размер ячеек составляет десятки ангстрем. Ячейки матриц органических ионитов легко проницаемы для молекул воды и ионов неорганических соединений.

При погружении в воду все иониты в большей или меньшей степени разбухают с одновременным увеличением их объема.

Отношение объемов одной и той же массы ионита в набухшем и воздушно-сухом состояниях называется коэффициентом набухания, который равен отношению насыпной плотности воздушно-сухого ионита к насыпной плотности набухшего ионита (без учета веса поглощенной воды), т. е. к массе 1 м³ набухшего ионита после высушивания его до воздушно-сухого состояния:

$$k = \frac{\rho_c}{\rho_n}, \quad (2.1)$$

где ρ_c и ρ_n – насыпные плотности ионита в воздушно-сухом и набухшем состояниях, т.е. выраженные в килограммах сухого ионита массы 1 м³ воздушно-сухого и набухшего ионитов, кг/м³.

Способность ионитов к ионному обмену объясняется их специфической структурой, состоящей из твердой нерастворимой в воде молекулярной сетки, к отдельным местам которой на поверхности и внутри ее массы присоединены химически активные функциональные группы атомов ионита. С электрохимической точки зрения каждая молекула является своеобразным твердым электролитом. В результате электролитической диссоциации ионита вокруг нерастворимого в воде ядра образуется ионная атмосфера, представляющая собой ограниченное вокруг молекулы ионита пространство, в котором находятся подвижные и способные к обмену ионы.

На **рис. 2.1** в упрощенном виде изображена схема структуры молекулы ионита. В зависимости от характера активных функциональных групп ионита его подвижные, способные к обмену ионы, могут иметь или положительные заряды (**рис. 2.1,а**), и тогда такой ионит называют катионитом, или отрицательные заряды (**рис. 2.1,б**), и тогда такой ионит называют анионитом.

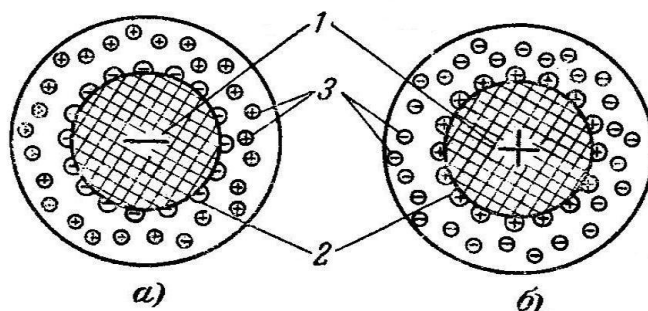


Рис.2.1. Схема структуры молекулы ионита:

1 – твердый многоатомный каркас ионита; 2 – связанные с каркасом неподвижные ионы активных групп; 3 – ограниченно подвижные ионы активных групп, способные к обмену

Схематически диссоциацию ионитов в воде можно представить в следующем виде:



где K^+R^- – катионит, в котором подвижным обменным катионом является K^+ , а неподвижным анионом – высокомолекулярная часть R^- ; R^+A^- – анионит, в котором подвижным обменным анионом является A^- , а неподвижным катионом – высокомолекулярная часть R^+ ; \parallel – услов-

ный знак, указывающий на способность твердого электролита к диссоциации в воде без видимого растворения самого электролита.

Характеристикой ионообменной способности ионита является величина его рабочей обменной емкости, которая характеризуется количеством ионов, поглощенных ионитом, при пропускании раствора солей или кислот определенной концентрации через лабораторный или промышленный фильтр, загруженный испытываемым ионитом, до начала «проскока» в фильтрат поглощаемых ионов. Рабочая обменная емкость ионита выражается в грамм-эквивалентах ионов, поглощенных 1 м³ набухшего ионита (г-экв/м³).

2.2 Характеристика и свойства ионитов

2.2.1 Катиониты и их свойства

Катиониты содержат следующие функциональные химически активные группы, водород которых способен замещаться другими катионами: сульфогруппу $-\text{SO}_3\text{H}$, одновалентную карбоксильную группу $-\text{COOH}$ и одновалентную фенольную группу $-\text{OH}$. Из них группа $-\text{SO}_3\text{H}$ обладает сильнокислотными, а группы $-\text{COOH}$ и $-\text{OH}$ – слабокислотными свойствами. В зависимости от химического состава катиониты делятся на сильнокислотные, содержащие активные сульфогруппы, и слабокислотные, содержащие в основном карбоксильные группы. Сильнокислотные катиониты способны к обмену катионов в щелочной, нейтральной и кислой средах, слабокислотные катиониты – только в щелочной среде.

Свойства применяемых в технике катионитов таковы, что в их состав могут быть введены разные обменные катионы, однако для практики водоподготовки важными являются только два катиона: натрий (Na^+) и водород (H^+). В зависимости от того, какой катион в данном катионите является обменным, различают натрий-катионит (Na -катионит, Na^+R^-) и водород-катионит (H -катионит, H^+R^-), где символом R^- обозначен нерастворимый в воде сложный радикал катионита, играющий условно роль одновалентного аниона. Процессы обработки воды перечисленными катионитами соответственно называются Na -катионированием и H -катионированием.

Показателями качества катионитов являются физические свойства, химическая и термическая стойкость, рабочая обменная емкость и др. Показателями физических свойств катионитов являются фракционный состав и механическая прочность катионита, а также рассмотренная выше насыпная плотность в воздушно-сухом и влажном состояниях, характеризующие набухаемость катионита.

Фракционный состав катионитов, определяемый обычным ситовым анализом, позволяет установить количественное соотношение отдельных зерновых фракций, средний размер зерен, степень однородности последних и количество пылевидных частиц, непригодных к использованию в фильтре. При прочих одинаковых условиях мелкозернистый катионит имеет более высокую емкость, чем крупнозернистый, так как он обладает относительно более развитой поверхностью, с которой соприкасается обрабатываемая вода. С другой стороны, чем мельче зерна катионита, тем больше его гидравлическое сопротивление и расход электроэнергии на фильтрование воды. Учитывая достигаемые при обычных скоростях фильтрования величины потерь напора в слое ионита и рабочие обменные емкости, оптимальные размеры зерен катионита принимают в пределах 0,3-1,5 мм.

Кроме размера зерна, имеет значение однородность зернового состава катионита, т. е. соотношение его мелких и крупных фракций. Для удобства эксплуатации катионитных установок рекомендуется применять катионит с коэффициентом неоднородности $k_n = d_{80}/d_{10}$ не выше 2, где d_{80} и d_{10} – размеры сит, через которые могло бы пройти 80 или 10 % общей навески.

Большое значение для эксплуатации имеют механическая прочность катионита, а также его химическая и термическая стойкость. Эти показатели необходимы для установления износа катионитов в процессе их эксплуатации и выбора марки катионита применительно к заданной температуре обрабатываемой воды и ее активной реакции. Невыполнение этих требований приводит к тому, что в процессе эксплуатации катионит частично измельчается при фильтровании, а также вследствие трения его зерен друг о друга при взрыхлении; кроме того, при высоких температурах обрабатываемой воды и повышенных значениях ее кислотности или щелочности он частично пептизирует, т.е. переходит из нерастворимого состояния в состояние коллоидного раствора. И то, и другое приводит к постепенному вымыванию образовавшейся пылевидной мелочи или коллоидных частиц в процессе взрыхления ионита и в конечном счете к безвозвратной потере некоторого количества его. При практическом использовании катионитов годовые потери за счет механического износа и пептизации составляют для сульфогля 5-7 %, а для смолы КУ-2 – 15-20 %.

Рабочая обменная емкость является основной технологической характеристикой ионита, так как от нее зависит объем ионита, необходимый для загрузки фильтров при заданных условиях их эксплуатации. В отличие от рабочей обменной емкости полная обменная емкость ионита характеризуется количеством ионов, которое может быть поглощено

ионитом при полной замене всех обменных ионов. Определение ее основано на полной нейтрализации кислотного катионита раствором NaOH, а щелочного анионита – раствором HCl. Величина полной обменной емкости данного ионита постоянна и выражается, как и рабочая обменная емкость, в грамм-эквивалентах ионов, поглощенных 1 м³ набухшего ионита.

Рабочая обменная емкость катионита зависит от вида улавливаемых из воды катионов, соотношения солевых компонентов в обрабатываемой воде, значения pH воды, высоты слоя катионита, скорости фильтрования, режима эксплуатации катионитных фильтров и удельного расхода регенерирующего реагента.

В табл. 2.1 и приведены основные показатели качества катионитов.

Таблица 2.1. Показатели качества катионитов

| Наименование марки катионита | Страна-изготовитель | Функциональная группа | Диаметр зерна, мм |
|------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|
| Сульфоуголь СМ-1 | Россия | SO ₃ H, OH, COOH | 0,30-0,80 |
| Сульфоуголь СК-1 | Россия | То же | 0,50-1,10 |
| Катионит КУ-1 | Россия | SO ₃ H | 0,30-1,50 |
| Катионит КУ-2 | Россия | То же | 0,30-1,00 |
| Вофатит Р | Германия | SO ₃ H, OH | 0,30-0,75 |
| Вофатит С | Германия | То же | 0,30-1,50 |
| Амберлайт IR-100 | США | То же | 0,30-1,00 |
| Цеокарб | США | То же | 0,30-1,50 |

В табл. 2.2 показаны физико-химические характеристики катионитов, которые применяются в катионитных фильтрах.

Таблица 2.2. Физико-химические характеристики катионитов

| Наименование марки катионита | Насыпная плотность, т/м ³ | | Коэффициент набухания | Обменная емкость, г-экв/м ³ | | Допустимая температура, °С |
|------------------------------|--------------------------------------|----------|-----------------------|--|-----------------------|----------------------------|
| | воздушно-сухого | влажного | | при Н-катионировании | при Na-катионировании | |
| Сульфоуголь СМ-1 | 0,65 | 0,55 | 1,20 | 250 | 400 | 60 |
| Сульфоуголь СК-1 | 0,65 | 0,55 | 1,20 | 200 | 350 | 60 |
| Катионит КУ-1 | 0,63 | 0,45 | 1,40 | 300 | 300 | – |
| Катионит КУ-2 | 0,71 | 0,50 | 1,42 | 800 | 800 | 120 |
| Вофатит Р | 0,62 | 0,50 | 1,24 | 300 | 300 | 100 |
| Вофатит С | 0,73 | 0,55 | 1,33 | 150 | 400 | 100 |
| Амберлайт IR-100 | 0,64 | 0,44 | 1,45 | – | 300 | 120 |
| Цеокарб | 0,56 | 0,53 | 1,06 | – | 300 | 100 |

При больших скоростях фильтрования рабочая обменная емкость катионита снижается вследствие уменьшения продолжительности контакта между водой и катионитом. Однако в катионитных фильтрах первой ступени, где скорость фильтрования обычно не превышает 15-20

м/ч, а высота загрузки 2,0-2,8 м, влияние скорости на рабочую обменную емкость незначительно. В катионитных фильтрах второй ступени скорость фильтрования достигает 30-50 м/ч при высоте слоя катионита 1,5 м; поэтому для них фактор влияния скорости является ощутимым и должен учитываться при расчете этих фильтров.

Из перечисленных в табл. 2.1 и 2.2 катионитов наиболее широко применяются сульфуголь, получаемый путем обработки коксующегося каменного угля дымящей серной кислотой, а также катионит марки КУ-2, являющийся синтетической смолой и обладающий более высокой обменной емкостью, чем сульфуголь, более высокой химической стойкостью к кислотам, щелочам, органическим растворителям и некоторым окислителям даже при температуре до 120 °С.

2.2.2 Аниониты и их свойства

Аниониты содержат химически активные функциональные аминогруппы, образованные из аминов.

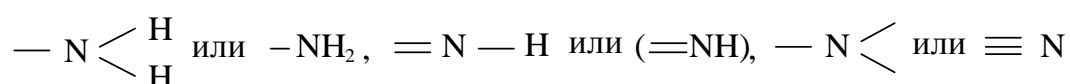
Амины можно рассматривать как соединения, образующиеся в результате замещения водородных атомов в аммиаке алкильными группами (R). В зависимости от того, сколько атомов водорода замещено радикалами, различают амины первичные RNH_2 , вторичные R_2NH и третичные R_3N .

Таким образом, здесь понятия первичный, вторичный и третичный связаны не с характером углеродного атома, а со степенью замещения водородов в атоме азота аммиака.

Первичная, вторичная и третичная аминогруппы образуются из первичного, вторичного и третичного аминов удалением входящих в амины алкильных групп (R).

первичная аминогруппа:

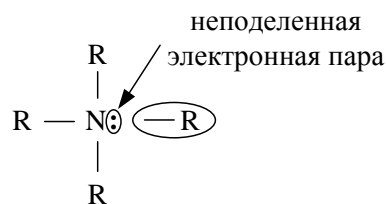
вторичная аминогруппа:



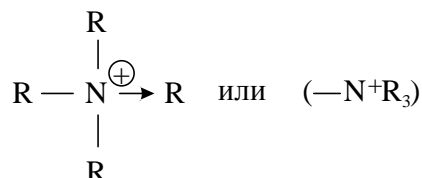
третичная аминогруппа:

Аниониты также содержат четвертичную аминогруппу ($-N^+R_4$). Эта группа образуется из третичного амина R_3N за счет присоединения к нему четвертого алкильного радикала (R).

Такое взаимодействие происходит за счет того, что атом азота в третичном амине имеет неподеленную пару электронов (избыток электронной плотности), за счет которой и происходит присоединение четвертого алкильного радикала (R):



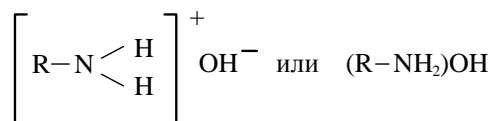
В результате этого процесса у атома азота возникает положительный заряд (+) и образуется четвертичная аминогруппа:



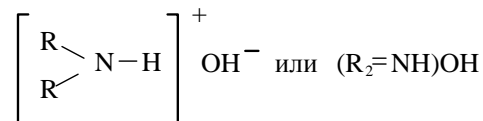
Первичные, вторичные и третичные аминогруппы обладают слабоосновными, а четверичные аминогруппы – сильноосновными свойствами.

Введение перечисленных активных групп в синтетические смолы придает им характер первичного, вторичного, третичного и четвертичного аммониевых оснований (АО).

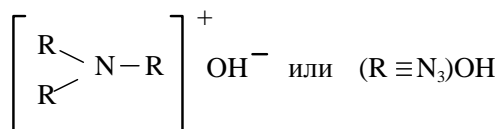
Первичное аммониевое основание



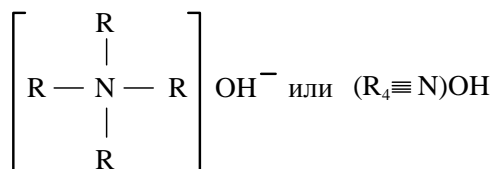
Вторичное аммониевое основание



Третичное аммониевое основание



Четвертичное аммониевое основание



В зависимости от химического состава аниониты делятся на: а) слабоосновные, содержащие вторичные и третичные аминогруппы; б) сильноосновные, содержащие четверичные аминогруппы. Слабоосновные аниониты способны к обмену анионов только в кислой среде, сильноосновные аниониты – в кислой, нейтральной и щелочной средах.

В состав анионитов могут быть введены различные обменные анионы. В практике водоподготовки на электростанциях такими обменными анионами являются OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- . В зависимости от того, какой анион в данном анионите является обменным, различают следующие виды анионитов: R^+OH^- , $\text{R}_2^+\text{CO}_3^{2-}$, R^+HCO_3^- , где символом R^+ обозначен нерастворимый в воде сложный радикал, включающий функциональную группу, и играющий условно роль одновалентного катиона. При погружении анионита в воду происходит диссоциация его с обра-

зованием вокруг нерастворимого в воде ядра ионной атмосферы, состоящей из подвижных анионов OH^- , CO_3^{2-} или HCO_3^- , способных обмениваться на другие анионы (см. **рис. 2.1,б**).

В **табл. 2.3** приведены основные показатели качества отечественных и некоторых зарубежных анионитов, применяемых в анионитных фильтрах обессоливающих установок на электростанциях.

Качество анионитов определяется теми же показателями, что и катионитов. Из них основным показателем является рабочая обменная емкость. В противоположность катионитам, рабочая обменная емкость которых повышается с увеличением рН фильтруемой воды, рабочая обменная емкость анионитов тем больше, чем ниже величина рН, т.е. чем выше кислотность фильтруемой воды.

Так как сильноосновные аниониты в схемах полного химического обессоливания предназначены для обескремнивания, их обменная способность характеризуется рабочей кремнеемкостью, выраженной количеством грамм-эквивалентов HSiO_3^- , которое может извлечь из воды 1 м³ набухшего анионита в результате обменной реакции.

Рабочая кремнеемкость сильноосновных анионитов зависит от:

- величины рН воды, поступающей на анионитный фильтр,
- концентрации кремниевой кислоты в этой воде,
- удельного расхода щелочи на регенерацию,
- концентрации регенерирующего раствора,
- момента отключения фильтра на регенерацию,
- скорости фильтрования воды,
- природы обменного иона (OH^- , HCO_3^- , CO_3^-),
- температуры исходной воды и других факторов.

Из слабоосновных анионитов, выпускаемых промышленностью, наиболее пригоден для обессоливания воды анионит марки АН-18. Из сильноосновных анионитов наибольшее распространение получил анионит марки АВ-17. От слабоосновных анионитов он отличается тем, что содержит исключительно сильно диссоциированные активные аминогруппы четвертичного аммониевого основания (R_4N). Анионит АВ-17 хорошо сорбирует слабые кислоты, в том числе, кремниевую. Анионит АВ-17 механически прочен и химически стоек к кислотам и щелочам. Он применяется в основном для удаления из воды кремниевой кислоты в схемах полного химического обессоливания.

При проектировании водоподготовительных установок выбор расчетной обменной емкости проводят по соответствующим графикам, учитывающим влияние различных факторов на величину обменной емкости.

Таблица 2.3. Показатели качества анионитов

| Наименование марки анионита | Страна-изготовитель | Функциональная группа | Диаметр зерна, мм | Насыпная плотность, т/м ³ | | Коэффициент набухания | Обменная емкость, г-экв/м ³ | | | Допустимая температура, °С |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------------------------|----------|-----------------------|--|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| | | | | сухого | влажного | | по Cl ⁻ | по SO ₄ ²⁻ | по SiO ₃ ²⁻ ** | |
| АН-2Ф | Россия | ≡N, =NH | 0,3-1,50 | 0,60 | 0,35 | 1,72 | 450 | 675 | – | 40 |
| АН-18*** | Россия | ≡N | 0,3-1,60 | 0,68 | 0,49 | 1,39 | 880 | 1045 | – | 40 |
| Амберлайт IR-4B | США | – | 0,3-0,85 | 0,57 | 0,40 | 1,42 | 1140 | 1780 | – | 40 |
| Вофатит М | Германия | – | 0,3-2,00 | 0,66 | 0,46 | 1,43 | 340 | 480 | – | – |
| ЭДЭ-10П | Россия | ≡N, =NH | 0,4-1,60 | 0,60 | 0,45 | 1,71 | 800 | 1200 | 30 | 40 |
| АВ-17 | Россия | –N ⁺ R ₃ | 0,2-0,85 | 0,74 | 0,39 | 1,90 | – | – | 420 | 60 |
| Амберлайт IRA-400 | США | –N ⁺ R ₃ | 0,3-0,85 | 0,71 | 0,45 | 1,58 | 800 | – | 400 | 50 |
| Амберлайт IRA-410 | США | –N ⁺ R ₃ | 0,3-0,85 | 0,75 | 0,46 | 1,63 | 1050 | – | 300 | 50 |

* При концентрации кислоты в исходном растворе 1,78 мг-экв/кг.

** До проскока 0,1 мг/кг SiO₃²⁻.

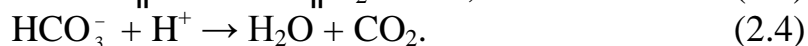
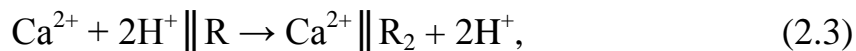
*** При концентрации кислоты в исходном растворе 1,0 мг-экв/кг.

2.3 Физико-химические основы процесса ионного обмена

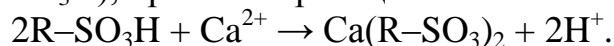
2.3.1 Водород-катионирование

Обработка воды путем водород-катионирования состоит в фильтровании ее через слой катионита, содержащего в качестве обменных ионов катионы водорода.

При Н-катионировании обрабатываемой воды протекают следующие реакции:



При использовании сильнокислотных катионитов, содержащих сульфогруппу ($-\text{SO}_3\text{H}$), протекает реакция:



При использовании слабокислотных катионитов, содержащих карбоксильную ($-\text{COOH}$) или фосфониевую группы ($-\text{PO}_3^{2-}$), протекают реакции:



В результате приведенных реакций общая жесткость Н-катионированной воды снижается до 10 мкг-экв/кг и ниже, а карбонатная жесткость полностью удаляется, вследствие чего происходит снижение солесодержания и устранение щелочности воды. Так как в процессе Н-катионирования все катионы в воде заменяются катионами водорода, то присутствующие в растворе сульфаты, хлориды и нитраты кальция, натрия и других катионов преобразуются в свободные минеральные кислоты (серную, соляную, азотную, кремниевую).

Общая кислотность Н-катионированной воды при этом равна сумме содержащихся в воде анионов минеральных кислот SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- и др. и для вод, не содержащих катионы Na^+ , может быть принята равной некарбонатной жесткости воды. Ввиду того, что катионированная вода является кислой, непригодной для питания парогенераторов, Н-катионирование всегда сочетают с Na-катионированием или анионированием, что дает возможность нейтрализовать кислотность и снизить щелочность обработанной воды.

На **рис. 2.2** изображен процесс Н-катионирования раствора, содержащего катионы кальция и натрия (при одноименном анионе с целью исключения влияния его на реакцию катионного обмена). Процесс Н-катионирования в данном случае можно разделить условно на четыре стадии:

1) полное поглощение обеих катионов из фильтруемого раствора (А-Г);

2) проскок в фильтрат катиона натрия и нарастание его концентрации в фильтрате до концентрации в исходном растворе (Г-Ж);

3) вытеснение катионом кальция поглощенного ранее катиона натрия в фильтрат (Ж-М-Н);

4) проскок в фильтрат катиона кальция с увеличением его концентрации в фильтрате до концентрации в исходном растворе (И-Р).

Рабочая обменная емкость Н-катионитов зависит также от схемы подготовки воды, что можно установить из дальнейшего рассмотрения **рис. 2.2**. При глубоком и полном химическом обессоливании, когда требуется отключение Н-катионитного фильтра на регенерацию в момент проскока катиона натрия, рабочая обменная емкость Н-катионита будет определяться суммой площадей АБВГ и АДЕГ. Первая из них эквивалентна количеству катионов натрия, поглощенных Н-катионитом к моменту проскока их в фильтрат, а вторая – количеству катионов кальция, поглощенных Н-катионитом к этому же моменту. Если отключение Н-катионитного фильтра на регенерацию производится в момент, когда содержание катионов натрия в фильтрате равно их концентрации в исходной воде (один из случаев частичного обессоливания), рабочая обменная емкость Н-катионита эквивалентна сумме площадей ЛБЖГ и АДЗЛ. При умягчении воды путем комбинированного Н- и Na-катионирования, позволяющего отключать Н-катионитные фильтры на регенерацию в момент проскока солей жесткости, в частности катиона Ca^{2+} , рабочая обменная емкость Н-катионита определяется площадью АДКИ.

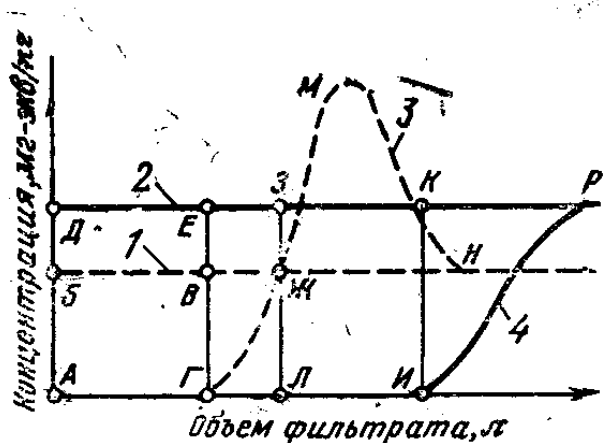


Рис. 2.2 Процесс Н-катионирования раствора, содержащего катионы кальция и натрия:

- 1 – концентрация катионов натрия в исходном растворе; 2 – концентрация катионов кальция в исходном растворе; 3 – концентрация катионов натрия в фильтрате; 4 – концентрация катионов кальция в фильтрате

На рабочую обменную емкость катионита оказывают влияние также анионный состав воды и величина его общего солесодержания. Влияние этих факторов проявляется в различной степени для одного и того же катионита при H- и Na-катионировании, а также для различных катионитов. Если при Na-катионировании анионный состав не оказывает существенного влияния на рабочую обменную емкость сульфогля, то при H-катионировании он приобретает решающее значение. На **рис. 2.3** показана зависимость величины рабочей обменной емкости сульфогля и катионитов КУ-1 и КУ-2 при применении их в форме H-катионитов от общего солесодержания исходной воды и отношения концентрации гидрокарбонат иона к общей сумме анионов, т. е. от отношения $\frac{C_{HCO_3^-}}{A}$, в котором:

$$A = C_{HCO_3^-} + C_{SO_4^{2-}} + C_{Cl^-} + C_{NO_3^-}.$$

Как видно из **рис. 2.3**, при повышении солесодержания исходной воды с 1 до 15 мг-экв/кг рабочая обменная емкость катионита КУ-2 снижается примерно на 14 %, а катионита КУ-1 примерно на 27 %.

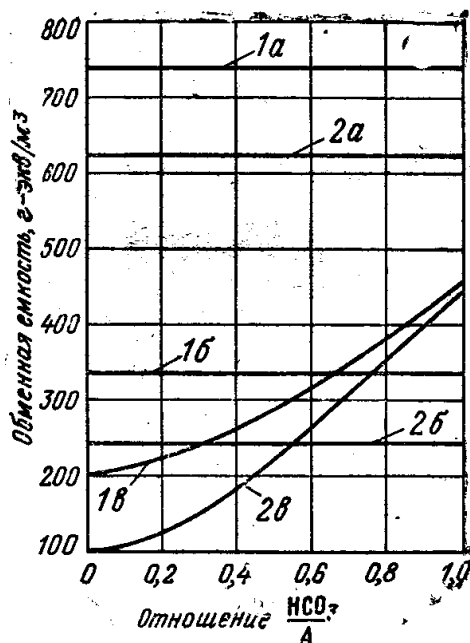


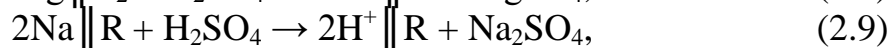
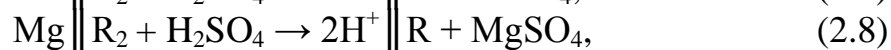
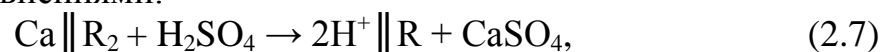
Рис. 2.3. Влияние величины солесодержания и анионного состава исходной воды на рабочую обменную емкость (при удельном расходе серной кислоты на регенерацию 2,5-3,0 г-экв/г-экв):

а – катионит КУ-2, б – катионит КУ-1; в – сульфоголь; 1 – общее солесодержание исходной воды 1 мг-экв/кг; 2 – то же 15 мг-экв/кг

Величина отношения $\frac{C_{HCO_3^-}}{A}$ не оказывает заметного влияния на рабочую обменную емкость катионитов КУ-1 и КУ-2, но в сильной степени влияет на рабочую обменную емкость сульфогля. При отсутствии в исходной воде гидрокарбонат ионов, т.е. при $\frac{C_{HCO_3^-}}{A} = 0$, рабочая обменная емкость сульфогля (до момента проскока натрия в фильтрат) невелика, причем при солесодержании исходной воды 1 мг-экв/кг она вдвое больше, чем при солесодержании 15 мг-экв/кг. Когда же в воде содержатся только гидрокарбонат ионы, т. е. при $\frac{C_{HCO_3^-}}{A} = 1$, рабочая обменная емкость сульфогля возрастает более чем в 2 раза, причем величина солесодержания воды почти перестает влиять на рабочую обменную емкость сульфогля.

Регенерация истощенного Н-катионита обычно осуществляется фильтрованием через его слой 1,0-1,5 %-ного раствора серной кислоты. При большей концентрации серной кислоты появляется опасность образования зерен Н-катионита отложениями сульфата кальция из-за сравнительно малой его растворимости (загипсовывание), следствием этого является безвозвратная потеря катионитом ионообменной способности.

Протекающие в процессе регенерации реакции можно выразить следующими уравнениями:



Для обеспечения большей полноты регенерации Н-катионита применяется расход серной кислоты в количестве, превышающем в 1,25-1,5 раза стехиометрический. При этом обеспечивается вполне удовлетворительная регенерация катионита.

При умягчении воды Н-катионитные фильтры выключаются на регенерацию при появлении проскока катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , т.е. при повышении жесткости фильтрата, а при химическом обессоливании – при появлении проскока катионов Na^+ , т.е. при снижении кислотности фильтрата.

Иногда применяется “голодная” регенерация Н-катионитных фильтров. В этом случае при катионировании происходит не глубокое умягчение исходной воды, а разрушение ее карбонатной щелочности без образования кислого фильтрата. Это достигается тем, что фильтры регенерируются таким количеством кислоты, которого недостаточно

для вытеснения всех катионов, ранее поглощенных из воды. Это приводит к расположению в верхних частях фильтрующего слоя катионита с обменным катионом водорода, а в нижних – с обменными катионами кальция и магния. Прошедшая через такой фильтр вода не содержит сильных кислот и имеет незначительную щелочность (порядка 0,6-0,8 мг-экв/кг). Последующим фильтрованием Н-катионированной воды после удаления из нее свободной углекислоты через две ступени Na-катионитных фильтров достигается необходимая глубина ее умягчения (не более 5 мг-экв/кг).

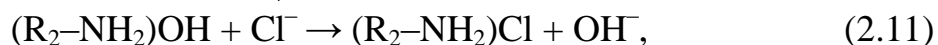
Для более полного вытеснения поглощенных катионитом ионов рекомендуется производить ступенчатую регенерацию Н-катионита: сначала 1 %-ным раствором серной кислоты, а затем, когда основная масса катионов кальция и магния уже вытеснена и опасности “гипсования” уже нет, более крепким (5-6 %) раствором кислоты.

Обычно для регенерации истощенного Н-катионита применяется серная кислота, так как она дешевле и удобнее при перевозке, хранении и применении, чем соляная, хотя соляная кислота также пригодна для регенерации Н-катионита, например, при высоком содержании Na в исходной воде. Концентрация раствора HCl для регенерации обычно составляет 5-6 % в связи с тем, что она не дает при регенерации соединений, малорастворимых в воде.

2.3.2 Анионирование

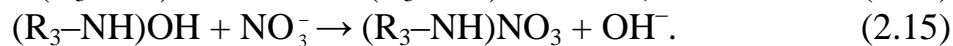
Анионирование воды производится с целью обмена содержащихся в ней анионов на обменные ионы анионита. На слабоосновные анионитные фильтры вода поступает после Н-катионитных фильтров, поэтому кислотность воды перед анионированием равна сумме концентраций анионов сильных кислот SO_4^{2-} , Cl^- и NO_3^- (мг-экв/кг) в воде, поступающей на обессоливание. Анионирование Н-катионированной воды применяется в схемах химического обессоливания воды. В этом случае в качестве обменных ионов используются такие, которые с катионом водорода образуют воду или свободную углекислоту, удаляемую из воды путем декарбонизации или термической деаэрации. К таким обменным анионам относятся OH^- , CO_3^{2-} и HCO_3^- .

Слабоосновные аниониты при анионировании способны обменивать свои активные обменные анионы только на анионы сильных кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), для удаления которых из воды они и применяются. Например, при использовании слабоосновного анионита, содержащего вторичную аминогруппу (=NH), протекают реакции:





При применении слабоосновного анионита, содержащего третичную аминогруппу ($\equiv N$), протекают реакции:



В результате проведенных реакций анионирования Н-катионированной воды общее солесодержание ее снижается до 50-100 мкг/кг.

Слабоосновные аниониты характеризуются неодинаковой способностью к поглощению различных анионов; для большинства из них справедливым является следующий ряд: $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$, в котором каждый предыдущий анион поглощается более активно и в большем количестве, чем последующий. Так, например, рабочая обменная емкость по SO_4^{2-} иону на 40-50 % больше, чем по Cl^- иону. Это значит, что Cl^- ион проскакивает в фильтрат раньше, чем SO_4^{2-} ион. Поэтому в схемах полного химического обессоливания анионитные фильтры первой ступени (слабоосновные) приходится выключать на регенерацию по проскоку в фильтрат Cl^- иона. При частичном же обессоливании воды, когда в ней допускается относительно высокое остаточное солесодержание, рабочую обменную емкость слабоосновного анионита можно существенно увеличить, выключая анионитный фильтр на регенерацию в момент проскока в фильтрат SO_4^{2-} ионов, если содержание Cl^- ионов в частично обессоленной воде не превышает допустимого.

Анионы слабых кислот ($HSiO_3^-$, HCO_3^- , SiO_3^{2-} , CO_3^{2-}) не вступают в обменные реакции со слабоосновными анионитами. Сильноосновные аниониты, содержащие четвертичную аминогруппу ($-N^+R_3$), способны извлекать из воды все содержащиеся в ней анионы как сильных, так и слабых кислот. Однако сильноосновные аниониты значительно дороже слабоосновных; поэтому они применяются главным образом для поглощения анионов кремниевой кислоты в установках для полного химического обессоливания и обескремнивания воды:



Кремнесодержание воды, пропущенной через сильноосновный анионитный фильтр, в пересчете на SiO_3^{2-} снижается до 20 мкг/кг и ниже в зависимости от режима работы фильтра.

Глубокое обескремнивание и высокая кремнеемкость анионитов достигаются лишь при определенных значениях pH фильтруемой воды. Лучшие результаты получаются в том случае, когда в исходной воде находится сама кремниевая кислота, а не ее соли. В результате обмена активного аниона с анионом кремниевой кислоты происходит полное обескремнивание воды:



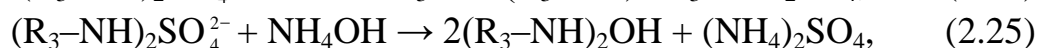
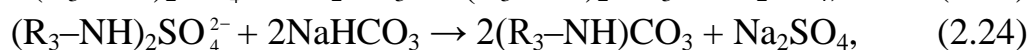
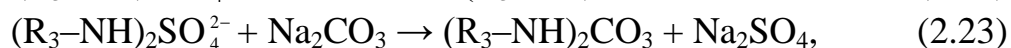
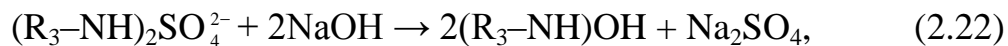
Пропускание раствора соли кремниевой кислоты сопровождается появлением в фильтруемой воде гидроксид иона (противоиона), тормозящего процесс поглощения иона кремниевой кислоты:



Образование гидроксид противоиона сказывается как на остаточной концентрации кремниевой кислоты в фильтрате, так и на величине кремнеемкости анионита. Например, при фильтровании воды, содержащей 10 мг/кг SiO_3^{2-} в виде H_2SiO_3 , кремнеемкость анионита в 2,5 раза больше, чем при фильтровании раствора Na_2SiO_3 с таким же содержанием SiO_3^{2-} . Поэтому для глубокого обескремнивания воды важно наиболее полное удаление из нее всех катионов, в том числе и катиона натрия, до поступления ее на сильноосновные анионитные фильтры.

Рабочая кремнеемкость в значительной степени зависит также от концентрации кремниевой кислоты в исходной воде и концентрации HSiO_3^- в фильтрате в момент отключения фильтра на регенерацию, а именно; она тем выше, чем выше концентрация кремниевой кислоты в исходной воде перед сильноосновным анионитным фильтром и допускаемый проскок кремниевой кислоты в фильтрат.

После замены обменных анионов анионами растворенных в воде электролитов анионит истощается и теряет способность обменивать ионы. Регенерация анионита достигается фильтрованием через слой истощенного анионита растворов NaOH , Na_2CO_3 , NaHCO_3 или NH_4OH , например:



Расход щелочи для регенерации слабоосновных анионитов достаточен в двукратном количестве против стехиометрического, т.е. 2 г-экв/г-экв. При повторном использовании щелочных отмывочных вод для регенерации анионита расход реагента можно снизить на 15-30 %. Необходимая концентрация регенерационного раствора составляет 2-4

%. Отмывку анионитов и приготовление регенерационного раствора следует производить на Н-катионированной воде.

Сильноосновные аниониты регенерируются 4 %-ным раствором едкого натра. Использование для этой цели гидрокарбоната натрия или соды невозможно вследствие недостаточно глубокой регенерации ими анионита и увеличения концентрации противоиона (HCO_3^- , CO_3^{2-}) в процессе анионирования воды.

Эффект глубокого обескремнивания достигается лишь при больших расходах едкого натра на регенерацию анионита. Для большинства сильноосновных анионитов удельный расход едкого натра на регенерацию превосходит стехиометрический в несколько раз. Например, для анионита АВ-17 он составляет 500 г/г-экв или 12,5 г-экв/г-экв, а для анионита ЭДЭ-10П 760 г/г-экв или 19 г-экв/г-экв. Путем повторного использования регенерационных и отмывочных вод после регенерации сильноосновного анионита для регенерации слабоосновного анионита общий удельный расход щелочи на регенерацию анионитов может быть снижен до 70-80 г/г-экв всех поглощенных анионов.

На глубину обескремнивания воды и на кремнеемкость анионитов оказывают также влияние следующие факторы: концентрация регенерационного раствора, начальная концентрация HSiO_3^- в Н-катионированной воде, скорость фильтрования воды, содержание других анионов и свободной CO_2 , а также солей в Н-катионированной воде.

Некоторые аниониты с течением времени “стареют” вследствие окисления их растворенным в воде кислородом и загрязнения органическими веществами. В стареющих анионитах изменяются их технологические качества и снижается рабочая обменная емкость.

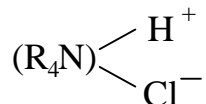
Как правило, анионит должен поглощать из воды только анионы кислот, не вступая при этом в ионный обмен с катионами. Если же в анионите в результате окисления появляются активные группы, способные к катионному обмену, анионит приобретает способность поглощать из воды не только анионы кислот, но и катионы водорода, т. е. становится амфотерным. В этом случае вместо обычной реакции, например, с соляной кислотой



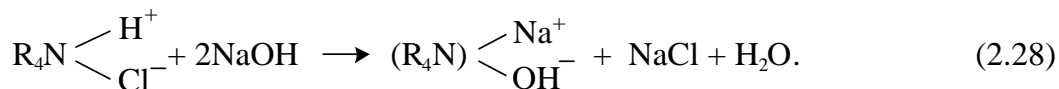
протекает следующая реакция:



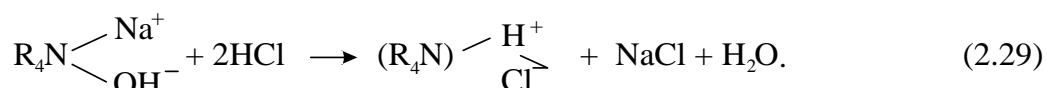
где символом



обозначен стареющий истощенный анионит. При регенерации его гидроксидом натрия происходит обмен ионов по уравнению:



При последующем фильтровании через анионит H-катионированной воды происходит обогащение фильтрата солями:



Для того чтобы предотвратить загрязнение анионитов органическими веществами, необходимо тщательно очищать от них воду перед подачей ее на анионитные фильтры. Кроме коагуляции, это достигается дополнительным фильтрованием обессоливаемой воды через активированный уголь. Недостаток активированного угля как сорбента органических веществ состоит в малой емкости его по органическим веществам и сложности регенерации.

Разработаны материалы для производства стойких против окисления нестареющих макросетчатых анионитов, обладающих способностью поглощать органические вещества, не снижая при этом заметно ионообменной способности. Удаление сорбированных органических веществ из высокопористых анионитов достигается периодической промывкой их горячим раствором поваренной соли или другими реагентами.

2.4 Оборудование ионообменных водоподготовительных установок

2.4.1 Конструкции ионитных фильтров

Основными элементами ионообменных водоподготовительных установок являются ионитные фильтры, аналогичные по устройству осветлительным фильтрам.

Ионитные фильтры по принципу действия подразделяются на четыре типа:

- а) катионитные;
- б) анионитные;
- в) смешанного;
- г) непрерывного действия.

Фильтры смешанного действия подразделяются в свою очередь на насыпные с внутренней и с внешней регенерацией и намывные. По способу выполнения технологических операций ионитные фильтры делятся на:

а) параллельноточные, в которых обрабатываемая вода и регенерационный раствор пропускаются через фильтр в одном направлении;

б) противоточные, в которых вода и регенерационный раствор пропускаются через фильтр в противоположных направлениях.

Кроме того, различают фильтры первой, второй и третьей ступени. По конструктивному оформлению различают одноэтажные и двухэтажные ионитные фильтры. В двухэтажных в одном корпусе объединяются два фильтра, имеющие раздельное управление. Кроме вертикальных ионитных фильтров, иногда применяются горизонтальные ионитные фильтры.

На **рис. 2.4 а и б** показаны типовые конструкции одноэтажных Н-катионитных фильтров I, II и III ступеней. Н-катионитный фильтр представляет собой цилиндрический корпус со сферическими днищами, рассчитанный на рабочее давление 6 атм и пробное давление 9 атм. Внутри фильтра на нижнем днище из кислотостойкого бетона расположено щелевое дренажное устройство, служащее для равномерного отвода воды по всему сечению фильтра. Дренажное устройство выполнено из нержавеющей стали в виде трубок, отходящих от центрального сборного коллектора. Отверстия в трубках сверху прикрыты полукожухами. Трубки на половину своего диаметра залиты бетоном. Вверху фильтра расположено тарельчатое распределительное устройство, выполненное из нержавеющей стали. Внутренняя поверхность фильтра имеет кислотостойкое покрытие.

Все трубопроводы, работающие в условиях кислой среды, выполнены из нержавеющей стали или представляют собой кислотостойкие винипластовые трубы либо стальные гуммированные или покрытые изнутри кислотостойкими лаками трубы.

Кислотоупорные мембранные вентили также покрываются перхлорвиниловым лаком или гуммируются резиной, а вся мелкая арматура выполняется из нержавеющей стали.

Фильтр имеет верхний и нижний люки для установки и монтажа внутренних устройств, ремонта и ревизии состояния фильтра в условиях эксплуатации, а также воздушник для удаления воздуха и снятия давления с фильтра.

Фильтр загружен катионитом, высота слоя которого составляет в фильтрах I ступени 2-2,5 м, в фильтрах II и III ступеней 1,5 м.

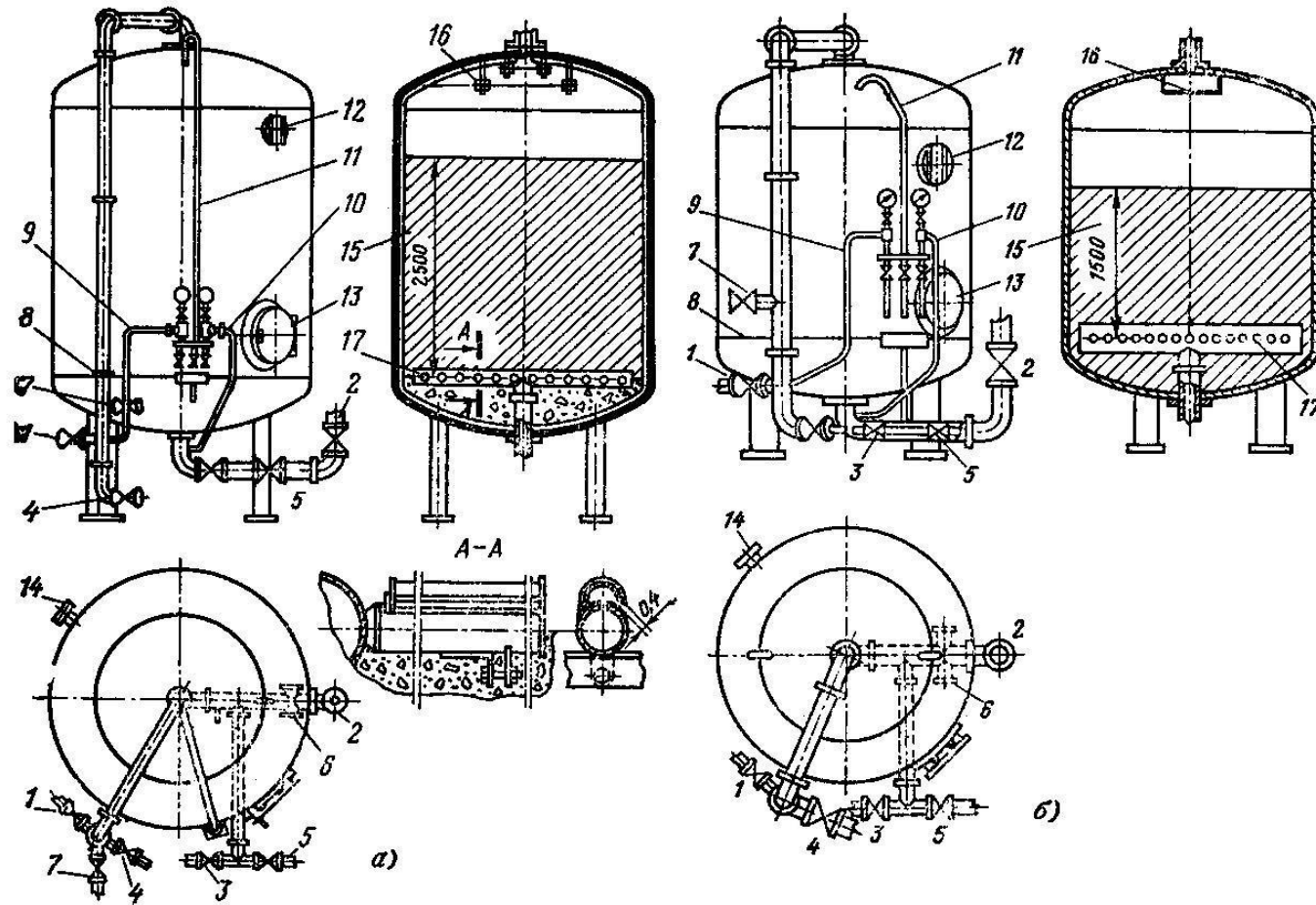


Рис. 2.4. H-катионитные фильтры

а – H-катионитный фильтр I ступени; *б* – H-катионитный фильтр II и III ступеней; 1 – подвод обрабатываемой воды; 2 – выход обработанной воды; 3 – подвод взрыхляющей воды; 4 – спуск взрыхляющей воды; 5 – спуск первых порций фильтрата; 6 – подвод регенерационного раствора при последовательной регенерации; 7 – подвод регенерационного раствора при обычной регенерации; 8 – расходомерная шайба; 9, 10 – линии к манометрам на входе и выходе воды; 11 – воздушник; 12, 13 – верхний и нижний люки; 14 – люк для гидрорегрузки; 15 – катионит; 16 – верхнее распределительное устройство; 17 – дренажное устройство

Размер рабочих зерен катионита составляет для фильтров I ступени 0,5-1,2 мм и для фильтров II и III ступеней 1-1,5 мм.

Со стороны фронта фильтра имеются трубопроводы для подвода и отвода обрабатываемой воды, подвода и спуска промывочной воды, спуска первых порций фильтрата и подвода регенерационного раствора. Фильтр снабжен контрольно-измерительными приборами: расходомером со счетчиком на трубопроводе подачи воды в фильтр и двумя манометрами на входе и выходе воды из фильтра.

Конструкции одноэтажных натрий-катионитных и анионитных фильтров аналогичны рассмотренным.

Двухэтажный катионитный фильтр является одним из возможных вариантов вертикального катионитного фильтра большой производительности.

Он представляет собой два фильтра диаметром 3,4 м, объединенных в одном корпусе с внутренним сферическим днищем, разделяющим оба фильтра. Ввиду ограничения габаритов высота слоя катионита в каждой части фильтра уменьшается до 2 м. Применение двухэтажных катионитных фильтров позволяет снизить расход металла на изготовление оборудования водоподготовительных установок и получить экономию в объеме помещения для размещения фильтров.

Противоточный катионитный фильтр, изображенный на **рис. 2.5** отличается от параллельноточного тем, что он оборудован двумя дренажными системами: верхней и нижней. Верхняя дренажная система располагается в слое ионита на глубине 150-300 мм.

Такое заглубление делается в целях устранения “заклеивания” щелей дренажной системы мелкими частицами, скапливающимися на самом верху фильтрующего слоя. Регенерирующий раствор подается через распределительную систему под верхним днищем в виде звезды из труб со щелями и пропускается сверху вниз. Через эту же систему производится сброс воды после взрыхления ионита.

Фильтрация исходной воды производится снизу вверх, в результате чего покидающая фильтр через верхнюю дренажную систему обработанная вода приходит в соприкосновение с наиболее хорошо регенерированным слоем ионита.

Возможно и противоположное направление потоков, т.е. регенерационного раствора снизу вверх, а обрабатываемой воды сверху вниз. При этом достигается более глубокий ионный обмен и, что особенно важно, заметно снижается удельный расход реагента на регенерацию ионита до значений, близких к стехиометрическому (теоретическому) количеству, без ухудшения глубины ионирования, но с некоторым понижением (примерно на 20 %) обменной емкости ионитов.

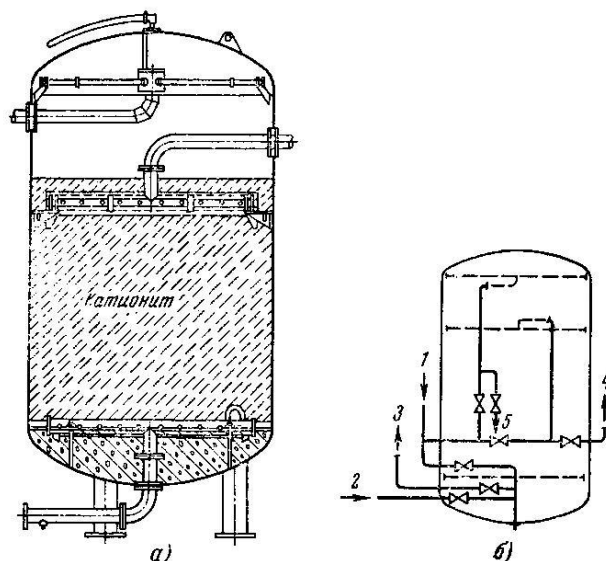


Рис. 2.5. Противоточный катионитный фильтр:

а – продольный разрез; б – схема фронта; 1 – вход обрабатываемой воды; 2 – подвод регенерационного раствора и воды для взрыхляющей промывки; 3 – выход обработанной воды; 4 – отвод регенерационного раствора; 5 – дренаж

Для ступенчато-противоточного ионирования применяется двух-этажный фильтр с глухой поперечной перегородкой, в котором требуемый объем ионита разделен на две неравные части: в верхнюю секцию фильтра загружается 70-75 % ионита, в нижнюю 25-30 %. Регенерация обеих секций осуществляется одновременно при истощении ионита в нижней части. При этом все количество реагента, необходимое для регенерации обеих секций, пропускается сверху вниз через нижнюю секцию, а затем, после сброса первых регенерационных вод в канализацию, через верхнюю секцию. При этих условиях удельный расход регенерирующего реагента в нижней секции превышает в 4-5 раз стехиометрический, что обеспечивает достаточно полное удаление ионов, задержанных при фильтровании обрабатываемой воды. Ионирование воды осуществляется путем последовательного фильтрования воды сначала через верхнюю секцию с большим количеством ионита снизу вверх, а затем через нижнюю секцию с меньшим количеством ионита сверху вниз. Аналогично противоточным фильтрам покидающая нижнюю секцию вода соприкасается с наиболее отрегенированным ионитом, что значительно улучшает эффект ионирования и снижает расход регенерирующего реагента на 40-50 %. Применение ступенчато-противоточного принципа для анионирования позволяет значительно уменьшить потребность в дорогостоящем гидроксиде натрия.

Ионитный фильтр смешанного действия (ФСД), схема которого показана на **рис. 2.6**, загружается катионитом и анионитом, которые после их отдельной регенерации соответственно кислотой и щелочью тщательно перемешиваются путем подачи в фильтр снизу вверх сжатого воздуха. При пропускании через ФСД воды происходит глубокое обессоливание и обескремнивание воды благодаря наличию в нем огромного числа ступеней Н- и ОН-ионирования. Чтобы осуществить регенерацию истощенного ФСД, необходимо произвести разделение ионитов путем взрыхляющей промывки водой снизу вверх.

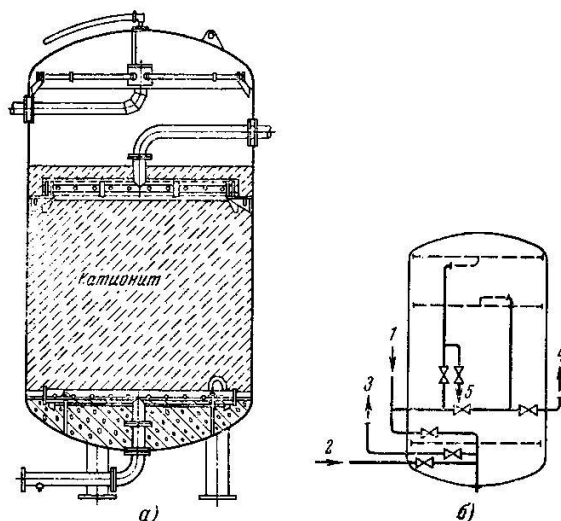


Рис. 2.6. Ионитный фильтр смешанного действия:

а – продольный разрез; б – схема фронта; 1 – вход обрабатываемой воды; 2 – выход обработанной воды; 3 – подвод раствора гидроксида натрия; 4 – подвод раствора серной кислоты; 5 – подвод осветленной воды; 6 – подвод сжатого воздуха; 7 – выход отмывочной воды; 8 – отвод воздуха.

ФСД применяются при обессоливании и обескремнивании конденсатов, а также в качестве барьерных фильтров на установках, обессоливающих природные воды. Периодическое разделение ионитов для регенерации и последующее перемешивание их предъявляют особые требования к физической характеристике загруженных в эти фильтры ионитных материалов (механическая прочность, различие в плотностях ионитов, форма частиц и пр.).

Наиболее подходящими для загрузки ФСД являются катионит КУ-2 и анионит АВ-17. В фильтре установлены три распределительных устройства: верхнее, среднее и нижнее. Верхнее распределительное устройство служит для подвода исходной воды, подачи регенерационного раствора гидроксида натрия и воды на отмывку, а также для отвода в дренаж воды при взрыхлении загрузки.

Среднее распределительное устройство служит для подачи регенерационного раствора серной кислоты и вывода отработанного регенерационного раствора гидроксида натрия. Нижнее распределительное устройство предназначается для вывода обессоленной воды и отработанного раствора серной кислоты, а также для подачи в фильтр воды для разделения ионитов и воздуха для их перемешивания. Коммуникация фронта фильтра позволяет во время регенерации одного из ионитов пропускать через другой (нерегенерируемый в это время) ионит “блокирующую” воду с малым расходом для предотвращения попадания раствора щелочи в катионит или кислоты в анионит.

2.4.2 Ионитные фильтры с внешней регенерацией и пульсирующего действия

В промышленности широко применяют ФСД с выносной (“внешней”) регенерацией в специальном регенерационном аппарате 6 (рис. 2.7). Наличие готовой загрузки отрегенированных ионитов в запасном бункере 1 значительно сокращает продолжительность вывода ионитных фильтров на регенерацию. В то время как при “внутренней” регенерации ФСД выводятся из работы на 4-5 ч, при “внешней” регенерации истощенные иониты заменяются путем гидроперегрузки заранее отрегенированной смесью катионитов и анионитов в течение не более 1 ч, что увеличивает долю рабочего времени ФСД.

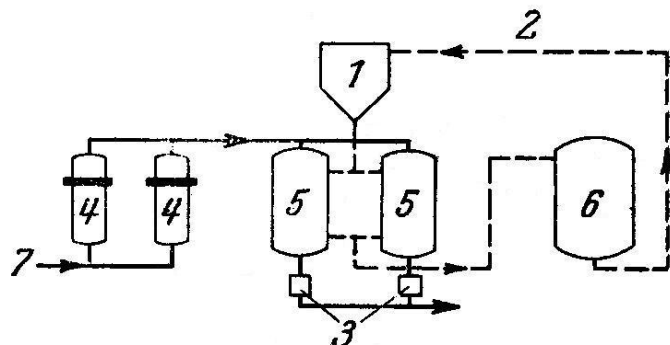


Рис. 2.7. Схема установки для обессоливания конденсата с внешней регенерацией ионитов:

1 – бункер для смеси отрегенированных ионитов; 2 – гидроперегрузка отрегенированных ионитов; 3 – ловушки для ионитов; 4 – осветлительные фильтры; 5 – фильтры смешанного действия; 6 – внешний регенератор; 7 – вход воды

Кроме того, упрощаются конструкции внутренних устройств и наружных коммуникаций на фронте этих фильтров, что облегчает обслуживание и ремонт аппаратуры и повышает степень ее готовности. Применение “внешней” регенерации исключает возможность попадания регенерационных растворов кислоты или щелочи в конденсат, сокращает количество арматуры, устраняет надобность в кислотостойких материа-

лах и покрытиях для рабочих фильтров, упрощает их конструкцию, дает возможность повысить скорость фильтрования конденсатов (до 125 м/ч), снижает потребность в контрольно-измерительной аппаратуре и т.д.

В Японии, Франции и США успешно эксплуатируются фильтры для непрерывного противоточного процесса ионного обмена с выносной регенерацией ионитов в схемах установок для приготовления добавочной питательной воды парогенераторов и для очистки конденсатов.

Процесс осуществляется в последовательно включенных колоннах (рабочей, регенерационной и отмывочной). В рабочих и регенерационных колоннах используется компактный движущийся слой ионита, а в отмывочных – псевдоожиженный слой. На этих установках автоматически поддерживаются на заданном уровне расходы исходной воды, регенерационного раствора, разбавляющей и отмывочной воды, а циркуляция ионита регулируется путем изменения интервала времени, в течение которого опораживается бункер отмывочной колонны. При изменении состава исходной воды соответственно изменяются скорости ввода регенерационного реагента и циркуляции ионита. Транспорт ионита осуществляется гидравлическим способом; каждая колонна рассчитывается в соответствии с характеристиками осуществляемого в ней процесса. Колонны оснащены устройствами для распределения потоков жидкости в слое ионита.

Поддержание ионитного слоя в рабочей и регенерационной колоннах в уплотненном состоянии предотвращает ожижение слоя и способствует лучшему использованию ионита, повышению чистоты фильтрата. Раздельное расположение колонн при функциональной их связи для непрерывности транспортировки ионита в соответствующие аппараты позволяет применять расположенную по ходу потока линию для транспортировки ионита в запасные бункера для регулирования потока ионита без использования клапанов, тормозящих движение и вызывающих чрезмерное его истирание. Автоматическая работа колонн истощения, регенерации и отмывки ионитов сводит к минимуму численность обслуживающего персонала.

Благодаря эффективному использованию регенерирующих реагентов резко сокращаются габариты и стоимость эксплуатации систем для нейтрализации стоков; отработавшие регенерационные растворы обрабатываются при весьма малых их расходах и минимальных концентрациях.

На **рис. 2.8** изображена схема непрерывного пульсирующего процесса для циклов истощения, регенерации и отмывки (для Н-катионита и для ОН-анионита).

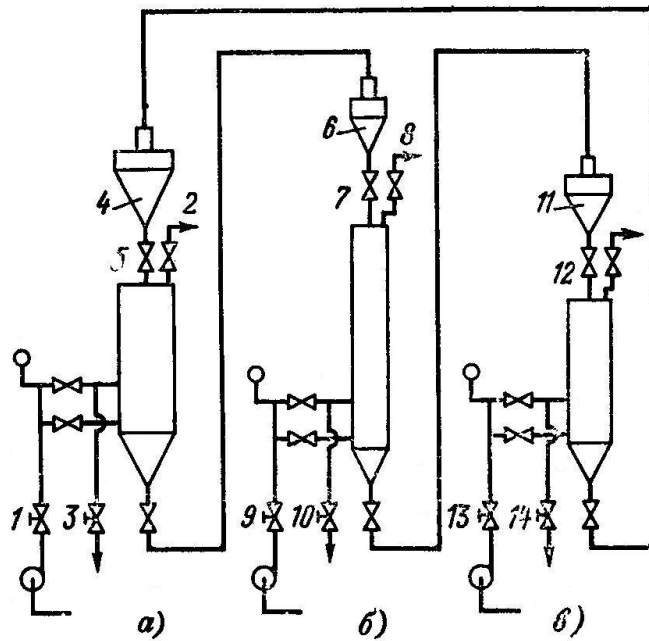


Рис.2.8. Схема автоматизированного непрерывно противоточного ионообменного процесса:

а – рабочая колонна; б – регенерационная колонна; в – отмывочная колонна

В рабочем цикле (истощение ионита) исходная вода поступает через впускной клапан 1, проходит снизу вверх через уплотненный слой ионита и выходит через выпускной клапан 2. В это время рабочая колонна работает под избыточным давлением. Такая работа аппарата продолжается заданное время, определяемое желательной частотой удаления истощенного ионита (рециркуляции), которая является функцией концентрации загрязнений в исходной воде и рабочей обменной емкости ионита.

Для удаления истощенного ионита из рабочей колонны прекращается подача обрабатываемой воды путем закрытия клапана 1 и открытия разгрузочного клапана 3 на 30 с; в течение этого периода внутреннее давление в аппарате снижается. Слой ионита в рабочей колонне движется сверху вниз и одновременно свежерегенерированный ионит поступает из запасного бункера 4 в рабочую колонну через клапан 5, расположенный на верхней крышке этого аппарата, в количестве, достаточном для его заполнения. В конце выгрузочного цикла клапан 3 закрывается, а клапан подачи исходной воды 1 открывается и рабочая колонна вновь ставится под давление. Истощенный ионит из нижней части этой колонны транспортируется в регенерационную колонну под действием внутреннего давления, создаваемого в рабочей колонне исходной водой.

Истощенный ионит поступает в запасной бункер 6, расположенный на верхней крышке регенерационной колонны. Ионит движется по трубопроводу, в котором отсутствуют регулирующие клапаны (во избежание торможения или ограничения потока ионита). Поток ионита прекращается автоматически под действием противодействия, содержащегося в запасном бункере 6 после заполнения его ионитом. Когда ионит из бункера перейдет в регенерационную колонну и бункер опорожнится, транспорт ионита возобновляется автоматически. Так как подача ионита в регенерационную колонну производится чаще вследствие меньшей продолжительности цикла регенерации, то всегда имеется непрерывное движение ионита из рабочего аппарата в регенерационную колонну.

Регенерационная колонна по гидравлическому режиму подобна рабочему аппарату. Эта колонна полностью заполнена ионитом для поддержания плотного слоя; регенерация ионита ведется противотоком. Регенерирующий реагент и разбавляющая его вода поступают в нижнюю часть колонны, движутся снизу вверх через слой ионита и отводятся из верхней части аппарата через выпускной клапан 8. Во время этого периода регенерационная колонна находится под давлением регенерационного раствора. Регенерирующий реагент подается в колонну в течение определенного заданного промежутка времени. В конце этого периода впускной клапан 9 закрывается и поток регенерационного раствора на короткое время прекращается, затем разгрузочный клапан 10 открывается и давление в колонне снижается, т.е. осуществляется разгрузочный цикл аналогично такому же процессу в рабочем аппарате.

Во время разгрузочного цикла ионитный слой движется сверху вниз, пока ионит из запасного бункера 6 через клапан 7 не заполнит колонну. В конце короткого разгрузочного периода поток регенерационного раствора возобновляется и ставит колонну снова под рабочее давление. Полностью отрегенированный ионит из нижней части колонны транспортируется в запасной бункер 11 на верхней крышке отмывочного аппарата. Мерный запасной бункер 11 над отмывочной колонной точно регулирует поток ионита в соответствии с продолжительностью периода, определяющего частоту работы регенерационной колонны и включение автоматического клапана 12, расположенного под мерным бункером.

Отмывочная колонна удаляет из отрегенированного ионита последние следы регенерирующего реагента, посторонние загрязнения и мелкие частицы ионита. Данная колонна работает на ожиженном слое, сохраняя принцип противотока, при котором ионит движется сверху вниз, а отмывочная вода – снизу вверх. Отмытый, полностью отрегене-

рированный ионит после открытия впускного клапана 13 подается в запасной бункер 4 рабочей колонны за счет разности гидравлического напора между отмывочной колонной и рабочим аппаратом. Поток ионита автоматически прекращается при заполнении запасного бункера над рабочей колонной после закрытия клапана 13 и открытия разгрузочного клапана 14.

Перечисленные выше рабочие процессы, включая дозирование регенерирующего реагента, производятся автоматически.

Промышленные ионообменные установки выдают сточные воды после регенерации периодически большими объемами, что усложняет их обезвреживание. Стоки установок непрерывного процесса ионного обмена характеризуются постоянным малым расходом, что облегчает и удешевляет их обезвреживающую обработку.

Расход реагентов на регенерацию ионитов в противоточных фильтрах непрерывного действия в 1,6-1,8 раза больше стехиометрически необходимого количества.

Технико-экономические расчеты показывают, что по сравнению с установками с неподвижным слоем ионитов фильтры для непрерывного противоточного процесса ионного обмена дают экономию капитальных затрат от 20 до 40 % и эксплуатационных расходов на реагенты от 25 до 40 %. Снижение эксплуатационных расходов обусловлено применением принципа противотока, а снижение капитальных затрат – высокими скоростями фильтрования (до 75 м/ч). Предельная скорость лимитируется истиранием ионитов. Хотя в установках непрерывного процесса ионного обмена возможна более высокая степень истирания ионитов, чем в установках с неподвижным слоем, это более чем окупается уменьшенным количеством ионитов в системе, в результате чего общие затраты на замену ионитов получаются такими же, как на обычных установках, или даже меньшими.

3. Декарбонизация

Декарбонизация - один из главных процессов в системе подготовки воды. Его задача - удаление углекислого газа, опасного вещества для технологического оборудования тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанций, т.к. вызывает коррозию поверхности оборудования. В технологической цепочке ВПУ декарбонизацию проводят, как правило, перед ОН-анионитовыми фильтрами второй ступени при обессоливании воды.

Металлы и сплавы, используемые для изготовления теплоэнергетического оборудования, обладают способностью вступать во взаимодействие с соприкасающейся с ними средой (вода, пар, газы), содержащей те или иные коррозионно агрессивные примеси (кислород, угольная и другие кислоты, щелочи и т.д.). В результате воздействия агрессивной среды происходит коррозионное разрушение металла или сплава вследствие электрохимических и химических процессов, которое начинается с поверхности и быстро проникает в глубь. Диоксид углерода является примесью, которая вызывает химическую коррозию металла. Присутствие CO_2 понижает рН воды, а при значениях рН ниже 7 образуется рыхлая пленка, которая не имеет защитных свойств, вследствие чего происходит диффузия кислорода к поверхности металла и скорость коррозии значительно увеличивается. Присутствие CO_2 в воде понижает рН воды за счет образования угольной кислоты по реакции



Диссоциация кислоты и вызывает понижение рН. В конденсате турбины и обессоленной воде концентрация CO_2 в количестве 0,3 мг/кг вызывает понижение рН до 5,5-6.

С ростом температуры увеличивается степень диссоциации угольной кислоты, что обуславливает повышение кислотности воды и резкое возрастание ее коррозионной агрессивности при одновременном снижении стойкости защитной пленки.

Одним из основных мероприятий, предотвращающих коррозию оборудования, является удаление свободной углекислоты методом аэрации. Для удаления свободной углекислоты из обрабатываемой воды на водоподготовительных установках применяются пленочные декарбонизаторы с деревянной хордовой насадкой или с насадкой из колец Рашига. Сущность метода аэрации заключается в продувании через воду воздуха, свободного от CO_2 . При этом над поверхностью обрабатываемой воды создается атмосфера, в которой парциальное давление углекислоты ничтожно мало по сравнению с парциальным давлением углекислоты в воде.

Удаление углекислоты производится в аппаратах, называемых декарбонизаторами, а сам процесс носит название декарбонизации. Принципиальная схема декарбонизатора изображена на **рис. 3.1**.

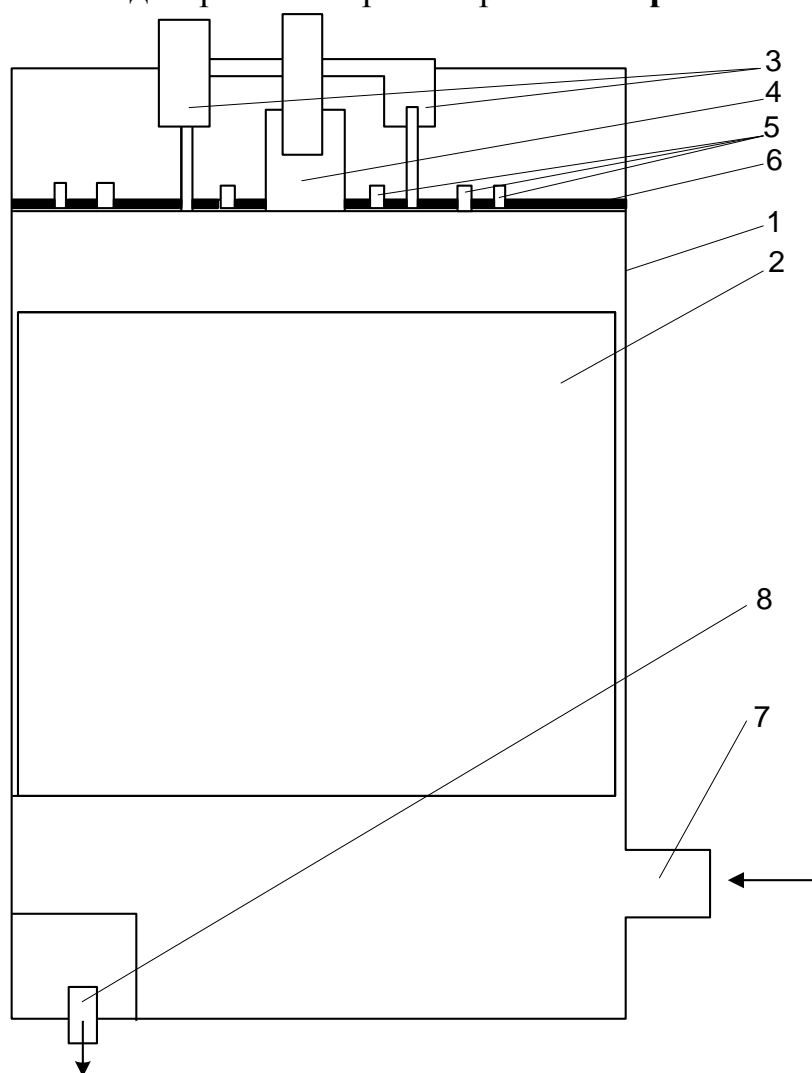


Рис. 3.1. Принципиальная схема декарбонизатора:

1 – цилиндрический стальной корпус; 2 – насадка; 3 – патрубок сдувки; 4 – патрубок подачи воды; 5 – сопла распределительные; 6 – щит; 7 – патрубок подачи воздуха; 8 – гидравлический затвор

Декарбонизатор представляет собой цилиндрический стальной бак 1, внутри которого располагается насадка 2, состоящая из деревянных досок, уложенных плашмя в шахматном порядке с зазором, или из колец Рашига, представляющих собой керамические кольца размером 25×25×3 мм. Вода подается в декарбонизатор сверху через патрубок 4. Со щита 6 она сливается через распределительные сопла 5 на поверхность насадки. Обработываемая вода омывает элементы насадки тонким слоем, а навстречу ей движется воздух, подаваемый в декарбонизатор

вентилятором через парубок 7. Удаляемая из воды углекислота переходит в воздух и вместе с ним выводится из декарбонизатора в атмосферу через патрубок 3. Прошедшая очистку вода стекает в поддон декарбонизатора и через гидравлический затвор по патрубку 8 поступает в бак декарбонизованной воды, который располагается под днищем декарбонизатора. При правильно выбранной площади поверхности контакта воды с воздухом и достаточном расходе воздуха использование декарбонизатора пленочного типа позволяет снизить концентрацию растворенной углекислоты в декарбонизованной воде до 3-7 мг/кг.

В технологической схеме водоподготовительных установок для получения обессоленной воды декарбонизатор устанавливается перед анионитовыми фильтрами второй ступени. Расчет декарбонизатора состоит в основном в определении его геометрических размеров, необходимой поверхности колец Рашига или деревянной хордовой насадки и определения напора, создаваемого вентилятором.

4. Схемы ионообменных водоподготовительных установок для питания парогенераторов и области их применения

Рассмотрим основные принципиальные схемы ионообменных установок для приготовления добавочной питательной воды для парогенераторов, расположенные в порядке их усложнения. Предполагается, что на ионитные фильтры поступает либо прозрачная грунтовая или водопроводная питьевая вода, либо поверхностная вода, прошедшая предочистку.

Схема 1 (рис. 4.1). Двухступенчатое Н-катионирование–декарбонизация–сильноосновное анионирование осветленной воды применимо на электростанциях с барабанными парогенераторами для обработки вод с концентрацией некарбонатных солей до 1-2 мг-экв/кг, включая нитриты и нитраты.

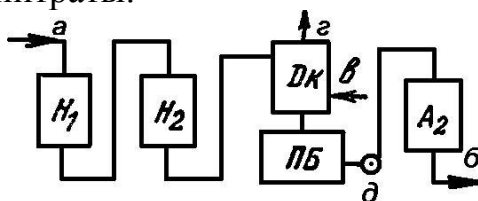


Рис. 4.1. Двухступенчатое Н-катионирование – декарбонизация – сильноосновное анионирование осветленной воды:

а – подвод осветленной воды; *б* – выход обработанной воды; *в* – подача воздуха в декарбонизатор; *г* – выход углекислоты в атмосферу; *д* – промежуточный насос; H_1 и H_2 – водород-катионитные фильтры I и II ступеней; D_k – декарбонизатор; ПБ – промежуточный бак; A_2 – ОН-анионитный фильтр.

Схема 2 (рис. 4.2). Двухступенчатое Н-катионирование–декарбонизация–слабоосновное и сильноосновное анионирование воды применимо для обработки воды с концентрацией некарбонатных солей до 8 мг-экв/кг, включая нитриты и нитраты, на электростанциях с барабанными парогенераторами высокого давления.

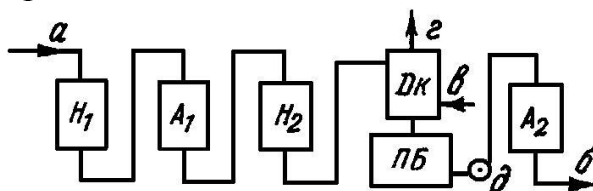


Рис. 4.2. Двухступенчатое Н-катионирование–декарбонизация–слабоосновное и сильноосновное анионирование осветленной воды:

а – подвод осветленной воды; *б* – выход обработанной воды; *в* – подача воздуха в декарбонизатор; *г* – выход углекислоты в атмосферу; *д* – промежуточный насос; H_1 и H_2 , A_1 и A_2 – Н-катионитные и ОН-анионитные фильтры I и II ступеней; D_k – декарбонизатор; ПБ – промежуточный бак

Схема 3 (рис. 4.3). Трехступенчатое Н-катионирование–декарбонизация–трехступенчатое анионирование применимо на электростанциях любых параметров с прямоточными парогенераторами для обработки осветленной воды с концентрацией сульфатов, хлоридов и нитратов до 8 мг-экв/кг. В схеме 3 вместо катионитного и анионитного фильтров третьей ступени можно поставить один фильтр смешанного действия.

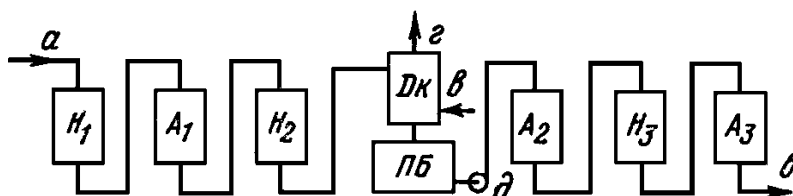


Рис. 4.3. Трехступенчатое Н-катионирование–декарбонизация–трехступенчатое анионирование осветленной воды:

a – подвод осветленной воды; *б* – выход обработанной воды; *в* – подача воздуха в декарбонизатор; *г* – выход углекислоты в атмосферу; *д* – промежуточный насос; H_1 , H_2 и H_3 , A_1 , A_2 и A_3 – Н-катионитные и ОН-анионитные фильтры I, II и III ступеней; D_k – декарбонизатор; ПБ – промежуточный бак

Рассмотрим назначение отдельных стадий обработки воды по наиболее сложной трехступенчатой схеме 3, после чего легко будет понять назначение отдельных стадий обработки воды по остальным, более простым схемам.

Первая ступень Н-катионирования предназначена для обмена всех катионов, содержащихся в фильтруемой воде, на катион водорода, содержащийся в Н-катионите.

Первая ступень анионирования, проводимого слабоосновным анионитом, имеет целью обмен анионов сильных кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), образовавшихся при Н-катионировании, на гидроксид ионы, содержащиеся в анионите.

Вторая ступень Н-катионирования предназначается для обмена на катион водорода катионов (главным образом, натрия), случайно “проскочивших” через Н-катионитный фильтр первой ступени или попавших в фильтрат из фильтров со слабоосновным анионитом вследствие его старения или недостаточно хорошей отмывки его после регенерации. Удаление свободной углекислоты из фильтрата Н-катионитных фильтров второй ступени, осуществляемое при помощи декарбонизатора, производится с целью создания благоприятных условий для поглощения кремниевой кислоты сильноосновным анионитом. Угольная кислота, хорошо поглощаемая сильноосновным анионитом, уменьшает его

кремнеемкость и требует для своего удаления при регенерации анионита дополнительного количества гидроксида натрия.

Вторая ступень анионирования, проводимого сильноосновным анионитом, имеет целью обмен аниона кремниевой кислоты на гидроксид ион, содержащийся в анионите. Одновременно с этим происходит поглощение остатков свободной углекислоты после проведения декарбонизации частично обессоленной воды, а также незначительного проскока анионов сильных кислот через анионитный фильтр 1-ой ступени.

Третья ступень Н-катионирования служит для обмена на катион водорода катиона натрия, который может попасть в фильтрат из фильтра с сильноосновным анионитом вследствие преждевременного включения недостаточно отмытого фильтра в работу после его регенерации или вследствие старения анионита.

Третья ступень анионирования, проводимого с помощью слабоосновного или сильноосновного анионита, регенерируемого 2%-ным водным раствором аммиака, предназначается для улавливания продуктов растворения сульфокатионитов (органических сульфокислот), а также остатков серной кислоты при недостаточно тщательной отмывке Н-катионитного фильтра третьей ступени после его регенерации.

Схемы 1, 2, и 3 при отдельной регенерации каждой ступени Н-катионитных и анионитных фильтров характеризуются большими удельными расходами реагентов для регенерации.

Для уменьшения расхода регенерирующих реагентов рекомендуется:

– для первой ступени Н-катионирования, а также и для первой ступени анионирования устанавливать противоточные фильтры либо аппараты для ступенчато-противоточного ионирования (двухэтажные или сдвоенные фильтры). Наружная коммуникация ступенчато-противоточных фильтров должна обеспечивать последовательный пропуск обрабатываемой воды (сверху вниз) через первый, а затем через второй этаж фильтра, а регенерирующего раствора и отмывочной воды вначале через второй, а затем через первый этаж, но также сверху вниз;

– для загрузки ступенчато-противоточных ионитных фильтров использовать катиониты разной природы, например, для загрузки первого этажа двухэтажного катионитного фильтра использовать сульфоуголь; для загрузки второго этажа – катионит КУ-2; для первого этажа двухэтажного анионитного фильтра можно использовать сильноосновные аниониты второй группы (Амберлайт IRA-410, ЭДЭ-10П, АВ-27), а для второго этажа – сильноосновные аниониты первой группы (Амберлайт IRA-400, Зеролит ГГ, анионит АВ-17);

– производить одновременно попарно последовательную регенерацию сильно и слабоосновных анионитных фильтров;

– в схемах 2 и 3 желательно последние ступени ионирования Н₂ и А₂, а также Н₃ и А₃ заменить фильтрами смешанного действия (ФСД).

Эти мероприятия без снижения качества обессоленной воды дают возможность весьма существенно уменьшить потребность обессоливающих установок в серной кислоте и гидроксиде натрия.

При обессоливании природных вод удаляется значительная часть органических веществ, причем Н-катионитными фильтрами задерживаются органические вещества, обладающие основными свойствами, а анионитными фильтрами – обладающие кислотными свойствами. Если окисляемость воды, поступающей на химическое обессоливание после коагуляции и осветления, превышает 15–20 мг/кг КМnО₄, то в схеме обессоливания предусматривается установка фильтров с активированным углем.

Если исходная вода перед ее обессоливанием нуждается в предварительном осветлении и удалении соединений железа, то это достигается применением коагуляционных установок с осветлителями, где коагуляция иногда совмещается с предварительным известкованием воды.

При химическом обессоливании прозрачных вод (водопроводной, артезианской) коагуляция и осветление воды перед химическим обессоливанием не требуются, за исключением случаев, когда исходная вода загрязнена железом в количестве больше 0,3 мг/кг Fe²⁺.

5. Эксплуатация ионитных установок

Эксплуатация ионитного фильтра сводится к последовательному проведению следующих операций: взрыхление, регенерация, отмывка и умягчение. Задачей эксплуатации ионитных фильтров является правильное проведение указанных операций, обеспечивающее максимальную рабочую обменную емкость фильтров при заданном качестве химически обработанной воды.

Операция взрыхляющей промывки имеет целью устранить уплотнение слежавшейся массы ионита и тем самым обеспечить более свободный доступ регенерационного раствора к зернам ионита. Кроме того, при этом осуществляется удаление из фильтра накапливающихся в слое ионита мелких частиц, вносимых недостаточно осветлённой умягчаемой водой и растворами реагентов, а также образующихся вследствие постепенного разрушения ионита в процессе эксплуатации фильтра. Взрыхление ионита производится отмывочной водой, собранной при предыдущей регенерации фильтров. Вода для взрыхления подается самотеком из бака, расположенного выше фильтра, или с помощью специального насоса из бака, расположенного внизу. Интенсивность взрыхления, обеспечивающая приведение во взвешенное состояние всей массы ионитного материала, зависит от вида ионита и диаметра его зерен. Поэтому для каждого ионита в процессе эксплуатации устанавливается оптимальная интенсивность взрыхления. Для органических ионитов интенсивность взрыхления колеблется в пределах 2,8-3 л/(с·м²). По окончании операции взрыхления в ионитный фильтр подается регенерационный раствор, который проходит сверху вниз сквозь слой ионита. Продукты регенерации направляются в дренаж.

Режим регенерации истощенного катионита может тогда считаться оптимальным, когда при минимальных расходах регенерирующего вещества обеспечивается глубокое умягчение воды при достаточно высокой рабочей емкости катионита. Обычно при регенерации Na-катионитного фильтра через него пропускается 5-10 %-ный раствор поваренной соли со скоростью 3-4 м/ч. При этом оптимальный расход соли принимается в 3,5 раза больше теоретически необходимого ее количества.

Восстановление обменной способности истощенного H-катионита производится регенерацией его серной кислотой с концентрацией раствора 1-1,5 %. При концентрации H₂SO₄, превышающей 2 %, создается опасность загипсовывания зерен катионита. Регенерационный раствор серной кислоты пропускается через фильтр со скоростью 9-10 м/ч. Следует отметить, что при малых скоростях пропускания 1-1,5 %-ного рас-

твора серной кислоты также создается опасность отложения гипса на зернах катионита.

Удельный расход серной кислоты на регенерацию Н-катионитных фильтров зависит от суммарного содержания хлорид- и сульфат- ионов в умягчаемой воде и составляет 75-225 г/г-экв для фильтров первой ступени и 70 г/г-экв для фильтров второй ступени.

По окончании регенерации катионита производится отмывка катионита от регенерирующего вещества и продуктов регенерации, оставшихся в жидкости, заполняющей поры между зернами катионита. Отмывка обычно производится прозрачной коагулированной или артезианской водой.

В целях снижения расхода воды на собственные нужды катионитных фильтров, а также уменьшения расхода поваренной соли или серной кислоты на регенерацию отмывочная вода вначале спускается в дренаж, а затем часть ее, содержащая известное количество еще не использованной воды или серной кислоты, направляется в специальный бак, из которого отмывочная вода в дальнейшем повторно используется для взрыхления слоя ионита при очередной регенерации фильтра. Отмывка катионита заканчивается, когда общая жесткость отмывочной воды не превышает 50 мкг-экв/кг, а концентрация хлорид- ионов превышает содержание их в умягчаемой воде не более чем на 30-50 мг/кг.

При повторном использовании отмывочной воды удельный расход воды на регенерацию Na-катионитных фильтров составляет 4,3-5 м³, а на регенерацию Н-катионитных фильтров 6,2-7 м³ на каждый кубометр загруженного материала против соответственно 5,1-6,5 и 7-7,8 м³/м³ без использования отмывочной воды для взрыхления.

После окончания отмывки фильтр включается в работу по умягчению воды. Для полноты использования рабочей емкости катионита целесообразно придерживаться линейной скорости фильтрования умягчаемой воды в пределах 15-20 м/ч. Временное увеличение скорости фильтрования допускается до 25-40 м/ч в основных и до 50 м/ч в барьерных фильтрах.

Катионитные фильтры отключаются на регенерацию, когда в умягченной воде появляется жесткость, превышающая 35 мкг-экв/кг. Обычно стремятся обеспечить продолжительность рабочего цикла катионитного фильтра не меньше 6-8 ч.

Зная рабочую емкость поглощения катионита, а также среднюю производительность фильтра и жесткость поступающей на фильтр воды, можно определить продолжительность работы фильтра в часах между регенерациями (межрегенерационный период), пользуясь формулой:

$$T = \frac{0,95\pi D^2 h e_p}{4QJ_0}, \quad (58)$$

где T – продолжительность межрегенерационного периода, ч; D – диаметр фильтра, м; h – высота слоя катионита, м; e_p – обменная емкость катионита, г-экв/м³; $0,95$ – коэффициент запаса; J_0 – общая жесткость умягчаемой воды, г-экв/м³; Q – средняя производительность катионитного фильтра, м³/ч.

Эксплуатационный персонал при условии незначительных колебаний производительности аппарата и общей жесткости поступающей воды может с помощью уравнения (58) ориентировочно определить момент вывода катионитного фильтра на регенерацию.

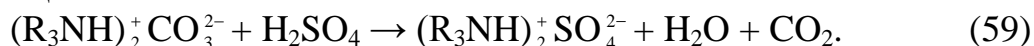
В процессе эксплуатации катионитных установок иногда наблюдаются уменьшение рабочей обменной емкости катионита и ухудшение показателей работы фильтров. Снижение рабочей обменной емкости может происходить вследствие отложения карбоната кальция на зернах катионита на установках с предварительным известкованием с нестабильной после известкования водой. Для восстановления рабочей обменной емкости фильтра необходимо удалить отложения, образовавшиеся на зернах катионита путем промывки его раствором соляной кислоты. В некоторых случаях обменная емкость катионита снижается вследствие неравномерного фильтрования воды по площади фильтра из-за образования в слое катионита местных уплотнений или неравномерного скопления загрязнений, ухудшающих гидродинамику фильтрующего слоя.

В условиях эксплуатации как ионитных, так и осветлительных фильтров иногда возникает необходимость выгрузки фильтрующего материала для осмотра или ремонта дренажного устройства, после чего необходимо снова загружать фильтр. Эти процессы механизированы с применением гидроперегрузки. Для этой цели на водоподготовительных установках предусматривается установка пустого резервного фильтра, который предназначается для использования при гидроперегрузках ионитных и осветлительных фильтров в качестве свободной емкости.

Эксплуатация Н-катионитных фильтров обессоливающих установок производится так же, как и в Н–Na-катионитных водоумягчительных установках, но с отключением на регенерацию не по проскоку жесткости, как в умягчительных установках, а по проскоку натрий ионов; так как появление их в фильтрате совпадает с понижением кислотности Н-катионированной воды, то Н-катионитные фильтры первой ступени отключаются на регенерацию в момент понижения кислотности филь-

рата, Н-катионитные фильтры второй ступени отключаются на регенерацию по объему фильтрата, т.е. после пропуска ими заданного количества воды.

Анионитные фильтры первой ступени, загруженные слабоосновными анионитами, могут регенерироваться любой щелочью, например, NaOH, Na₂CO₃, NaHCO₃. Если для регенерации применяются Na₂CO₃ или NaHCO₃, то фильтрат будет содержать уголекислоту за счет протекания реакции:



Поэтому анионитные фильтры первой ступени в схемах полного химического обессоливания в этом случае должны включаться перед декарбонизатором, чтобы обеспечить удаление CO₂ из обработанной воды. При условии регенерации этих фильтров гидроксидом натрия они могут включаться и после декарбонизатора. Обескремнивающие аниониты должны регенерироваться только гидроксидом натрия. При замене его другими щелочными реагентами снижается кремнеемкость анионита, так как в растворе появляется более сильная кислота, чем кремниевая:



в результате чего начинает действовать противоионный эффект. Раствор аммиака также непригоден для регенерации обескремнивающих анионитов вследствие недостаточности его щелочных свойств. Но если анионит предназначен только для удаления анионов сильных кислот (в анионитных фильтрах третьей ступени), регенерация его раствором аммиака оказывается эффективной.

Расход реагентов на регенерацию анионитных фильтров существенно влияет на экономику химического обессоливания воды. Для уменьшения расхода регенерирующих реагентов применяется последовательная регенерация двух фильтров: одного – загруженного сильноосновным анионитом (например, АВ-17), другого – слабоосновным анионитом (АН-18), с использованием в этом случае только гидроксида натрия. Все количество реагента, необходимое для регенерации двух фильтров, в виде 3-4 %-ного раствора при температуре 20-40 °С пропускается вначале через сильноосновный, а затем слабоосновный аниониты со скоростью 3-4 м/ч. Отмывка их производится в таком же порядке. При невозможности последовательной регенерации анионитные фильтры первой и второй ступеней регенерируются отдельно, но с повторным использованием щелочного регенерационного раствора и отмывочной воды после регенерации сильноосновного анионитного

фильтра, собираемых в специально установленных баках для регенерации слабоосновного анионитного фильтра.

Удельный расход гидроксида натрия на последовательную регенерацию двух фильтров при противоточном анионировании в обоих фильтрах составляет 60 г/г-экв всех анионов, поглощенных анионитами (SO_4^{2-} , Cl^- , HSiO_3^- , HCO_3^- и др.). Длительность регенерации и отмывки двух последовательно регенерируемых фильтров составляет 5 ч. Удельный расход воды на собственные нужды анионитных фильтров составляет около 10 м^3 на 1 м^3 анионита.

В процессе эксплуатации Н–Na-катионитных и обессоливающих установок встречается необходимость в нейтрализации кислых промывочных вод Н-катионитных фильтров для защиты источников водоснабжения от загрязнения и дренажных каналов от разрушения. На **рис. 5.1** изображена одна из схем сбора и нейтрализации отмывочных вод.

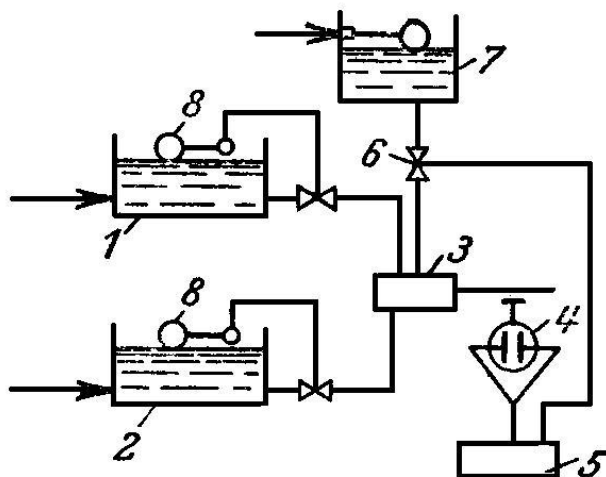


Рис. 5.1. Схема нейтрализации кислых вод:

1 – бак для кислых вод; 2 – бак для щелочных вод; 3 – смеситель; 4 – рН-метр; 5 – регулятор нейтрализации; 6 – вентиль; 7 – бак с концентрированным гидроксидом натрия; 8 – регулятор.

В баке 1 собираются кислые воды, а в баке 2 – щелочные. Пройдя через смеситель 3, они поступают в канализацию. Степень нейтрализации контролируется рН-метром 4. При недостатке щелочных вод для нейтрализации регулятор 5 путем открытия вентиля 6 подает необходимое количество концентрированного гидроксида натрия из бака 7 с постоянным уровнем в смеситель 3. Регулятор 8 поддерживает постоянный уровень в баках 1 и 2.

6 Автоматизация комбинированных ионитных водоподготовительных установок

Для обеспечения нормальной эксплуатации предочистки необходимо осуществить автоматизацию и дистанционное управление шламового режима осветлителя, автоматическое регулирование температуры обрабатываемой воды, а также автоматизацию дозирования растворов реагентов в осветлитель. Автоматизация регулирования производительности установки дает возможность без вмешательства обслуживающего персонала при колебаниях нагрузки установки обеспечить поддержание в заданных пределах уровня воды в промежуточных баках путем соответствующего воздействия на степень открытия регулирующего клапана.

В целях обеспечения медленного и плавного изменения нагрузки применяются схемы стабилизации нагрузки, что создает благоприятные условия для формирования взвешенного осадка в осветлителе, улучшения качества выдаваемой воды и повышения допустимых нагрузок осветлителей. Облегчаются также условия работы автоматических дозирующих устройств.

Стабилизации нагрузки можно достигнуть за счет наличия в промежуточных баках “нерегулируемого” объема, в пределах которого изменение уровня не вызывает срабатывания регулятора и нагрузка осветлителя остается постоянной. Этот “нерегулируемый” объем обычно составляет 25-30 % общего объема промежуточного бака.

Для поддержания заданной температуры подогретой воды применяется электронный регулятор, использующий импульс по температуре воды за подогревателем, измеряемой термочувствительным элементом в виде термометра сопротивления. Регулятор обеспечивает удовлетворительное поддержание температуры с точностью ± 1 °С.

Изменение производительности насосов-дозаторов осуществляется следующими способами:

- а) при постоянном числе оборотов электродвигателя – путем изменения длины хода плунжера с помощью механических устройств насоса-дозатора или возврата части раствора реагента, подаваемого насосом;
- б) изменением числа оборотов электродвигателя, приводящего в движение насос-дозатор путем импульсного управления электродвигателем переменного тока.

Автоматизация шламового режима осветлителя (**рис. 6.1**) предусматривает поддержание уровня зоны взвешенного шлама в осветлителе и шламоотделителе. Это достигается регулированием “отсечки” воды в шламоотделителе, а также непрерывной и периодической продувкой

осветлителя. Действие применяемых для этого автоматов основано на использовании сигнализаторов уровня шлама (СУШ), представляющих собой фотореле с проточными кюветами, к которым подводится жидкость из пробоотборника осветлителя или шламоотделителя.

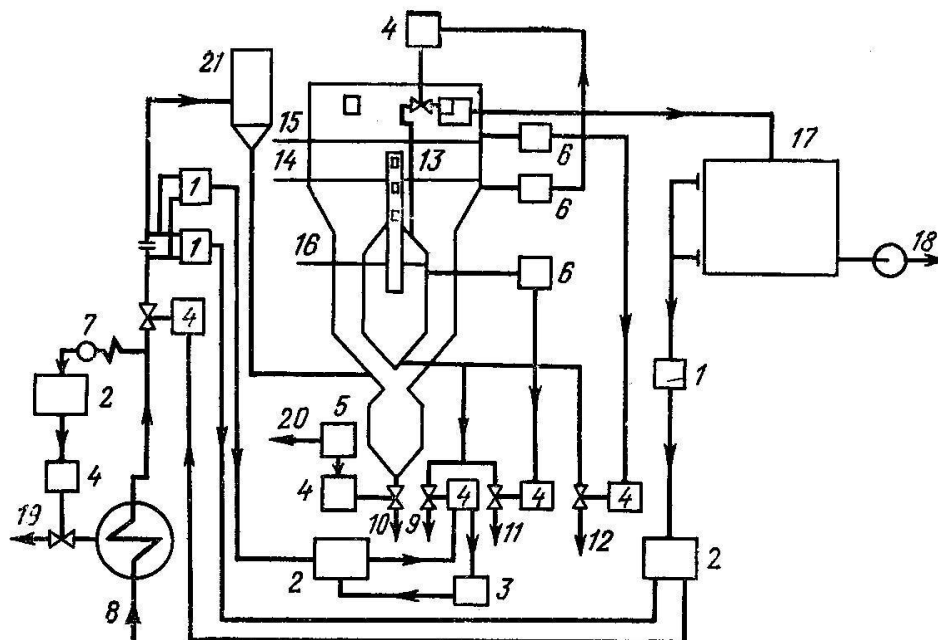


Рис. 6.1. Схема автоматического регулирования подачи и температуры исходной воды, автоматов защиты, продувки и управления шламовым режимом осветлителя:

1 – датчик расхода (дифманометр); 2 – электронный регулятор; 3 – датчик перемещения; 4 – сервомотор; 5 – командно-электрический прибор; 6 – датчик уровня шлама; 7 – термометр сопротивления; 8 – исходная вода; 9 – непрерывная продувка осветлителя; 10 – периодическая продувка осветлителя; 11 – сброс в дренаж при превышении максимального уровня шлама в шламоотделителе; 12 – сброс в дренаж при превышении максимального уровня шлама в осветлителе; 13 – отсечка воды на шламоотделитель; 14 и 15 – заданный и максимально допустимый уровень шлама в осветлителе; 16 – максимально допустимый уровень шлама в шламоотделителе; 17 – промежуточный бак; 18 – на фильтры; 19 – греющий пар; 20 – к другим осветлителям; 21 – воздухоотделитель.

Действие этого прибора основано на изменении освещенности фотосопротивления в результате поглощения лучей шламом, взвешенным в воде. Как только слой взвешенного осадка достигнет устья пробоотборника, в кювету СУШ начнет поступать жидкость со шламом, в результате чего СУШ дает команду на включение световой и звуковой сигнализации и открытие линии периодической продувки шламоотделителя.

При снижении уровня взвешенного осадка в осветлителе или шламоотделителе по команде СУШ периодическая продувка прекращается. В качестве запорного органа на линии периодической продувки установлен пробковый кран с приводом от колонки дистанционного управления (КДУ).

Отсечка части воды со шламом из осветлителя в шламоотделитель регулируется поворотной заслонкой с приводом от КДУ на линии возврата воды из шламоотделителя в распределительное устройство. Управление отсечкой производится дистанционно со щита.

Автоматизация работы осветлительных фильтров предусматривает проведение в надлежащей последовательности и при оптимальных условиях операции по восстановлению их работоспособности по заранее заданной программе. Прекращение полезной работы осветлительных фильтров обычно возлагается на эксплуатационный персонал, который ведет оперативный химический контроль качества обработанной воды и в нужный момент нажатием кнопки включает систему автоматических устройств, обеспечивающих последовательное выполнение всех операций по промывке фильтров.

В России на электростанциях применяются две принципиально различные схемы автоматического управления фильтрацией: а) индивидуальная, б) групповая, изображенные на рис. 6.2.

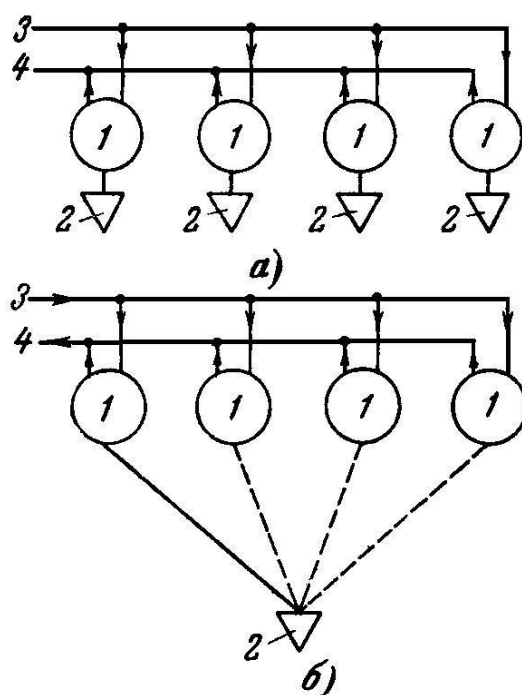


Рис. 6.2. Скелетные схемы автоматизации фильтров:
а, б – индивидуальная и групповая схемы автоматизации фильтров; 1 – фильтры; 2 – автоматическое устройство; 3 – исходная вода; 4 – обработанная вода.

Индивидуальная схема автоматического управления осветлительными фильтрами предусматривает оснащение каждого фильтра полным комплектом автоматических устройств и запорных органов, необходимых для промывки осветлительных фильтров. Индивидуальная схема позволяет учитывать особенности отдельных фильтров и устанавливать для каждого фильтра оптимальный режим промывки, что особенно важно в том случае, когда фильтры имеют разные конструктивные размеры или загружены различными фильтрующими материалами.

Групповая схема автоматического управления осветлительными фильтрами осуществляет все операции восстановления работоспособности фильтров одним центральным автоматическим устройством, обслуживающим группу однородных фильтров, которое может подключаться поочередно к любому фильтру данной группы. Групповая схема позволяет многократно использовать центральное автоматическое устройство для данной группы осветлительных фильтров. Применение этой схемы наиболее целесообразно на крупных водоподготовительных установках, имеющих однотипное оборудование.

На рис. 6.3 изображена индивидуальная схема автоматизации промывки осветлительного фильтра.

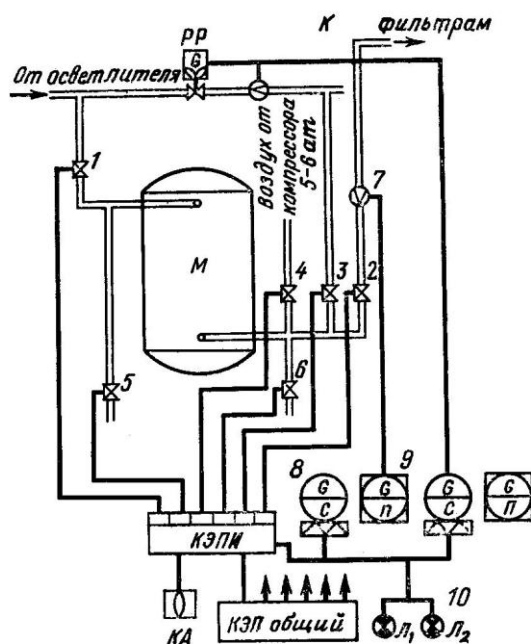


Рис. 6.3. Индивидуальная схема автоматизации промывки осветлительного фильтра.

Все фильтры разбиваются на группы по 3-5 фильтров. В каждой группе имеется общий командный электрический прибор (КЭП общий), который поочередно по истечении заданного времени включает инди-

видуальный электрический командный прибор (*КЭПИ*), управляющий режимом промывки данного фильтра. Электрический командный прибор, изображенный на **рис. 6.4**, непосредственно, без промежуточных преобразователей, управляет мембранными исполнительными клапанами, установленными вместо задвижек. Мембранные исполнительные клапаны (*МИК*) могут работать как нормально открытые, так и нормально закрытые. Клапаны 1 и 2 – нормально открытые, клапаны 3, 4, 5 и 6 – нормально закрытые.

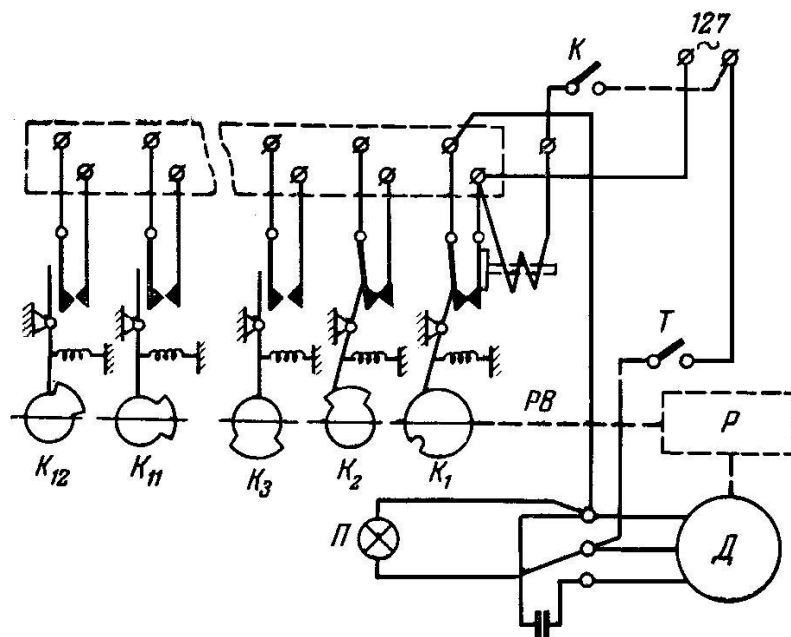


Рис. 6.4. Схема работы командного электрического прибора:
Д – синхронный двигатель; *PB* – распределительный вал; *Р* – редуктор; *K₁-K₁₂* – управляющие контакторы; *K* – сетевой выключатель; *Т* – выключатель сигнальной лампы; *Л* – сигнальная лампа.

После получения сигнала от *КЭП* (общего) включается *КЭПИ* (рисунок 32) выводимого на промывку фильтра. Сначала закрытием клапана 2 фильтр выключается из работы. Закрытие клапана 2 проверяется с помощью дроссельной измерительной шайбы 7 по сигнализатору расхода 8, который устанавливается на нуль. При этом дается команда на следующую операцию – закрытие клапана 1. Для взрыхления фильтрующего материала воздухом открываются клапаны 4 и 5. Одновременно с этим включается компрессор. Взрыхление фильтрующего материала осветленной водой производится при открытии клапанов 3 и 5. Постоянная интенсивность взрыхления обеспечивается гидравлическим регулятором расхода (*PP*). По истечении заданного времени сначала закрывается клапан 5, а затем клапан 3. Правильность проведения опера-

ций проверяется по сигнализатору расхода, установленному на линии взрыхления. Сброс первого фильтра производится открытием клапанов 6 и 1. По истечении заданного времени закрывается клапан 6 и открытием клапана 2 осуществляется автоматическое включение фильтра в работу. Выключение фильтра в резерв осуществляется закрытием вручную клапана 1. На фронте каждого фильтра устанавливается ключ автоматики (*КА*), указатель расхода воды 9 и две сигнальные лампочки 10: зеленая – фильтр в работе и красная – фильтр восстанавливается. Светозвуковая сигнализация об аварийных положениях устанавливается в одном комплекте на все осветлительные фильтры.

Командный электрический прибор (*КЭП*) (**рис. 6.4**) состоит из синхронного двигателя *Д*, приводящего во вращение распределительный вал *РВ* через редуктор *Р*. В кольцевых выточках вала в нужном месте по окружности закрепляются управляющие поводки, которые при вращении *РВ* сбрасывают или взводят защелки быстродействующих выключателей *К1-К12*, воздействующих на выходные электрические контакты. Это позволяет получить определенную последовательность включения и выключения выходных цепей; т.е. нужную программу работы *КЭП*. Командный электрический прибор может управлять мембранными или поршневыми гидроприводами через электрогидравлическое реле или непосредственно гидроприводом исполнительных механизмов, воздействуя на гидропереключатели, соединяющие мембранные камеры исполнительных механизмов или с напорной линией силовой воды, или с дренажем, обеспечивая тем самым закрытие или открытие клапана. *КЭП* в этом случае является командным электрическим прибором.

Индивидуальная схема автоматизации регенерации ионитных фильтров первой ступени изображена на **рис. 6.5**. Фильтры отключаются на регенерацию индикатором жесткости 7. Один индикатор жесткости обслуживает группу из трех-четырех фильтров и поочередно подключается к выходным патрубкам фильтров групповым *КЭП* для проведения анализа воды. При достижении предельно допустимой жесткости фильтра индикатор жесткости подает световой сигнал об окончании цикла и через групповой *КЭП* включает соответствующий индивидуальный командный электрический прибор 9, осуществляющий программу регенерации истощенного фильтра.

При недостаточной надежности индикатора жесткости 7 он используется для подачи сигнала эксплуатационному персоналу, который, проверив качество воды, включает соответствующий *КЭП*. Закрытием клапана 2 и клапана 1 фильтр выключается из работы. Взрыхление, пропуск регенерационного раствора и отмывка производятся по време-

ни путем последовательного открытия, а затем закрытия соответствующих клапанов. По истечении заданного времени фильтр автоматически включается в работу. Выключение фильтра в резерв производится ключом вручную. Проверка правильности работы запорных органов осуществляется сигнализаторами расходов, установленными на линиях обрабатываемой, взрыхляющей и отмывочной воды. Ионитные фильтры второй ступени отключаются на регенерацию по времени с помощью КЭП, который включает поочередно командные электрические приборы, управляющие процессом восстановления отключенного фильтра. Процесс регенерации производится аналогично, как и для ионитных фильтров первой ступени.

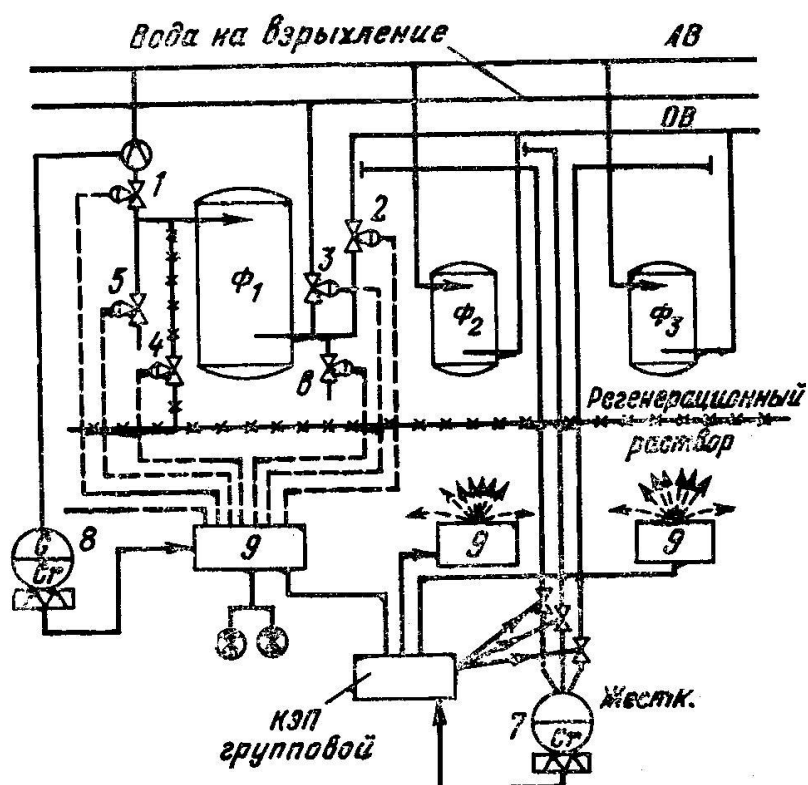


Рис. 6.5. Индивидуальная схема автоматизации регенерации ионитных фильтров:

1-6 – регулируемые клапаны; 7 – индикатор жесткости; 8 – регулятор расхода; 9 – командный электрический прибор (КЭП); ИВ – исходная вода; ОВ – обработанная вода.

Все ионитные фильтры имеют общую светозвуковую аварийную сигнализацию.

На **рис. 6.6** изображена групповая схема автоматизации регенерации ионитных фильтров. На каждом фильтре, включенном в группу, состоящую из 3-5 фильтров, установлено пять задвижек с гидропривода-

ми, из которых 1-ая и 4-ая нормально открыты, а 2-ая, 3-я и 5-ая нормально закрыты. Задвижки 6-12 входят в центральное автоматическое устройство и управляются автоматом регенерации (АР).

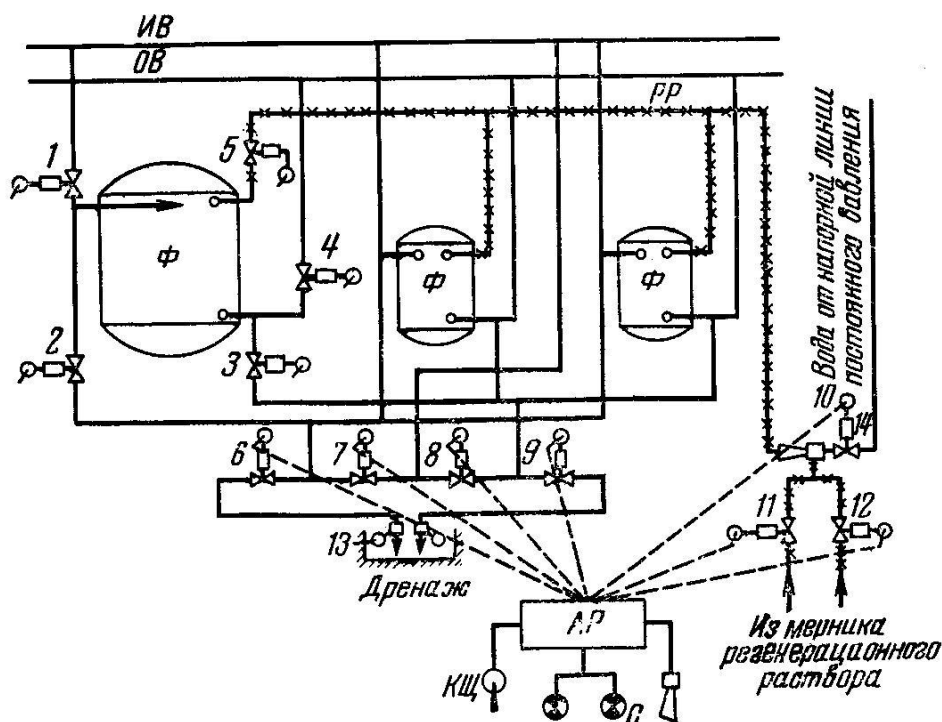


Рис. 6.6. Групповая схема автоматизации регенерации ионитных фильтров: 1 – 12-задвижки; 13 – поплавково-дрессельный механизм; ИВ и ОВ – исходная и обратанная вода; РР – регенерационный раствор; АР – автомат регенерации; КЩ – ключ щита; Ф – ионитные фильтры.

На основе оперативного химического контроля эксплуатационный персонал определяет момент истощения ионита в том или ином фильтре данной группы. Путем закрытия задвижек 4 и 1 фильтр отключается от рабочих магистралей, а путем открытия задвижек 2, 3 и 5 подключается к центральному автоматическому устройству. В таком положении все задвижки 1, 2, 3, 4 и 5 остаются на весь период регенерации. Ключом со щита КЩ автомат регенерации АР включается в работу. Взрыхление фильтра достигается последовательным открытием задвижек 8 и 6. Необходимая интенсивность взрыхления регулируется поплавково-дрессельным ограничителем интенсивности взрыхления 13. По истечении заданного промежутка времени АР осуществляет закрытие задвижек 6 и 8 и открытие задвижек 10, 9, 11 и 12. При необходимости ступенчатого изменения концентрации регенерационного раствора открывается либо одна, либо обе задвижки 11 и 12. Вода от напорной линии постоянного давления, поступающая через задвижку 10 к гидроэлевато-

ру (эжектору) 14, засасывает концентрированный раствор реагента из мерного бака через задвижки бака 11 и 12. Разбавленный в гидроэлеваторе до нужной концентрации раствор реагента через задвижку 5 поступает в фильтр. Скорость пропуска регенерационного раствора регулируется поплавково-дроссельным органом 13. После пропуска регенерационного раствора *АР* закрывает задвижки 10, 11 и 12 и открывает задвижку 7 для отмывки ионита.

По окончании отмывки *АР* закрывает задвижки 7 и 9 и обеспечивает заполнение мерного бака концентрированным раствором реагента для очередной регенерации. После этого подается светозвуковой сигнал об окончании регенерации. Дежурный эксплуатационный персонал закрывает задвижки 2, 3 и 5 и открывает задвижки 1 и 4, т. е. включает фильтр в работу. Весь процесс регенерации в случае необходимости может быть проведен при помощи ручных распределительных кранов, установленных на гидроприводах всех задвижек.

В качестве исполнительных механизмов, применяемых при автоматизации водоподготовительных остановок, получили распространение следующие виды специальной арматуры:

- 1) многоходовые краны с электроприводом;
- 2) задвижки с электроприводом;
- 3) задвижки с гидроприводом;
- 4) мембранные клапаны с гидро- и пневмоприводом.

Операции по автоматизации восстановления работоспособности ионитных фильтров проводятся в определенной последовательности по заранее заданной программе. В качестве приборов управления исполнительными механизмами, обеспечивающими выполнение заданной программы, применяются следующие приборы: командный электрический прибор (*КЭП*), изображенный на **рис. 6.4**, электрогидравлический распределительный кран (*ЭРК*) и программный автомат регенерации фильтров (*АР*).

Электрогидравлический распределительный кран (*ЭРК*), изображенный на **рис. 6.7**, служит для дистанционного управления задвижкой с гидроприводом. К гидроприводу 5 силовая вода поступает последовательно через электрогидравлический распределительный кран 5 и ручной распределительный кран 4. Это позволяет легко переходить в случае надобности с автоматического управления на ручное и обратно. Электрогидравлический кран и гидропривод находятся в нормальном положении “закрыто”, когда обмотка электромагнита 6 обесточена. Если при этом и ручной распределительный кран находится в положении “закрыто”, верхняя полость цилиндра с гидроприводом сообщается с напорной линией силовой воды 10, нижняя – с дренажем. При подаче на

обмотку электромагнита напряжения шток с золотником переходит в верхнее положение, в результате чего происходит перераспределение потоков силовой воды; задвижка при этом открывается. Гидропривод имеет конечный выключатель, который используется для контроля положения задвижки.

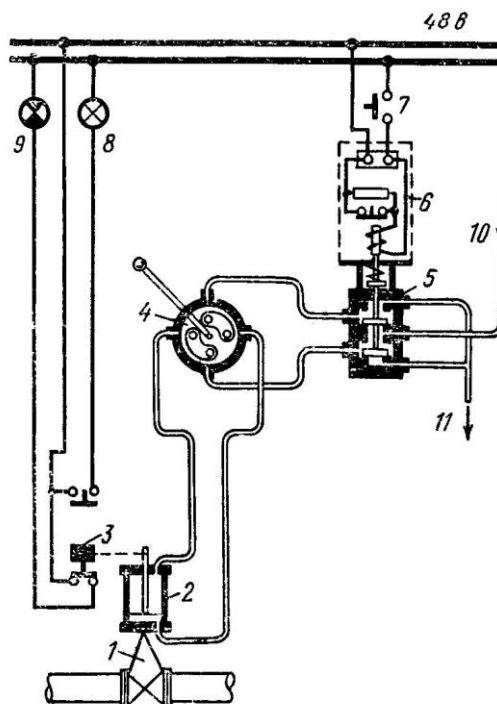


Рис. 6.7. Схема соединения электрогидравлического и ручного распределительных кранов с гидроприводом задвижки:

1 – задвижка; 2 – гидропривод; 3 – электромагнитное реле; 4 – ручной распределительный кран; 5 – электрогидравлический распределительный кран; 6 – электромагнит; 7 – выключатель; 8,9 – сигнальные лампы; 10 – напорная линия силовой воды; 11 – сброс воды из напорной линии.

Заключение

В учебном пособии описаны основные процессы подготовки водного теплоносителя для атомных электростанций. При рассмотрении физико-химических основ этих процессов основное внимание уделено специфическим особенностям их проведения.

Показано, что для достижения требуемых показателей качества водного теплоносителя необходимо проведение как предварительной обработки воды методами коагуляции и осветления на механических фильтрах, так и удаления растворенных в воде примесей методами ионного обмена и декарбонизации. Большое внимание уделено подбору и конструированию технологического оборудования для проведения этих процессов.

В соответствии с федеральной целевой программой «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007-2010 годы и на перспективу до 2015 года» в стране должны быть введены в эксплуатацию 26 атомных энергоблоков. В России реализуется масштабная программа развития атомной энергетики, предполагающая увеличение доли атомной энергетики с 16 % до 25-30 % к 2020 году.

Для ее осуществления необходимо строительство атомных энергоблоков высокой удельной мощности. Надежность, долговечность и безаварийность их работы зависит от качества и глубины удаления примесей из водного теплоносителя. В этих условиях надежность работы водоподготовительных установок, являющихся одним из важнейших элементов атомных электростанций, приобретает особенно важное значение.

Список литературы

1. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования. - М.: ДеЛи принт, 2004. – 301 с.
2. Алексеев Л.С. Контроль качества воды. - М.: ИНФРА-М, 2004. – 154 с.
3. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. В 3-х т. - М.: Изд-во АСВ, 2004.
4. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды. - М.: Изд-во АСВ, 2003. – 230 с.
5. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка: учебн. пособие для вузов. - М.: Изд-во МГУ, 1996. – 680 с.
6. Водоподготовка. Процессы и аппараты. / Под ред. д.т.н., проф. О.И. Мартыновой. - М.: Атомиздат, 1977. – 352 с.
7. Вихрев В.Ф., Шкроб М.С. Водоподготовка. - М.: Энергия, 1973. – 416 с.
8. Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. – М.: Энергия, 1976. – 288 с.
9. Петров А.А., Бальян Х.В., Трощенко А.Т. Органическая химия: Учебник для вузов / Под ред. А.А. Петрова - М.: Высшая школа, 2002. – 591 с.
10. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. - М.: Стройиздат, 1974. – 480 с.
11. Лавыгин В.М. Водоподготовка в энергетике. - М.: Изд-во МЭИ, 2006. – 310 с.
12. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н. С.Е. Беликова. - М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

Учебное издание

КАРЕЛИН Владимир Александрович

**ВОДОПОДГОТОВКА.
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ВОДЫ**

Учебное пособие


Подписано к печати 05.11.2012. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ . Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru