Н. А. Мещерский

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДО-ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Второе издание, переработанное

МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1984

ББК 31.37
М56
УДК 621.182.12.628.16

Рецензент А. Ф. Белоконова

Мещерский Н. А.

М56 Эксплуатация водоподготовительных установок электростанций высокого давления — 2-е изд , перераб.—М.: Энергоатомиздат, 1984 —408 с, ил.

В пер 1 р 60 к 6000 экз

Описаны методы рациональной эксплуатации оборудования предочисток, ионитных, испарительных и паропреобразовательных установок, а также установок для подготовки подпиточной воды теплосетей. Даны рекомендации по организации водно химического режима паровых котлов. Первое издание вышло в 1965 г. Во втором издании значительное внимание уделено рационализации и модернизации оборудования и схем водоподготовительных установок. защите окружающей среды.

Для эксплуатационного персонала ТЭС, работников наладочных организаций и районных энергоуправлений.

М 2303030000-359 ББК 31 37
051 (01)-84 206-84 6П2 22

© Издательство «Энергия», 1966
© Энергоатомиздат, 1984, с изменениями

Посвящается
памяти профессора, доктора
технических наук
Михаила Самойловича Шкроба

Предисловие

Опережающее развитие энергетики СССР в соответствии с директивами XXV и XXVI съездов КПСС невозможно без совершенствования эксплуатации электростанций, без повышения их надежности и экономичности, без снижения трудовых затрат при соблюдении законов и требований по охране окружающей среды.

Существенную роль в решении этих задач играет совершенствование процессов водоподготовки и водно-химического режима. Достаточно указать, что значительная часть удельных затрат топлива на выработку электроэнергии приходится на долю улучшения водно-химического режима, в том числе на снижение загрязнения питательной воды — содержания в ней соединений железа и меди, уменьшение количества отложений в паро- и турбогенераторах, сокращение числа остановов, затрат на удаление отложений.

Основное внимание ведущие научно-исследовательские организации (ВТИ, ЦКТИ, ВНИПИЭП, СТЭ и др.) в настоящее время уделяют вопросам водоподготовки и водного режима более совершенных и мощных, блочных ТЭС сверхкритического давления (СКД) и АЭС, а ТЭС с барабанными паровыми котлами высокого давления (ВД) остаются практически вне поля зрения этих организаций, что было отмечено в рекомендациях Всесоюзного совещания на тему «Организация рационального водно-химического режима барабанных котлов высокого давления», состоявшегося в Перми 23—25 ноября 1977.

Водному режиму блочных ТЭС СКД посвящен ряд монографий и директивных материалов [4, 5, 11, 14, 16, 17, 20], но лишь в некоторых из них [11, 17, 20] было уделено внимание и барабанным паровым котлам. Основ-

ные положения по водоподготовке и водному режиму ТЭС ВД и сверхвысокого давления (СВД) с барабанными паровыми котлами изложены в ряде директивных материалов и монографий (ПТЭ, НТП, Пособие по изучению ПТЭ и др.).

Во втором издании книги автор стремился изложить опыт передовых электростанций в области водоподготовки и водного режима ТЭС ВД и СВД по материалам эксплуатации и ряда научно-технических совещаний, семинаров, школ по обмену передовым опытом, состоявшихся в 1978—1980 гг., а также по материалам выставки «Водоподготовка и водный режим на ТЭС и АЭС», экспонировавшимся в январе — феврале 1979 г. на ВДНХ.

Объем книги не позволяет достаточно глубоко, как это необходимо для химиков-энергетиков, осветить вопросы эксплуатации оборудования водоподготовки и водного режима, и поэтому книга больше рассчитана на теплотехнический персонал ТЭС, поскольку последнему в настоящее время приходится уделять все большее внимание вопросам водоподготовки и водного режима.

Книга содержит большое количество нужного эксплуатационникам справочного материала: нормативы качества воды водно-парового тракта ТЭС, важнейшие технологические показатели ряда процессов обработки воды, сведения о качестве реагентов и материалов, применяемых при водоподготовке, и др.

В конце книги дан обширный перечень литературы по эксплуатации водоподготовительных установок преимущественно директивного характера (материалы Минэнерго, Госстроя, Минэнергомаша), необходимой персоналу ТЭС.

С начала массового сооружения в СССР тепловых электростанций ВД, СВД и СКД и особенно со времени выхода в свет первого издания настоящей книги (1965 г.) резко возросли требования к качеству пара, питательных и котловых вод паровых котлов, чистоте их поверхности нагрева и ужесточились требования к качеству сточных вод, сбрасываемых ТЭС в общественные водоемы. Возрастание этих требований было вызвано недостаточно надежной работой агрегатов при первоначально установленных нормах качества воды, повышением теплонапряжения объема топки и поверхности нагрева, вызванных, в частности, стремлением конструкторов сократить размеры агрегатов и расход металла и переходом на сжигание высококалорийных видов топлива: мазута и природного газа.

Резкое повышение требований к охране окружающей среды привело к необходимости уменьшения количества и загрязненности сточных вод, сбрасываемых в общественные водоемы, количества воды, забираемой из природных источников, и к необходимости полного, многократного или последовательного использования ее в производстве.

Поэтому схемы установок по обработке добавочной воды для питания паровых котлов и испарителей, подпитки тепловых сетей и охлаждения конденсаторов приходится рассматривать не самостоятельно с точки зрения обеспечения количества и качества воды и уменьшения количества сбрасываемых загрязнений, а с учетом взаимосвязи между всеми видами воды, применяемой на ТЭС, и возможности их последовательного использования (рис. 0.1).

Опыт эксплуатации и научные исследования привели к убеждению, что создать и поддерживать совершенно безнакипный режим и избавиться от необходимости химического удаления внесенных и образовавшихся в паровых котлах отложений пока практически невозможно, но увеличить период между полными химическими очистками до 2—3 и более лет вполне доступно.

Задачи, поставленные XXV и XXVI съездами КПСС перед народным хозяйством СССР, обусловливают необходимость коренного пересмотра существующих схем обработки воды, замены изношенного и морально устаревшего оборудования, автоматизации его работы и контроля.

Это относится в основном к ТЭС ВД и СВД, сооруженным 20—25 лет назад, в период более низких требований к качеству воды и надежности работы оборудования, и касается в первую очередь: очистки, обезжелезивания, умягчения производственного и обессоливания турбинного конденсата; химических промывок паровых котлов и их консервации; уменьшения коррозии питательного тракта, в том числе латунных трубок; автоматизации работы водоподготовительного оборудования и контроля водного режима; очистки сточных вод, превращения ТЭС и их ВПУ в полностью бессточные.

В самые последние годы возникла проблема использования городских сточных вод после их доочистки в народном хозяйстве, в том числе и на ТЭС. Использование этих вод, содержащих биогенные вещества (K, NH_3, NO_3, NO_2, P_2O_5 и др.), представляет собой известные, но преодолимые трудности.

За последние 5—8 лет министерствами и организациями (Госстандарт, Минэнерго, Минэнергомаш, Минздрав,

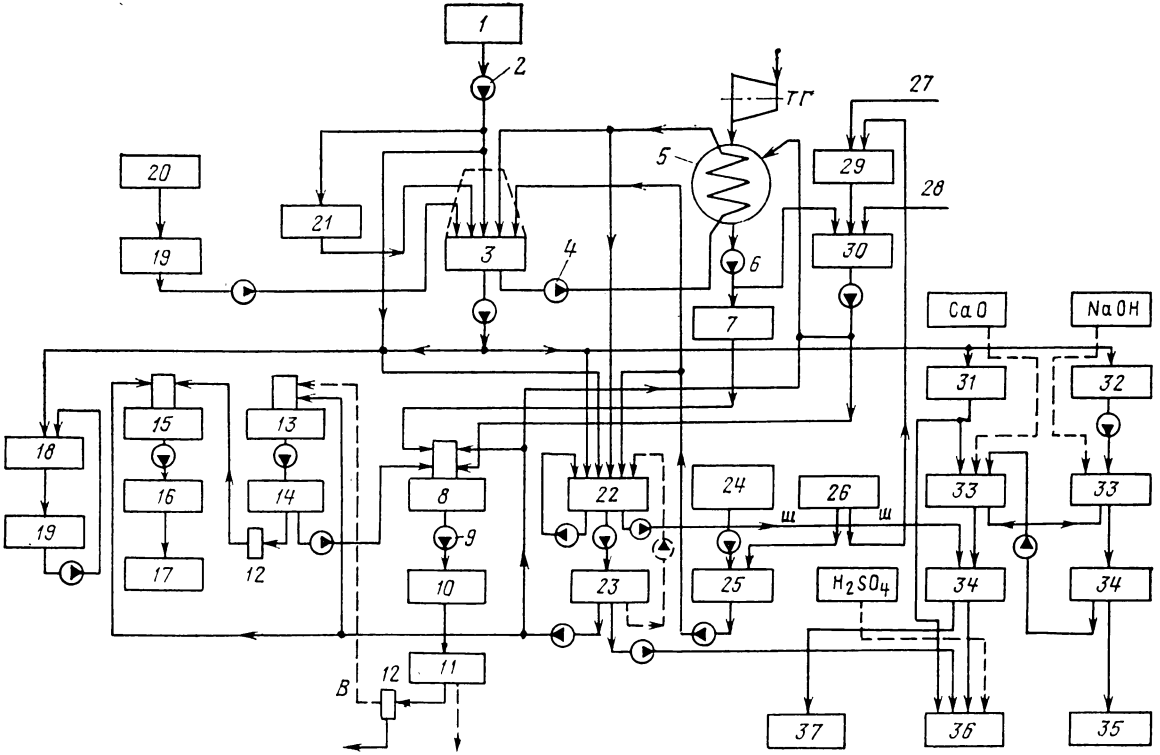

1
2
ТГ
27
20
21
5
29
28
19
3
4
6
30
7
CaO
NaOH
31
32
18
15
13
8
22
24
26
33
33
16
14
19
9
17
12
10
23
25
H_2SO_4
34
34
12
11
B
37
36
35

Рис. 0.1. Схема взаимосвязи основных потоков воды на ТЭС:
1 — водоисточник; *2* — насосная станция 1-го подъема; *3* — оборотная система; *4, 6, 9* — конденсатные, циркуляционные и питательные насосы; *5* — конденсаторы турбин; *7* — подогреватели низкого давления; *8* — деаэраторы повышенного давления; *10* — подогреватели высокого давления; *11* — барабанные паровые котлы; *12* — расширители продувочной воды; *13* — атмосферные деаэраторы; *14* — испарительная установка; *15* — вакуумные деаэраторы; *16* — закрытая теплосеть; *17* — утечки; *18* — топливоподача; *19* — отстойники; *20* — ливневые стоки; *21* — маслоохладители; *22* — предочистка; *23* — ионитные фильтры; *24* — главное здание ТЭС; *25* — маслоочистительная установка для технической сточной воды; *26* — мазутное хозяйство; *27* — замасленный конденсат внешних потребителей; *28* — дренажный конденсат; *29* — обезмасливающая установка для конденсатов; *30* — автономная установка для очистки и умягчения конденсатов, H_2SO_4 — серная кислота; CaO — известковое молоко; NaOH — едкий натр; *31* — обмывочные воды поверхностей нагрева; *32* — обмывочные воды регенеративных воздухоподогревателей; *33* — нейтрализационная установка; *34* — автоматический фильтр-пресс или вакуум-фильтр; *Ш* — шлам; *35* — ванадиевый шлам; *36* — система гидрозолошлакоудаления котлов, работающих на твердом топливе; *37* — шламовый отвал

Минводхоз, Минрыбхоз, Госстрой, Госгортехнадзор, Союзтехэнерго, ВТИ и др.) было издано большое количество новых директивных, а также инструктивных и информационных материалов, которыми необходимо пользоваться в эксплуатации. Отдельные же, ранее изданные материалы уже устарели и нуждаются в переработке.

Во втором издании своей книги автор стремился обновить ее, используя накопленный опыт, наметившиеся тенденции в области водоподготовки и водного режима ТЭС и изданные директивно-информационные материалы.

Новым перспективным, но еще недостаточно освоенным в СССР методам водообработки (электродиализ, обратный осмос, сиротерм-процесс, аммонекс-процесс, непрерывное ионирование, магнитная и ультразвуковая обработка) в книге уделено значительно меньшее внимание, чем методам, уже освоенным и доступным для осуществления на действующих ТЭС и их ВПУ. Вопросы водоподготовки и водного режима прямоточных паровых котлов и блоков СКД в книге не рассматриваются, поскольку они рассмотрены достаточно подробно и глубоко в соответствующей литературе. Не рассматриваются эти вопросы и по ТЭС среднего и низкого давления.

Автор выражает глубокую благодарность рецензенту канд. техн. наук А. Ф. Белоконовой за сделанные ею ценные замечания по рукописи и доктору техн. наук Ю. М. Кострикину за принятый на себя труд по редактированию книги.

Все замечания по книге автор просит направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Автор

Глава первая

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВПУ И ВОДНО-ХИМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ ТЭС С БАРАБАННЫМИ ПАРОВЫМИ КОТЛАМИ ВД И СВД С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

1.1. Качество основных видов воды ТЭС

В настоящее время на ТЭС Минэнерго, Минчермета и других министерств и ведомств работают более тысячи барабанных паровых котлов ВД и СВД производительностью от 170 до 640 т/ч. Часть этих котлов эксплуатируется в составе блоков котел — турбина мощностью 150—200 МВт, остальные — в составе ТЭС с параллельными связями. Барабанные паровые котлы установлены и устанавливаются преимущественно на ТЭС со значительными отборами пара, с пиковыми нагрузками; такие ТЭС часто называют теплоцентралями (ТЭЦ).

Электростанции с барабанными котлами снабжались блочными обессоливающими установками (БОУ) для конденсата турбин только при солесодержании охлаждающей воды более 5000 мг/л и, редко, автономными обессоливающими установками для станционных и внешних, обычно горячих, конденсатов. Поэтому качество питательной воды этих паровых котлов, несмотря на более низкие требования, иногда не соответствует нормам в первую очередь по содержанию железа и меди. Эти примеси, а также цинк поступают в основном в результате коррозии водоконденсатного тракта, подсосов охлаждающей воды в конденсаторах турбин и сетевой воды в сетевых подогревателях — бойлерах.

Из-за меньшего, чем по проекту, возврата производственного конденсата или его загрязненности производительность обессоливающих установок для добавочной воды нередко оказывается недостаточной. Следует заметить, что цинк, постоянно присутствующий в питательной воде паровых котлов всех давлений, в результате коррозии —

обесцинкования латунных трубок конденсаторов и подогревателей образует при низких значениях pH котловой воды шлам и накипь, состоящую, по-видимому, из фосфатов и других соединений цинка, приводящую к разрывам труб. Содержание цинка в водах ТЭС ни в СССР, ни за рубежом не нормируется. Нормы качества пара для паровых котлов ВД (7—10 МПа) и СВД (до 14 МПа и более) приведены в табл. 1.1, а нормы качества питательной воды — в табл. 1.2. В табл. 1.3 даны нормы качества для воды, подаваемой на впрыск, в табл. 1.4 — нормы для конденсата турбин, а в табл. 1.5 — качество котловой воды.

Приведенные ниже и предписанные Правилами технической эксплуатации (ПТЭ) нормы водно-химического режима ТЭС ВД и СВД на станциях, как правило, соблюдаются. Однако, как показывает опыт эксплуатации, даже при их соблюдении на поверхностях нагрева паровых котлов образуется накипь. Это приводит к необходимости периодически проводить химические промывки котлов.

Следует отметить трудности получения представительных проб воды. Взвешенные частицы продуктов коррозии при небольших скоростях движения воды (не более 0,5 м/с) в пробопроводных трассах большой протяженности ($d=10\div15$ мм, $l=100\div150$ м) прилипают к стенкам трубок, иногда задерживаются в узких щелевых зазорах регулирующих вентилей и в аналитическую пробу не попадают. Увеличить расход отбираемой пробы не всегда возможно из-за недостаточной поверхности холодильников. Для повышения представительности проб по содержанию взвешенных примесей, т. е. продуктов коррозии, не-

Таблица 1.1. **Нормы качества насыщенного пара (среднее по всем точкам) и перегретого пара после регуляторов перегрева**

Показатель	Нормы		
Давление после котла, МПа	7,0—10,0	Выше 10,0	14,0 и более
Содержание Na^+, мкг/кг	15/25	10/15	10/15
Пересчет по Na^+:			
солесодержание, мкг/кг	40/50	25/40	25/40
электропроводность *, мкСм/см	0,085/0,13	0,055/0,085	0,05/0,085
Содержание кремнекислоты SiO_2, мкг/кг	15/25	15/25	15/25

Примечания: 1. Числитель—для КЭС и отопительных ТЭЦ, знаменатель — для ТЭЦ с отдачей пара на сторону. * В дегазированной пробе, не содержащей NH_3 и CO_2, но без Н-катионирования пробы, т. е. без перевода нейтральных солей и кислоты.

обходимо не более чем за сутки до отбора проб в течение 30—60 мин продувать пробопроводные трассы и холодильники с расходом пробы, 2—3 раза большим нормального, например 50—100 л/ч, при внутреннем диаметре трубок трассы и холодильника 5—6 мм.

Таблица 1.2. **Нормы качества питательной воды**

Показатель	Нормы		
Давление после котла, МПа	7,0—10,0	Более 10,0	14,0 и более
Жесткость общая не более, мкг-экв/л	3/5*	1	1
Содержание кремнекислоты SiO_2 не более, мкг/л	80***	40/120**	40/120**
Содержание кислорода (без ввода гидразина) до деаэратора не более, мкг/л		30	
То же после деэратора до ввода гидразина не более, мкг/л	20	10	
Содержание свободного гидразина N_2H_4 перед экономайзером, мкг/л		20—60*[4]	
Содержание свободной углекислоты CO_2, мг/л		Отсутствует	
Значение pH		9,1±0,1	
Содержание аммиака или аммоний-иона $NH_3(NH_4)$ не более, мкг/л		1000*[5]	
Содержание нитратов и нитритов (NO_3+NO_2) не более, мкг/л		20	
Содержание соединений железа (Fe) не более, мкг/л	50/100*	20/30*	20
Содержание соединений Cu не более, мкг/л	10/20*	5	5
Удельная электропроводность Н-катионированной пробы при 25 °С не более, мкСм/см	10*[6]	2*[6]	—
Содержание масел и тяжелых нефтепродуктов, мкг/л		300	

* Числитель—для ТЭС, работающих на жидком топливе, знаменатель—для ТЭС, работающих на других видах топлива.

** Числитель — для КЭС и ОТЭЦ, знаменатель — для ТЭЦ с отдачей пара.

*** По данным теплохимических испытаний котла на качество пара.

**** При пуске парового котла доза вводимого N_2H_4 может повышаться до 3000 мкг/л.

***** В особых условиях, с разрешения энергоуправления, допускается повышение содержания NH_3—NH_4^+ до значений, не приводящих к повышению содержания Cu^{2+} в питательной воде свыше допустимых норм.

****** 10 — при добавке необессоленной воды; 2 — то же обессоленной воды.

Кроме основных энергетических паровых котлов, вырабатывающих пар для турбин, на ТЭС обычно имеются сетевые подогреватели, так называемые бойлеры и водогрейные котлы, работающие в пиковом или стационарном режиме и подогревающие сетевую воду для теплоснабжения и горячего водоснабжения. Водогрейные котлы работают как самостоятельно, так и параллельно с сетевыми подогревателями — бойлерами.

Таблица 1.3. **Качество воды, подаваемой на впрыск для охлаждения пара**

Показатель	Нормы
Жесткость не более, мкг-экв/л	1
Содержание Na^+ и SiO_2, мкг/л	В количествах, обеспечивающих нормальное качество перегретого пара
Содержание Fe и Cu, мкг/л	В пределах норм качества питательной воды

Таблица 1.4. **Качество конденсата турбин**

Показатель	Нормы
Жесткость, мкг-экв/л	1*
Содержание кислорода O_2 после конденсатных насосов не более, мкг/л	20
Остальные примеси, мкг/л	В количествах, обеспечивающих нормальное качество питательной воды

* Для котлов с давлением 7—10 МПа до 3/5 мкг-экв/л (см. табл. 1.2).

Качество подпиточной и сетевой воды в зависимости от температуры нагрева приведено в табл. 1.6.

Показатель pH сетевой и подпиточной воды закрытых тепловых сетей по нормам ПТЭ может быть выше 8,5, а по ОСТ 108.030.47-81 — в пределах 7—11 единиц; однако при щелочной реакции (pH>9,5) это может привести к обесцинкованию латунных трубок в сетевых подогревателях станции и в подогревателях у потребителей теплоты. Подпиточная вода тепловых сетей с открытым водоразбором должна отвечать, кроме того, требованиям ГОСТ 2874-82 к питьевой воде.

Подпиточная вода закрытых тепловых сетей с учетом возможности перетока воды в подогревателях, подогревающих воду для сетей горячего водоснабжения (на местных теплопунктах), вследствие неплотности в вальцовочных соединениях и коррозионных повреждений трубок также должна готовиться из воды питьевого качества (во-

Таблица 1.5. **Качество котловой воды**

Показатель	Нормы
Относительная щелочность, $Щ_{отн} = \frac{Щ_{общ} \cdot 40 - 0{,}84\,PO_4}{S_{к.в}}$, %	20 *
Солесодержание — щелочность — кремнесодержание, мг/л	Допустимое содержание устанавливается испытаниями парового котла на качество пара
pH котловой воды паровых котлов:	
без ступенчатого испарения	9,5—10,4
в чистых отсеках	Не менее 9,3
в солевых продувочных отсеках	Не более 10,7
Содержание фосфатов PO^{3-}_4 при режимах:	
чистофосфатной щелочности или щелочно-фосфатном в паровых котлах, мг/л,	
без ступенчатого испарения	5—15
в чистых отсеках	2—6
в солевых продувочных отсеках	Не более $\frac{30**}{50}$
Размер непрерывной продувки, %:	
при конденсатно-дистиллятном питании	0,5—1,0 (при пуске до 2)
при добавке химически обработанной (необессоленной) воды	0,5—3,0 (максимум и при пуске до 5 %)
Периодическая продувка нижних точек	При пуске котла — 1—2 раза в неделю, во время работы — по графику

* Нормы Госгортехнадзора для котловой воды паровых котлов без заклепочных соединений допускают относительную щелочность котловой воды до 50%. Для котлов только со сварными соединениями относительная щелочность не нормируется.

** В числителе для паровых котлов, отапливаемых жидким топливом, в знаменателе — для котлов, отапливаемых другими видами топлива.

допроводной или артезианской). В качестве временной меры разрешается подпитка закрытой теплосети технической, обработанной водой при условии деаэрации — обеззараживания ее при $t > 102$ °С в течение не менее 20 мин.

При подпитке закрытой теплосети водой питьевого качества возможна вакуумная деаэрация ее при $p = 0{,}03$ МПа и $t = 70$ °С.

Качество питательной воды, концентрата и вторичного пара — дистиллята испарительно-паропреобразователь-

Таблица 1.6. **Качество подпиточной и сетевой воды тепловых сетей (ПТЭ)**

Нормируемый показатель	Максимальная температура подогрева сетевой воды на установках источника теплоты, К (°С)		
	348 (75)	349—423 (76—150)	424—473 (151—200)
Растворенный кислород O_2	Не более 0,1	Не более 0,05	Не более 0,03
Карбонатная жесткость (при кальциевой жесткости не более 3,5 мг-экв/л); мг-экв/л	Не более 1,5	Не более 0,7	Не более 0,4
Остаточная (общая) жесткость при использовании продувочной воды паровых котлов (допускается при закрытых системах теплоснабжения), мг-экв/л	—	Не более 0,05	Не более 0,05
Взвешенные вещества, мг/л	Не более 5		
Свободная углекислота CO_2	Отсутствует		
Масла и тяжелые нефтепродукты, мг/л	Не более 1		
Содержание силиката SiO_2 в подпиточной воде сетей с непосредственным разбором горячей воды, мг/л	Не более 40* (при этом при $t = 379 \div 423$ К $Ж_{Ca} \cdot Ш_{общ} \leqslant 1,5$, при $t = 424 \div 473$ К $Ж_{Ca} \cdot Ш_{общ} \leqslant 1,2$		
Реакция pH при силикатировании	8,4—8,5		
Присадка гидразина и других вредных веществ непосредственно в подпиточную и сетевую воду	Запрещается		

В настоящее время допустимое содержание SiO_2 в воде для горячего водоснабжения санитарными органами снижено до 20 мг/л.

ных установок согласно ПТЭ и другим директивным материалам приведено ниже:

Жесткость, мкг-экв/л	Не более 10
Содержание кислорода O_2, мкг/л	Не более 20
Содержание сульфита Na_2SO_3, мг/л	Не более 2
Гидразин N_2H_4	Не вводится
Содержание свободной углекислоты CO_2	Отсутствует
Реакция pH	$9,1 \pm 0,1$
Содержание аммиака NH_3, мкг/л	Не более 1000
Содержание нитратов NO^-_3	Не нормируется
Содержание нитритов NO^-_2, мкг/л	Не более 20
Содержание соединений:	
железа Fe, мкг/л	Не более 200
меди Cu, мкг/л	Не более 20
Содержание масел и нефтепродуктов, мг/л	Не более 1

Таблица 1.7. **Конечное качество химически обработанной воды**

Вид обработки воды	Электропроводность $\varkappa$, мкСм/см	Солесодержание, мкг/л	Кремнесодержание, $SiO_2+SiO^{2-}_3$ мкг/л	Свободная углекислота CO_2, мг/л
Обессоливание:				
полное	0,1—1,0	0,05—0,5	0,1	0,0
глубокое	0,5—2,0	0,3—1,0	0,1—0,5	0,0
частичное	2—10	1,0—5,0	До 0,5	0,0
Коагулирование, известкование и двухступенчатое Na-катионирование	—	Снижается	Снижается на 30—40%	0,0
Na-катионирование двухступенчатое	—	—	Исходное	Исходное
„Голодное" H-катионирование-декарбонизация	—	Снижается	Исходное	2—5
H—Na-катионирование-декарбонизация	—	—	—	2—5

Эти нормы в отдельных случаях могут корректироваться энергоуправлениями. Солесодержание концентрата 30—50 г/л и более устанавливается испытаниями. При солесодержании питательной воды более 2000 мг/л разрешается фосфатирование.

Ниже приведено качество дистиллята — вторичного пара:

Содержание соединения натрия Na^+, мкг/л . . .Не более 100

Содержание свободной углекислоты CO_2, мг/л . . .Не более 2

Разрешающая способность основных методов докотловой обработки воды приведена в табл. 1.7.

В начале 1983 г. на 18—23-м дисках (ЦСД, ЦНД) теплофикационных турбин высокого давления нескольких ТЭЦ Мосэнерго после 52—146 тыс. ч работы с момента пуска были обнаружены межкристаллитные трещины. Турбины работали в базовом режиме при качестве пара, соответствующем нормам ПТЭ.

Поврежденные диски располагались в зоне начала конденсации пара. Отложения на дисках отсутствовали, других повреждений не было.

По данным зарубежных журналов подобные разрушения дисков турбин, работающих с аммиачным водным режимом (аммонекс-процесс), наблюдались в США, начиная с 1975 г. На станциях Западной Европы, где поддерживается в основном безаммиачный нейтрально-кислородный водный режим, подобные разрушения отсутствовали.

Предполагается, что кроме механических напряжений, испытываемых дисками, на появлении межкристаллитных трещин сказались еще

Сульфат-ион SO^2_2, мг/л	Хлор-ион Cl, мг/л	Общая жесткость, мкг-экв/л	Общая щелочность, мг-экв/л	Перманганатная окисляемость, мг/л O_2	pH
0,0	0,0	Не более 1,0	Не более 0,01	1—3	Около 7
0,0	До 0,5	Не более 1,0	0,1—0,15	1—3	Около 7
0,0	—	1—3	До 0,4	1—3	Около 7
Возрастает	Исходное+ +2—10	3—5	0,6—1,3	50—70% исходной	10,2— 10,4
Исходное	Исходное+ +2—10	3—5	Исходное	Исходная	Исходная
Исходное+ +2—10	Исходное	$Ж_{нк}$+ +700—1500	0,7—1,5	Исходная	Около 7
Исходное+ +2—10	Исходное+ +2—10	2—10	0,3—0,7	Исходная	Около 7

и повышенный унос солей при наличии аммиака в паре и высокая концентрация NaOH и других солей Na^+ в первых порциях конденсата, который начинает образовываться именно на этих ступенях давления.

После обсуждения создавшегося положения было намечено кроме замены поврежденных дисков: разработать программу изучения причин появления межкристаллитных трещин на дисках турбин; установить глубину трещин; снизить норму содержания Na^+ в паре с 10—15 до 5 мкг/кг и при содержании Na^+ более 20—25 мкг/кг отключать агрегат; организовать контроль за качеством «первого» конденсата, образующегося в этих ступенях турбин.

1.2. Основные схемы обработки добавочной воды для питания паровых котлов ВД и СВД испарителей, паропреобразователей и для подпитки тепловых сетей

Основными схемами обработки исходной воды являются:

для паровых котлов давлением до 10 МПа — частичное ионитное обессоливание, обескремнивание (с предочисткой) или дистилляция с упрощенной схемой обработки воды (предочистка — Na-катионирование), применяемая при $Cl^-+SO^{2-}_4$ не более 4 мг-экв/л (рис. 1.1 и 1.3);

для паровых котлов давлением более 10 МПа — глу-

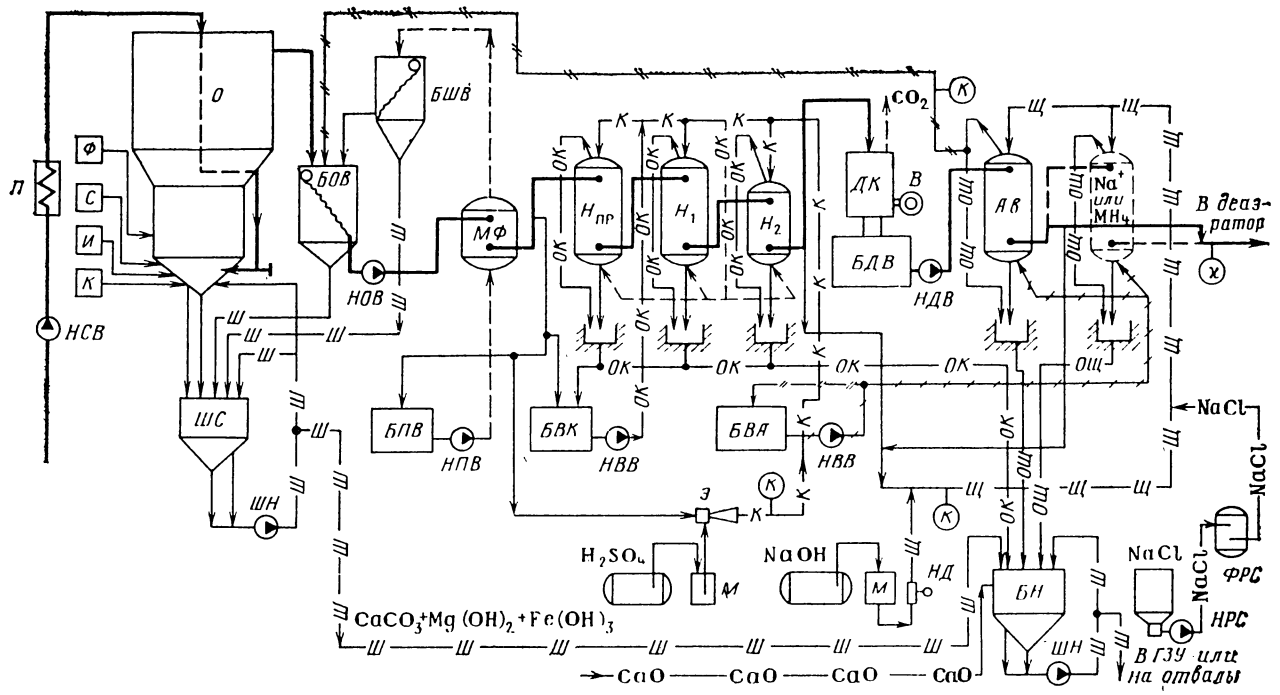

О
Ф
С
И
К
Л
НСВ
БОВ
НОВ
БШВ
МФ
Ш
ШС
ШН
БПВ
НПВ
БВК
НВВ
Нпр
Н1
Н2
ОК
К
СО2
ДК
В
БДВ
НДВ
АВ
Щ
ОЩ
Na+ или NH4
В деаэратор
Х
NaCl
ФРС
НРС
З
H2SO4
NaOH
М
НД
БН
ШН
CaCO3+Mg(OH)2+Fe(OH)3
CaO
В ГЗУ или на отвалы

Рис. 1.1. Схема частичного ионитного обессоливания, обескремнивания добавочной воды для паровых котлов ВД: *НСВ* — насос сырой воды; *П* — подогреватель; *К* — коагулянт; *И* — известь; *С* — сода; *Ф* — флокулянт; *О* — осветлитель; *БОВ* — бак отстоенной воды; *НОВ* — насос отстоенной воды; *МФ* — осветлительный фильтр: $H_{др}$, H_1 и H_2 — Н-катионитные фильтры: предвключенный, 1-й и 2-й ступеней; $Д_к$ — декарбонизатор; *БДВ* — бак декарбонизированной воды; *В* — вентилятор, *НДВ* — насос декарбонизированной воды; *Ас* — анионитный фильтр с высокоосным анионитом: Na+ или NH_4^+ — барьерный Na- или NH_4-катионитный фильтр (не обязательный); *БПВ* — бак промывочной воды; *НПВ* — насос промывочной воды; *БШВ* — бак шламовой воды; *ШС* — шламосборник; *ШН* — шламовый насос; H_2SO_4, NaOH, NaCl — резервуары регенерационных реагентов; *М* — мерники; *Э* — эжектор; *НД* — насос раствора щелочи; *БН* — бак-нейтрализатор для H_2SO_4, NaOH, $CaCO_3$; *К* — концентраторы регенерационных растворов; *к* — индикатор электропроводности-солесодержания обработанной, обессоленной воды; *БВК* — бак взрыхляющей воды Н-катионитных фильтров: *БВА* — бак взрыхляющей воды анионитных фильтров; *НВВ* — насосы взрыхляющей, промывочной воды: *НРС* — насос раствора соли; *ФРС* — фильтр для раствора соли; —— — основной поток воды; — — — осветленная вода; — · — · — взрыхляющая вода; *к* — регенерационный раствор серной кислоты; $ц$ — то же едкого натрия; NaCl — регенерационный раствор соли (аммиака); *ОЩ* — отработанный раствор щелочи; *ОК* — сбрасываемый отработавший раствор кислоты; *Ш* — шлам жидкий, — /— — взрыхляющая вода анионитных фильтров; —|—|— отмывочная вода анионитных фильтров для повторного использования; CaO — известковое молоко

бокое ионитное обессоливание, обескремнивание с предочисткой (рис. 1.2) при высокой минерализованности ($SO^{2-}_4+Cl^-$ более 4 мг-экв/л) дистилляция с упрощенной схемой обработки воды (рис. 1.3);

для питания испарителей — предочистка — двухступенчатое Na-катионирование (рис. 1.3); кроме воды, обработанной по схеме, могут также использоваться мягкие сбросные воды ВПУ и ТЭС;

для подпитки закрытой и открытой теплосети — предочистка — «голодное» Н-катионирование — декарбонизация — барьерные нерегенерируемые катионитные фильтры.

Вместо «голодного» Н-катионирования для обработки подпиточной воды систем горячего водоснабжения может применяться подкисление серной или соляной кислотой, не содержащими As, Pb, Se, а вместо нерегенерируемых барьерных, катионитных фильтров—барьерные Na-катионитные регенерируемые фильтры.

Применение продувочных вод котлов и испарителей и других мягких сбросных вод для подпитки закрытой теплосети допускается только с разрешения энергоуправления.

Хотя ПТЭ и другие директивные материалы допускают применение магнитной обработки подпиточной (и сетевой) воды, этот способ следует (вследствие его недостаточной изученности) применять с осторожностью, проводя предварительные длительные промышленные испытания.

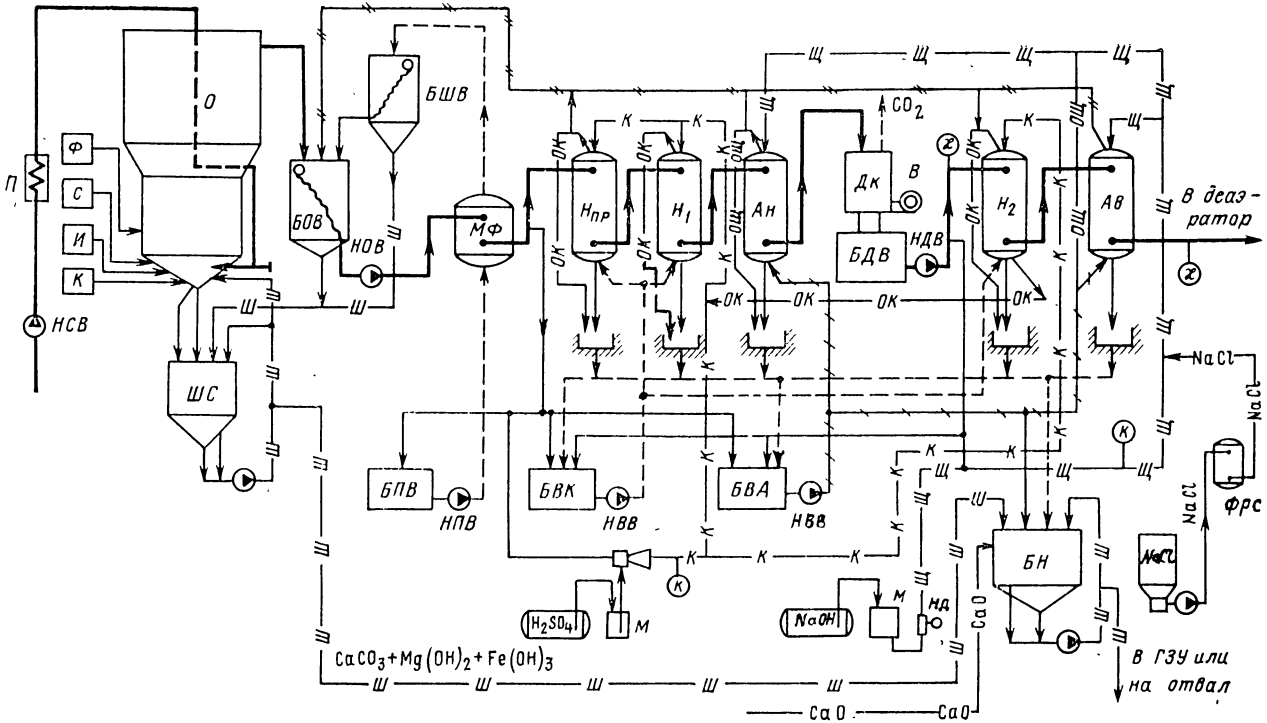


Рис. 1.2. Схема глубокого обессоливания, обескремнивания воды для барабанных паровых котлов СВД:
Ан — анионитный фильтр 1-й ступени с низкоосновным анионитом; *Ав* — то же с высокоосным анионитом 2-й ступени

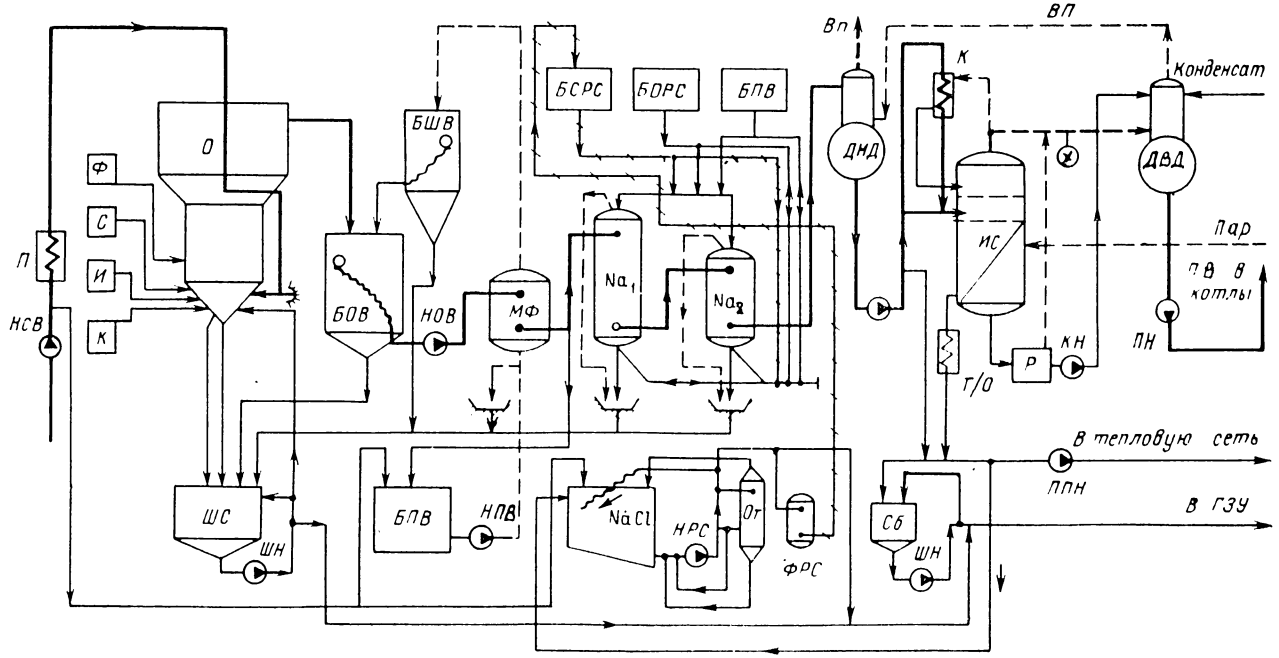


Рис. 1.3. Схема водоподготовительной установки с испарителями:

Na_1 и Na_2 — катионитные фильтры 1-й и 2-й ступеней; *Сб* —сборник мягких продувочных вод для подпитки теплосети; *БСРС* — бак свежего раствора соли; *БОРС* — то же отработавшего раствора; *БВВ* — бак взрыхляющей воды Na-катионитных фильтров; *ДНД* — деаэратор низкого давления; *ТО* — теплообменник; *ППН*—подпиточный насос теплосети; *ПН* — питательный насос; *ИС* — испаритель; *Р* — расширитель конденсата; *КН* — конденсатный насос; *ДВД* — деаэратор высокого (повышенного) давления; *Вп* — выпар; *От* — отстойник для раствора соли; остальные обозначения те же, что и на рис. 1,1 и 1.2.

1.3. Способы улучшения обработки воды на ТЭС ВД и СВД

Повышение надежности и экономичности эксплуатации ВПУ — улучшение качества обработанной воды, уменьшение расходов теплоты, электроэнергии, реагентов и воды на собственные нужды, сокращение трудозатрат, прекращение или уменьшение загрязнения окружающей среды отходами и сточными водами ВПУ—достигается выполнением целого ряда мероприятий. Основными из них являются: строгое соблюдение норм качества воды и пара во всем водно-паровом тракте ТЭС; коагуляция, флокуляция поверхностных вод при перманганатной окисляемости их более 5 мг/л O_2; известкование при карбонатной жесткости более 1,0 мг-экв/л; содирование при некарбонатной жесткости более 1,0 мг-экв/л (включая некарбонатную жесткость, образовавшуюся при коагуляции); возврат в осветлители в первую очередь всех пресных, сточных вод ВПУ, а во вторую и засоленных сточных вод ионитных фильтров; уплотнение и обезвоживание шлама из осветлителей.

Уменьшение расхода реагентов на регенерации ионитов и воды на собственные нужды достигается применением высокоактивных ионитов (КУ-2, АВ-17, КБ и др.); проведением противоточных или ступенчато-противоточных регенераций; повторным использованием отработавших регенерационных растворов и отмывочной воды; возвратом в «головку процесса обработки воды» всех отмывочных вод обессоливающих установок при условии, что их солесодержание, кремнесодержание, жесткость и щелочность не выше тех же показателей исходной воды. Может быть рекомендовано также последовательное использование отмывочных вод анионитных фильтров внутри ВПУ вместо исходной или полуобработанной воды и использование щелочного шлама из осветлителей для нейтрализации кислых вод с выделением из них до повторного использования или перед сбросом в ГЗУ пересыщающего их $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Осуществление этих мероприятий позволяет снизить расход регенерационных реагентов до 1,3—1,5-кратных стехиометрического и даже ниже, а расход воды на собственные нужды сократить с 20—25% до 7—10% и менее. При этом уменьшается сброс загрязненных сточных вод и загрязнение окружающей среды.

Сокращение сброса сточных вод может быть достигнуто применением электродиализных и гиперфильтрацион-

ных установок — установок обратного осмоса и выпариванием умягченных сбросных вод в испарителях-паропреобразователях с возвратом концентрата для регенерации ионитных фильтров. Полное же прекращение сброса сточных вод ТЭС и их ВПУ может быть достигнуто лишь глубоким выпариванием их с получением смеси сухих солей и их эвакуацией или с получением отдельных соединений ($NaCl$, Na_2SO_4, Na_2CO_3, $NaOH$, HCl и H_2SO_4) и повторным использованием их в производстве.

При неглубоком (до 100—150 г/л) упаривании мягких сточных вод (Na_2SO_4, $NaCl$) возможно применение испарителей и другого оборудования, изготовленного из углеродистой стали. Для глубокого же выпаривания, т. е. досуха или до кристализации отдельных солей, необходимо применять коррозионно-стойкие материалы — нержавеющую и титановую сталь и другие дефицитные и дорогие материалы.

Во всех случаях целесообразнее применять коагулянты, не увеличивающие содержание Cl^- и SO_4^{-2} в обрабатываемой воде, поступающей на обессоливающие фильтры, и использовать соду для уменьшения нагрузки Na- или H-катионитных фильтров. Кроме того, применение соды увеличивает содержание $CaCO_3$ в осадке, образующемся в осветлителях, утяжеляет его, улучшая осветление воды. Осаждение Ca^{2+} в осветлителях уменьшает его содержание в регенерационных водах H-катионитных фильтров, устраняет опасность «загипсования» H-катионита и повышает концентрацию H_2SO_4 в регенерационном растворе, уменьшив его объем.

В ближайшее время для подготовки добавочной воды для питания паровых котлов-испарителей, по-видимому, будут широко применяться доочищенные сточные воды городской канализации после их биологической очистки — фильтрования, хлорирования. Будучи практически равноценными исходной природной воде по солесодержанию, жесткости и ряду других показателей, эти воды содержат большое количество биогенных элементов (K, N, P) и органических соединений, способствующих развитию биологических обрастаний в аппаратуре, особенно в системах оборотного водоснабжения, а также ухудшающих процессы кристаллизации осадка в осветлителях и осветления воды. Эти факторы хотя и осложняют обработку и применение доочищенных городских сточных вод на ТЭС и ВПУ, но не должны являться поводом или причиной для

отказа от их использования после проведения необходимой обработки.

Следует учитывать, что чем меньше населенный пункт, чем меньше удельный расход воды на человека, тем больше содержание в городских сточных водах загрязнений, тем шире колебания их качества. Доочищенные сточные воды не пригодны для использования в тепловых сетях.

1.4. Применение железобетона при сооружении водоподготовительных установок

Одной из серьезных задач, стоящих перед водниками-энергетиками нашей страны, является укрупнение отдельных аппаратов ВПУ — сокращение числа последних, повышение их коррозионной стойкости, снижение габаритов. Некоторые из процессов водообработки (отстаивание, механическое фильтрование, ионный обмен) могут осуществляться в железобетонной аппаратуре большой производительности, сооружаемой на месте. Кроме применяемых в настоящее время резервуаров для воды, емкостей для хранения реагентов и растворов их, из железобетона могут изготавливаться смесители, отстойники-осветлители, осветлительные и Na-катионитные фильтры первой ступени. Железобетонная аппаратура размещается компактнее, чем стальная, нередко не требует сооружения здания для своего размещения, может быть расположена полностью или частично ниже уровня земли, а также и в несколько этажей. В южных районах установки с железобетонной аппаратурой могут быть полуоткрытого типа.

При железобетонном оборудовании ниже расход металла, значительно меньше число единиц арматуры, что облегчает автоматизацию, сокращает количество переключений. В большинстве случаев для железобетонной аппаратуры не требуется специальных противокоррозионных покрытий и можно использовать простые и недорогие покрытия.

При эксплуатации открытой железобетонной аппаратуры возможно постоянное наблюдение за ходом процессов внутри ее (взрыхление, отстаивание и др.) и своевременное устранение замеченных недостатков (неравномерность промывок, ямы и щели на поверхности фильтрующего материала и др.).

При сооружении железобетонной аппаратуры необходимо обеспечить ее водонепроницаемость, что достигается применением литого железобетона, сооружением аппаратуры в теплое время года при положительных температурах, тщательным изготовлением арматуры и опалубки, быстрой заливкой бетона, применением вибраторов. Особенно важно применять цемент высоких марок — не ниже 250—300, жирные смеси — 1 : 2 : 4 и хорошо промытые песок, гравий или каменный ще-

бень. Применение кирпичной щебенки или керамзита недопустимо. Целесообразно уплотнение бетона путем кольматации — обработки аппаратов изнутри сначала раствором $CaCl_2$, а затем $Na_2SiO_3 n SiO_2$. Осаждающийся $CaSiO_3$ уплотняет мелкие поры и щели в толще бетона.

1.5. Механизация трудоемких работ

Наиболее трудоемкими работами на ВПУ являются: разгрузка реагентов и фильтрующих материалов, особенно из крытых вагонов, транспортировка их внутри ВПУ, перегрузка фильтров и приготовление растворов; удаление отходов — недопала и песка из извести и глины из соли; управление арматурой, особенно при частых регенерациях-промывках фильтров; отбор проб воды из аппаратов ВПУ и наблюдение за показаниями приборов, не выведенными на центральный щит.

Вследствие относительно малых количеств реагентов, находящихся в таре (сода, фосфаты, иониты, флокулянты, гидразин, аммиак и т. д.), специальная механизация их выгрузки и транспортировки, кроме вагонеток, монорельсов или мостовых кранов, как правило, не предусматривается. Оборудование для разгрузки железнодорожных цистерн с жидкими реагентами, применяемое в настоящее время (сифоны, компрессоры, вакуум-насосы, насосы, резервуары), в основном удовлетворительное.

Механизация разгрузочно-транспортных работ описана в гл. 2 и др. применительно к конкретному материалу.

Трудоемкой работой аппаратчиков ВПУ является управление арматурой, вентилями-задвижками, особенно большого диаметра, удаленными от рабочей площадки аппаратчиков. Привод всех задвижек $D_у > 100$ мм по всей ВПУ, кроме отсечных, ремонтных, должен быть механизирован, снабжен дистанционным управлением, желательно с указателем степени открытия задвижки-вентиля (цепные и штанговые, пневматические, гидравлические и электрические дистанционные приводы). Арматура фильтров, промываемых или регенерируемых чаще 1 раза в сутки, должна быть автоматизирована; желательна так называемая программная автоматизация промывки и регенерации фильтров.

Для уменьшения трудозатрат на отбор и транспортировку проб воды все отборные точки должны быть сведены на один щит или несколько щитов возле рабочих мест аппаратчика-лаборанта, а также организованы местные, аналитические рабочие столы для лаборантов-обходчиков.

Рекомендуется выводить показания от важнейших местных приборов еще и на центральный щит ВПУ. Автоматизация работы установок и контроля рассмотрена в гл. 15.

Ремонт арматуры, насосов, приборов и другого мелкого оборудова-

ния ВПУ с созданием на ВПУ комплекта запасных частей, арматуры, насосов, приборов и другого мелкого оборудования должен быть механизирован и централизован.

1.6. Штаты химических цехов

Количество персонала химических цехов определяется: производительностью и сложностью обработки добавочной воды, конденсата и сточных вод; количеством котлов, турбоагрегатов, деаэраторов, испарительных и паропреобразовательных установок, установок для подогрева сетевой воды; механизацией трудоемких процессов; степенью автоматизации работы аппаратов и контроля и объемом последнего, а также компактностью-разбросанностью отдельных частей установок химцеха по обработке различных видов воды на ТЭС, удаленностью их от основного здания ТЭС; наличием и расположением экспресс-лабораторий, водных щитов и установок для ввода корректирующих реагентов в главном здании и структурными особенностями ТЭС. На численности аналитического персонала сказывается количество, вид и автоматизация отбора и разделки проб топлива, ведение лабораторией химцеха контроля сточных вод, качества энергетических масел и металлов и др. Известное влияние на численность персонала оказывает передача обслуживания отдельных установок и осуществление отдельных видов текущего контроля по ТЭС дежурному теплотехническому персоналу.

Вследствие такого множества факторов, определяющих численность персонала, весьма трудно дать какие-либо точные рекомендации по количеству персонала. В настоящее время Энергонот ведет работы по нормированию количества и квалификации персонала химцехов.

Персонал, прежде чем приступить к работе, должен ознакомиться с правилами техники безопасности, пожарной безопасности и промсанитарии, а также с правилами внутреннего распорядка. До назначения на самостоятельную работу или при переводе на другую работу лица из числа дежурного и оперативно-ремонтного персонала должны пройти теоретическую подготовку, обучение на рабочем месте и проверку знаний в объеме, необходимом для занимаемых данных должностей, а именно они должны знать: Правила технической эксплуатации электростанций и сетей (ПТЭ); Правила техники безопасности (ПТБ); Правила Госгортехнадзора (ГГТН); производственные (технологические), аналитические и должностные инструкции, а также инструкции по взаимоотношениям с персоналом других цехов ТЭС; технический минимум. После проверки знаний поступающий должен пройти стаж исполняющего обязанности дежурного на данном рабочем месте (дублирование), после успешного окончания которого дублер может быть назначен на самостоятельную работу.

При пуске ТЭС и ее ВПУ или отдельной схемы ее с нуля персонал ее должен пройти обучение-дублирование на другой ТЭС или ВПУ, где имеется уже работающая по аналогичной схеме установка.

1.7. Порядок приемки, пуска и наладки работы вновь сооруженной ВПУ, составления режимных карт, технологических, аналитических и должностных инструкций и инструкций по технике безопасности

Приемка оборудования из монтажа производится в соответствии с «Инструкцией по приемке в эксплуатацию тепловых электростанций И-38-51» и другими директивными материалами (ПТЭ, НТП и др.).

Начальник химического цеха, его заместитель или другой руководящий работник цеха должен приступить к работе не позднее чем за 6 мес до пуска ТЭС. ВПУ должна быть включена во временную эксплуатацию не позднее чем за 2 мес до начала предпусковой очистки первого парового котла ТЭС.

В этот же период дежурный персонал должен пройти необходимое производственное обучение и дублирование на другой ТЭС (ВПУ). и не позднее чем за 1 мес до пуска ВПУ приступить к работе на ВПУ сначала в дневную смену, а затем круглосуточно.

Руководящий персонал ВПУ с начала работы должен:

ознакомиться с проектной документацией по ТЭС и ВПУ, чертежами и пояснительной запиской;

ознакомиться с состоянием строительства и монтажа ВПУ и других объектов, подведомственных химцеху, хотя и входящих в состав других цехов ТЭС (деаэраторы, обезмасливающие установки для конденсата и технической воды, нейтрализационные установки для обмывочных вод РВП и др.);

ознакомиться с поступлением на строительно-монтажную площадку оборудования, строительных и монтажных материалов, с обеспечением сооружаемой ВПУ и ТЭС реагентами и загрузочными материалами, необходимыми для пуска и эксплуатации ВПУ и ТЭС, в том числе реагентами для предпусковых промывок оборудования;

составить график завершения строительно-монтажных работ, пуска и наладки ВПУ, согласовать его со строительно-монтажными организациями и утвердить руководством ТЭС;

начать подбор и обучение персонала химического цеха;

составить по литературным данным, типовым или аналогичным производственным (технологическим), аналитическим и должностным инструкциям и инструкциям по технике безопасности новые, временные инструкции и режимные карты применительно к сооружаемой ВПУ или другим водным объектам ТЭС;

вести повседневное наблюдение за ходом строительства и монтажа ВПУ, не допускать или устранять допущенные недостатки, совместно с отделом капитального строительства ТЭС принимать участие в составлении актов на законченные работы (в том числе и на скрытые), составлять ведомости допущенных и неустраненных строительно-мон-

тажными организациями недостатков и устанавливать согласованные сроки их устранения;

принимать участие вместе с персоналом строительно-монтажных организаций в гидравлическом опробовании оборудования, обкатке насосов, электродвигателей, опробовании контрольно-измерительной аппаратуры и др.;

руководить работами по изготовлению и установке в фильтрах дренажных устройств, по загрузке фильтров фильтрующими материалами, по приемке реагентов, приготовлению рабочих растворов реагентов и т. д.

В пуске и наладке работы ВПУ и водно-химического режима ТЭС обычно принимают участие работники химслужбы районного энергетического управления (РЭУ), в сложных случаях привлекаются другие специализированные организации. Иногда для этой цели привлекаются химики-энергетики с других, уже действующих ТЭС. Руководящий персонал химического цеха принимает участие в приемке после монтажа ряда агрегатов ТЭС, за работой которых ведет наблюдение или контроль персонал химического цеха. К таким агрегатам относятся: деаэраторы, конденсатоочистительные, испарительные и паропреобразовательные установки, подогреватели сетевой воды (бойлеры), паровые котлы и их продувочные системы, дренажные баки, пробоотборные трассы, холодильники для проб, водные щиты, аналитические приборы, турбогенераторы с конденсаторами и оборотными системами и др.

Под руководством персонала химического цеха проводятся предпусковые водно-химические промывки теплоэнергетического оборудования (деаэраторов, питательного тракта, паровых котлов, парового тракта и т. д.).

Пуск ВПУ и отдельных ее частей, необходимых для пуска ТЭС, должен осуществляться не позднее чем за 2 мес до начала водно-химических промывок основного оборудования ТЭС.

После окончания монтажа, пуска и включения во временную эксплуатацию водоподготовительного оборудования и всей ТЭС в соответствии с инструкцией И-38-51 назначенная для приемки Государственная комиссия составляет необходимую техническую документацию и приемочный акт на всю ТЭС, в том числе на ВПУ и другие объекты химического цеха.

Составленная техническая документация является техническим паспортом ТЭС и ВПУ. В ней, а также в актах должны быть изложены все данные и соображения по обеспечению надежной постоянной работы ТЭС и ВПУ и устранению имеющихся недостатков.

РЕАГЕНТНОЕ И СКЛАДСКОЕ ХОЗЯЙСТВО ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

С учетом поквартального планирования дальних железнодорожных перевозок, трудностей с транспортом, возникающих особенно в зимнее время, вместимость складов ВПУ для дальнепривозных реагентов (соли, извести, коагулянтов), должна обеспечивать не менее чем пятимесячную потребность в них. При местных перевозках в пределах района, области или при близком расположении производителей извести или базисных центральных складов соли вместимость соответствующих складов может быть уменьшена до 1—3-месячной потребности при обеспечении возможности выгрузки одного 60-тонного вагона и при одновременном наличии на складах месячного запаса реагента. Следует учитывать, что реагенты поступают, как правило, в 60-тонных вагонах. В состав реагентных хозяйств ВПУ ТЭС входят:

склад для коагулянта, доставляемого как насыпью, навалом [$Al_2(SO_4)_3$ и $FeSO_4$], так и в таре ($FeSO_4$), а также оборудование для растворения коагулянта, осветления крепкого раствора и приготовления рабочего разбавленного раствора. Сернокислое железо можно иногда доставлять цистернами в виде крепкого кислого раствора из травильных цехов металлургических заводов;

склад для негашеной извести, доставляемой насыпью или в контейнерах, с помещениями—навесами и оборудованием для разгрузки, хранения, гашения извести, для отделения, накопления и удаления отходов (недопала) и для приготовления известкового молока рабочей крепости. Иногда на ВПУ полностью или частично может поступать известковое молоко;

склад для растворимого стекла — «глыбы», прибывающего насыпью, навалом;

склад для прибывающего в таре флокулянта (полиакриламида, активной кремнекислоты — жидкого стекла), с оборудованием для приготовления рабочего раствора флокулянта;

склад для прибывающей в таре (мешках) соды, ее хранения и приготовления рабочего раствора;

склад для прибывающей насыпью соли, ее хранения в сухом, полусухом или «мокром» виде с оборудованием для растворения и осветления насыщенного раствора,

удаления нерастворимого остатка и приготовления рабочего, разбавленного раствора;

склады для других реагентов (фосфатов, аммиака, гидразина, нитритов, нитратов, ингибиторов, трилона Б, сухих органических кислот, сульфата аммония, сульфаминовой кислоты и т. д.), прибывающих в таре;

склады — резервуары для приемки и хранения жидких кислот и щелочей (H_2SO_4, NaOH, силиката натрия, водного конденсата — «черной кислоты», ингибированной соляной кислоты для промывки оборудования и др.), устройств (сифонов, вакуум-насосов, компрессоров, ловушек, кислотно- и щелочестойких насосов, монжюсов, эжекторов и др.) для приемки, перекачки и разбавления крепких растворов;

склады для фильтрующих материалов (ионитов, сорбентов), поступающих как в таре, так и насыпью (песок-кварц, антрацит, кокс, пековый кокс, керамзит и др.).

Склады должны быть оборудованы гидросортировкой для возможности промывки и сортировки фильтрующих материалов как свежих, так и эксплуатировавшихся и не вполне отвечающих по качеству требованиям ПТЭ и инструкций. Желательно предусмотреть гидротранспортировку инертных фильтрующих материалов и пневмотранспортировку ионитов от склада до фильтров.

В зависимости от способа доставки склады для извести должны быть соответственно оборудованы. При доставке ее насыпью — в открытых полувагонах должны быть мостовые краны с грейферными ковшами для выгрузки, перегрузки негашеной и гашеной извести и выгрузки недопала, ячейки для гашения и хранения гашеной извести, аппараты для приготовления известкового молока (гашения извести) и отделения недопала. Рекомендуется для уменьшения пыления негашеной извести при перегрузках гасить ее сразу же при выгрузке из транспорта. При длительном гашении (не менее 24 ч) имеющаяся в извести водорастворимая CaO используется полнее. При доставке извести в контейнерах необходим мостовой кран с талью для передвижения контейнеров, а также аппарат для гашения. При доставке жидкого известкового молока с заводов железобетонных изделий (ЖБИ) и домостроительных комбинатов (ДСК) или известкового молока от крупных установок для получения ацетилена из карбида кальция, так называемой карбидной извести, на складе должны быть емкости для приемки и хранения концентрированного молока и приготовления молока рабочей крепо-

сти 1000—2000 мг-экв/л. В случае доставки извести в жидком виде или контейнерах следует, в порядке страховки, предусмотреть возможность хранения небольших количеств негашеной или гашеной извести (10—15-суточный запас) и получения из нее молока на имеющемся оборудовании. Удаление недопала рекомендуется производить вагонетками-контейнерами, автосамосвалами. Гидроудаление недопала из-за возможности забивания, замерзания трубопроводов при периодической работе, как правило, не рекомендуется; оно допускается только при наличии мелкого, дробленого недопала (не более 20 мм) при коротких, промываемых, продуваемых и опоражниваемых пульпопроводах и наличии на ТЭС гидрозолошлакоудаления. Пульпопроводы должны иметь уклон не менее 5° в сторону слива.

Завершающей операцией на известковых складах является приготовление известкового молока рабочей концентрации в мешалках с перемешиванием циркуляционными насосами, лопастной мешалкой или воздухом и перекачка готового молока в рабочие мешалки. При близком расположении известкового склада от осветлителей предварительные мешалки (при достаточном их числе) могут использоваться и в качестве рабочих.

При хранении гашеной извести в виде густого, пластичного известкового теста выгрузка его из гасильных ячеек и доставка в аппарат для размыва и отделения недопала производится грейферами.

Схемы известковых хозяйств различных типов приведены на рис. 2.1—2.3.

Коагулянт, доставляемый навалом, в виде комьев, плит $Al_2(SO_4)_3$ или кристаллов в таре ($FeSO_4$) следует растворять при выгрузке, засыпать в ячейки, заполненные водой. Разбавление до рабочей крепости производят в рабочих баках с перемешиванием воздухом. При недостаточной вместимости ячеек реагенты хранят в сухом виде.

При наличии вблизи ТЭС металлургических, машиностроительных заводов или заводов металлических изделий, применяющих кислотное травление металла (стали), целесообразно организовать доставку на ТЭС в кислотоупорных цистернах отработанного травильного раствора, содержащего до 30—35% $FeSO_4$ и 3—5% H_2SO_4 (рис. 2.4). Как показывает опыт двух ТЭЦ Мосэнерго, этот раствор вполне заменяет кристаллический $FeSO_4$ и уменьшает затраты труда на выгрузку и растворение его. Масса раствора на 50% больше массы кристаллического $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

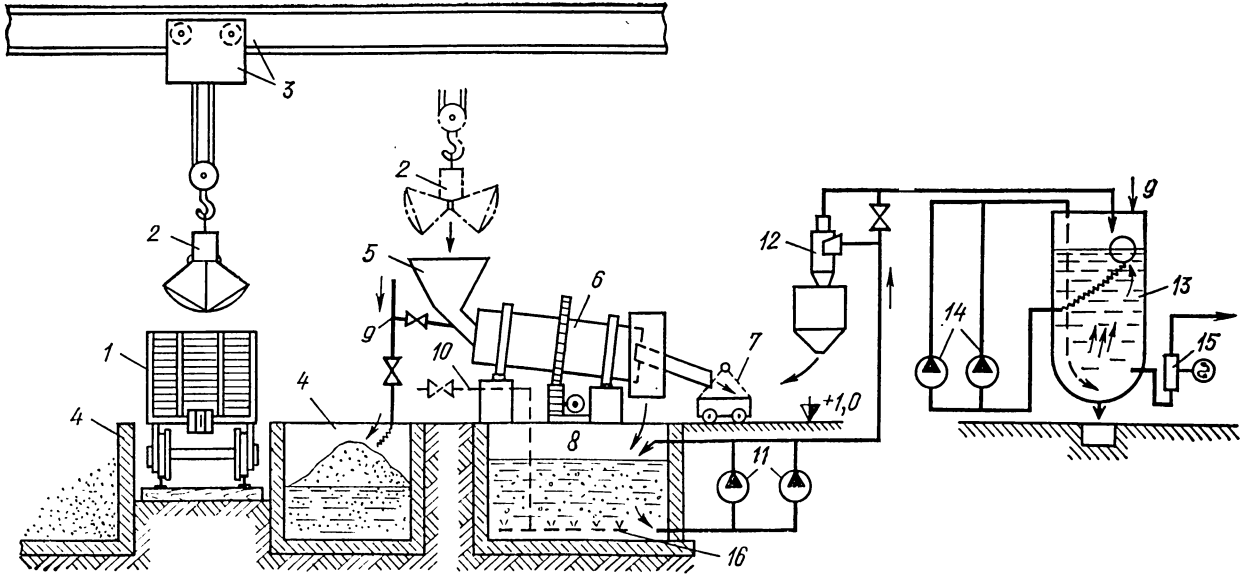


Рис. 2.1. Склад для извести:

1 — открытый полувагон; *2* — грейферный ковш; *3* — мостовой кран — кран-балка; *4* — железобетонная ячейка для сухой извести или ее гашения; *5* — приемная воронка; *6* — аппарат для гашения — размыва извести (МИКА); *7* — вагонетка для недопала; *8* — железобетонная ячейка для известкового молока; *9* — подвод воды; *10* — подвод сжатого воздуха; *11* — насосы известкового молока; *12* — циклон и бункер для отделения недопала; *13* — известковая мешалка; *14* — циркуляционные насосы известкового молока; *15* — дозирующий насос известкового молока; *16* — барботер

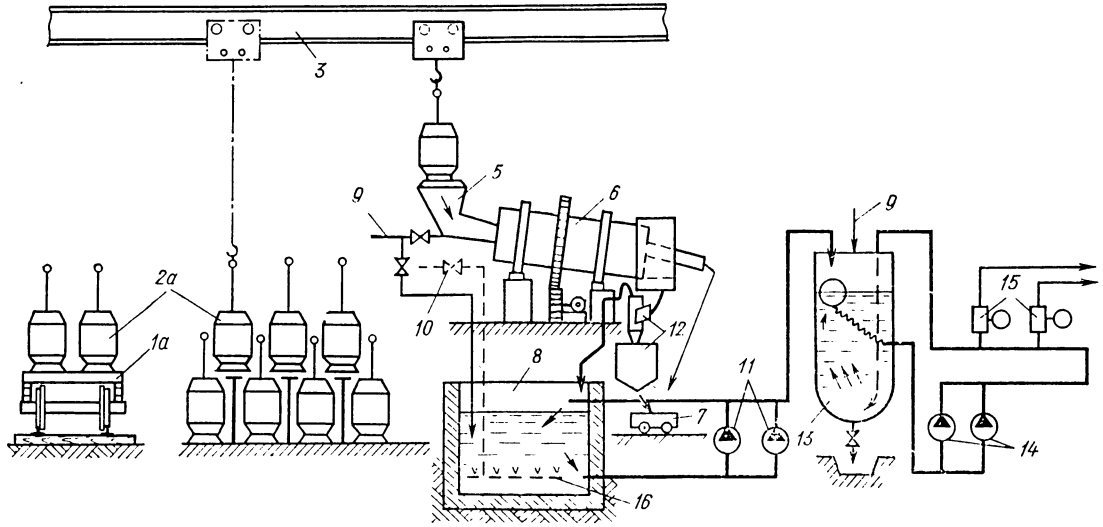


Рис. 2.2. Склад для извести при контейнерной доставке ее:
1а — железнодорожная платформа; *2а* — контейнеры; остальные обозначения те же, что и на рис. 2.1

Избыточная кислотность кристаллического $FeSO_4$ достигает 1% H_2SO_4; для ее уменьшения можно в раствор сернокислого железа или в травильный раствор насыпать стальные стружки или опилки.

Флокулянт, обычно полиакриламид (ПАА), представляет собой вязкую массу от желто-зеленого до бурого цве-

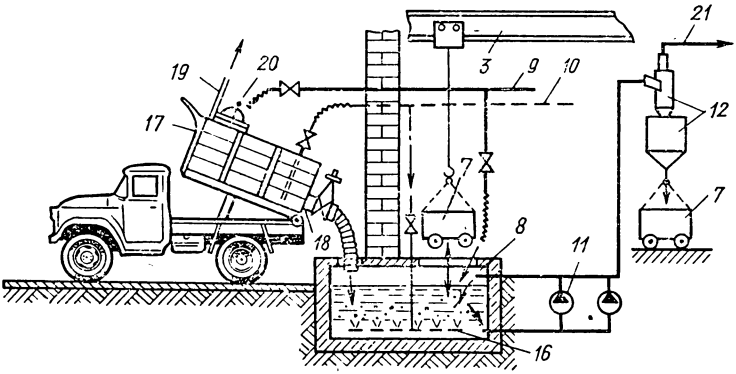


Рис. 2.3. Склад для приемки и хранения жидкой гашеной извести (молока):

17 — автосамосвал с приваренной к кузову крышкой; *18* — спускная задвижка; *19*— воздушник; *20* — люк; *21* — подача молока в известковую мешалку; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.1 и 1.2

та, содержащую до 8—9% безводного вещества, медленно растворяющуюся (пептизирующую) в воде. ПАА доставляют в полиэтиленовых мешках, уложенных в бочки, ящики, барабаны, в которых флокулянт и хранят. Для получения 0,1—0,5%-ного раствора (коллоидного) массу ПАА размешивают в бачке лопастной мешалкой с большой частотой вращения (900—1000 об/мин) до получения однородной, слабо вязкой жидкости (рис. 2.5). Для получения раствора ПАА можно также применять циркуляционную мешалку с насосом и эжектором-соплом для измельчения массы струей воды (рис. 2.6).

Соль, в том числе техническая, и калийные отходы доставляются насыпью. Учитывая поквартальную поставку, смерзаемость-закристаллизовываемость, соли, особенно в зимнее время, наличие нерастворимого остатка (даже в 1- и 2-м сортах пищевой соли содержится 0,5—1,0%, а в отходах до 10%) рекомендуется доставлять соль в полувагонах с нижней выгрузкой, хуже на открытых платформах и в крытых вагонах (рис. 2.7).

Для разгрузки из крытых вагонов можно применять машины типа МВС-3, гидротранспортеры и гидроэлеваторы, ленточные транспортеры. Для выгрузки соли из полувагонов в ячейки можно применять мостовые краны с грейферными ковшами.

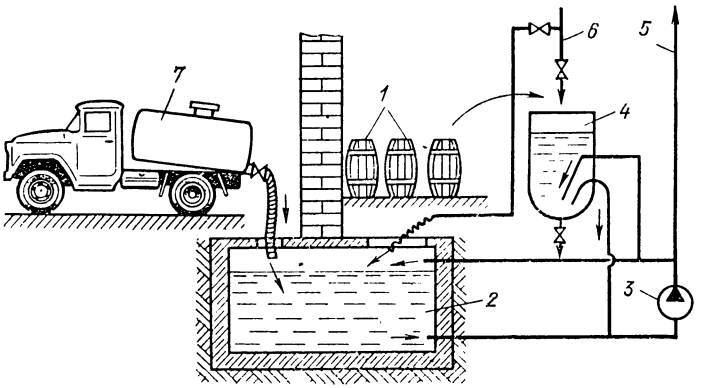


Рис. 2.4. Склад для коагулянта:

1 — бочки-ящики с коагулянтом ($FeSO_4$); *2* — железобетонная ячейка для раствора коагулянта; *3* — насос для раствора коагулянта; *4* — мешалка для приготовления рабочего раствора коагулянта; *5* — подача рабочего раствора коагулянта в мерник; *6* — подвод воды; *7* — автоцистерна для подвоза отработавшего травильного раствора ($FeSO_4$)

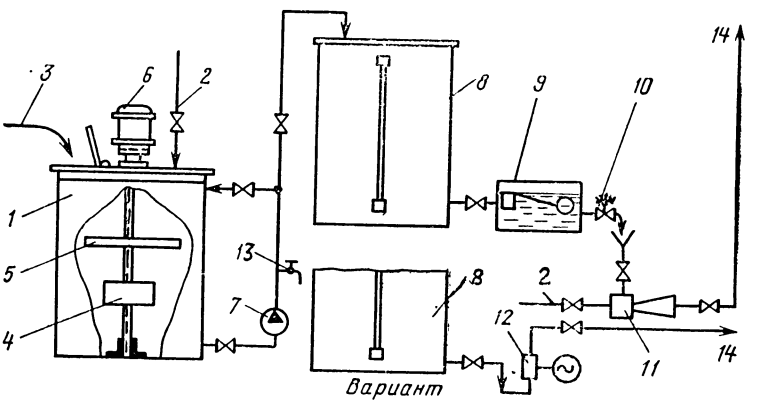


Рис. 2.5. Установка для приготовления раствора полиакриламида:

1 — корпус мешалки (1,2×1,2×1,5 м; v=2 м³); *2* — подвод воды; *3* — загрузка полиакриламида (около 150 кг — 8%); *4* — лопасти (d=250, b=60); *5* — диск (d=400); *6* — электродвигатель, N=4,5 кВт, n=1000 об/мин; *7* — насос Q=10÷15 м³/ч; *8* — бак рабочего 0,5—1%-ного раствора ПАА, v=2 м³; *9* — бачок постоянного уровня; *10* — дозирующий кран; *11* — эжектор; *12* — дозирующий насос НД; *13* — отбор проб; *14* — подача раствора ПАА в обрабатываемую воду

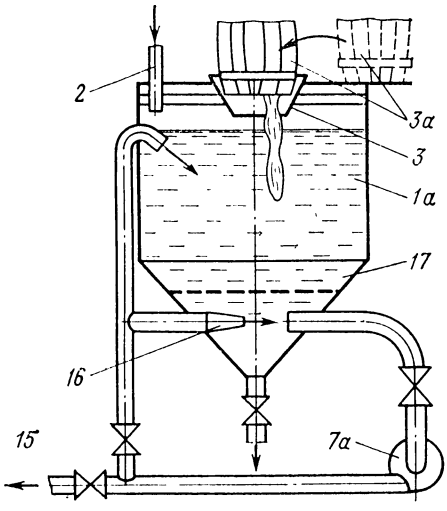


Рис. 2.6. Циркуляционная мешалка для приготовления раствора полиакриламида:

1а — цилиндрическая мешалка (v=2 м³); *3а* — бочка с полиакриламидом; *7а* — циркуляционный насос (Q=30 м³/ч, h=20÷30 м вод. ст.; *15* — в бак рабочего раствора; *17* — решетка, $d_{отв}$=20÷30 мм; остальные обозначения те же, что и на рис. 2.5

Хранение твердой соли рекомендуется на открытых бортовых, заглубленных площадках с передвижением соли в пределах площадки при помощи бульдозеров. Железнодорожные пути и территория возле склада должны быть забетонированы и заасфальтированы (рис. 2.8).

Растворение соли, находящейся на площадке, должно осуществляться горячей водой (зимой) до насыщения, при циркуляции с помощью насоса. На площадке должен оставаться только мусор; глина и песок отделяются от насыщенного раствора в специальных отстойниках. Для

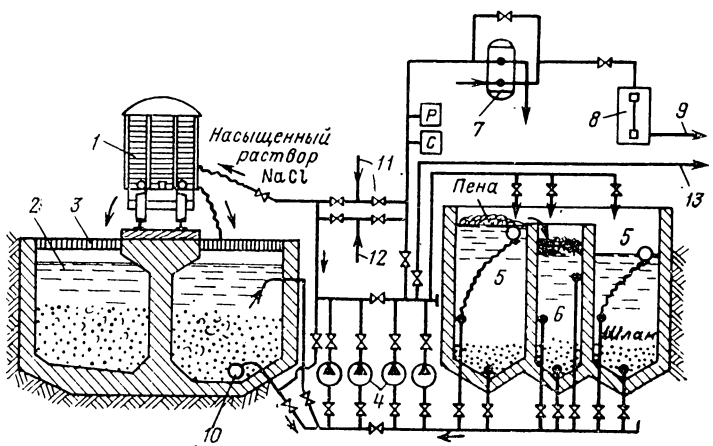


Рис. 2.7. Солевое хозяйство:

1 — железнодорожный вагон (полувагон); *2* — подрельсовые ячейки; *3* — решетка; *4* — насосы для раствора соли; *5* — отстойные ячейки для насыщенного раствора соли (v=$Q_{сут}$); *6* — ячейка для сбора шлама и пены; *7* — фильтр для раствора соли; *8* — мерник для насыщенного раствора соли; *9* — к фильтрам; *10* — дырчатая труба; *11* — подвод холодной технической воды; *12* — подвод горячей воды (тепло-фикационная, продувочная и др.); *13* — гидроэлеватор (в вагоне)

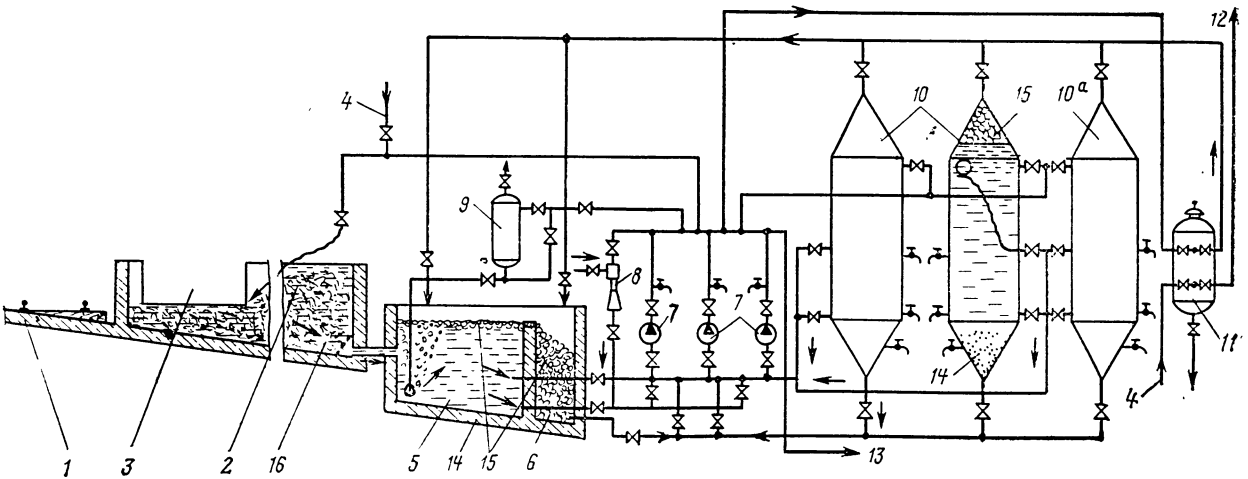


Рис. 2.8. Солевое хозяйство для грязной соли:

1 — забетонированная территория; *2* — открытая площадка-ячейка; *3* — въезд для бульдозера; *4* — подвод воды; *5* — сборник-флотатор насыщенного раствора соли; *6* — пеношламосборник; *7* — насосы для раствора соли; *8* — эжектор для подсоса воздуха; *9* — воздухоотделитель (насытитель); *10* — отстойники; *10а* — шламоотстойник-шламопромыватель; *11* — фильтр для раствора соли; *12* — к Na-катионитным фильтрам; *13* — шлам в отвал (ГЗУ); *14* — шлам; *15* — пена; *16* — соль

улучшения осветления раствора следует применять: коагуляцию, флокуляцию или электрокоагуляцию с отстаиванием в течение 6—8 ч. Особенно удобно применение коагуляции, флокуляции, когда соответствующие реагенты используются в основной схеме обработки воды.

При отсутствии коагуляции, флокуляции необходим отстой в течение 24 ч.

Удаление (сдувание, сгребание) пены с поверхности насыщенного раствора соли в отстойнике предусматривается вскоре после его заполнения. Отстойники должны иметь конусообразное днище с углом в 60—70° для накапливания и удаления осадка и сборный желоб для удаления пены. Осадок вместе с пеной должен повторно обрабатывается водой и затем (без соли) откачиваться насосом в систему ГЗУ или вывозиться в отвал. Слабый раствор соли должен применяться для растворения новых порций соли или (после отстаивания) для приготовления рабочего раствора. Насыщенный раствор соли после отстаивания должен забираться плавающим всасом и подаваться в мерники для разбавления до рабочей крепости 5—8%.

Возможно также автоматическое разбавление насыщенного раствора из запасного резервуара-мерника эжектором по импульсу от концентратомера, однако при высоком (на отметке 8—10 м) расположении баков для отработавшего раствора следует применять перекачивающие насосы, так как эжектор не всегда может преодолеть противодавление.

При разгрузке крытых вагонов с реагентами или фильтрующими материалами, прибывающими в таре (мешки, бочки, барабаны, бидоны), следует применять монорельсы с кошками-талями, тележки, электрокары и т. п. для доставки реагентов в склады.

Сульфоуголь должен храниться в мешках, сложенных «колодцем» для предупреждения самовозгорания и проверки его температуры, которая не должна быть выше 40 °С. При хранении сульфоугля насыпью (из разорванных мешков) необходимо заливать его водой во избежание самовозгорания.

Баллоны с хлором должны храниться в специальном, отдельно расположенном складе. При небольшом расходе хлора склад может находиться возле хлораторной. Бочки с хлорной известью или гипохлоритом хранят или в помещении хлораторной, или вблизи нее на отдельном складе. Склады должны быть снабжены вытяжными вентилято-

рами с забором воздуха у пола помещения склада. Включение вентиляторов должно производиться снаружи помещения склада.

Склад сухой извести также должен иметь вытяжную вентиляцию, особенно из мест забора сухой извести и ее разгрузки, где пыление наиболее интенсивно.

Помещения складов извести, соли, коагулянта не отапливаются, иониты же, аммиак и другие реагенты должны храниться при положительной температуре.

Гидразингидрат должен храниться в отдельном помещении с вытяжной вентиляцией или в помещении установки для его разбавления и дозирования.

В складах кислых реагентов [H_2SO_4, $FeSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$] возле насосов необходимо иметь известь, песок, опилки для нейтрализации пролитого реагента.

Во все помещения склада должна быть подведена вода для мытья полов, а сам пол должен быть бетонным, асфальтированным или выложенным керамической плиткой и иметь уклон в сторону канализационных трапов или сборных каналов.

Склады инертных фильтрующих материалов должны иметь механизированную гидросортировку (рис. 2.9) для промывки от грязи и сортировки по фракциям фильтрующих материалов и установку для кислотной промывки закарбонизированных или зажелезненных фильтрующих материалов,

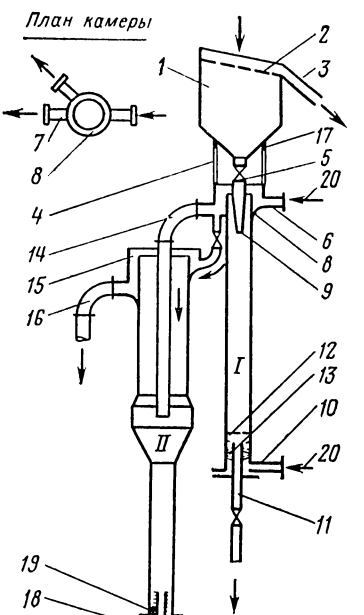


Рис. 2.9. Двухступенчатый гидроклассификатор для фильтрующих материалов Горьковского инженерно-строительного института производительностью 2 м³/ч при расходе воды 40 м³/ч:

I — первая ступень; *II* — ступень; *1* — загрузочный бункер; *2* — сетка; *3* — лоток; *4* — опоры бункера; *5* — задвижка; *6*, *7* — регулирующие патрубки; *8* — сборный лоток; *9* — сужающийся патрубок; *10* — подающий патрубок; *11* — разгрузочный патрубок крупной фракции; *12* — дырчатое дно; *13* — направляющие ребра; *14* — соединительная труба; *15* — сборный лоток; *16* — разгрузочная труба мелкой фракции; *17* — опорное кольцо; *18* — разгрузочный патрубок средней фракции; *19* — подводящий патрубок; *20* — подача воды

а также передвижные установки для гидро- и пневмозагрузки материала в фильтры. Разгрузка и транспортировка материалов внутри склада и доставка их в фильтровальное отделение должны быть механизированы (мостовые балочные краны с грейферными ковшами, коробки-тележки, гидроэжекторы, вакуум-установки и т. п.) по местным условиям.

Возможна доставка на ТЭС в железнодорожных цистернах чистого насыщенного раствора соли — «рапы» с калийных комбинатов. При этом вместе с солью перевозится 75% — тройное количество воды и необходима в 2,5—3,0 раза бо́льшая вместимость хранилищ для соли, но становится ненужным ручной труд на разгрузку соли и удаление осадка.

Перспективна транспортировка мелкокристаллической (1—2 мм) соли (отходы Белорусскалия) в ее насыщенном растворе в железнодорожных цистернах. Пульпа NaCl сравнительно легко выгружается из цистерн через нижний выпуск при смыве оставшейся соли ее насыщенным раствором. При этом перевозится только около 25% воды.

На некоторых ТЭС Мосэнерго сооружают артезианские скважины и с успехом пользуются чистыми крепкими растворами подземных «морей», содержащими 15—25% NaCl, несмотря на их высокую жесткость (500—1000 мг-экв/л в неразбавленном и около 100 мг-экв/л в разбавленном растворе).

СВЕДЕНИЯ О ВАЖНЕЙШИХ РЕАГЕНТАХ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВОДЫ, И УСЛОВИЯХ ИХ ХРАНЕНИЯ

Коагулянт — сернокислый алюминий или глинозем неочищенный, $Al_2(SO_4)_3 \cdot nH_2O \cdot mSiO_2$, беловато-серый порошок, ГОСТ 5155-54, содержание Al_2O_3 9,5%; свободной H_2SO_4 2—3%, нерастворимого остатка не более 23%.

Сернокислый алюминий очищенный $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ куски, ГОСТ 12996-75, содержание Al_2O_3: высший сорт 16,3%, первый сорт 15%, второй сорт 14%. Хранение 1—3-месячного запаса насыпью в железобетонных резервуарах, реже в таре.

Сернокислое (закисное) железо — железный купорос, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ — бледно-зеленые кристаллы с буроватым налетом, ГОСТ 6981-75, содержание $FeSO_4$ 47—53%. Хранение 1—3-месячного запаса в железобетонных резервуарах или в таре.

Флокулянт — полиакриламид (*ПАА*) — вязкая масса зеленовато-бурого цвета $[C_3H_5 \cdot ON]_n$, различные технические условия, содержание сухого вещества 8—9%. Хранение 1—3-месячного запаса в таре (полиэтиленовые мешки в ящиках, бочках или барабанах).

Флокулянт-консервант — силикат натрия, растворимый $Na_2O \times 2{,}8—3{,}5\ SiO_2$ — глыба, ГОСТ 13079-67, стекловидные куски зеленовато-желтого цвета, содержание Na_2O 22,7—27,5% , SiO_2 71,5—76,5%. Хранение 1—3-месячного запаса насыпью.

Стекло натриевое жидкое — серовато-бурая, густая, вязкая жидкость, ГОСТ 13078-67, содержание Na_2O 10—12%, SiO_2 28,5—33%. Хранение 1—3-месячного запаса в резервуарах.

Известь строительная воздушная негашеная CaO, белые комки — пылящий порошок, ГОСТ 9179-77, содержание водорастворимой CaO 20—60%. Хранение 1—3-месячного запаса насыпью в железобетонных резервуарах, где известь можно и гасить.

Углекислый натрий — сода кальцинированная Na_2CO_3, порошок белого цвета, ГОСТ 5100-73. Хранение 1—3-месячного запаса или в мешках, или в железобетонных резервуарах.

Едкий натр — каустическая сода — каустик NaOH, ГОСТ 2263-71, твердый, содержание NaOH 94—98,5%. Хранение 1—3-месячного запаса в таре — стальных барабанах.

Едкий натр жидкий, содержание NaOH 43—46%. Хранение 1—3-месячного запаса в стальных резервуарах при температуре выше 0 °С.

Серная кислота — H_2SO_4, контактная улучшенная — купоросное масло, ГОСТ 2184-77, содержание H_2SO_4 92,5—94,0%. В высшем и 1-м сорте нормируется содержание мышьяка, As должно быть не более 0,00008—0,0001%.

Серная кислота техническая, содержание H_2SO_4 92,5%.

Серная кислота башенная, содержание H_2SO_4 75%, регенерированная — H_2SO_4 91%.

Серная кислота аккумуляторная, ГОСТ 667-73, содержание H_2SO_4 92—94%, As 0,00005—0,0001%.

Таблица 2.1. **Качество различных видов поваренной соли**

Сорт соли	Содержание на сухое вещество, %		
	NaCl+KCl	Ca+Mg	Нерастворимый остаток
Пищевая, ГОСТ 13830-68:			
экстра	99,2	0,03	0,05
высший	98	0,1	0,2
первый	97,5	0,1	0,5
второй	96,5	0,2	0,9
Техническая очищенная Уралкалия, ТУ 6-13-10-77	98±1	0,55	0,8
Техническая — отходы Уралкалия, ТУ 6-13-5-75	95,7	0,815	2,0
Техническая — отходы Белорусскалия, ТУ 6-13-5-75	93,5	0,43	5,5

Серная кислота с концентрацией H_2SO_4 выше 75% хранится в стальных резервуарах при температуре не ниже 20 °С.

Хлористый натрий — поваренная соль NaCl: пищевая, ГОСТ 13830-68, техническая, очищенная Уралкалия ТУ 6-13-10-77, техническая — отходы Уралкалия и Белорусскалия — ТУ 6-13-5-75. Качество различных видов поваренной соли приведено в табл. 2.1.

Соляная кислота HCl: техническая, ГОСТ 1382-69, содержание HCl: первый сорт 31,52%, второй сорт 27,5%; синтетическая, ГОСТ 857-69, содержание HCl: сорт А=35÷38%, сорт Б не менее 31,5%, сорт В не менее 31,0%; ингибированная, ТУ 6-01-714-77, содержание HCl 19—25%, скорость коррозии при 20 °С 0,25 г/(м²·ч) — 0,28 мм/год.

Техническую и синтетическую соляные кислоты хранят в резервуарах с кислотостойким покрытием или в стеклянных бутылях. Ингибированная кислота может храниться в течение 1—2 мес в стальных, сварных, не защищенных покрытиями от разъедания резервуарах; толщина стенок и дна 8—10 мм. Количество хранимой кислоты на одну промывку котла с запасом 25%. Обычная вместимость резервуара не менее 25 м³, равна вместимости железнодорожной цистерны.

Аммиак жидкий (сжиженный) синтетический NH_3, ГОСТ 6221-75, содержание NH_3 99,6%. Хранение 1—3-месячного запаса в стальных баллонах.

Аммиак водный NH_3—NH_4OH, ГОСТ 9-77. Содержание $NH_3 \approx 25\%$, CO_2 8 г/л. Хранение 1—3-месячного запаса в бочках, бутылях.

Сернокислый аммоний — сульфат аммония $(NH_4)_2SO_4$ кристаллический, ГОСТ 10873-73 и 9097-74, содержание $(NH_4)_2SO_4$ 98—99%. Хранение в таре или насыпью, имеет кислую реакцию.

Персульфат аммония $(NH_4)_2S_2O_8$, кристаллический.

Хлор жидкий Cl_2, ГОСТ 6768-68, содержание Cl_2 99,8%. Хранение в баллонах, на отдельном складе.

Известь хлорная $CaOCl_2$, ГОСТ 1692-78, содержание активного хлора 32—35%. Хранение в таре (деревянные бочки).

Кальция гипохлорит двутретьосновной $Ca(OCl)_2$, ГОСТ 13392-73, содержание Cl_2: 1-й сорт 55%, 2-й сорт 50%. Хранение в таре. Запас не более 3 мес.

Гипохлорит натрия NaOCl, ГОСТ 11086-76, содержание Cl 20%. Хранение в таре.

Суперфосфат — смесь $Ca(H_2PO_4)_2 + H_3PO_4 + CaSO_4$; гранулированный, ГОСТ 5956-78, содержание усвояемой P_2O_5 (19—20±1)%, свободной P_2O_5 2,4—2,5%; двойной, гранулированный, ГОСТ 16306-75, содержание: усвояемой P_2O_5 (43—49±1)%, водорастворимой P_2O_5 не менее 42—37%, свободной P_2O_5—2,5—5,0%.

Натрий фосфорнокислый — тринатрийфосфат Na_3PO_4, ГОСТ 201—76; одноводный технический $Na_3PO_4 \cdot H_2O$, содержание P_2O_5 38,8%; двенадцативодный технический и пищевой, содержание P_2O_5 18,5—18,7%;

pH 1%-ного водного раствора 11,5—12,5. Хранение в мешках или другой таре.

Натрий фосфорно-кислый — динатрийфосфат $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$, ГОСТ 451-41, содержание $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$: 1-й сорт 96%, 2-й сорт 92%, 3-й сорт 88%. Хранение в шестислойных бумажных мешках, бочках, барабанах.

Натрий триполифосфат $Na_5P_3O_{10}$, ГОСТ 13493-77, содержание $Na_5P_3O_{10}$: пищевой и высший сорта 57%, 1-й сорт 92%, 2-й сорт 88%. Хранение в бумажных мешках.

Натрия полифосфат — соль Грахама (старое название — гексаметафосфат) $(NaPO_3)_n$, ГОСТ 20291-74, содержание P_2O_5: сорт А 60%, сорт Б 52%, в том числе неактивной (ортофосфорной) P_2O_5 8%.

Оксиэтилидендифосфоновая кислота (ОЭДФ или ОЭДФК) $C_2H_8O_7P_2$. Хранение в таре.

Этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) $C_{10}H_{16} \cdot O_8N_2$, ТУ УПК-ХРУ-853-61, содержание ЭДТА 90%. Хранение в таре.

Двунатриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА Na_2), трилон Б $C_{10}H_{14}O_8N_2Na_2 \cdot 2H_2O$, ТУ 6-14-198-76, содержание трилона Б 95—98%. Хранение в таре.

Сернокислая медь — медный купорос $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, синие кристаллы, ГОСТ 19347-74, содержание $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 93—98%. Хранение в таре.

Натрий двууглекислый — бикарбонат натрия $NaHCO_3$, ГОСТ 2156-76, содержание $NaHCO_3$ 98,5—99,5%. Хранение в таре.

Натрий азотнокислый — нитрат натрия — селитра натриевая $NaNO_3$, ГОСТ 827-77, содержание $NaNO_3$ 99,5%. Хранение в таре.

Натрий азотистокислый — нитрит натрия $NaNO_2$, ГОСТ 19906-74, содержание $NaNO_2$ 97—99%. Хранение в таре.

Натрий фтористый, технический NaF, ГОСТ 2871-75, содержание NaF: 1-й сорт 95%, 2-й сорт 80%, содовый 70%. Хранение в полиэтиленовых или многослойных бумажных мешках и в твердой таре.

Натрия тиосульфат кристаллический $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$, ГОСТ 244-76, содержание $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 98—99%. Хранение в таре.

Натрий сернистокислый (сульфит натрия), технический, безводный Na_2SO_3, ГОСТ 5644-75, содержание Na_2SO_3 93%. Хранение в таре.

Сульфит натрия кристаллический технический $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$, ГОСТ 903-76, содержание $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$ 91%. Хранение в таре.

Гидразингидрат $N_2H_4 \cdot H_2O$, жидкий, ГОСТ 19503-74, содержание N_2H_4 62—64%. Хранение в таре, огнеопасен.

Гидразинсульфат $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$, кристаллы, ТУ 6-02-930-74, содержание $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$ 97% или N_2H_4 23,5%. Хранение в таре, имеет кислую реакцию.

Кислота сульфаминовая NH_2HSO_3.

Смесь низкомолекулярных органических кислот (НМК), содержит: монокарбоновые кислоты — муравьиную, уксусную, пропионовую, мас-

Таблица 2.2. **Растворимость в воде при различных температурах некоторых реагентов, применяемых при обработке воды**

Формула безводного вещества	Число молекул воды при кристаллизации	Растворимость безводного вещества, г/100 г воды, при температурах, °С										Плотность раствора, насыщенного при при 15 °С
		0	10	15	20	30	40	50	60	80	100	
$Al_2(SO_4)_3$	18 H_2O	31,3	33,5	34,6	36,2	40,4	45,7	52,2	59,2	73,2	89,0	1,264
$FeCl_3$	6 H_2O	74,4	81,8	87,0	91,9	106,8	—	315,2	—	526	536,9	1,508
$FeSO_4$	7 H_2O	15,8	20,8	24,2	26,3	32,8	40,1	48,4	—	43,7	—	1,208
$NaHCO_3$	—	6,9	8,2	8,9	9,6	11,1	12,7	14,5	16,4	20,2	24,3	—
Na_2CO_3	10 H_2O; H_2O	7,0	12,2	16,0	21,8	39,7	48,8	47,3	46,4	45,1	44,7	1,148
NaOH	5; 3,5; 1; 0	41,8	50,8	63,5	108,7	118,0	129,0	146	177	314	337	1,423
Na_3PO_4	12 H_2O	1,5	4,1	7,5	11	20	31	43	55	81	108	—
NaCl	—	35,7	35,8	35,85	35,9	36,1	36,4	36,8	37,2	38,1	39,4	1,203
HCl	—	82,3	—	—	—	67,3	63,3	59,6	56,1	—	—	—
NH_3	—	87,5	67,9	—	52,6	40,3	30,7	22,9	—	—	—	—
$Ca(OH)_2$	—	0,176	0,170	—	0,160	0,148	0,137	0,127	0,114	0,092	0,072	—
CO_2	—	0,3347	0,232	0,197	0,169	0,126	0,0974	0,0762	0,0577	—	—	—
H_2SO_4	Смешивается				—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 2.3.[1] Плотность растворов солей и щелочей, применяемых при обработке воды

Массовое содержание безводного вещества, %	$Al_2(SO_4)_3$ при 19 °С	$FeSO_4$ при 18 °С	$FeCl_3$ при 20 °С	NaCl при 20 °С	$NaHCO_3$ при 18 °С	Na_2CO_3 при 20 °С	Na_3PO_4 при 15 °С	CaO (молоко) при 15—20 °С	NaOH при 20 °С	NH_3 при 15 °С
1	1,003	1,0085	1,007	1,0053	1,0059	1,0086	1,0087	1,0085	1,0100	0,995
2	1,019	1,018	1,015	1,0125	1,0132	1,0190	1,0194	1,0170	1,0210	0,9905
3	1,0295	1,028	—	1,0196	1,0206	1,0294	1,0299	—	—	—
4	1,0400	1,0375	1,032	1,0268	1,0280	1,0398	1,0405	1,0335	1,0430	0,9835
5	1,050	1,0475	—	1,0340	1,0354	1,0502	1,0515	—	—	—
6	1,061	0,0575	1,049	1,0413	1,0429	1,0606	1,0624	1,0500	1,065	0,9760
7	1,072	1,068	—	1,0485	1,0505	1,0711	1,0737	—	—	—
8	1,083	1,0785	1,067	1,0559	1,0581	1,0816	1,0850	1,0685	1,087	0,9675
9	1,094	1,0900	—	1,0633	—	1,0922	1,0962	—	—	—
10	1,105	1,1000	1,085	1,0707	—	1,1029	1,1083	1,0370	1,1090	0,9600
12	1,129	1,1220	1,104	1,0857	—	1,1244	—	1,1050	1,1310	0,9525
14	1,152	1,1445	1,123	1,1009	—	1,1463	—	1,1240	1,1530	0,9470
16	1,176	1,1675	1,142	1,1162	—	1,1636	—	1,1440	1,1750	0,9390
18	1,201	1,1905	1,162	1,1319	—	1,1859	—	1,1640	1,1970	0,9320
20	1,226	1,2135	1,182	1,1478	—	1,2086	—	1,1850	1,2080	0,9250
22	1,252	—	—	1,1639	—	1,2317	—	1,2070	1,2410	0,9200
24	1,278	—	—	1,1804	—	1,2552	—	1,2310	1,2630	0,9140
26	1,306	—	—	1,1972	—	1,2790	—	1,2530	1,2850	0,9080
28	1,333	—	1,268	—	—	1,3031	—	1,2740	1,3050	0,9020
30	—	—	1,292	—	—	1,3274	—	1,2950	1,3280	0,8950
32	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3490	0,8890
34	—	—	—	—	—	—	—	—	1,3700	0,8850
36	—	—	—	—	—	—	—	—	1,390	0,8780
38	—	—	—	—	—	—	—	—	1,410	0,8740
40	—	—	—	—	—	—	—	—	1,430	—
42	—	—	—	—	—	—	—	—	1,4490	—
44	—	—	—	—	—	—	—	—	1,4690	—
46	—	—	—	—	—	—	—	—	1,4810	—
48	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5070	—
50	—	—	—	—	—	—	—	—	1,5250	—

ляную и др., содержание НМК в водном конденсате ВК 26—28%; кислотное число 220—310, в черной кислоте (ЧК) 63—70%, кислотное число 630—650. Хранение в стальных резервуарах, защищенных от коррозии.

Дикарбоновые органические кислоты — смесь щавелевой, янтарной, глутаровой, адипиновой, суммарное содержание кислот 98—98,7%. Хранение в таре.

Адипиновая кислота $C_5H_{10}O_4$, сухая, ГОСТ 10588-72, содержание $C_5H_{10}O_4$ 98—99,7%. Хранение в таре.

Лимонная кислота $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ пищевая, бесцветные кристаллы, ГОСТ 908-70, содержание $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ 99,5%. Хранение в таре.

Кислота уксусная $C_2H_4O_2$, жидкая, ГОСТ 19814-74, содержание $C_2H_4O_2$ 80—99,5%. Хранение в таре.

Малеиновый ангидрид $C_4H_2O_3$, ГОСТ 11153-75, содержание $C_4H_2O_3$ 99,6%. Хранение в таре.

Фталевый ангидрид $C_8H_4O_3$, ГОСТ 7119-77, содержание $C_8H_4O_3$ 99,4—99,8%. Хранение в таре.

Таблица 2.4. **Плотность растворов кислот, применяемых при обработке воды**

Массовое содержание безводного вещества, %	H_2SO_4 при 15 °С	HCl при 15 °С	Массовое содержание безводного вещества, %	H_2SO_4 при 15 °С	Массовое содержание безводного вещества, %	H_2SO_4 при 15 °С
1	1,0052	1,0042	42	1,3240	78	1,7100
2	1,0120	1,0093	46	1,3610	80	1,7320
3	1,0200	1,0142	50	1,3990	82	1,7550
4	1,0270	1,0193	54	1,4400	86	1,7930
5	1,0330	1,0243	58	1,4820	90	1,8200
6	1,0400	1,0293	60	1,5030	91	1,8250
7	1,0475	1,0343	62	1,5240	92	1,8295
8	1,0540	1,0392	64	1,5470	93	1,8330
9	1,0620	1,0442	66	1,5690	94	1,8367
10	1,0690	1,0472	68	1,5910	95	1,8390
12	1,0830	1,0591	70	1,6150	96	1,8405
14	1,0975	1,0691	72	1,6320	97	1,8413
16	1,1125	1,0792	74	1,6620	98	1,8411
18	1,1275	1,0894	76	1,6850	99	1,8391
20	1,1430	1,0997			100	1,8384
22	1,1580	1,1110				
24	1,1740	1,1209				
26	1,1900	1,1320				
28	1,2050	1,1418				
30	1,2210	1,1520				
34	1,2550	1,1730				
38	1,2900	1,1941				

Морфолин C_4H_9ON, ТУ 6-14-336-77, содержание C_4H_9ON не менее 98,5%. Хранение в таре.

Октадециламин перегонный $C_{18}H_{39}N$ (заменители: втилен, втиленин-смесь пленкообразующих аминов), ТУ 6-14-1065-74.

Ингибитор ПБ-5, ТУ 6-01-730-77.

Уротропин технический $(CH_2)_6N_4$, ГОСТ 1381-75, содержание $(CH_2)_6N_4$ 98—99%. Хранение в таре.

Формалин технический $CH_2O \cdot nH_2O$, жидкий, ГОСТ 1627-77, содержание CH_2O 37%. Хранение в таре.

Тиомочевина CH_4N_2S, МРТУ 6-09-6254-69.

Вещества вспомогательные, моющие ОП-7 и ОП-10, ГОСТ 8433-52. Хранение в таре.

2-меркаптобензтиазол — каптакс $C_7H_5 \cdot NS_2$, ГОСТ 739-74, содержание $C_7H_5 \cdot NS_2$ 90—97%. Хранение в таре.

Таблица 2.5. **Температуры замерзания водных растворов некоторых важнейших реагентов**

Массовое содержание безводного вещества, %	Температура замерзания, °С	Массовое содержание безводного вещества, %	Температура замерзания, °С	Массовое содержание безводного вещества, %	Температура замерзания, °С	Массовое содержание безводного вещества, %	Температура замерзания, °С
$Al_2(SO_4)_3$		NaOH		H_2SO_4		H_2SO_4	
8,1	—1	20,4	—26	24	—26,7	78	—13,6
14,3	—2	22,3	—24,4	26	—31,1	79	—8,2
23,9	—9,6	24,0	—20	28	—35,9	80	—3,0
27,2	—12	25,0	—17,8	30	—41,2	81	+1,5
$FeCl_3$		26,5	—10	30—48	<41	82	+4,8
15,2	—10	29,5	0	48	—38,5	83	+7,0
22,3	—20	32,4	+6	50	—34,5	84	+8,0
29,9	—40	33,7	+10	52	—30,9	84,5	+8,3
33,1	—55	38,8	+15,0	54	—28,3	85	+7,9
HCl		44,5	+10	56	—25,9	86	+6,6
7,7	—10	46,0	+4,5	57	—24,8	87	+4,1
NaCl		47,6	+8,0	57,6	—24,4	88	+0,5
7,9	—5	51,0	+12,3	58	—24,5	89	—4,3
14,0	—10	52,1	+20	59	—24,85	90	—10,2
18,7	—15	H_2SO_4		60	—25,8	91	—17,3
22,6	—20	1	—0,2	61	—27,15	92	—25,6
23,3	—21,2	4	—1,2	62	—28,85	93	—35,0
24,2	—15	8	—3,7	63	—30,8	94,3	—37,8
24,9	—10	10	—5,5	64	—33,0	94	—30,8
25,6	—5	12	—7,6	65	—35,3	95	—21,8
NaOH		14	—9,9	66	—37,75	96	—13,6
5,7	—5	16	—12,6	67	—40,3	97	—6,3
9,9	—10	18	—15,7	67—76	<—39	98	—0,1
15,8	—20	20	—19,0	76	—28,1	99	+5,7
19,1	—28,2	22	—22,7	77	—19,4	100	+10,45

Таблица 2.6. **Данные о концентрации растворов важнейших реа**

Сухое вещество	Крепкий запасной раствор			
	%	г/л	мг-экв/л	Плотность, г/мл
$Al_2(SO_4)_3$	10—15	100—150	1750—2600	1,10—1,16
$FeSO_4$	10—15	100—150	1300—2000	1,10—1,151
Полиакриламид (ПАА)	Вязкий 8—9	—	—	—
$Na_2O \cdot 3SiO_2$	38—45	520—670	—	1,36—1,5
CaO*	5—10	50—100*	2000—4000	1,043—1,09
Na_2CO_3	До 10	100	До 1500	1,10
NaOH	43—46	610—680	1500—1700	1,45—1,48
H_2SO_4	75—94	1250—1750	25 500—36 000	1,68—1,84
NaCl	20—25	240—300	4300—5200	1,13—1,19

* Без недопала.

Фильтрующие материалы. *Кварцевый песок, дробленый кварц и другие кварцевые материалы;* дробленые: антрацит, пековый кокс, полукокс, керамзит, уголь активированный. Хранение или в таре, или насыпью в резервуарах, железобетонных ячейках, защищенных от осадков и ветра, при любой температуре.

Сульфоуголь и другие катиониты и аниониты. Хранение в таре в закрытых помещениях при температуре выше 0 °С.

Каждый из фильтрующих материалов должен храниться в количестве не менее 20%, загруженного во все фильтры, но не менее количества, необходимого для загрузки одного крупнейшего фильтра с 20%-ным запасом.

Данные о растворимости в воде некоторых реагентов, плотности растворов и температурах их замерзания, а также о концентрациях запасных и рабочих растворов важнейших реагентов приведены в табл. 2.2—2.6.

Глава третья

ОБРАБОТКА ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ВОДЫ

3.1. Общие сведения

Ухудшение охлаждения в конденсаторах, вызывающее перерасход топлива, вследствие снижения вакуума, помимо чисто тепломеханических причин (высокой температуры воды, плохой работы эжекторов из-за подсосов воздуха), может иметь еще и следующие причины:

гентов

Рабочий, разбавленный раствор			
%	г/л	мг-экв/л	Плотность, г/мл
3—5	30—50	500—900	1,03—1,05
3—5	30—50	400—650	1,03—1,05
0,2—1,0	2,0—10,0	—	—
3—10	3—10	—	1,02—1,08
2—5*	20—50*	800—2000	1,017—1,043
3—10	30—100	500—1500	1,03—1,10
4	40	1000	1,043
1—4	10—40	200—800	1,005—1,025
3—10	30—100	520—1700	1,02—1,067

зарастание охлаждающих водоемов растительностью, что приводит к уменьшению поверхности испарения водоема и повышению температуры охлаждающей воды конденсаторов;

обрастание водоохлаждающих устройств, водоводов и конденсаторов водорослями, ракушками, колониями микроорганизмов и засорение трубопроводов и трубных досок конденсаторов отмершими организмами. Это приводит к снижению пропускной способности трубопроводов и каналов, увеличивает потери напора и создает необходимость очистки;

образование илистых отложений или илисто-биологических отложений — обрастаний при большом содержании взвеси в охлаждающей воде, повышенной ее температуре и шероховатой поверхности трубок;

низкотемпературное накипеобразование — отложение $CaCO_3$ вследствие нестабильности охлаждающей воды, ухудшающее теплопередачу через стенки трубок;

коррозия металла трубок из-за высокой минерализованности воды, наличия в ней высоких концентраций кислорода и свободной углекислоты. Поврежденные трубки теплообменников забивают пробками, сокращая этим поверхность охлаждения.

Маслоохладители турбогенераторов обычно включены в общую циркуляционную систему охлаждения аппаратуры. Разрыв трубок маслоохладителей приводит к загрязнению маслами всего количества охлаждающей воды в циркуляционных системах, что затрудняет как использование ее, так и сброс продувки в водоемы.

В ряде случаев целесообразно через маслоохладители пропускать добавочную воду оборотных систем с более низкой температурой. Применяются специальные маслоуловители, а также байпасирование системы маслоохладителей.

Таблица 3.1. **Ориентировочное качество доочищенных городских хозяйственно-бытовых сточных вод (согласно «Временным методическим рекомендациям к использованию доочищенных городских сточных вод в техническом водоснабжении, утвержденным Министерством здравоохранения СССР». — М.: 1978 г.).**

Показатель качества	Значение
Взвешенные вещества, мг/л	5—15
Биологическое потребление (БПК) полное, мг/л O_2	10—20
БПК за 5 сут, мг/л O_2	5—20
Химическое потребление кислорода (ХПК) — бихроматная окисляемость, мг/л O_2	До 100
Перманганатная окисляемость, мг/л O_2	10—20
Азот общий ($N=NH_3+NO_2^-+NO_3^-$), мг/л)	До 30
Реакция pH	6,8—8,3
Фосфаты P_2O_5, мг/л	До 4 и более
Хлориды Cl^-, мг/л	Выше, чем в исходной воде, но не более 350
Сульфаты SO_4^{2-}, мг/л	Не более 500
Щелочность общая, мг-экв/л	То же, что и в исходной воде
Жесткость общая, мг/л	То же, то в исходной воде
Нефтепродукты и фенолы, мг/л	Отсутствуют
Хлор свободный Cl_2 после 30 мин контакта, мг/л	Не менее 1,5
Число бактерий после 30 мин контакта с хлором, шт/мл	Не более 1000

В ближайшем будущем с целью сокращения водозабора и сброса в водоемы доочищенных городских (хозяйственно-бытовых — фекальных) сточных вод они будут применяться для промышленных целей, в том числе и для пополнения циркуляционных систем охлаждения. Присутствие в этих водах (табл. 3.1) повышенного содержания биогенных веществ — азотистых соединений, фосфатов, калия, органических веществ и т. д. может привести, с одной стороны, к уменьшению низкотемпературного накипеобразования под воздействием фосфатов и органических веществ, замедляющих кристаллизацию $CaCO_3$, а с другой стороны, к усилению биологических обрастаний под воздействием этих же примесей.

Таблица 3.2. **Рекомендации технического совета Минэнерго СССР № 69 от 23/V 1969 г. по применению конденсаторных трубок в зависимости от характеристики охлаждающей вод**

Характеристика охлаждающей воды	Марка металла	Допустимые скорости воды в трубках, м/с
1. Солесодержание до 300 мг/л:		
а) чистая речная, озерная или оборотная вода ($Cl^- < 20$ мг/л)	Латунь Л-68	До 2,0—2,2 с понижением до 1,7—1,9 при небольшом содержании твердых примесей
б) содержание хлоридов более 20 мг/л и небольшое загрязнение стоками (суммарное содержание аммиака, сероводорода, нитритов и др. не более 1 мг/л)	Латунь ЛМш-68-0,06 или ЛО-70-1	
2. Солесодержание от 300 до 1500 мг/л:		
а) отсутствует загрязненность стоками	Латунь ЛО-70-1	
б) небольшое загрязнение стоками (см. п. 1б)	Латунь ЛОМш-70-1-0,06	
3. Солесодержание от 1500 до 3000 мг/л:		
а) отсутствует загрязненность стоками и взвесями	Латунь ЛОМш-70-1-0,06	
б) небольшое загрязнение стоками (см. п. 1б) и взвесями	Латунь ЛАМш-77-2-0,06	
в) значительное содержание взвеси (в среднем исключая период паводка выше 25 мг/л)	Сплав МНЖМц5-1-0,08 (МНЖ-5-1)	До 2,5—2,7
4. Солесодержание от 3000 до 5000 мг/л:		
а) отсутствует загрязненность стоками и взвесью	Латунь ЛАМш-77-2-0,66	До 2,0—2,2
б) небольшое загрязнение стоками (см. п. 1б) и взвесью	МНЖМц 5-1,0-0,08 (МНЖ-5-1)	До 2,5—2,7

Продолжение табл. 3.2

Характеристика охлаждающей воды	Марка металла	Допустимые скорости воды в трубках, м/с
5. Солесодержание выше 10 000 мг/л (морская вода):		
а) отсутствуют сероводород и абразивные примеси (песок)	Латунь ЛАМш-77-2-0,06	До 2,0—2,2
б) имеются абразивные примеси	Сплав МНЖМц 30-0,8-1,0 (МН-70-30) или нержавеющая сталь 1Х18Н12М2Т	До 3,0
6. Независимо от общего солесодержания при кислой реакции воды (pH=2÷6), кроме морской	Нержавеющая сталь 1Х18Н9Т	До 3,0
7. Зона воздухоохладителя (при закритических параметрах пара):		
а) при пресной воде	Нержавеющая сталь 1Х18Н9Т	До 3,0
б) при содержании хлоридов свыше 800 мг/л или при морской воде	Нержавеющая сталь Х18Н12М2Т	До 3,0

Примечания: 1. Настоящие рекомендации относятся к конденсаторам турбин, работающим нормально со средней за наиболее жаркую декаду температурой охлаждающей воды на выходе не более 45 °С.

2. Для блоков с прямоточными котлами следует применять конденсаторные трубки из материала, рекомендованного в таблице для следующей (более высокой) ступени солесодержания охлаждающей воды.

3. Трубы из нержавеющей стали подлежат еще проверке на различных водах в опытном порядке. Широкое их применение намечается после положительных результатов проверки.

4. Нержавеющие стали принадлежат к аустенитному классу и присутствующие в воде Cl^- и NaOH могут разрушить их.

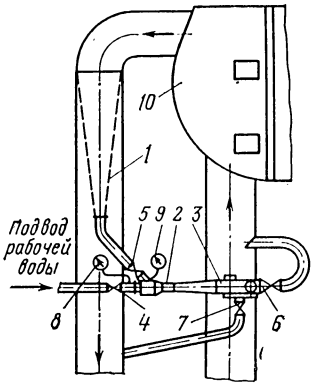


Рис. 3.1. Схема установки для очистки конденсаторных трубок резиновыми шариками:

1 — воронка-сетка для улавливания шариков; *2* — инжектор; *3* — диффузор; *4* — вентиль на подводе рабочей воды; *5* — задвижка-кран на подводе шариков к инжектору; *6* — задвижка на вводе шариков в циркуляционный трубопровод; *7* — сброс лишней воды; *8* и *9* — манометры; *10* — конденсатор

В некоторых случаях доочищенную воду с целью улучшения ее качества вероятно придется дополнительно обрабатывать хлором, известью и коагулянтом и подкислять. Это еще более повысит качество и пригодность ее для использования в энергетике. Качество доочищенных сточных вод определяется также количеством содержащихся в них ливневых и промышленных сточных вод.

Коррозию охлаждаемых водой поверхностей аппаратов и трубопроводов предотвращают путем применения конденсаторных трубок из различных марок медных сплавов, стойких к воде данной минерализованности (табл. 3.2). При воде высокой минерализованности применяют также протекторно-катодную защиту водяных камер и трубных досок конденсаторов, противокоррозионные покрытия водяных камер и трубных досок. Устраняют из охлаждающей воды свободную (агрессивную) углекислоту, поддерживая в ней слабощелочную реакцию по фенолфталеину (pH=8,3). В отдельных случаях применяют ингибиторы, создающие защитные пленки на поверхности металла ($K_2Cr_2O_7$, Na_3PO_4, $ZnSO_4$, $Na_2SiO_3 \cdot nSiO_2$, $FeSO_4$, ОЭДФ и др.).

Механические (илистые) загрязнения устраняют в основном отстаиванием воды, забираемой из водоема или пополняющей водоем либо оборотную систему, а также процеживанием воды через самоочищающиеся сетки водозаборных сооружений с ячейками, в 3—5 раз меньшими сечения кочденсаторных трубок. Более мелкая взвесь может быть задержана на крупнозернистых фильтрах (*d* зерен 2—3 мм, высота слоя 2—2,5 м, скорость фильтрования 12—15 м/ч) или на сверхскоростных зернистых автоматических фильтрах, работающих со скоростью фильтрования до 100 м/ч. Уменьшить илистые отложения в конденсаторных трубках можно также, повышая скорости движения воды в трубках до 2—2,5 м/с, а также иногда промывая трубки и трубопроводы обратным током воды с большими скоростями.

Для удаления мягких, илистых или илисто-биологических отложений — обрастаний в конденсаторных трубках может применяться очистка трубок «на ходу» монолитными резиновыми шариками плотностью около 1 с диаметрами, равными 0,8—0,9 внутреннего диаметра конденсаторных трубок. Число циркулирующих шариков составляет 10% числа трубок в конденсаторе. Схема установки показана на рис. 3.1.

3.2. Предотвращение биологических обрастаний

Растительность охлаждающих водоемов уничтожается подводными косилками, разведением в водоеме растительноядных рыб (белый амур, белый и пестрый толстолобик и другие теплолюбивые породы), а также применением в закрытых водоемах гербицидров в чистом виде или их смесей (монурон, диурон, симазин, делагон, группы 2,4-Д и др.).

«Цветение» воды и развитие водорослей устраняют «купоросованием» воды в водоемах (0,1—0,3 мг/л Cu). Для устранения ракушечных обрастаний водоводов периодически пропускают по ним (обратным током) горячую (сетевую) воду (t=45÷50 °С) небольшим расходом в течение 2—3 ч до появления на выходе горячей воды. Отвалившиеся ракушки затем вымывают мощным обратным потоком воды со скоростью 1,5—2 м/с. Вымытые ракушки и водоросли необходимо немедленно удалять во избежание загнивания.

Проложенные на поверхности земли водоводы для удаления ракушек в летнее время следует опоражнивать на сутки и высушивать на солнце или нагретым воздухом. Отвалившиеся ракушки удаляют затем водой или выгребают. Хорошие результаты дает окраска водоводов и сооружений антиобрастными красками (ХВ-53 и ХС-79, грунты ЭКЖС-40 и ВЛ-02).

Положительные результаты в борьбе с ракушечными обрастаниями дает применение катодной защиты путем подвешивания на изоляторах по оси трубопроводов стального стержня — анода, к которому подведен постоянный ток (рис. 3.2).

При плотности тока на катоде, т. е. на поверхности трубы, 0,4—0,6 А/м^2 поселение дрейссен и их развитие прекращается. В остальные периоды года для предупреждения обрастания достаточна плотность тока 0,16 — 0,24 А/м^2. Применяют также хлорирование водоводов: концентрация хлора 5—10 мг/л, продолжительность хлорирования при холодной воде 3—6 сут, при подогретой до 29—32 °С — 1—2 сут.

Для замкнутых систем допустима доза Cu 1—2,5 мг/л циркуляционной воды. Активный хлор Cl_2 применяют в виде раствора, полученного из сжиженного газа, хлорной извести или гипохлорита кальция (натрия) — в количествах, необходимых для поддержания в воде после

конденсаторов 0,5—2,0 мг/л остаточного активного хлора. Бóльшие дозы нежелательны, так как они вредны для всего биоценоза.

В жесткой и щелочной воде часть реагента выпадает на дно в виде гидрата окиси меди, вследствие чего дозу медного купороса приходится немного увеличить. Медный купорос в виде раствора или измельченного порошка распыляется по поверхности водоема. Его можно также загружать в редкие тканевые мешки, привязываемые к движущейся лодке, вследствие чего соль постепенно растворяется в воде водоема.

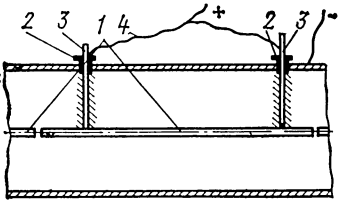


Рис. 3.2. Схема катодной защиты водоводов от обрастания ракушками (плотность тока летом 0,4—0,6 А/м², зимой 0,11—0,25 А/м²):
1 — стержень-анод (Ст3, d=40 мм); *2* — изолятор; *3* — изолированный стержень для подвески анода; *4* — провода

В обычное время для предотвращения биологических обрастаний достаточно вводить в охлаждающую воду перед конденсатором хлор 1—2 раза в сутки или реже в течение 30—45 мин в таком количестве, чтобы в воде за конденсатором оставалось 0,5—2 мг/л активного хлора. Дозу хлора следует увеличивать в периоды появления личинок дрейссены, мидий и т. п. Местные исследовательские организации рыбной промышленности, гидрометеослужбы водной инспекции указывают эти периоды.

При использовании для подпитки циркуляционных систем ТЭС доочищенных городских сточных вод хлорирование должно проводиться более активно, большими долями и чаще. Режим устанавливают при наладке по обрастанию предметных стекол, помещенных в проточную воду после конденсатора.

Хлорирование воды осуществляют с помощью той же аппаратуры, которую применяют в городском водопроводно-канализационном хозяйстве. Возможна подача хлора прямо из баллонов (рис. 3.3). Баллоны с хлором помещают в бак, в который подается горячая вода. Количество баллонов принимается из расчета отбора около 1 кг/ч хлора из баллона при подогреве его горячей водой (t=50 °С) или 0,5 кг/ч без подогрева. Отбираемый из баллонов хлор (газ) сперва смешивается с подаваемой из водопровода водой, а затем полученный раствор поступает в основную массу хлорируемой воды. Количество хлора

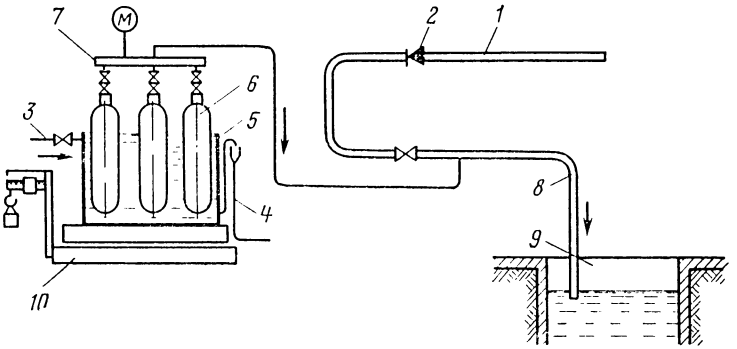


Рис. 3.3. Схема хлорирования циркуляционной воды жидким хлором: *1* — подача холодной воды; *2* — измерительная шайба; *3* — подача горячей воды; *4* — слив горячей воды из бака; *5* — бак подогрева баллонов; *6* — баллоны с жидким хлором; *7* — коллектор; *8* — хлорный раствор; *9* — канал охлаждающей воды; *10* — десятичные весы

регулируют вентилями на баллонах, количеством подключенных баллонов и, в первую очередь, количеством подаваемой горячей воды.

Жидкий хлор доставляется обычно в баллонах емкостью по 30 л, имеющих сифонную трубку. Такие баллоны следует устанавливать вентилем вниз, чтобы из них шел газообразный, а не жидкий хлор.

Жидкий хлор могут также доставлять в специальных бочках-баллонах вместимостью 200—250 л.

В ряде случаев хлор смешивают с эжектирующей водой еще в жидком виде, окончательное растворение происходит только во всей массе охлаждающей воды. Доставка и хранение хлора сопряжены с рядом затруднений из-за его ядовитости. Баллоны с хлором следует хранить в обособленном складе.

Установка для периодического хлорирования охлаждающей воды хлорной известью или гипохлоритом состоит из 1—2 баков необходимой вместимости, в которых готовят 0,2—0,3%-ный (по активному хлору) раствор хлорной извести. Для предотвращения коррозии баки изнутри необходимо штукатурить портландцементом (1 : 2 : 5) по сетке. Баки должны иметь приемную трубу, конец которой расположен на 100—150 мм выше дна, и трубу для выпуска осадка, заделываемую непосредственно в дно. Раствор готовят за 5—6 ч до употребления, смешивая известь сначала с небольшим количеством воды до сметанообразного состояния, затем полученную массу разбавляют водой до нужного объема и дают ей отстояться. Для транспортировки раствора применяют резиновые шланги.

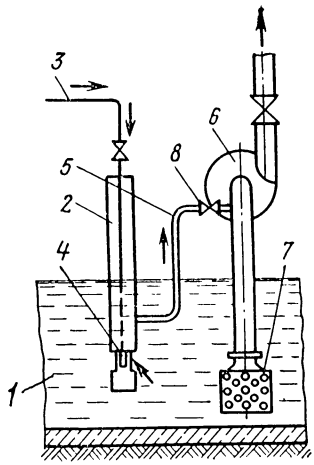


Рис. 3.4. Гидрозатвор для ввода реагентов во всасывающий трубопровод насоса:

1 — водоем; *2* — затвор; *3* — подвод раствора; *4* — окна; *5* — подводящая труба; *6* — насос; *7* — приемный клапан; *8* — регулирующий вентиль

При подаче раствора в охлаждающую воду расход его поддерживают приблизительно постоянным при помощи вентиля или крана; возможно также применение бачка с поплавковым клапаном постоянного уровня и регулирующим краном.

Рабочие, обслуживающие установку, должны быть снабжены противогазами, защитными очками, резиновыми фартуками, перчатками, сапогами и брезентовыми куртками для защиты одежды от обесцвечивающего и разъедающего действия раствора хлорной извести. Хлорная известь быстро теряет активный хлор, и ее не следует хранить больше 1—2 мес.

Для успешного хлорирования необходимо тщательно перемешивать хлорный раствор с обрабатываемой водой. Поэтому рекомендуется вводить хлор непосредственно перед всасывающими трубами насосов (рис. 3.4).

По данным завода «Котлоочистка» в ряде случаев бывает целесообразно добавлять в оборотные системы ТЭС отработавшие моющие и консервационные растворы после химических промывок и консервации оборудования. Содержащиеся в этих растворах комплексонаты, органические кислоты, ингибиторы, нитриты за 2—3 дня окисляются кислородом воздуха на градирнях, облегчая тем самым сброс этих вод в водоемы.

Добавка нейтрализованных, а также слабо кислых отработавших моющих растворов из земляных котлованов-накопителей в оборотные системы, естественно, должна производиться постепенно, чтобы не нарушить нормы качества оборотной воды, и под контролем за соблюдением ПДК загрязнений в водоеме.

3.3. Предотвращение карбонатных отложений

В результате повышения температуры воды в конденсаторе и потери равновесной CO_2 при разбрызгивании воды в градирнях и брызгальных бассейнах в циркуляцион-

ной системе создаются условия для распада $Ca(HCO_3)_2$ и выпадения $CaCO_3$ на охлаждаемых поверхностях. При малом содержании в воде $Ca(HCO_3)_2$, большом содержании свободной CO_2, при наличии в воде значительного количества органических, главным образом гуминовых, соединений, а также других стабилизирующих веществ (PO_4^{3-}, $Na_6(PO_3)_6$, ОЭДФК) выпадение карбонатной накипи в трубках конденсаторов замедляется или даже прекращается. Другие соединения — $MgCO_3$, $CaSO_4$, SiO_2 или глины отлагаются в конденсаторах обычно в небольших количествах и лишь сопутствуют $CaCO_3$.

Концентрация свободной (равновесной и агрессивной) углекислоты в результате потерь при распыливании воды в градирнях и брызгальных бассейнах снижается до 3—7 мг/л.

Повышение концентрации растворенных в охлаждающей воде солей или значение упариваемости определяется по формуле

$$100(Cl_ц/Cl_д - 1),$$

где $Cl_ц$ и $Cl_д$ — содержание хлор-иона в циркуляционной и добавляемой воде.

При стабильной воде, т. е. при отсутствии отложений $CaCO_3$, наблюдаются следующие отношения:

$$S_ц/S_д = Cl_ц/Cl_д = Щ_ц/Щ_д = Ж_ц/Ж_д.$$

При нестабильной воде, когда выделяются карбонатные отложения,

$$S_ц/S_д = Cl_ц/Cl_д > Щ_ц/Щ_д > Ж_ц/Ж_д,$$

т. е. щелочность $Щ$ и жесткость $Ж$ не возрастают или возрастают медленнее увеличения солесодержания S или содержания хлор-иона Cl из-за выпадения $CaCO_3$, а иногда по этой же причине щелочность $Щ_ц$ и жесткость $Ж_ц$ циркуляционной воды даже уменьшаются по сравнению с $Щ_д$ и $Ж_д$ воды.

Необходимо отметить, что при отношении $S_ц/S_д$ или $Cl_ц/Cl_д \approx 1{,}05 \div 1{,}1$, $Щ_ц/Щ_д$ или $Ж_ц/Ж_д$ отложения накипи в конденсаторных трубках не наблюдается, т. е. вода практически стабильна.

Наиболее употребительными и специфическими способами предотвращения карбонатных отложений в конденсаторах являются: увеличение продувки циркуляционной системы; подкисление воды серной (соляной) кислотой; рекарбонизация воды дымовыми газами; фосфатирование или совместное подкисление, фосфатирование, а также появившееся в последнее время применение для стабилиза-

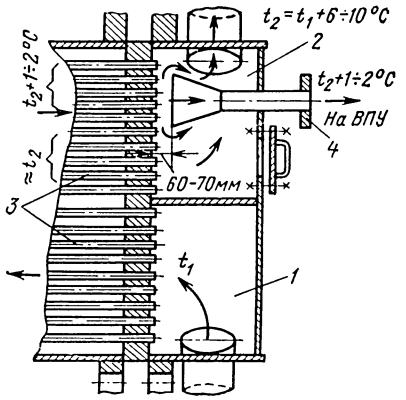


Рис. 3.5. Забор циркуляционной воды из камер конденсаторов:
1 — входная (нижняя) камера; *2* — выходная (верхняя) камера; *3* — конденсаторные трубки; *4* — заборная труба с приемной воронкой

ции циркуляционной воды оксиэтилидендифосфоновой кислоты $C_2H_8O_7O_2$ (ОЭДФ или ОЭДФК) и других фосфонатов. Применяют также магнитную обработку воды для предотвращения отложений $CaCO_3$ и ультразвуковую — для удаления уже образовавшейся накипи.

Продувка циркуляционной системы уменьшает упариваемость воды в системе, снижает концентрацию в ней $Ca(HCO_3)_2$, а в результате ввода углекислоты с добавочной водой поддерживает в циркулирующей воде равновесное состояние.

Увеличение количества продуваемой и добавочной воды может принести пользу только в том случае, если щелочность последней меньше допустимой щелочности продуваемой воды.

Поддержание безнакипного режима в циркуляционной системе продувкой возможно при солесодержании добавочной воды до 500 мг/л, щелочности ее до 3 мг-экв/л, упариваемости до 1,5-кратной, перманганатной окисляемости 7—8 мг/л O_2 и продувке до 4%.

В большинстве случаев стоимость добавочной воды превышает стоимость ее обработки, поэтому увеличение продувки, если продувочная вода сбрасывается, менее экономично, чем дополнительная обработка добавочной циркуляционной воды. Если же подогретая продувочная вода циркуляционных систем используется для выработки добавочной воды для питания паровых котлов, подпитки тепловой сети или для других целей, то увеличение размеров продувки может быть выгодно и достаточно для предотвращения накипеобразования.

С целью повышения температуры продуваемой воды, подаваемой затем на ВПУ, до 35—40 °С и экономии пара воду на ВПУ следует отбирать не из общего потока циркуляционной воды, сбрасываемой из конденсатора, а спе-

циальным приемным устройством только от верхних трубок конденсатора (рис. 3.5).

Подкисление воды (рис. 3.6) является универсальным способом предотвращения образования накипи для воды любого состава, любой температуры и с любой упариваемостью. Введенная в воду кислота разлагает бикарбонат кальция с образованием сульфата кальция и углекислоты: $Ca(HCO_3)_2+H_2SO_4=CaSO_4+2H_2O+2CO_2$. Недостатками способа являются опасность коррозии оборудования и обесцинкования латунных трубок под действием агрессивной углекислоты и очень большие количества кислоты.

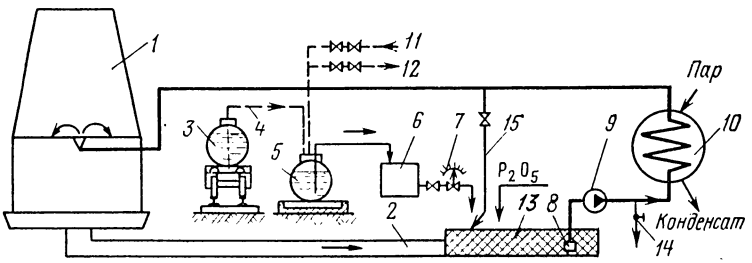


Рис. 3.6. Схема подкисления циркуляционной воды:

1 — градирня; *2* — канал; *3* — железнодорожная цистерна; *4* — сифонный слив; *5* — приемный резервуар для кислоты; *6* — рабочий бак; *7* — дозирующий кран; *8* — приемный канал; *9* — циркуляционный насос; *10* — конденсатор; *11* — сжатый воздух; *12* — вакуум; *13* — кислотостойкое покрытие канала и приемного колодца; *14* — отбор проб; *15* — циркуляционная вода для ускорения разбавления и смешения воды с кислотой

При подкислении воды перед охлаждающими устройствами щелочность ее понижается и значительная доля выделившейся свободной углекислоты, необходимой для стабилизации $Ca(HCO_3)_2$, теряется в градирне или брызгальном бассейне; углекислотная агрессивность воды при этом практически не возникает.

Кислоту можно вводить как разбавленную (3—5%), так и концентрированную. Разбавленная кислота употребляется главным образом при небольших расходах H_2SO_4 для обеспечения достаточной точности дозирования. При больших расходах H_2SO_4 (около 1 т/сут и более) может применяться концентрированная (75—94 %) кислота. При этом особенно необходимо обеспечивать хорошее перемешивание кислоты с водой. Непосредственный ввод неразведенной кислоты в трубопровод или канал допустим только в случае, если скорость движения воды в них превышает 1,5 м/с, место ввода защищено от

коррозии и отстоит от конденсатора не менее чем на 30 м. При резко переменных расходах циркуляционной воды обязательно применение пропорциональных дозаторов.

Расчетные способы определения стабильности воды и потребности в кислоте для подкисления в производственных условиях недостаточно точны.

Для приблизительного определения стабильности данного образца циркуляционной воды при температуре выхода ее из конденсатора рекомендуется в лабораторных условиях ввести в 1 л воды, нагретой до этой температуры, 1 г химически чистого $CaCO_3$ (порошок мрамора, мела). После встряхивания в течение 1 мин залитой до пробки и плотно закрытой склянки с водой и отстаивания в течение 5 мин необходимо быстро отфильтровать взвесь и определить в фильтрате щелочность. Найденная таким образом щелочность и является приблизительно той, при которой вода данного качества, проходя через конденсатор, не будет давать отложений в его трубках. В практических условиях для большей безопасности надо уменьшить найденное значение щелочности на 10—15%. Подобные лабораторные определения необходимо проводить с образцами воды в разное время года (летом, осенью, зимой, весной).

Для предварительного расчета потребности, кг/ч, в технической кислоте можно пользоваться формулой

$$Q_{H_2SO_4} = \frac{4{,}9 - V_д}{n}\left(Щ_д - Щ_ц \frac{p_2 + p_3}{p_1 + p_2 + p_3}\right),$$

где n — процентное содержание H_2SO_4 в технической кислоте; $V_д$ — размер добавки, м³/ч; $Щ_д$ — фактическая щелочность добавочной воды, мг-экв/л; $Щ_ц$ — допустимая щелочность циркуляционной воды (найденная лабораторным путем с коэффициентом 0,85—0,9), мг-экв/л; p_1, p_2, p_3 — потери циркуляционной воды на испарение, с капельным уносом (0,5—1,0%) и с продувкой, % часового расхода оборотной воды.

Эта формула не учитывает стабилизирующего действия углекислоты, выделяющейся при подкислении, и поэтому дает немного завышенный, но для практических целей вполне пригодный результат.

Оборудование для подкисления воды крепкой кислотой нередко располагают на открытом воздухе. Практически на некоторых установках подачу кислоты регулируют по значению pH воды (около 8,3); при появлении окраски воды по фенолфталеину подачу кислоты увеличивают до исчезновения окраски и наоборот.

Щелочность оборотной воды при подкислении поддерживают в пределах 2,0—3,5 мг-экв/л, а содержание свободной CO_2 8—12 мг/л.

Рекарбонизация циркуляционной воды дымовыми газами (рис. 3.7). Предотвратить выпадение $CaCO_3$ в конденсаторах можно также, возмещая потери углекислоты в охлаждающих устройствах и удовлетво-

ряя возрастающую с повышением температуры потребность в равновесной углекислоте путем введения в воду углекислоты из чистых дымовых газов с содержанием золы не более 25 мг/м³. Однако этот способ на ТЭС не нашел широкого применения.

Фосфатирование циркуляционной воды (рис. 3.8) применимо при ее щелочности не более 4,0—4,5 мг-экв/л. Сущность фосфатирования заключается в том, что при

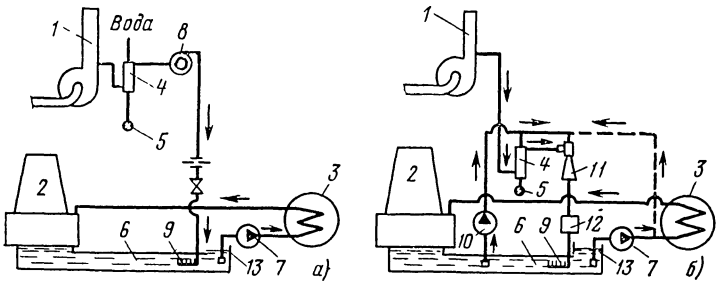


Рис. 3.7. Схемы рекарбонизации циркуляционной воды:

а — с вентилятором; *б* — с эжектором; *1* — дымосос; *2*— градирня; *3* — конденсатор; *4* — золоуловитель; *5*— золоотстойник; *6* — канал; *7* — циркуляционный насос; *8* — вентилятор; *9* — барботер; *10* — вспомогательный насос; *11* — эжектор; *12*— водоотделитель; *13* — приемный колодец

малом содержании иона PO^{3-}_4 в воде (1—3 мг/л) зародыши карбоната кальция, образующиеся в результате потери углекислоты и нагревания, обволакиваются тончайшей молекулярной пленкой фосфата кальция, замедляющей (препятствующей) срастание зародышей между собой и

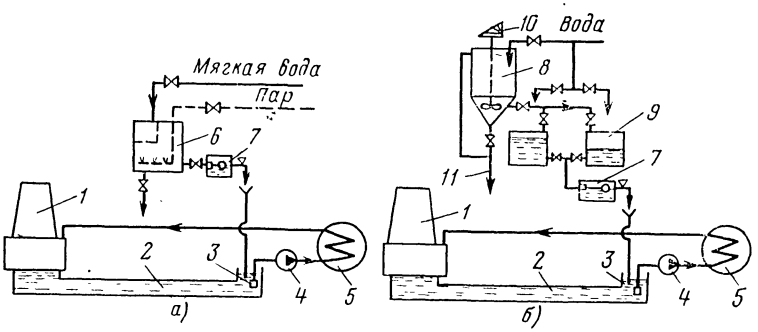


Рис. 3.8. Схемы фосфатирования циркуляционной воды:

а — легко растворимыми фосфатами; *б* — суперфосфатом; *1* — градирня; *2* — канал; *3* — приемный колодец; *4* — циркуляционный насос; *5* — конденсатор; *6* — бак для растворения фосфатов; *7* — дозирующий бачок или дозирующий насос (НД); *8* — бак для растворения суперфосфата; *9* — рабочие баки для отстоявшегося раствора суперфосфата; *10* — мешалка; *11* — сброс шлама $CaSO_4$

со стенками. Поэтому $CaCO_3$ остается в воде во взвешенном состоянии и выпадает в осадок крайне медленно. Выпавшие вместе с пленкой фосфата зародыши кристаллов карбоната кальция представляют собой легкую, трудноосаждаемую муть, не прилипающую к поверхности. По данным некоторых исследователей, содержание в этой мути $Ca_3(PO_4)_2$ по отношению к $CaCO_3$, может быть выражено соотношением 1 : 250 или даже 1 : 300. Фосфатирование не препятствует распаду $Ca(HCO_3)_2$, вследствие чего при этом циркуляционная вода имеет щелочность по фенолфталеину 0,1—0,3 мг-экв/л за счет присутствия 0,2—0,5 мг-экв/л $CaCO_3$. При большом содержании карбоната кальция, находящегося в воде, 1—3 мг/л иона PO_4^{3-} уже не хватает, чтобы создать пленку на всех зародышах. Увеличивать же в подобных случаях ввод PO_4^{3-} не целесообразно, так как при содержании его 3—5 мг/л и выше начинается быстрое выпадение осадка фосфата кальция.

Присутствующий в циркуляционной воде PO_4^{3-} частично расходуется на перевод старых отложений $CaCO_3$ в $Ca_3(PO_4)_2$ в шлам, выносимый из трубок водой.

Для фосфатирования циркуляционной воды, кроме ортофосфатов (тринатрийфосфата, динатрийфосфата, суперфосфата), применяются с большей эффективностью полифосфаты: триполифосфат $Na_5P_3O_{10}$ и соль Грахама — гексаметафосфат $(NaPO_3)_n$. Еще более эффективными оказались синтезированные в последнее время фосфоновые соединения, в том числе оксиэтилендифосфоновая кислота и ее соли.

Сравнение стабилизирующих свойств некоторых фосфатных соединений, по данным института «Черметэнергоочистка» и другим источникам, приведено в табл. 3.3.

Необходимо отметить тяжелые условия проведения опытов «Черметэнергоочисткой», крайне редко встречающиеся на практике: жесткость общая 20 мг-экв/л, жесткость карбонатная 10 мг-экв/л, кальциевая жесткость 13 мг-экв/л, окисляемость 1,8 мг/л O_2, температура 50 °С, скорость воды 0,8—1,0 м/с, дозы реагентов одинаковые (4 мг/л). Условия опытов не соответствовали обычным, эксплуатационным.

Приведенные сравнительные данные свидетельствуют лишь о том, что при невысокой щелочности, большой продувке и небольшом коэффициенте упариваемости (не более 1,5) достаточно эффективными являются ортофосфаты, при больших щелочности и коэффициенте упариваемости и меньшей продувке более эффективными являются полифосфаты и особенно фосфонаты. При этом следует учитывать и стабилизирующее действие органических веществ.

Суперфосфат, представляющий собой смесь H_3PO_4 с $Ca(H_2PO_4)_2$ и $CaSO_4$, легко выщелачивается как холодной, так и горячей водой, оставляя в осадке $CaSO_4$.

Таблица 3.3. Сравнение стабилизирующих свойств некоторых соё

Вид реагента и обработка	Количество выпавшего кальция, %			Обработанная вода	
	на поверхности	в виде шлама	общее количество, % исходного	щелочность по фенолфталеину, мг-экв/л	содержание CO_3^{2-}, мг-экв/л
Без обработки	92,5	7,5	100	0,1	0,2
Ортофосфаты	27,5	72,5	100	0,1—0,2	0,2—0,4
Гексаметафосфат	6,0	94,0	62	0,25—0,3	0,5—0,6
Триполифосфат	6,0	94,0	57	—	—
Фосфонат	3,7	96,3	40	0,35	0,7

Баки и трубопроводы для раствора суперфосфата должны быть защищены от коррозии, так как водная вытяжка имеет кислую реакцию. Упариваемость, т. е. повышение солесодержания, щелочности и т. п., при фосфатировании не должна превышать 20—30%, максимум 50% при щелочности добавочной воды 3—4 мг-экв/л. Щелочность циркуляционной воды при ортофосфатах составляет 4—4,5 мг-экв/л и при полифосфатах 5—5,5 мг-экв/л. Расход фосфата, г/ч, определяют по формуле

$$G_ф = aV_д/c \cdot 10,$$

где a — доза PO_4^{3-}, принятая при расчете (обычно 1,5—3,0 мг/л); $V_д$ — количество добавочной воды, м³/ч; c — содержание активного PO_4^{3-} — в техническом продукте, % (см. гл. 2).

Концентрация растворов в пересчете на PO_4^{3-} обычно составляет 1—5%.

При использовании тринатрийфосфата, имеющего щелочную реакцию, необходимо обеспечивать усиленное перемешивание воды с раствором во избежание местного выпадения $Ca_3(PO_4)_2 + CaCO_3$. Растворы гексаметфосфата, триполифосфата и суперфосфата в этом отношении безопасны.

Наличие некоторого запаса PO_4^{3-} в самой циркуляционной воде и допустимость колебаний содержания его в пределах 1,5—2,5 мг/л позволяют в ряде случаев ограничиться периодическим вводом фосфата и применением дозаторов постоянной дозы (например, бачка с постоянным уровнем), более простых, чем пропорциональные дозаторы. Содержание фосфатов в циркуляционной воде определяют 1 раз в смену или в сутки.

Эксплуатация установок для ввода суперфосфата (рис. 3.8) сводится к следующему: суперфосфат засыпают в бак с водой, и перемешивают вручную мешалкой или сжатым воздухом. Растворение суперфосфата при хорошем перемешивании заканчивается за 1 ч. Раствор отстаивается 30—40 мин, затем его перепускают в один из рабочих ба-

динений фосфора

Допустимая щелочность воды, мг-экв/л		Коэффициент упариваемости	Сравнительная стоимость реагентов
добавочной	оборотной		
Не более 2,0	$Щ_0$ 2,0—3,0	Не более 1,3	—
3,0	4,0—4,5	Не более 1,5	1
—	5—5,5	До 1,7—1,8	5,0
—	5—5,5	До 1,7—1,8	4,25
Не более 7	7—8 и более	До 2—3	28,0

ков. В растворный же бак вновь заливают воду и в течение 20—30 мин перемешивают с осадком для извлечения из него остатка PO_4^{3-}. После отстаивания этот слабый раствор используют для растворения свежих порций суперфосфата.

Раствор из рабочего бака поступает в дозирующий бачок, где поплавковый клапан поддерживает постоянный уровень. Из бачка через дозирующий кран раствор поступает в добавочную или циркуляционную воду.

Осадок (гипс) в конусе растворного бака плотно слеживается, поэтому после повторного выщелачивания его необходимо быстро удалять насосом. При удалении осадок гипса размывают водой из шланга или перемешивают мешалкой. Если не прибегать к повторному выщелачиванию осадка, то потери активного PO_4^{3-} могут достичь 20—25% его содержания в исходном суперфосфате.

Рабочие и дозирующие баки для фосфатов могут быть изготовлены из дерева. Растворный бак быстро покрывается изнутри плотным слоем гипса, удалять который не следует, так как он защищает бак от действия кислых растворов. В качестве трубопроводов для раствора суперфосфата и полифосфатов следует пользоваться резиновыми шлангами с зажимами, пластмассовыми и другими кислотоупорными запорными органами. При кратковременном применении стальных трубопроводов их после передачи раствора надо опоражнивать и промывать водой. Суперфосфатные установки необходимо размещать возможно ближе к месту ввода раствора. Гипсовый шлам целесообразно направлять в систему гидрозолоудаления станции (ГЗУ).

Установка для фосфатирования циркуляционной воды легкорастворимыми фосфатами — фосфонатами состоит из бака для растворения реагента и дозирующего бачка (рис. 3.8). Баки делают из стали толщиной 3—5 мм, при кислых фосфатах (ДНФ, ПФН, ТПФ) — с защитными покрытиями изнутри. Снаружи баки окрашивают. Для ускорения растворения и перемешивания фосфата к баку-растворителю подводят сжатый воздух или свежий пар через барботер для подогрева во-

ды до 60—70 °С или горячую воду. Возможно применение мерника и дозирующих насосов.

Наиболее универсальным способом обработки циркуляционной воды для предотвращения низкотемпературного накипеобразования и углекислотной коррозии является подкисление оборотной воды перед градирнями и одновременное фосфатирование с поддержанием общей щелочности в пределах 3,5—4,5 мг-экв/л, щелочности по фенолфталеину 0,1—0,3 мг-экв/л и концентрации ортофосфатов 1,5—2,5 мг/л.

Полифосфаты и особенно фосфонаты допускают бо́льшую щелочность циркуляционной воды и позволяют избежать подкисления.

Магнитная обработка воды является перспективным способом борьбы с низкотемпературным накипеобразованием в конденсаторах и теплообменниках, но, к сожалению, пока еще недостаточно изученным и освоенным. Важными достоинствами этого способа являются пригодность его как при прямоточном, так и при оборотном водоснабжении энергетических объектов, а также отсутствие загрязнения воды, сбрасываемой в общественные водоемы, химическими реагентами (SO_4^{2-}, PO_4^{3-}).

Магнитную обработку воды, иногда в комбинации с ультразвуковой обработкой, применяют на нескольких станциях, однако получаемый эффект неодинаков, так как условия обработки каждой конкретной воды известны лишь ориентировочно. Иногда накипеобразование при магнитной обработке снижается лишь на 20—30%.

Условия (ориентировочные) магнитной обработки: напряженность магнитного поля $8 \cdot 10^4$ А/м (1000 Э); скорость в рабочем сечении 1—3 м/с; время пребывания воды в активной зоне одного полюса 0,02—0,06 с. Магнитной обработке должна подвергаться при прямоточном охлаждении вся охлаждающая вода, при оборотном — вся добавочная вода и 25—40% оборотной.

Размер частиц шлама, выпадающего при магнитной обработке: более 1,5 мкм не более 0,04%; 0,5—1,5 мкм — 20%; менее 0,5 мкм — 80%. Общее содержание шлама составляет не более 20 мг/л (с учетом осаждения шлама в охлаждающих устройствах). Продолжительность сохранения эффекта омагничивания равна 18—25 ч. Удельный расход электроэнергии для аппаратов производительностью менее 100 м³/ч составляет 6—18 Вт·ч/м³ и более, 100—1000 м³/ч — 3,5—4,5 и более, 12—15 тыс. м³/ч — 3,0 Вт·ч/м³ и более.

Количество накипи, выделяющейся из неомагниченной воды, больше, чем из омагниченной. Магнитная обработка влияет на образование только карбонатных отложений и не предупреждает коррозии, биологических обрастаний или илисто-биологических отложений и должна осуществляться совместно с мероприятиями по борьбе с этими явлениями. Следует отметить, что при омагничивании воды содержащиеся в ней магнитные окислы железа укрупняются, слипаются между собой, легче осаждаются и фильтруются.

3.4. Показатели обработки и нормы качества охлаждающей циркуляционной воды и виды ее обработки

Хлорирование — при преобладании в отложениях органических веществ — по 30—60 мин через 12—24 ч; при преобладании в отложениях минеральных веществ — по 70—80 мин через 36—48 ч. Содержание Cl_2 в воде после конденсатора составляет 0,5—2,0 мг/л.

Купоросование замкнутых систем (с градирнями) ведется дозами Cu^{2+} 1—2,5 мг/л оборотной воды; во время «цветения» воды в водоемах доза Cu^{2+} 0,1—0,3 мг/л, 2—3 раза. В сбрасываемой в общественные водоемы воде содержание меди не должно превышать: для хозяйственно-питьевых водоемов 1,0 мг/л Cu^{2+}; для рыбохозяйственных 0,01 мг/л Cu^{2+}.

Подкисление: карбонатная щелочность 1,5—2,0 мг-экв/л; жесткость добавочной воды не менее 0,5—1,0 мг-экв/л.

Фосфатирование: содержание PO_4^{3-} в циркуляционной воде 1,0—2,0 мг/л.

Дополнительные нормативные данные. 1. Отношение при всех видах обработки воды или отсутствии ее:

$$S_ц/S_д = Cl_ц/Cl_д = 1{,}0 \div 1{,}1;\ Щ_ц/Щ_д = Ж_ц/Ж_д\ (1{,}0 \div 1{,}1),$$

где $Cl_ц$; $Щ_ц$; $Ж_ц$; $S_ц$ — содержание хлоридов, щелочность, жесткость и солесодержание циркуляционной воды; $Cl_д$; $Щ_д$; $Ж_д$; $S_д$ — то же добавочной воды.

2. При продувке и отсутствии обработки воды общая щелочность равна 2,0—3,5 мг-экв/л, щелочность по фенолфталеину отсутствует, максимум кратковременно не более 0,1 мг-экв/л.

3. При подкислении и продувке общая щелочность исходной воды составляет более 4—4,5 мг-экв/л, обработанной воды — минимум 0,5—1,0 мг-экв/л, циркуляционной воды — минимум 1,0—1,5 мг-экв/л, нормально 2,0—2,5 мг-экв/л, максимум 3,5 мг-экв/л. Щелочность по фенолфталеину отсутствует, максимум кратковременно не более 0,1 мг-экв/л.

4. При рекарбонизации и продувке общая щелочность 2,0—3,5 мг-экв/л, щелочность по фенолфталеину отсутствует; содержание CO_2 в воде после рекарбонизации на 3—4 мг/л больше, чем в добавочной воде.

5. При фосфатировании содержание фосфат-иона PO_4^{3-} равно 1,0—2,0 мг/л, максимум 3,0 мг/л, общая щелочность не более 5,5 мг-экв/л, щелочность по фенолфталеину не более 0,2 мг-экв/л, при щелочности добавочной воды 3,5—4,5; 2—3,5 и менее 2 мг-экв/л; упариваемость или кратность содержания Cl в циркуляционной воде соответственно 1,1—1,3; 1,3—1,5; 1,5—1,8.

Качество оборотной охлаждающей воды по данным СЭВ приведено ниже:

Температура, °С	До 50
Взвешенные вещества в добавочной воде, мг/л	До 20
Запах, баллы	До 3
Эфирорастворимые вещества, мг/л	До 20
Водородный показатель — реакция pH	6,5—8,5
Карбонатная жесткость добавочной воды, мг-экв/л	1,5—2,5
Солесодержание оборотной воды, мг/л	До 2000
Хлориды в оборотной воде Cl, мг/л	До 350
Сульфаты в оборотной воде SO^2_4, мг/л	До 500
Общее железо в оборотной воде, мг/л	1—4
Перманганатная окисляемость в добавочной воде, мг/л O_2	До 20
$БПК_5$ добавочной воды	До 5
Фосфаты в добавочной воде P_2O_5, мг/л	До 4
Общий азот N, мг/л	До 10

Дополнительные данные по зарубежным источникам: общая жесткость добавочной воды не нормируется, щелочность оборотной воды по фенолфталеину составляет обычно 0,0 мг-экв/л, при фосфатировании — максимум 0,35; сульфатно-кальциевая жесткость $CaSO_4$ до 18—20 мг-экв/л; кремниевая кислота $SiO_2+SiO_3^{2-}$ 200 мг/л; свободная углекислота CO_2 мг/л в добавочной воде до 20 мг/л, в оборотной воде до 3 мг/л; свободный хлор Cl_2 после конденсатора 0,5—1,0.

Глава четвертая

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРЕДОЧИСТКИ

4.1. Основные схемы предварительной обработки воды методами осаждения и отфильтровывания механических остаточных (взвешенных) примесей воды

Предварительной обработкой воды (предочисткой) называют ряд операций, при которых нежелательные примеси воды удаляются в твердом виде — в виде осадка с содержащейся в нем водой.

При предочистке могут быть в зависимости от схемы обработки удалены: взвешенные и коллоидные примеси — практически полностью, до остаточного содержания 1—3 мг/л; органические вещества — снижена окисляемость на 40—70% исходной величины; углекислота свобод-

ная и ион HCO_3^- — практически полностью; карбонатный ион — до остаточного содержания 0,5—0,8 мг-экв/л; общая щелочность — до 0,5—1,3 мг-экв/л; жесткость — до 0,5—1,3 мг-экв/л; кремнекислота — на 30—40% исходного содержания, а при магнезиальном обескремнивании — до 1—1,5 мг/л; соединения железа Fe — до 0,1 мг/л и менее.

Чем больше примесей будет удалено при предочистке с минимальными потерями воды, тем меньше будет нагрузка на ионитную часть ВПУ, тем меньше будет расход реагентов и потери воды на собственные нужды как ионитной части, так и ВПУ в целом.

Условия обработки воды методами осаждения (предочистка).

1. *Коагуляция на фильтрах* применяется только кратковременно в течение 20—30 сут в периоды паводков или цветения воды в водоисточниках, при низкой щелочности и высоких окисляемости и цветности воды. Температура обработки составляет (20—30±3)°С. Основной реагент $Al_2(SO_4)_3$, вспомогательные реагенты: при недостаточной щелочности — NaOH, хуже Na_2CO_3, $NaHCO_3$, CaO; при плохой коагулируемости Cl_2, хуже $CaOCl_2$, для укрупнения взвеси — флокулянты. Дозы $Al_2(SO_4)_3$ 0,5—1,2 мг-экв/л, Cl_2 3—10 мг/л, флокулянта 1,0—2,0 мг/л.

Исходная вода: щелочность (карбонатная жесткость) 1—2 мг-экв/л, перманганатная окисляемость: при последующем обессоливании-обескремнивании более 5 мг/л O_2, при последующем Na-, H — Na-катионировании более 12—15 мг/л O_2, цветность свыше 50° Pt- Co-шкалы.

Обработанная вода (профильтрованная): остаточная щелочность не менее 0,4—0,5 мг-экв/л, pH 6,5—7,5, содержание Al не более 0,2 мг/л, взвеси 2—3 мг/л, снижение окисляемости на 50—75% и кремнекислоты на 10—20%, содержание CO_2 возрастает на $44D_к$, щелочность снижается на $D_к$, где $D_к$ — доза коагулянта, мг-экв/л.

2. *Коагуляция в осветлителях* может осуществляться постоянно (круглогодично), температура (25—35±1) °С; остальные условия применения те же, что и при коагуляции на фильтрах. В качестве флокулянта может применяться активная кремнекислота — золь SiO_2 в количестве 2—5 мг/л по SiO_2; качество обработанной воды представлено табл. 1.7.

3. *Коагуляция-известкование в осветлителях* (круглогодично) применяется для снижения содержания взвешенных, коллоидных, органических и минеральных примесей, для укрупнения выпадающей взвеси, полного удаления сво-

Таблица 4.1. **Качество предочищенной воды**

Показатель	Схема обработки			
	Без реагентов (отстаивание и фильтрование)	Коагуляция в осветлителе при 25 °С	Коагуляция-известкование в осветлителе при 35—40 °С	Коагуляция—содо-известкование в осветлителе при 30—40 °С
После отстаивания в осветлителе				
Прозрачность по шрифту Снеллена, см	—	15—20	15—20	15—20
Прозрачность по «кольцу», см	—	20—30	20—40	20—40
Содержание взвеси, мг/л	50	10—20	10—20	10—15
Характер шлама	—	Хлопьевидный	Хлопьевидный, без коагуляции, иногда зернистый	
Стабильность-доумягчаемость, мг-экв/л	—	—	0,1—0,15	
После фильтрования через зернистые фильтры				
Остаточное содержание коагулянта, мг/л	—	$Al^{3+}<0,2$	$Fe^{3+}<0,1$	$Fe^{3+}<0,1$
Снижение окисляемости, %	0	50—75	40—50	40—50
Снижение содержания кремнекислоты, %	0	10—20 (SiO_2)	30—40 за счет соосаждения с Mg^{2+}	
Свободная углекислота CO_2, мг/л	Без изменений	Возрастает на $44D_к$	0	0
Остаточная щелочность общая, мг-экв/л	То же	Уменьшается на $D_к$	0,7—1,3	1—1,5
В том числе:				
гидратная OH^-	0	0	0,1—0,2±0,05	
карбонатная CO_3^{2-}	0	0	0,6—1,2	0,8—1,4
бикарбонатная HCO_3^-	Без изменений	Не менее 0,4—0,5	0	0

Показатель	Схема обработки			
	Без реагентов (отстаивание и фильтрование)	Коагуляция в осветлителе при 25 °С	Коагуляциз-известкование в осветлителе при 35—40 °С	Коагуляция—содо-известкование в осветлителе при 35—40 °С
Реакция pH	Без изменений	6,5—7,5	9,5—10,4	9,5—10,4
Остаточная жесткость, мг-экв/л	Без изменений		$(0,7—1,3)+$ $+\mathcal{Ж}_{нк}^{исх}+D_к$	1,0—1,5
В том числе: общая карбонатно-гидратная	То же	Уменьшается на $D_к$	0,7—1,3	1,0—1,5
некарбонатная	„ „	Увеличивается на $D_к$		0
магнезиальная	„ „	Не меняется	Снижается	0,8—1,4
Содержание взвеси, мг/л	Менее 3			
Прозрачность по шрифту Снеллена, см	Более 40			
То же по «кресту», см	Более 300			
Солесодержание, мг/л	Не меняется	Увеличивается на $19D_к$	Уменьшается, примерное конечное содержание = солесодержание исходное $+19D_к-50\Delta\ Ш_{общ}-3,5\Delta\cdot Ок$	
Стабильность-доумягчаемость, мг-экв/л	0		0—0,05	

бодной углекислоты, частичного умягчения, снижения щелочности, содержания магния и окислов железа, для снижения на 30—40% содержания кремнекислоты. Коагуляция при последующем обессоливании-обескремнивании воды проводится только при перманганатной окисляемости исходной воды более 5 мг/л O_2, при последующем Na-, H — Na-катионировании — при окисляемости более 7—8 мг/л O_2, температура (25—45±1) °С, основные реагенты: коагулянт $FeSO_4$ и известь CaO, вспомогательные: Cl_2, хуже $CaOCl_2$, а также флокулянты.

Исходная вода: щелочность (карбонатная жесткость) более 1,0—1,5 мг-экв/л; растворенный кислород O_2 не менее 4 мг/л на 1 мг-экв/л $FeSO_4$, качество обработанной воды представлено в табл. 4.1.

4. *Коагуляция-содоизвесткование в осветлителях* проводится для тех же целей, что и коагуляция-известкование, и, кроме того, для полного удаления некарбонатной жесткости и более глубокого умягчения воды перед Na-катионитными фильтрами для уменьшения нагрузки их по Ca и Mg, т. е. для уменьшения расхода NaCl и сточных вод и увеличения количества твердых отходов $CaCO_3 + Mg(OH)_2$.

Основные реагенты: $FeSO_4$, CaO, Na_2CO_3, вспомогательные: Cl_2, хуже $CaOCl_2$, флокулянты. В исходной воде должен присутствовать кислород O_2 для окисления Fe^{2+} в Fe^{3+}.

5. *Известкование и содоизвесткование* водопроводных или подземных вод, не содержащих взвешенных и органических веществ, проводятся для тех же целей, что и коагуляция с известкованием или содоизвесткованием. Содоизвесткование в отдельных случаях может производиться и без последующего катионирования или обессоливания при температуре до 70 °С. Обычная температура обработки составляет (25—45±1)°С; реагенты: CaO и $CaO + Na_2CO_3$. Остальные условия обработки такие же, как и при совместных коагуляции с известкованием или содоизвесткованием. Присутствие O_2 не обязательно.

Завершающим этапом предочистки является фильтрование воды через зернистые фильтры, после которых вода почти не содержит взвеси и является практически стабильной.

Учитывая возможности предочистки и необходимость защиты окружающей среды от загрязнений, наиболее совершенной схемой обработки на предочистке природной воды среднего качества (жесткость 4—5 мг-экв/л, щелоч-

ность 3,5—4,5 мг-экв/л, солесодержание 400—500 мг/л, окисляемость до 10—15 мг/л O_2) следует считать схему предочистки: коагуляция — содоизвесткование — отстаивание и фильтрование. В случае необходимости перед подачей реагентов воду хлорируют, а после ввода реагентов добавляют флокулянты (полиакриламид). Коагуляция солями железа или алюминия повышает солесодержание предочищенной воды (SO_4^{2-}).

В зависимости от качества обрабатываемой воды тот или иной реагент может исключаться, например: сода при низкой некарбонатной жесткости, известь — при низкой щелочности, коагулянт — при низких окисляемости, цветности или малой мутности исходной воды.

Коагуляция при известковании или содоизвестковании, т. е. в щелочной среде (pH≥8,5), производится только солями железа, в нейтральной среде (pH<8,5) — без извести или соды только солями алюминия.

Хлорирование (предварительное) рекомендуется при постоянно высокой окисляемости и цветности воды, когда коагуляция протекает неудовлетворительно, окисляемость остается высокой (более 7—8 мг/л O_2). Коагуляции и хлорирования повышающих минерализованность воды, следует по возможности избегать и заменять флокуляцией.

Флокуляция — применение для укрупнения хлопьев полиакриламида, активной кремнекислоты или других флокулянтов, не увеличивающих минерализованность воды, — рекомендуется в основном при легких осадках, при малом содержании в них $CaCO_3$, являющегося основной «утяжеляющей», составной их частью, при нежелательности или невозможности ввода Cl_2. При содоизвестковании или известковании флокуляция иногда может не дать желаемого эффекта вследствие того, что образование мелкой взвести $CaCO_3+Mg(OH)_2$ будет продолжаться и после ввода флокулянтов и образования ими крупных хлопьев.

Содоизвесткование особенно целесообразно при последующем Na-катионировании. При H-катионировании содоизвесткование позволяет получать при регенерации H-катионита отработавший раствор кислоты с малым содержанием Ca^{2+}, что дает возможность не опасаться загипсовывания катионита и применять более крепкие растворы серной кислоты (более 1,5%).

Прямоточная, безотстойная коагуляция «на фильтрах» является трудно управляемым процессом, при котором очень высока грязевая нагрузка осветлительных механических фильтров. Их приходится часто промывать, расходуя на собственные нужды большие количества воды. При отклонениях доз коагулянта от оптимальных образовавшийся $Al(OH)_3$ очень мелок и проходит не только через осветлительные, но и

через катионитные фильтры. Безотстойная коагуляция допускается только на короткое время (в паводок) на уже сооруженных ВПУ.

Магнезиальное обескремнивание сохранилось лишь на нескольких ВПУ ТЭС ВД, сооруженных более 20—25 лет назад, из-за недостатка высокоосновных обескремнивающих анионитов. В настоящее время магнезиальное обескремнивание воды из-за сложности обращения с магнезитом (абразивность магнезита, дозировка в сухом виде, гигроскопичность, слеживаемость и цементация) и недостаточно глубокого обескремнивания по сравнению с ионитным вновь не проектируется.

4.2. Потребность в реагентах

Необходимая доза коагулянта $Al_2(SO_4)_3$ должна, как правило, определяться в лабораторных условиях путем коагуляции исходной воды различными дозами коагулянта, иногда с применением щелочи и флокулянта для улучшения осаждения взвеси и уменьшения дозы коагулянта.

Дозы безводного коагулянта $Al_2(SO_4)_3 D_к$ для снижения окисляемости и цветности можно определять также по следующим ориентировочным формулам: $D_к = 0{,}07$ Ок, мг-экв/л, или $D_к = 4$ Ок, мг/л, или $D_к = 0{,}175\ [4]\sqrt{Цв} + (5 \div 10)]$; мг-экв/л, $D'_к = 4\sqrt{Цв} + (5 \div 10)$, мг/л, где Ок — перманганатная окисляемость, мг/л O_2; Цв — цветность воды в градусах Pt, Co или Cr, Co-шкалы.

Из найденных по этим формулам величин в дальнейших расчетах принимают бо́льшую.

Таблица 4.2. **Ориентировочная потребность в коагулянте (без флокулянта)**

Перманганатная окисляемость, мг/л O_2	Цветность в градусах Pt—Co или Cr—Co-шкалы	Содержание взвешенных веществ, мг/л	Прозрачность, см		Примерная доза безводного $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ или $FeSO_4$	
			по „кресту или кольцу*	по шрифту Снеллена	мг-экв/л*	мг/л*
5—8	20—30	До 50	45	30	0,3—0,5	20—30
	30—40	50—100	30	20	0,4—0,6	25—35
8—12	50—60	100—200	20	13	0,6—0,8	30—45
	60—70	200—400	15	10	0,7—1,0	40—60
12—15	70—100	400—600	10	7	0,8—1,25	45—70
	80—120	600—800	8	6	0,95—1,4	55—80
15—20	100—150	800—1000	7	5	1,05—1,6	60—90
20—25	150—200	1000—1400	6	4	1,15—1,85	65—105
25—30	200—250	1400—1800	5	3	1,3—2,0	75—115
Более 30	250—300	1800—2200	3	2	1,4—2,2	80—125

* Меньшие дозы для грубодисперсной взвеси. При одновременных с коагуляцией известковании, содоизвестковании или флокуляции дозы коагулянта могут быть на 15—25% ниже.

Ориентировочная потребность в коагулянте может также находиться по табл. 4.2.

Необходимые дозы извести, соды и других реагентов также находятся путем опытного известкования-содирования проб исходной воды в лабораторных условиях. Применяется прозрачный насыщенный известковый раствор $Ca(OH)_2$ и растворы-суспензии реагентов: $FeSO_4$, Na_2CO_3, MgO, ПАА. Определение доз ведется по ГОСТ 3312-46.

При невозможности опытного определения доз извести (и других реагентов), а также перед этими опытами целесообразно определять дозы, г/м³, по следующим формулам.

А. При известковании и последующем катионировании (обессоливании) при $Щ_о \leqslant Ж_{Ca}$ $CaO=[Щ_о+CO_2+0{,}2]\cdot 28$; при $Щ_о > Ж_{Ca}$ $CaO=[2Щ_о-Ж_{Ca}+CO_2+0{,}2]\cdot 28$.

Б. При коагуляции-известковании и последующем катионировании (обессоливании) $CaO=[Щ_о+CO_2+D_к+0{,}2]\cdot 28$.

В. При содоизвестковании и последующем катионировании $CaO=[Щ_о+Ж_{Mg}+CO_2+0{,}2]\cdot 28$; $Na_2CO_3=Ж_{нк}\cdot 53$.

Г. При коагуляции-содоизвестковании и последующем катионировании $CaO=[Щ_о+CO_2+D_к+0{,}2]\cdot 28$; $Na_2CO_3=[Ж_{нк}+D_к]\cdot 53$.

Д. При содоизвестковании без последующего катионирования $CaO=[Щ_о+CO_2+0{,}2]\cdot 28$; $Na_2CO_3=[Ж_{нк}+1]\cdot 53$.

Е. При коагуляции-содоизвестковании без последующего катионирования $CaO=[Щ_о+CO_2+D_к+0{,}2]\cdot 28$; $Na_2CO_3=[Ж_{нк}+D_к+1{,}0]\cdot 53$.

Ж. Расход магнезита MgO на 1 г/л удаляемых $SiO_2+SiO_3^{2-}$ равен: при 95 °С около 5 г/м³, при 40—45 °С 12—20 г/м³ и более.

З. Доза сухого флокулянта — 100%-ного полиакриламида (ПАА) 0,1—1,0 мг/л, при меньшей мутности (меньшем количестве выпадающей взвеси) меньше.

И. Доза активной кремнекислоты SiO_2, применяемой в качестве флокулянта, при температуре ниже 7 °С равна 3—5 мг/л, при температуре выше 7 °С 2—3 мг/л.

В приведенных выше таблице и формулах дозы извести, соды, магнезита, сернокислого глинозема, железного купороса (закисного сернокислого железа), хлорного железа, полиакриламида, активной кремнекислоты выражены в мг/л или г/м³ обрабатываемой воды; $Щ_о$ — общая щелочность, мг-экв/л; $Ж_{нк}$, $Ж_{Ca}$, $Ж_{Mg}$ — жесткость некарбонатная, кальциевая, магниевая, мг-экв/л; CO_2 — содержание свободной углекислоты, мг-экв/л (1 мг-экв/л=22 мг/л CO_2); $SiO_2+SiO_3^{2-}$ — суммарное содержание растворенной ионной SiO_3^{2-} и коллоидной SiO_2 кремниевой кислоты, мг/л; 0,2 и 1,0 — избытки реагентов, мг-экв/л; 28 и 53 — округленные эквивалентные массы CaO и Na_2CO_3 (для перевода мг-экв/л в мг/л); $D_к$ — необходимая доза коагулянта $Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$ или $FeCl_3$, найденная по формулам, таблице или опытным путем, мг-экв/л.

4.3. Условия обработки

Качество обработанной воды обеспечивается соблюдением: постоянной крепости растворов реагентов (±3,0%); постоянной температуры обрабатываемой в осветлителях воды — не менее +30 с колебаниями ±1 °С [при известковании-коагуляции воды ВТИ считает возможным для замедления старения полиэтиленовых труб снижать температуру до +(20±1) °С, хотя это иногда может вызвать некоторое увеличение доумягчения воды на осветительных фильтрах]; постоянства дозировки реагента пропорционально расходу обрабатываемой воды — ±2÷3% (точность показаний измерительных диафрагм и импульсов, подаваемых кондуктометрами и pH-метрами дозаторам); постоянного качества исходной воды, например поддержанием постоянного минимального содержания свободной углекислоты в исходной (артезианской) воде, ее аэрацией перед вводом реагентов (CaO); постоянством производительности и при необходимости медленным, плавным повышением ее (5% в минуту) с помощью автоматических регуляторов с плавной регулировкой.

Таблица 4.3. **Допустимые колебания щелочности**

Место отбора пробы	Щелочность, мг-экв/л	
	общая	гидратная
После смешения воды с реагентами через 3—5 мин после ввода	±0,20	±0,07
После осветлителей или осветлительных фильтров	±0,07	±0,03

Повышению качества водообработки способствует энергичное перемешивание воды с вводимыми в нее реагентами в слое ранее выпавшего шлама в течение всего времени, необходимого для окончания формирования твердой фазы (10—15 мин). Перемешивание предотвращает «проваливание — падение» растворов (известкового молока и др.), имеющих бо́льшую плотность, чем вода, и периодическое накапливание их в нижней части смесительной зоны. Дозы реагентов должны корректироваться по качеству обработанной воды (реакция pH или электропроводность).

При известковании наличие в исходной воде Mg^{2+} в известной мере придает воде буферность, смягчает колебания щелочности обработанной воды при нарушениях дозировки, так как при повышении дозы CaO увеличивается выпадение $Mg(OH)_2$, и наоборот. При этом меняются свойства выпавшего шлама, что не всегда желательно, так как при увеличении содержания $Mg(OH)_2$ в осадке последний становится легче, рыхлее, хуже осаждается.

Допустимые колебания щелочности обработанной воды после быстрого фильтрования пробы через бумажный фильтр представлены в табл. 4.3.

4.4. Работа осветлителей

Показатели шламового режима осветлителей приведены в табл. 4.4.

Нередко в коагулированную и осветленную в осветлителях воду увлекаются хлопья осадка $Al(OH)_3$, вынесенные вверх мельчайшими пузырьками воздуха, выделившимися в верхней части осветлителей из

Таблица 4.4. **Шламовый режим осветлителей**

Место отбора пробы	Объем шлама, %, после отстоя в течение, мин			Содержание сухого вещества в шламе в момент отбора без отстоя, г/л
	2	20	60	
Реакционная зона	60	25—30	15—25	5—10
Шламоуплотнитель	95—98	90—95	80—85	10—50
Отстойная зона до дроссельной решетки	Не более 15—20 мг/л			
Грязевик	40—60	20—25	10—20	10—50

воды, подогретой в напорных поверхностных подогревателях, а также пузырьками углекислоты, образовавшейся при коагуляции воды без известкования по формуле

$$3Ca(HCO_3)_2 + Al_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2\uparrow.$$

При совместной обработке воды осадительными реагентами в осадок переходят Ca^{2+}, Mg^{2+}, CO_2; HCO_3^-; CO_3^{2-}, OH^-, Al^{3+}; Fe^{3+}; SiO_2, SiO_3^{2-}, нерастворимые примеси извести, магнезита, коагулянта, песок, глина и коллоидно-дисперсные загрязнения воды минерального и органического состава естественного происхождения.

Из всех выпадающих в осадок примесей, не считая песка и глины [$CaCO_3$, $Mg(OH)_2$; $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$; $MgO \cdot nSiO_2$ взвесь из воды и др.], только $CaCO_3$ хорошо и быстро кристаллизуется, образует в подавляющем большинстве случаев крупный, хорошо оседающий, тяжелый осадок. Остальные примеси образуют иногда хотя и крупные, но более легкие, плохо оседающие и непрочные хлопья. Поэтому содержание остальных примесей в осадке не должно превышать 15—25% содержания $CaCO_3$ ($\alpha_м = 0.2$).

1 мг-экв/л реагентов или примесей образует безводный осадок, мг/л:

$Al_2(SO_4)_3$ при коагулировании	17	Al_2O_3
$FeSO_4$ при коагулировании	40	Fe_2O_3
$Ca(HCO_3)_2$ при нагревании	50	$CaCO_3$
$Ca(HCO_3)_2$ при известковании	100	$CaCO_3$
$Mg(HCO_3)_2$ при известковании	50	$CaCO_3+20MgO$
$MgSO_4(MgCl_2)$ при известковании	50	$CaCO_3+20MgO$
$MgSO_4(MgCl_2)$ при обработке NaOH	20	MgO
$CaSO_4(CaCl_2)$ при обработке содой	50	$CaCO_3$

1 мг/л SiO_2 при обескремнивании магнезитом вместе с ним образует 6—20 мг/л осадка.

При наличии в воде Mg^{2+} и при известковании получить осадок, не содержащий Mg^{2+}, невозможно, так как часть Mg^{2+} всегда выпадает в осадок в виде основного углекислого магния $MgO \cdot 3MgCO_3 \cdot 4H_2O$ и осаждается с $CaCO_3$.

Содержание сухого вещества в шламе, удаляемом из реакционного объема, грязевиков или шламоуплотнителей, показано в табл. 4.4, где приведена также и скорость осаждения шлама в воде в зависимости от его концентрации, свойств и места отбора.

Количество и состав осадка определяются или аналитически, или по следующим формулам:

$$\Sigma B = B' + 3{,}5\Delta Ок + 0{,}8\Delta SiO_3^{2-} + 40D_{Fe} + 20\Delta Ж_{Mg} + 100\Delta Щ'_о + 50Щ_{ост}^{CO_3} + 2{,}36CO_2 + kD_{CaO} + kD_{MgO};$$

$$B_{CaCO_3} = \frac{(100\Delta Щ'_о + 50Щ_{ост}^{CO_3^{2-}} + 2{,}36CO_2 + kD_{CaO}) \cdot 100}{\Sigma B},$$

где ΣB — суммарная масса осадка, мг/л; B' — содержание взвешенных веществ в исходной воде, мг/л; B_{CaCO_3} — содержание $CaCO_3$ в осадке; %; $\Delta Ж_{Mg}$, $\Delta Щ_о$, ΔSiO_3^{2-}, $\Delta Ок$ — разность значений концентраций в исходной и обработанной воде соответственно магниевой жесткости, общей щелочности, мг-экв/л, кремнекислоты, мг/л, и окисляемости, мг/л O_2; $Щ_{ост}^{CO_3^{2-}}$ — остаточная карбонатная щелочность обработанной воды, мг-экв/л; CO_2 — содержание свободной углекислоты в исходной воде; мг/л; D_{CaO}; D_{MgO} — дозы извести (100%-ной CaO) и магнезита, мг/л; D_{Fe} — доза сернокислого железа, мг-экв/л; k — коэффициент, учитывающий содержание нерастворимых веществ в извести, подаваемой в осветлитель в виде известкового молока, и определяемый следующими данными:

Содержание нерастворимых веществ, %	10	20	30	40	50	60	70	80
k	0,11	0,25	0,43	0,67	1,0	1,5	2,35	4

Гидравлическая характеристика шлама определяется путем отбора пробы в цилиндр диаметром 40—60 и высотой 250—350 мм и измерения высоты слоя шлама после 2, 20 и 60 мин отстоя. Найденные величины выражают в процентах начального объема пробы. Содержание сухого вещества в пробе шлама определяется фильтрованием через лабораторный фильтр, высушиванием и взвешиванием осадка. При отсутствии в осадке $Fe(OH)_3$ или $Al(OH)_3$ концентрацию в шламе $[CaCO_3+MgO]$ можно определять титрованием водной суспензии жидкого или сухого шлама 0,1—1 н. соляной кислотой, а раздельное содержание Ca^{2+} и Mg^{2+}—0,1—1,0 н. трилоном Б; 1 мл 0,1 н. HCl или трилона Б эквивалентен 5 мг $CaCO_3$ или 2 мг MgO.

Одним из важнейших условий хорошей работы осветлителей, кроме указанных выше, является поддержание их оптимального шламового режима, т. е. следующих показателей:

Концентрация шлама в реакционной зоне, г/л	5—10
Размер частиц зернистого шлама, мм	Не более 0,1—0,2
Содержание $CaCO_3$ в шламе, %	Не менее 85
Содержание шлама в исходной воде, мг/л:	
в паводок	800
в остальное время	200
Общее количество образующегося осадка, мг/л	1500
Скорость ввода воды в смесительно-реакционную зону, м/с:	
обычно	1—1,25
при малой щелочности или коагулировании	0,8
при $\alpha_м=0,1—0,25$	До 1,5
Время пребывания воды в реакционной зоне, мин	Не менее 10—15

Отсечка воды в шламонакопитель должна обеспечить скорость подъема воды в нем не более 85% скорости подъема в верхней зоне осветлителя, причем эта основная зона осветления должна быть возможно выше, но не менее 1,2—1,5 м.

Удаление шлама из шламоуплотнителя и грязевика должно быть по возможности непрерывным, автоматическим, управляемым при помощи сигнализаторов уровня шлама (СУШ-СУФ).

В осветлители по отдельному трубопроводу должна возвращаться пресная шламовая вода после промывки осветлительных и взрыхления ионитных фильтров и другие виды воды такого же качества, как и предочищенная вода, и не требующие обработки реагентами. Возврат должен быть непрерывным.

Если после отстоя в сборнике шламовые промывные воды будут содержать менее 20—30 мг/л взвеси, их следует направлять в бак отстоенной воды и затем на освет-

лительные фильтры, чтобы не перегружать осветлитель. В осветлитель же следует направлять только отстоявшийся шлам. Шлам, продуваемый из шламонакопителя и грязевика осветлителя, должен направляться на уплотнение и обезвоживание или сбрасываться в систему ГЗУ. Продуваемый шлам $CaCO_3+Mg(OH)_2$ можно использовать для нейтрализации кислых, сбросных вод после регенерации Н-катионитных фильтров или после кислотных промывок паровых котлов, после обмывки РВП или направлять на вакуумные фильтры или фильтр-прессы (ФПАКМ) для обезвоживания, желательно после уплотнения в специальном шламоуплотнителе. Обезвоженный шлам с влажностью 40—60% вывозят на отвалы, а фильтрат возвращается в осветлитель.

При нормальной работе осветлителя должен поддерживаться следующий режим: температура воды 25—45 °С; колебания ±1,0 °С; повышение производительности плавное, не более чем 5% в 1 мин; прозрачность, содержание взвеси, стабильность, жесткость, щелочность, окисляемость, кремнесодержание полуобработанной и обработанной воды должны соответствовать в зависимости от схемы обработки требованиям табл. 4.1, 4.3, 4.4.

Производительность в зависимости от состава шлама приведена ниже:

Содержание в осадке $Mg(OH)_2+Fe(OH)_3$ или $\alpha_м$	5—10	20	30	40
Производительность в долях номинальной расчетной производительности	1,3	1,1—1,3	0,95—1,2	0,8—1,05

Продолжение

Содержание в осадке $Mg(OH)_2+Fe(OH)_3$ или $\alpha_м$	50	70	100
Производительность в долях номинальной расчетной производительности	0,75—0,85	0,55—0,75	0,45—0,6

Ниже даны номинальные расчетные скорости движения воды при известковании или коагуляции-известковании (рис. 4.1):

В подводящих и отводящих трубопроводах *а*, м/с	1,5—2
Опускная в воздухоотделителе *б*, м/ч	20—25
Выход из сопла *в*, м/с	0,8—1,75
Подъемная в реакционной зоне *г*, м/ч	5—5,5
Подъемная в осветлительной зоне *д*, м/ч	4—4,5
В отверстиях верхней дроссельной решетки *е*, м/с	0,3
Подъемная в шламонакопителе *ж*, м/ч	3—3,5

4.5. Коагулирование на фильтрах

Коагулирование воды на фильтрах при помощи солей алюминия с целью удаления взвешенных, органических и минеральных веществ, в частности окислов железа, и для некоторого снижения щелочности допускается только для поверхностных вод, в период кратковременного (2—4 нед) весеннего паводка или дождливого периода, в качестве предварительной обработки перед Na- или H—Na-катионированием питательной воды испарителей или подпиточной воды тепловых сетей. Для подготовки добавка к питательной воде паровых котлов высокого давления коагулирование на фильтрах не рекомендуется. При низкой щелочности исходной воды в это время ее приходится подщелачивать едким натром, чтобы довести pH обработанной воды до 6,8—7,5. Исходная вода при этой схеме предочистки во внепаводковое время должна иметь малую (до 2 мг-экв/л) щелочность, низкое содержание органических веществ (окисляемость до 5—6 мг/л O_2) и невысокое содержание взвешенных, хорошо фильтрующихся примесей (около 20—30 мг/л). Такая вода в обычное время нуждается только в фильтровании перед катионированием. Артезианскую воду, имеющую, как правило, низкую окисляемость обычно не коагулируют.

Оборудование установок (смесители, фильтры, трубопроводы) должно быть защищено от углекислотной коррозии во избежание обогащения обработанной воды окислами железа.

При коагулировании на фильтрах скорость фильтрования должна быть понижена до 3—5 вместо 7—10 м/ч или должно применяться двухступенчатое фильтрование сначала через высокослойные, крупнозернистые фильтры с большей грязеемкостью, а затем через обычные или двухслойные фильтры (см. табл. 4.5).

Одним из видов коагулирования воды на фильтрах является безотстойное коагулирование в открытых контактных осветлителях Академии коммунального хозяйства им. Панфилова (АКХ) при скорости фильтрования 3—5 м/ч, широко используемое на коммунальных фильтровальных станциях в связи с высокой грязеемкостью загрузки контактных осветлителей. Дозирование коагулянта должно быть очень точным (дозирующие насосы НД), иначе процессы коагулирования ухудшаются и окислы алюминия проскакивают через осветлительные фильтры.

При коагулировании воды на фильтрах коагулянт и, если необходимо, щелочь вводят перед смесителем, а флокулянт (ПАА, ВА и др.) — после смесителя в трубопровод перед фильтрами.

Качество фильтрованной воды при безотстойном коагулировании должно быть такое же, как и при коагулировании в осветлителях.

4.6. Фильтрование предочищенной воды

Как необработанная реагентами и неотстоенная вода поверхностных водоисточников, так и любая обработанная осадительными реагентами и отстоенная или коагули-

рованная без отстоя вода перед подачей ее для умягчения на катионитные фильтры должна фильтроваться через осветлительные зернистые фильтры. Только профильтрованная водопроводная или артезианская вода, не содержащая взвеси более 1—3 мг/л, в частности Fe более 0,3 мг/л, не нуждается в фильтровании.

Для фильтрования воды с содержанием взвеси более 1—3 мг/л применяют зернистые фильтры, загруженные дробленым кварцем, кварцевым песком, антрацитом, термоантрацитом, металлургическим или пековым коксом, а также керамзитом.

Фильтрование — отделение от жидкости мелко- и грубодисперсных примесей — имеет три основных вида, часто протекающих одновременно: 1) процеживание, когда взвесь задерживается фильтрующими сетками с ячейками меньшего размера, чем размер задерживаемых частиц; применяется для грубой очистки воды, забираемой из поверхностных источников; 2) пленочное фильтрование, когда на поверхности зернистого фильтрующего материала или ткани задерживаются сначала только крупные частицы, а затем по мере их накопления и забивания ими пор создается фильтрующая пленка из этих частиц, задерживающая уже всю взвесь, содержащуюся в воде. Пленочное фильтрование осуществляется при мелкозернистом фильтрующем материале на поверхности фильтрующего слоя (d зерен $\leqslant$0,5 мм). Грязеемкость такого материала меньше, чем крупнозернистого, больше скорость прироста потери напора, высота слоя фильтрующего материала может быть 800—900 мм; 3) объемное фильтрование, при котором взвешенные в воде частицы, проходя через зернистую загрузку, задерживаются в щелях между зернами, прилипают к ним в стороне от основного потока воды.

При объемном фильтровании крупность зерен 0,5—2,0 мм и более, фильтрующий слой 900—1200 мм и более, прирост потери напора меньше, а грязеемкость фильтрующего материала больше, чем при пленочном фильтровании.

Фильтрование через неподвижную загрузку может осуществляться как сверху, так и снизу. При фильтровании снизу грязеемкость фильтрующего материала значительно больше, чем при фильтровании сверху, так как основная масса взвешенных примесей задерживается нижними, крупнозернистыми слоями фильтрующего материала, обладающими большей грязеемкостью.

Задержанные загрязнения удаляют промывкой водой снизу вверх, обычно с применением продувки сжатым воздухом (перед промывкой, в начале или во время ее) для разрыхления загрузки, перетирания зерен между собой и измельчения задержанной взвеси. Иногда для измельчения поверхностной грязевой пленки применяют верхнюю промывку водой через специальное промывочное устройство.

Кроме взвеси из воды, обработанной известью и отстоенной, при фильтровании удаляются и растворенные, но пересыщающие воду $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$, в результате чего вода становится практически только насыщенной ими (стабильной). Эти вещества, т. е. $CaCO_3+$ $+Mg(OH)_2$, кристаллизуются из пересыщенного раствора на поверхности зерен фильтрующего материала, увеличивая их массу и размеры. Удалению этих обрастаний при промывках помогает, но далеко не всегда, систематическая продувка фильтрующей загрузки воздухом.

При промывке водой снизу вверх происходит расширение (увеличение высоты слоя и гидравлическая сортировка фильтрующего материала), крупные зерна оседают вниз, а мелкие остаются наверху. Нельзя допускать выноса фильтрующего материала при промывке.

Промывку фильтров производят по достижении предельной потери напора: в открытых фильтрах 5 м вод. ст., в закрытых 10 м вод. ст., по появлению опалесценции профильтрованной воды (при объемном фильтровании), по количеству профильтрованной воды или, наконец, по продолжительности периода фильтрования. При полном вторичном использовании шламовой промывочной воды фильтров (возврат в осветлители или на фильтры) нет необходимости в полном использовании грязеемкости фильтрующего материала и фильтры следует промывать по времени (например, 1 раз в сутки), не дожидаясь проскока мутной воды при достижения предельной грязеемкости или потери напора.

С целью повышения грязеемкости фильтрующего материала (увеличения межпромывочного периода и сокращения расхода времени и воды на промывку фильтров) можно применять двухслойную загрузку фильтров: верхний слой из более крупного, но более легкого материала — антрацита (керамзита), нижний слой из более мелкого, но более тяжелого кварца (табл. 4.5).

Вода со взвесью, проходя через слой крупнозернистого материала, оставляет в нем основную массу взвеси, а нижний слой мелкозернистого кварца (страховочный) задерживает остатки — мелкую взвесь.

При промывке водой слои антрацита и кварца вследствие различных гидравлических характеристик не перемешиваются между собой, а в каждом слое происходит их обособленная гидросортировка.

Следует указать, что покидающие отстойники-осветлители случайные, отдельные, даже хорошо сформированные, но не осевшие хлопья, проходя через отверстия дроссельной решетки или сборных желобов осветлителей, при

Таблица 4.5. **Технологические показатели работы осветлительных**

Тип фильтров	Характеристика слоя, гранулометрический состав				Высота слоя, мм
	Диаметр зерен, мм			Коэффициент неоднородности	
	минимальный	максимальный	эквивалентный		
Однопоточные с различным составом загрузки (кварцевый песок)	0,5	1,2	0,7—0,8	2,0—2,2	700—900
	0,7	1,5	0,9—1,0	1,8—2,0	1200—1300
	0,9	1,8	1,1—1,2	1,5—1,7	1800—2000
Двухслойные:					
нижний слой — кварцевый песок	0,5	1,2	0,8	2,0	400—500**
верхний слой — антрацит	0,8	1,8*	1,1	2,0	400—500**
Двухпоточные (кварцевый песок)	0,5	1,5	0,9	2,0—2,2	1450—1650
Медленные	0,3	1,0	—	—	1000—1200
	1,0	2,0	—	—	50
Контактные (осветители)	0,5	2,0	0,9—1,1	2,5	2000
Предварительные	1,0	2,0	—	—	700
Грубозернистые для осветления технической воды	Кварцевый песок или антрацит*5				
	0,8	1,8	—	1,8	1500—2000
	1,5	2,5	—	2,0	2500—3000

* Крупнее 1,8 мм не более 3%.
** Суммарная высота не менее 900 мм.
*** При содержании взвеси в исходной воде менее 25 мг/л.
**** При содержании взвеси в исходной воде 26—50 мг/л.
***** При дробленом антраците— керамзите расход воздуха соответственно
ровании известкованной воды продувка воздухом обязательна для всех типов

сливе струй в сборный желоб, двигаясь по трубопроводам со скоростью 0,05—1,5 м/с и особенно проходя через насосы со скоростью 10—40 м/с, измельчаются, нередко до коллоидного состояния. Затем они уже не могут из-за старения укрупниться за короткое время пребывания в водяной подушке фильтра (3—5 мин) и поэтому часто проскакивают через фильтрующую, особенно низкослойную (700 мм) и крупнозернистую (более 0,7—1 мм), загрузку, придавая воде опалесценцию.

Скорость фильтрования отстоенной воды, м/ч		Вид промывки	Требуемое относительное расширение загрузки, %	Промывка		Высота водяной подушки, % высоты слоя, не менее
расчетная при нормальном режиме	допустимая при форсированном режиме			Интенсивность при температуре воды 20 °С, л/(с·м²)	Продолжительность, мин	
6	7,5	Основная	45	12—14	6—5	50—60
8	10,0		30	14—16		40—45
10	12,0		25	16—18		30—35
10	12,0	Основная	50	13—15	7—6	60—70
12	15,0	Промывка:				
		верхнего слоя	—	6—8	2—1	—
		основная	30	13—15	6—5	40—45
		через подповерхностный дренаж	—	10—12	2—1	—
0,2***	0,3***	Производится вне фильтра с выгрузкой верхнего слоя толщиной 50—100 мм	—	—	—	—
0,1*4	0,2*4					
3—5 снизу	—	Основная	35—45	16—18	6—5	50—80
3—5	—	»	25	16—18	6—5	30—35
10—12	—	Водой	—	6—8	8	—
		Воздухом	—	15—20*5	5	—
13—15	—	Водой	—	6—8	8	—
		Воздухом	—	18—25*5	5	—

меньше—13—15 и 16—20 л/(с·м²). Остальные показатели одинаковы. При фильфильтров и фильтрующих материалов.

При значительном обрастании зерен отложениями $CaCO_3+Mg(OH)_2$ принятая интенсивность промывки оказывается, несмотря на применение воздуха, уже недостаточной. Зерна, особенно нижних слоев, не расширяются при промывке и начинают срастаться между собой, образуя глыбы сросшегося, сцементированного осадками фильтрующего материала. Цементация нижних слоев ускоряется, если куски плотной корки задержанных отложений с поверхности фильтрующего материала при промыв-

ке проваливаются через расширившуюся рыхлую загрузку в нижнюю часть фильтра.

К аналогичным результатам приводит и применение для промывки не фильтрованной, а только отстоенной, часто мутной воды, обработанной реагентами. Осадки из этой воды, скопившиеся в баке, при промывке попадают в нижний дренаж — распределительное устройство и иногда даже забивают трубки дренажа, особенно щелевого.

Таблица 4.6. **Показатели качества и работы фильтрующего материала**

Показатель	Кварц или мраморная крошка	Антрацит
Эффективная крупность, мм	0,35	0,6
Плотность (без пор), г/см³	2,6	1,6
Насыпная масса, г/см³	1,6—1,8	0,8—1,0
Годовой износ, %	10	10
Расчетная грязеемкость при фильтровании, кг/м²:		
необработанной реагентами и неотстоенной воды	0,75	1,0
обработанной и отстоенной воды	1,25	1,5
коагулированной и неотстоенной воды	1,5	1,75
Удельный расход воды на промывку, % осветленной:		
необработанной реагентами и неотстоенной	12	12
обработанной реагентами, отстоенной и профильтрованной	4	4

Технологические показатели работы зернистых фильтров по данным ВОДГЕО — АКХ приведены в табл. 4.5 и 4.6.

4.7. Оборудование предочисток

В состав основного оборудования предочисток входят: осветлители ЦНИИ МПС или ВТИ, напорные осветлительные горизонтальные или вертикальные фильтры (одно-, двух- и трехкамерные), реагентные хозяйства со складами для приемки и хранения реагентов и оборудованием для приготовления и дозирования рабочих растворов [$Al_2(SO_4)_3$, $FeSO_4$, CaO, Na_2CO_3, флокулянта, хлора], а также для удаления отходов.

Сведения о реагентных хозяйствах приведены в гл. 2.

Внутренняя поверхность осветлителей должна быть защищена от коррозии перхлорвиниловыми лаками, эпок-

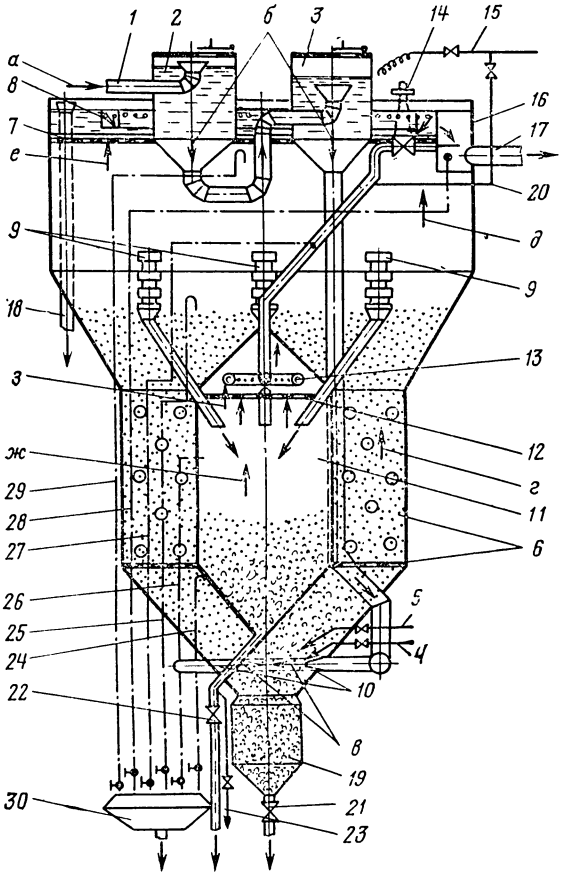


Рис. 4.1. Осветлитель типа ЦНИИ МПС-1А для известкования конструкции Е. Ф. Кургаева:

1 — подвод сырой воды; *2, 3* — воздухоотделители для воды; *4* — ввод известкового молока; *5* — ввод коагулянта; *6* — дырчатые смесительные перегородки; *7* — верхняя дроссельная решетка; *8* — сборный желоб; *9* — шламосборные трубы с окнами; *10* — сопла на вводе воды; *11* — шламоуплотнитель; *12* — дроссельная решетка шламоуплотнителя; *13* — сборный коллектор; *14* — регулирующая задвижка на отводе осветленной воды из шламоуплотнителя; *15* — подвод воды для промывки верхней дроссельной решетки; *16* — приемный карман; *17* — отвод осветленной воды; *18* — переливная труба; *19* — грязевик для тяжелого шлама; *20* — подача воды для промывки коллектора *13*; *21* и *22* — задвижки на линиях периодической продувки грязевика и шламоуплотнителя; *23* — непрерывная продувка шламоуплотнителя; *24* — *29* — пробоотборные трубки; *30* — воронка для сливаемых проб; *а* — *з* — оптимальные расчетные скорости, мм/с (числитель — при коагуляции, знаменатель — при известковании или коагуляции-известковании соответственно: 500—1000; 30—50; 800—1000/1200—1500; 1—1,2/1,5—2,0; 0,9—1,0/1,1—1,2; 300; 0,70—0,8/0,9—1,0; 100—300; при производительности 30, 85, 160, 320, 550 м³/ч диаметр, м, и высота, м, соответственно 3,37 и 8,16; 4,9 и 12,5; 6,7 и 13,12; 9,2 и 14,38; 12,2 и 16,11.

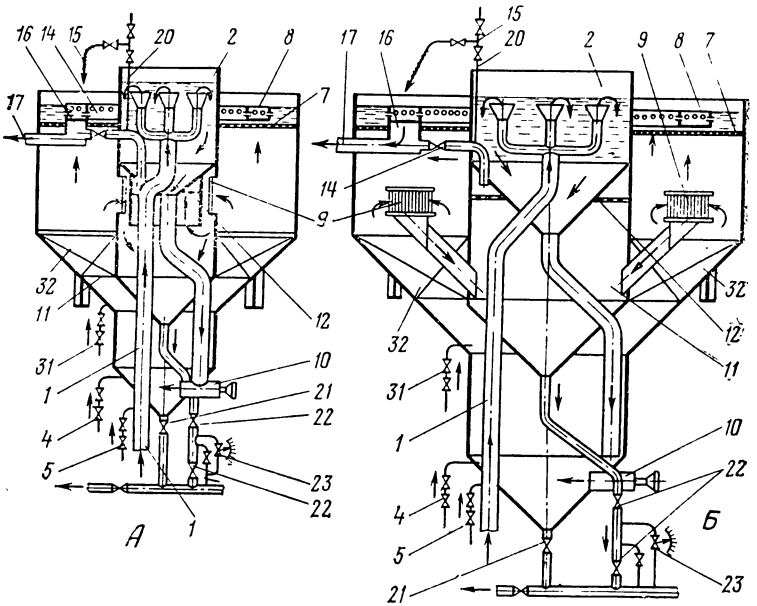


Рис. 4.2. Осветлители ВТИ:

31 — ввод флокулянта; *32* — вертикальные успокаивающие перегородки; остальные обозначения те же, что и на рис. 4.1

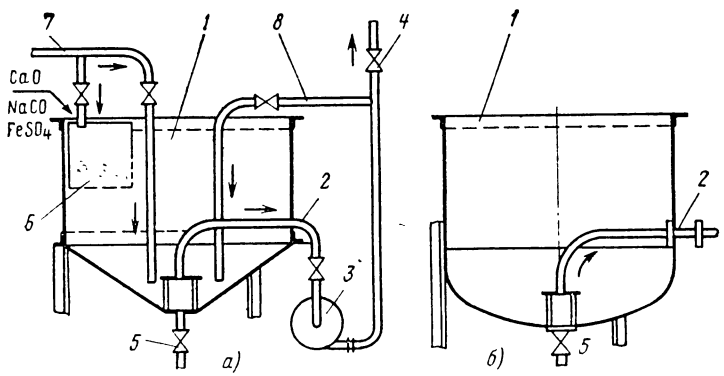


Рис. 4.3. Мешалки для приготовления растворов коагулянта, соды и известкового молока:

а — старая конструкция М-1 (М-2; МК-1 и МК-2); *б* — новая конструкция МГИ-1 (МГИ-2, МГК-1 и МГК-2) со сферическим дном (заводская поставка без обвязки трубами); *1* — корпус; *2* — забор раствора; *3* — циркуляционный и перекачивающий насос; *4* — отвод раствора в мерник; *5* — опорожнение; *6* — «корзина» дырчатая для загрузки реагента; *7* — подвод воды; *8* — отвод в мешалку

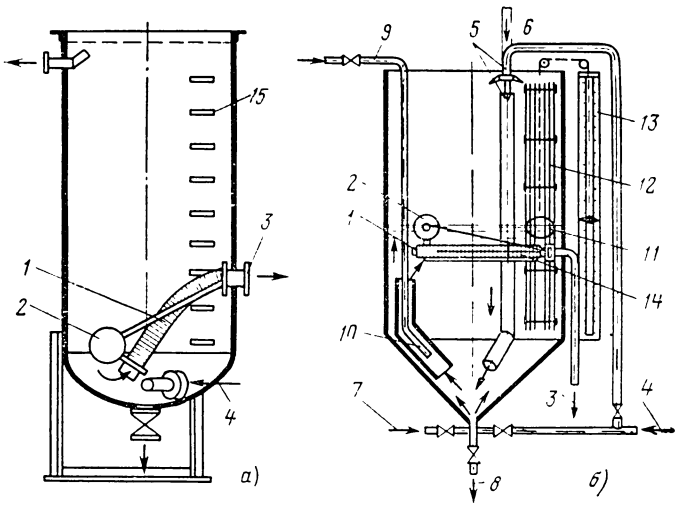


Рис. 4.4. Циркуляционные мешалки для известкового молока:

а — мешалка МГИ-4 — МГИ-14; *б* — рекомендуемое устройство мешалки с дополнительным перемешиванием воздухом и измерением уровня; *1* — приемный шланг; *2* — поплавок; *3* — известковое молоко к насосу; *4* — то же от насоса; *5* — эжекционный слив молока; *6* — слив молока от дозатора; *7* — подвод воды для размыва осадка; *8* — спуск осадка; *9* — подвод сжатого воздуха; *10* — гидроэлеватор-эрлифт; *11* — поплавок; *12* — решетка (корзина) для поплавка; *13* — указатель уровня; *14* — защитный козырек (кожух) для шланга; *15* — скобы

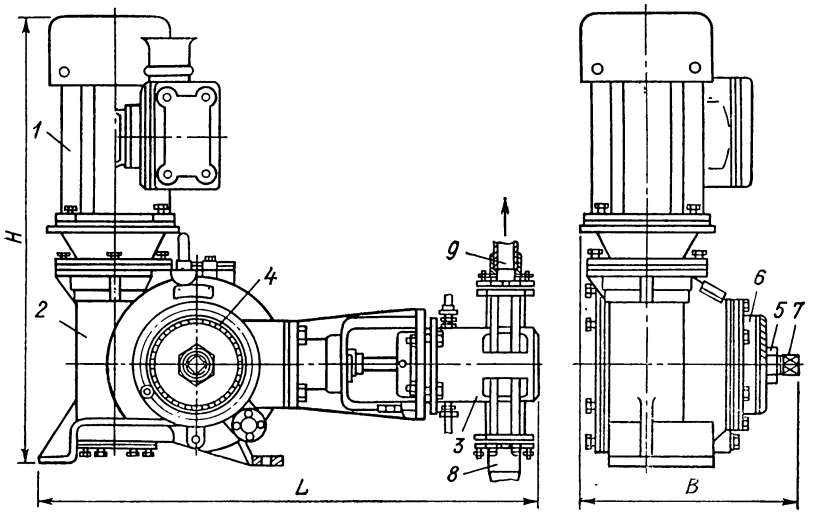


Рис. 4.5. Насосы-дозаторы завода «Ригахиммаш»:

1 — электродвигатель; *2* — редуктор; *3* — гидроцилиндр; *4* — указатель длины хода плунжера; *5* — гайка; *6* — регулировочное кольцо; *7* — хвостовик вала; *8* — вход раствора; *9* — выход раствора

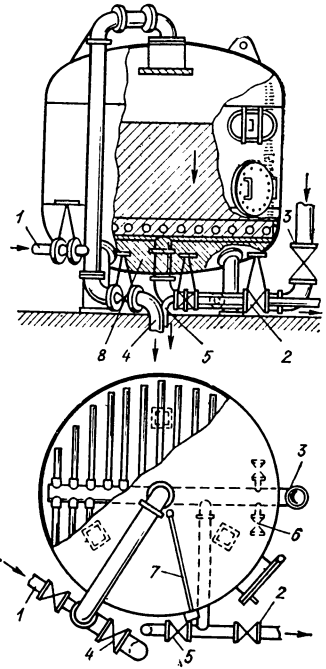


Рис. 4.6. Осветлительный фильтр однокамерный однопоточный:
1—подвод фильтруемой воды; *2* — отвод осветленной воды; *3*—подвод промывочной воды; *4* — сброс промывочной воды; *5* — спуск первого фильтрата и опорожнение фильтра; *6* — подвод сжатого воздуха; *7* — воздушник; *8* — бетонная подушка (при «копирующих» дренажах не применяется)

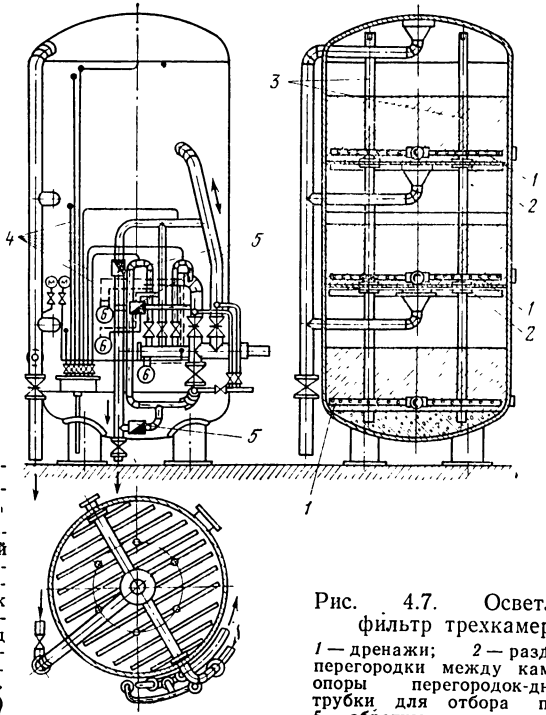


Рис. 4.7. Осветлительный фильтр трехкамерный:
1 — дренажи; *2* — разделительные перегородки между камерами; *3*— опоры перегородок-днищ; *4* — трубки для отбора проб воды; *5* — обратные клапаны; *6* — расходомеры

сидной шпатлевкой или наиритом, причем поверхность осветлителей, предназначенных для коагуляции, покрывается вся, а осветлителей, предназначенных для известкования, — только верхняя часть, на 0,5 м ниже верхней дроссельной решетки, соприкасающаяся с осветленной водой и воздухом.

Внутренняя поверхность баков для отстоенной и особенно отфильтрованной воды и осветлительных фильтров также должна быть полностью защищена от коррозии обкладкой резиной, наиритом или эпоксидной шпатлевкой.

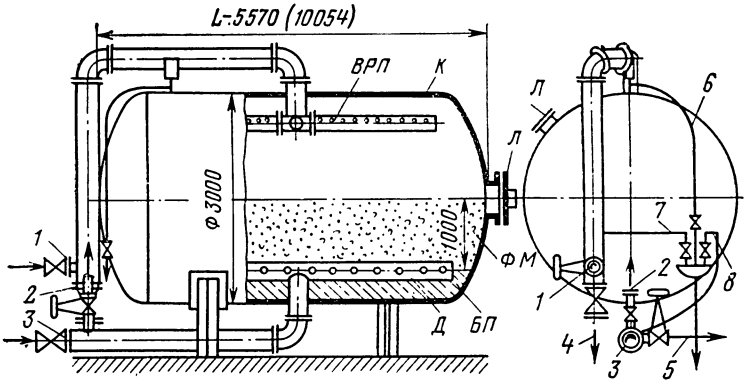


Рис. 4.8. Осветлительный фильтр горизонтальный:

К — корпус; *Л* — лазы; *ФМ* — фильтрующий материал; *БП* — бетонная подушка (при «копирующих» дренажах не применяется); *ВРП* — верхнее распредустройство; *Д* — дренаж; *1* — вход осветляемой воды; *2* — выход профильтрованной воды; *3* — подвод промывочной воды; *4* — сброс грязной промывочной воды; *5* — спуск первого фильтрата; *6* — воздушник; *7, 8* — отбор проб воды до и после фильтра

Схемы аппаратов предочисток: циркуляционных мешалок для известкового молока, для приготовления растворов соды, коагулянта, флокулянтов, дозирующих насосов, осветлителей, фильтров приведены на рис. 4.1—4.8.

Для промывки фильтров должен служить специальный резервуар фильтрованной воды необходимой вместимости. При установке баков на нулевой отметке производительность промывочного насоса должна обеспечить необходимую интенсивность промывки согласно табл. 4.5. Высота расположения резервуара промывочной воды над фильтрами должна быть не менее 12—15 м.

4.8. Приемка из монтажа и пуск осветлителей

Приемка оборудования предочистки из монтажа заключается в проверке гидравлической плотности оборудования наливом или под давлением и в проверке горизон-

тальности дренажных и распределительных систем (кроме «копирующих»), кромок или отверстий сборных желобов, сборных воронок, дроссельных решеток.

При пуске осветлителя продувочную задвижку *21* (рис. 4.1) на грязевике держат открытой и из сливаемой в дренаж воды отбирают пробы. Последние нагревают до температуры 100 °С, фильтруют и в быстро охлажденном фильтрате определяют щелочность по фенолфталеину $Щ_{фф}$ и общую по метилоранжу $Щ_{общ}$. Когда дозировку извести отрегулируют так, что $Щ_{фф}$ станет больше 0,5 $Щ_{общ}$ на 0,2—0,3 мг-экв/л, а $Щ_{общ}$ будет равна 1—1,5 мг-экв/л, задвижку *21* закрывают и, открыв задвижку *22*, продолжают наполнение осветлителя. Подача должна осуществляться с расходом воды в 30—50% проектной производительности при одновременном заполнении водой как реакционной зоны, так и шламонакопителя во избежание его всплывания.

При наполнении отбирают пробы из смесительной части через трубку *24* через каждые 10—15 мин и определяют в фильтрованных пробах, как указано выше, щелочность по фенолфталеину и общую, а также в 1—2 пробах — окисляемость. Регулируют дозировку извести и коагулянта, поддерживая в этих пробах соотношение $Щ_{фф}=Щ_{мо}+(0{,}2\div0{,}3)$, или $Щ_{фф}=0{,}5\,Щ_{общ}+0{,}2\div0{,}3$, мг-экв/л, и окисляемость, на 50% меньшую, чем в исходной воде.

Когда смесительная и реакционная зоны осветлителя и шламоуплотнитель будут заполнены, уровень воды достигнет нижних окон шламосборной трубы *9* и через трубку *25* пойдет вода, задвижки *21* и *22* закрывают. Подачу воды с реагентами ведут непрерывно. Пробы воды отбирают также из трубки *26*. Когда вода достигнет отверстий сборного желоба *8* и начнет сливаться по трубе *17* на фильтры или в сборные баки, начинают отбирать пробы из трубки *28*.

При пуске осветлителя накапливание шлама в нем может продолжаться от 12 ч до 2—3 сут. Появление шлама в пробе воды, взятой из трубки *25*, и объемная концентрация его в пробе около 20—25% и более после 2 мин отстаивания свидетельствуют о зашламлении реакционного объема. С этого времени избыток шлама из реакционного объема через окна шламосборной трубы *9* начинает поступать в шламонакопитель. В это же время открывают задвижку *14* на отводе осветленной воды от шламонакопителя в желоб *8* и отбирают пробы воды из трубки *27*. Она

должна иметь такую же прозрачность, как и вода из сборных желобов *8* (трубка *28*).

После этого начинают контролировать щелочность по фенолфталеину и метилоранжу (общую) в пробах воды из отборных трубок *25*, *26* и *28*.

Размер продувки шламонакопителя регулируют так, чтобы объемная концентрация шлама в продуваемой суспензии составляла 95—98% после 2 мин отстоя. Если концентрация меньше 95%, продувку сокращают, а если больше 98% — увеличивают. В период пуска продувка должна быть в пределах 2—3% производительности осветлителя, а после наладки его работы и в эксплуатационных условиях—1—2%. В паводковый период, когда доля $CaCO_3$ в шламе уменьшается, осадок получается более рыхлым, размер продувки шламонакопителя увеличивают.

На период пуска можно рекомендовать ориентировочные показатели качества воды (табл. 4.4) из различных пробоотборных точек осветлителя.

Эти показатели в процессе наладки и дальнейшей эксплуатации должны уточняться по периодам года и в зависимости от качества обрабатываемой воды, вида и дозы применяемых реагентов.

В случае образования при известковании чрезмерно тяжелого кристаллического шлама, не поднимающегося до нижнего ряда окон шламонакопителя, во избежание чрезмерного укрупнения частиц шлама необходимо уменьшить скорость подвода воды через сопла, изменить режим известкования, увеличив дозу извести для увеличения содержания MgO в шламе, ввести коагулирование воды или увеличить дозу коагулянта. Периодическую продувку грязевика в этом случае учащают и, если нужно, ведут непрерывную продувку осветлителя через трубку *24*.

Если шлам получается очень легким и часто обнаруживается в пробе из трубки *26*, то принимают меры к его утяжелению. Для этого уменьшают (если возможно) дозу коагулянта и извести для снижения содержания MgO и Fe_2O_3 в осадке, увеличивают скорость ввода воды через сопла (одно сопло выключают), сокращают подачу воды в осветлитель и учащают продувку грязевика. Отсечку воды на шламонакопитель задвижкой *14* (рис. 4.1) увеличивают до возможного предела.

Все отверстия в сборном желобе *8* должны работать равномерно, уровень воды перед отверстиями должен быть на 50—150 мм выше оси отверстий.

После пуска и освоения работы осветлителя с нагрузкой около 50% расчетной необходимо повышать нагрузку ступенями на 10% через каждые 5—8 ч, следя за уровнем и концентрацией шлама в осветлителе и выдерживая заданные значения избытка гидратов, общей щелочности и жесткости (при содоизвестковании). После освоения работы осветлителя через 1—2 мес после пуска необходимо провести опыты по установлению оптимального режима его работы (t, Q, pH, дозы коагулянта, извести, состав шлама и др.) при спокойной работе, при подъемах нагрузки более чем на 5% в 1 мин, а также при снижении и подъеме температуры на $\pm 5 \div 8$ °С за 20—30 мин, чтобы установить зависимость выноса шлама из осветлителя от быстрых подъемов температуры воды и нагрузки осветлителя.

Периодичность и объем контроля качества воды из отборных точек осветлителя и уровня шлама устанавливают в процессе пуска и наладки с учетом устойчивости режима, постоянства дозировки реагентов и т. п.

Поскольку шлам, скапливающийся на верхней дроссельной решетке, может закрывать отверстия для прохода воды, его необходимо периодически смывать отстоенной водой после опускания уровня воды в осветлителе ниже верхней решетки. Воду выпускают через шламонакопитель, чтобы не выпускать шлам из реакционной зоны осветлителя.

Важнейшими условиями нормальной обработки воды по методу осаждения являются: постоянная температура обрабатываемой воды (± 1 °С) и постоянная нагрузка осветлителя (увеличение последней допускается не более чем на 5% в мин; непопадание воздуха в осветлитель; заданный режим обработки, в том числе pH; избыток гидратов; щелочность по фенолфталеину и общая концентрация ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, SiO_3^{2-}, Fe^{3+}; (Al^{3+}), органических и взвешенных веществ в обработанной воде и шламе; постоянство концентрации растворов реагентов и точное их дозирование; быстро оседающий шлам, что в схемах без магнезиального обескремнивания воды может быть достигнуто минимальным переводом Mg^{2+} в шлам и иногда сокращением дозы коагулянта или отказом от его применения; минимальные расходы воды на продувку осветлителя; уплотнение удаленного из осветлителей шлама в специальных выносных шламоуплотнителях и обезвоживание его на вакуум-фильтрах или фильтр-прессах.

4.9. Пуск и наладка коагулирования

При коагулировании на фильтрах (рис. 4.9) без подщелачивания одновременно с подачей воды на фильтры (в смесители) начинают вводить раствор коагулянта, постепенно увеличивая дозу его до тех пор, пока щелочность воды, отобранной из контрольного крана, расположенного на трубопроводе на расстоянии 5—8 м от места ввода коагулянта, или из смесителя и профильтрованной через бумажный фильтр, не снизится до величины, являвшейся оптимальной в лабораторных усло-

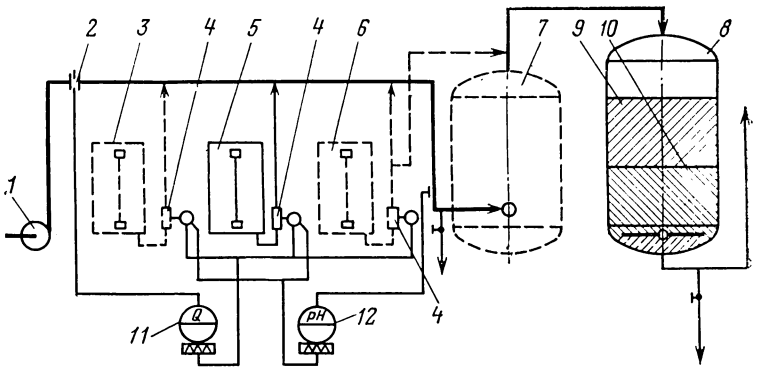


Рис. 4.9. Схема коагулирования воды на фильтрах:

1 — насос исходной воды; *2* — измерительная диафрагма; *3* — мерник раствора щелочи; *4* — насос-дозатор; *5* — мерник раствора коагулянта (Al^{3+}); *6* — мерник раствора флокулянта (ПАА); *7* — смеситель; *8* — двухслойный осветлительный фильтр; *9* — антрацит $d_{зер}$=1÷2 мм; *10* — кварцевый песок, $d_{зер}$=0,5÷1,0 мм; *11* — расходомер-регулятор; *12* — pH-метр-регулятор; пунктирная линия — не всегда требующееся оборудование

виях или соответствующей табличным данным. На этом увеличение дозы прекращают и в дальнейшем эту оптимальную щелочность коагулированной воды поддерживают. Колебания щелочности не должны превышать 10% величины ее снижения.

Необходимо сравнивать щелочность профильтрованной воды, взятой из контрольного крана после смешения, со щелочностью воды после осветлительных фильтров и поддерживать постоянное равенство между ними. Цветность воды следует проверять визуально одновременно со щелочностью, а окисляемость — один раз в сутки.

При коагулировании с подщелачиванием сначала вводят в воду раствор щелочи, постепенно увеличивая дозу ее до тех пор, пока щелочность воды, взятой из контрольного крана, не повысится до оптимального значения, найденного в лабораторных условиях или по табличным данным. Отрегулировав таким образом дозу щелочи, начинают добавлять к воде коагулянт, постепенно увеличивая его дозу до тех пор, пока щелочность воды, отобранной из контрольного крана и про-

фильтрованной через 10 мин, не снизится до оптимального значения. В дальнейшем эксплуатацию ведут так же, как и при коагулировании одним коагулянтом. Оптимальную дозу в промышленных условиях рекомендуется устанавливать при нагрузках, составляющих не менее 75% нормальной. При изменении качества исходной воды (щелочности, pH, окисляемости, цветности, количества взвешенных веществ, температуры) более чем на 10—15%, ухудшении процесса коагулирования или в обычных условиях один раз в 5—10 дней следует проводить лабораторные опыты для определения и проверки оптимальных доз коагулянта и щелочи. Показателем удовлетворительного коагулирования воды являются: прозрачность профильтрованной воды по «кресту», равная 350 см, отсутствие «отлежки» (помутнения) при стоянии, снижение цветности и окисляемости воды на 50—70%, щелочность не ниже 0,4 мг-экв/л при pH желательно немного выше 7.

Достаточно хороший эффект коагулирования по снижению окисляемости воды после осветлительных фильтров равен 80—95% общего снижения окисляемости обработанной воды.

Появление из фильтра опалесцирующей воды после того, как грязеемкость фильтрующего материала достигнет при фильтровании необработанной и неотстоенной воды 0,75—1,0 кг/м³, обработанной и отстоенной воды 1,5 кг/м³ и при безотстойном коагулировании 1,8—2,0 кг/м³, является признаком нормального протекания процесса. Если же опалесцирующая вода выходит из только что включенных в работу фильтров или задолго до того, как грязеемкость фильтров будет исчерпана, то это признак ненормального коагулирования. Для устранения отклонений необходимо убедиться, имеются ли в дозаторах растворы коагулянта и щелочи, проверить концентрацию этих растворов и работу дозирующей аппаратуры, проверить значение pH, щелочность и цветность как исходной, так и коагулированной воды, отобрав пробы из контрольных кранов на магистрали и после фильтров. Обнаруженные отклонения от заданного режима следует устранить. В случае надобности следует поставить лабораторный опыт для подбора новой дозы реагентов.

4.10. Приемка из монтажа, пуск и эксплуатация осветлительных фильтров

Подготовка осветлительных фильтров к пуску начинается с заготовки фильтрующих и подстилочных материалов нужного качества и проверки гранулометрического их состава, химической и механической прочности, плотности и пористости этих материалов. Необходимо заготовить рабочие фракции фильтрующих материалов на 30—40% больше количества, необходимого для загрузки всех фильтров.

Фильтрующий и подстилочный материалы должны быть рассеяны по крупности, промыты от пыли и грязи. Выход нужной фракции 0,5—2,0 мм — 20—25% (из природного материала) можно считать хорошим. При меньшем содержании рабочей фракции использование этого природного материала не экономично.

Если в песке или антраците, предназначенных для фильтрования воды с pH меньше 8 (при коагуляции), содержится примесь известняка, ракушек и т. п., то перед загрузкой в фильтры необходимо промыть фильтрующий материал кислотой до полного растворения примесей.

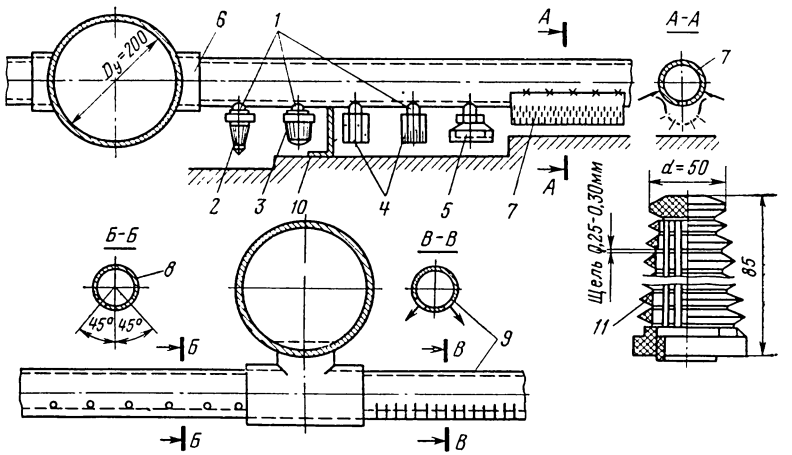


Рис. 4.10. Дренажные системы осветлительных фильтров:

1 — ниппеля; *2* — колпачок ВТИ-К; *3*— колпачок ВТИ-5; *4* —шестигранный колпачок; *5*— колпачок фирмы «Пермутит»; *6*—муфта; *7*—желобковый дренаж ТКЗ; *8* — дырчатые ответвления; *9* — щелевые ответвления; *10* — дистанционирущие уголки-планки; *11*— щелевой колпачок для ложного дна новой конструкции

Удаление мелких фракций в количестве не более 10—15% путем промывки фильтрующего материала после загрузки его в фильтры разрешается выполнять только там, где обеспечена интенсивность промывки не менее 15—18 л/(с·м^2), дающая не менее чем 50—60%-ное расширение фильтрующего материала. При этом необходимо иметь запас материала для досыпки в фильтры и производить промывку и удаление мелочи в три приема, загружая каждый раз по $^1/_3$ высоты слоя.

Выпуклые днища в напорных фильтрах бетонируют следующим образом (рис. 4.10). После проверки горизонтальности нижнего дренажа на стенках делают круговую

отметку, соответствующую нижнему краю магистральной трубы. Боковые ответвления вывертывают (вынимают) и отверстия в муфтах или магистрали забивают деревянными пробками. Затем на 100—200 мм ниже сделанной отметки дно фильтра засыпают щебнем крупностью 20—50 мм. Для выравнивания поверхности насыпают щебень крупностью 10—20 мм на высоту 30—50 мм и слой мелкого щебня размером 5—10 мм, высотой 10—20 мм. После трамбования поверх щебня укладывают слой пластичного бетона (1 : 4 : 8) толщиной 100 мм до сделанной отметки. В эту бетонную подушку перед ее выравниванием и затиркой закладывают анкерные болты для крепления ответвлений дренажа.

Подачу бетонного раствора в фильтры можно производить бетононасосом. На этом заканчивается изготовление так называемой слоевой корковой бетонной подушки для осветлительных фильтров. Пробки вынимают, трубы боковых ответвлений ввертывают или вставляют в отверстия магистрали и крепят их к угольникам, после чего ввертывают дренажные колпачки, если дренаж колпачковый. Щели и желобки щелевых желобковых дренажей должны быть обращены вниз.

Приемка фильтров состоит в проверке правильности их установки и монтажа и правильности изготовления бетонной подушки в нижнем днище фильтра. Отказ от устройства бетонной подушки и засыпка нижнего днища фильтрующим материалом, применение так называемых «копирующих» дренажей приводят к усиленной коррозии металла днища в застойной воде и при колебаниях нагрузки — к «залповым» загрязнениям профильтрованной воды накопившимися продуктами коррозии. Важным является соблюдение горизонтальности бетонной подушки, магистралей и боковых ответвлений всех дренажных и распределительных устройств для воды и воздуха. Колпачки каждого дренажа или распределительного устройства должны быть установлены в одной горизонтальной плоскости с отклонениями не более ±5 мм. Концы ответвлений дренажей должны быть прочно закреплены — залиты в бетон. Ширина щелей в колпачках и трубках бесподстилочных дренажей не должна превышать 0,5 мм.

Ниппеля для крепления колпачков, а также щели в боковых ответвлениях должны быть направлены строго вверх или вниз, а отверстия — под углом 45° вниз от вертикали. В специальных распределительных устройствах для воздуха колпачки или отверстия направляют только

вниз. В устройствах для верхней промывки отверстия должны быть направлены вниз под углом 30° к горизонтали. Кромки сборных желобов, воронок и защитных козырьков должны быть горизонтальными с отклонением не более ±2 мм. Отверстия в верхних сборно-распределительных устройствах должны быть направлены вверх под углом 30—45° к вертикали.

Герметичность, плавность работы и плотность закрывания задвижек и клапанов и другой арматуры должны быть тщательно проверены. Особенно тщательно следует проверять работу пневмо- и гидроприводов задвижек и кранов-операторов при ручном и автоматическом управлении ими. На линии, отводящей профильтрованную воду из каждого напорного фильтра, а желательно и от каждой камеры, должна быть установлена измерительная диафрагма с указывающим расходомером. Напорные фильтры должны быть оборудованы манометрами для измерения потери напора в фильтре и кранами для отбора проб воды до и после фильтра.

Устья отводящих труб в высокорасположенных баках промывочной воды должны быть прикрыты козырьками для предотвращения образования воронок и засоса воздуха в фильтры при промывке, что особенно опасно для фильтров с подстилочными слоями. Общая промывочная линия и общая линия на подводе сжатого воздуха (коллекторы-магистрали) должны иметь указывающие расходомеры, а на воздушной линии, кроме того, должен быть установлен (после общей задвижки) контрольный кран для выпуска из магистрали воздуха. Магистрали, боковые ответвления дренажей и особенно дренажные колпачки должны быть изготовлены из прочного и коррозийно-стойкого материала. Дренажные щелевые колпачки из пластмассы ВТИ-К, фарфоровые ВТИ-5 недостаточно прочны, их рекомендуется заменять щелевыми трубами из нержавеющей стали или желобково-щелевыми дренажами ТКЗ.

Стремление оснастить осветлительные фильтры бесподстилочными дренажами с целью сделать возможной гидроперегрузку фильтрующих материалов и избежать перемешивания подстилочных слоев часто не достигает этих целей. При кварце или мраморе с размером зерен более 1,5—2 мм, а иногда и менее и при антраците с зернами диаметром более 2,5—3 мм гидроперегрузка оказывается затруднительной, так как требуются слишком большие скорости воды. При поломке или срыве с ниппеля даже одного дренажного колпачка весь фильтрующий ма-

териал из осветлительного фильтра при отсутствии подстилки или задерживающей сетки может быть вынесен в катионитные фильтры, что особенно опасно при антраците, отделить который от сульфоугля и другого катионита трудно. Весь материал из фильтра при гидроперегрузке все равно удалить не удается. В фильтрах, в стороне, наиболее удаленной от выпускного штуцера, остаются завалы фильтрующего материала. Во избежание срыва колпачков с ниппелей при плохой резьбе колпачки следует направлять вниз к бетону (рис. 4.10). На некоторых станциях вновь применяют дырчатые ответвления с подстилочными слоями при диаметре отверстий 5—6 мм.

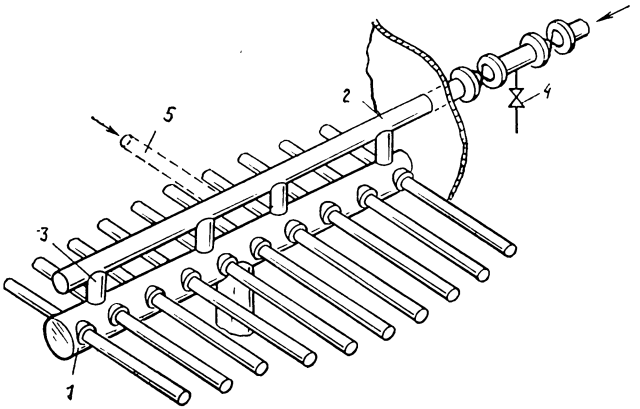


Рис. 4.11. Подвод воздуха в нижний дренаж внутри фильтра:
1— коллектор дренажа; *2* — воздухопровод; *3* — соединительные патрубки; *4* — контрольный кран; *5*— вариант подвода воздуха

Для обеспечения равномерной (по площади) подачи воздуха через нижний дренаж необходимо, чтобы отверстия располагались на ответвлениях возможно чаще, однако суммарная площадь их не должна превышать 0,3% сечения фильтра (лучше 0,1%). Отверстия, щели или колпачки при этом следует располагать на нижней образующей ответвлений (рис. 4.10). Воздух в коллектор дренажа должен подводиться патрубками диаметром 50 мм в нескольких точках (рис. 4.11).

Распределительные устройства, залитые бетоном и с колпачками, обращенными вверх, корродируются только изнутри и более прочны, чем незалитые, однако они хуже распределяют воздух, чем дренажи с трубами, отверстия или колпачки у которых обращены вниз. Возможная

конструкция самостоятельного устройства для подачи воздуха одновременно с водой показана рис. 4.12. Однако, по опытным данным, при более эффективной водовоздушной промывке больше опасность выноса фильтрующего, особенно мелкого, материала.

После приемки фильтров из монтажа, устройства бетонной подушки и установки дренажа проверяют плотность последнего. Желобчато-щелевой дренаж современных фильтров ТКЗ часто изготовляется некачественно, имеет щели, неплотности и нуждается в проверке в собранном виде. Для этого подают в дренаж воду с максимальным расходом, быстро открывая на несколько секунд задвиж-

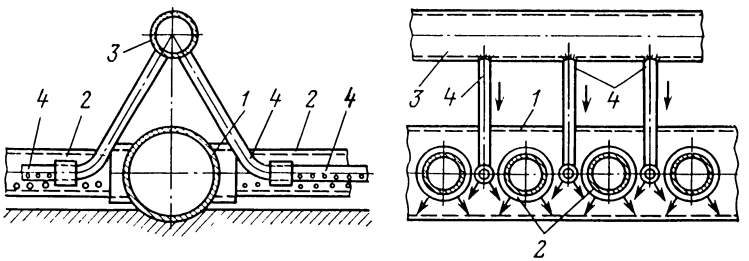


Рис. 4.12. Самостоятельное устройство для подвода и распределения воздуха в фильтре:
1 — коллектор для воды; *2* — боковые ответвления для воды; *3*, *4* — то же для воздуха

ку и сразу же закрывая ее. В это время следует через верхний или нижний лаз наблюдать за равномерностью прохода воды, отсутствием или наличием местных выбросов воды через неплотности. Обнаруженные выбросы необходимо устранять, удалив предварительно из фильтра воду. После устранения неплотностей и прочистки щелей проверку повторяют. По окончании проверки оставляют воду над дренажем на высоте 100—200 мм, подают в дренаж сжатый воздух в течение 5—10 мин и наблюдают за равномерностью его выхода. Вновь обнаруженные недостатки устраняют.

После проверки дренажа в фильтр, наполовину заполненный водой, загружают фильтрующий материал в нужном количестве. Если необходимы подстилочные слои, их строго горизонтально загружают в порядке убывающей крупности зерен, промывают водой и затем загружают основной фильтрующий материал, как указано выше. В двухслойных фильтрах сначала загружают нижний слой

кварца, промывают его, разравнивают, снимают слой мелочи и грязи и далее загружают верхний слой антрацита, который также промывают и снимают с его поверхности слой грязи и мелочи.

В двухслойном фильтре после загрузки и промывки фильтрующего материала следует или отобрать специальным щупом пробу из глубины слоя, или произвести раскопку антрацитового слоя до слоя кварца для выявления перемешивания материалов в пограничном слое. После раскопки яму засыпают антрацитом и утрамбовывают.

По окончании описанных операций заполняют фильтр водой снизу, промывают до светлой воды и включают в работу, сбрасывая первые порции профильтрованной воды в канализацию.

После получения из фильтра прозрачной воды ее направляют потребителям, поддерживая расчетную производительность фильтра по расходомеру. По окончании рабочего периода фильтра, в течение которого происходит осветление воды, его останавливают на промывку. Конец рабочего периода определяют по увеличению перепада давлений до заданного значения, появлению мутного фильтрата, пропуску заданного количества осветленной воды или по продолжительности работы. За первыми несколькими промывками целесообразно наблюдать через лаз или смотровой лючок на верхнем днище фильтра с целью установления наименьшего расхода воздуха на продувку фильтра и определения интенсивности промывки, обеспечивающей равномерное расширение фильтрующего материала. Уровень расширившегося материала следует поддерживать на 100—200 мм ниже кромки сборной воронки и не допускать выноса его с промывочной водой.

Установлением режима фильтрования и промывок, а также настройкой автоматических регуляторов фильтрования и промывки заканчиваются пуск и наладка работы фильтра. После этого проводят испытания для определения оптимальной продолжительности периода фильтрования и грязеемкости фильтрующего материала.

Нормальная эксплуатация осветлительных фильтров заключается в соблюдении заданной скорости фильтрования, т. е. производительности каждого фильтра, наблюдении за прозрачностью осветленной воды и проведении промывок согласно установленному режиму.

Периодически, примерно 1 раз в 3—6 мес, через лючок на верхнем днище или верхний лаз проверяют высоту слоя, горизонтальность поверхности и состояние фильт-

рующего материала: наличие трещин, ям, его зашламленность и закарбонизованность, равномерность распределения воздуха и воды по площади фильтра при промывке и полноту удаления задержанной фильтром взвеси. Несколько реже (1 раз в год) проводят отбор проб фильтрующего материала для определения состояния его в глубине слоя и вблизи нижнего дренажа (закарбонизованность и цементация зерен, наличие невымытого шлама, перемешивание слоев).

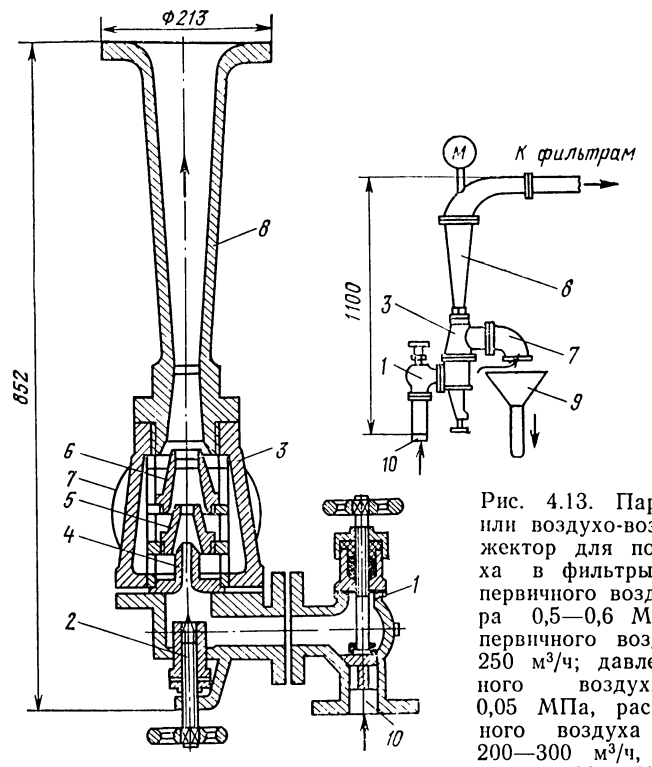


Рис. 4.13. Паровоздушный или воздухо-воздушный инжектор для подачи воздуха в фильтры (давление первичного воздуха или пара 0,5—0,6 МПа, расход первичного воздуха 200—250 м³/ч; давление вторичного воздуха 0,02—0,05 МПа, расход вторичного воздуха при паре 200—300 м³/ч, при воздухе 400—450 м³/ч):

1 — запорный вентиль; *2* — регулировочная игла; *3* — корпус; *4—6* — сопла; *7* — вход воздуха в инжектор; *8* — выход воздуха к фильтрам; *9* — воронка; *10* — вход сжатого воздуха или пара

Для промывки фильтров необходимо применять только профильтрованную воду из специального бака. Это не вызывает колебаний производительности предочистки и позволяет избежать спуска первого фильтрата. Целесообразно повторное использование сточной, шламовой, прес-

ной, промывочной воды путем подачи ее в специальные отстойники, откуда отстоявшуюся воду через плавающий всас снова подают на фильтры (в бак отстоенной воды), а осевший шлам — в осветлители.

С целью экономии сжатого компрессорного воздуха высокого давления (0,4—0,6 МПа), уменьшения мощности компрессора следует применять воздухо-воздушные эжекторы для снижения давления до 0,1—0,2 МПа и увеличения объема подаваемого воздуха (рис. 4.13).

При отсутствии отсортированного фильтрующего материала следует применять специальные гидросортировки (см. рис. 2.9) для приготовления свежего фильтрующего материала, а также для сортировки — промывки материала, выгруженного из фильтров.

Нельзя допускать местные выбросы промывочной воды через желобчато-щелевую дренажную систему ТКЗ ввиду опасности местного истирания тонких стенок желобков циркулирующим фильтрующим материалом.

При невозможности замены закарбонизованного или зашламленного фильтрующего материала новым его промывают, лучше после выгрузки фильтра в фильтр для гидроперегрузки или в защищенный от коррозии резервуар. При закарбонизованности промывку ведут слабой соляной, нитибированной кислотой; при зашламленности материала окислами алюминия с органическими примесями промывку ведут щелочами и хлорной водой. Промывку щелочами или углекислотой можно осуществлять без выгрузки материала из фильтра. Перед промывкой материала химическими реагентами его тщательно отмывают водой от взвеси.

Рекомендуется применять вантузы для автоматического выпуска воздуха из фильтров и ловушки для предотвращения выноса фильтрующего материала из осветлительных фильтров при срыве колпачков и заноса его в катионитные фильтры (см. рис. 5.7).

Необходимо предотвращать попадание в дренажные системы фильтров с подстилочными слоями воздуха во время промывки во избежание перемешивания подстилочных слоев с фильтрующим материалом.

Возврат в осветлители жестких, засоленных сточных вод от ионитных фильтров (схема АзИСИ — Фейзиева) описывается ниже.

Глава пятая

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИОНИТНЫХ УСТАНОВОК

5.1. Общие данные

Ионитные методы обработки воды (рис. 5.1) позволяют практически полностью удалить из нее электролиты, т. е. ионы Ca^{2+}, Mg^{2+}, NH^{+}_{4}, Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+}, HCO_3^-, CO_3^{2-}, $HSiO_3^-$, SiO_3^{2-}, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, NO_2^- и др. Однако неэлектролиты, а также некоторые дисперсные — коллоидные примеси (коллоидная кремнекислота, окислы железа и др.) ионитами не задерживаются. В то же время высокомолекулярные органические соединения необратимо поглощаются некоторыми высокоосновными анионитами и при обычных регенерациях раствором едкого натра извлекаются из них не полностью. Для удаления этих органических соединений из высокоосновных анионитов требуется длительная обработка их крепким раствором NaCl, иногда с добавкой NaOH, Cl_2.

Известны специальные сорта высокоосновных анионитов, макро- и изопористые, обратимо поглощающие эти органические соединения.

Из большого числа различных ионообменных процессов на ТЭС наиболее часто после предочистки применяют: одно- или двухступенчатое Na-катионирование для подготовки питательной воды испарителей-парообразователей и подпитки закрытых тепловых сетей (см. рис. 1.2 и 8.1); частичное обессоливание добавка к питательной воде паровых котлов (см. рис. 1.1); глубокое обессоливание добавка к питательной воде (см. рис. 1.3); полное обессоливание турбинных конденсатов (см. рис. 6.1); Na-катионирование горячих загрязненных производственно-станционных конденсатов (см. рис. 6.2). Обе эти последние схемы на ТЭС пока еще не нашли широкого применения. «Голодное» Н-катионирование или Н — Na-катионирование подпиточной воды тепловых сетей с открытым водоразбором применяют в настоящее время сравнительно редко (рис. 5.2).

Для глубокого обессоливания природной воды (в качестве завершающего этапа обработки) и турбинного конденсата, особенно на ТЭС с прямоточными котлами, применяют фильтры смешанного действия (ФСД) — катионитно-анионитные с внутренней или внешней регенерацией.

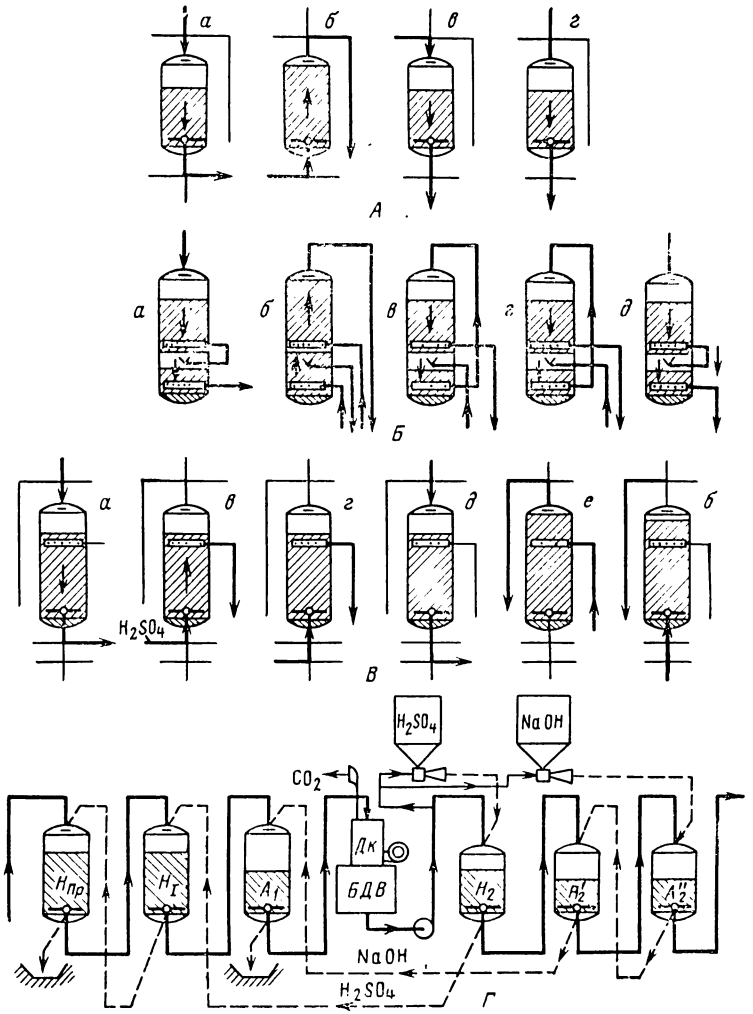


Рис. 5.1. Схемы умягчения, обессоливания и регенерации при ионировании:

А — прямоточная; *Б* — ступенчато-противоточная; *В* — противоточная с промежуточным дренажем; *Г* — блочная — «цепочка»; *а* — умягчение, обессоливание; *б* — взрыхление; *в* — подача регенерационного раствора; *г* — отмывка, I часть; *д* — отмывка, II часть; *е* — подрыхление верхнего слоя; —— —— — поток кислоты при регенерации Н-катионитных фильтров; — — — — — — — поток щелочи при регенерации анионитных фильтров; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.1—1.3

Намывные фильтры с мелкозернистым слоем из катионита и анионита (паудекс-процесс), а также регенерация обессоливающих фильтров для конденсата аммиаком (аммонекс-процесс) в СССР используются пока недостаточно, несмотря на ряд положительных качеств.

Методы ионного обмена (NH_4 — Na-катионирование, Na — Cl-ионирование) и другие методы на ТЭС практически не применяются. Они находят ограниченное применение на водоочистках мелких котельных для снижения щелочности, уменьшения вспениваемости котловой воды и содержания CO_2 в паре-конденсате.

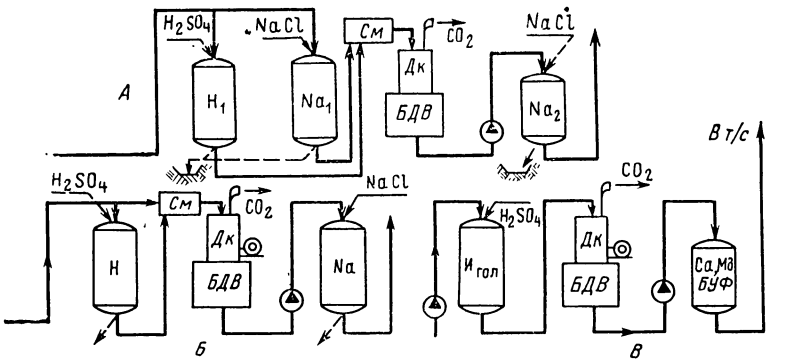


Рис. 5.2. Схемы H—Na-катионирования:

А — параллельное; *Б* — последовательное; *В* — «голодное» с нерегенерируемым фильтром; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.1—1.3

Электродиализ с ионитными мембранами для снижения солесодержания воды перед ионитным обессоливанием, так же как и гиперфильтрация — обратный осмос, еще не нашел широкого применения на отечественных ТЭС.

5.2. Условия обработки воды

Подробно процессы ионного обмена описаны в [1—4, 7, 9 и др.]. Здесь же необходимо лишь кратко упомянуть о следующем. Активными функциональными группами (не ионами), определяющими способность ионита извлекать — обменивать те или иные ионы, проводить тот или иной ионообменный процесс, являются у катионитов: OH — гидроксильная, COOH — карбоксильная и наиболее распространенная — SO_3H-сульфогруппа, имеющаяся как в сульфоугле, так и в ряде других синтетических катионитов, а у анионитов: NH_2—первичная, NH—вторичная, N^- — третичная и $N(R)_3$ — четвертичная группы. Из них только четвертичная группа, входящая в состав высокоосновных анионитов (АВ), способна к обмену ионов $HSiO_3^-$ и HCO_3^- при отсутствии,

однако, ионов сильных кислот (SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-). Низко же основные аниониты (Ан), имеющие в своем составе только первые три группы, способны к обмену ионов лишь сильных кислот (SO_4^{2-}, Cl^-, NO_3^-, NO_2^-, PO_4^{3-} и др.).

Катиониты, имеющие в своем составе только обменные группы OH и COOH, называются слабокислотными катионитами (например, КБ), они способны работать только в качестве Na-катионитов и извлекать из нейтральной или щелочной среды только Ca^{2+} и Mg^{2+}. Катиониты, имеющие в своем составе обменную группу SO_3H (КУ-2 и др.), способны извлекать из нейтральной и слабокислой среды кроме Ca^{2+} и Mg^{2+} еще и Na^+ и NH_4^+. Сульфоуголь является среднекислотным катионитом, содержащим группы SO_3H и COOH, и способен извлекать из воды Na^+ и NH_4^+.

По своей активности, способности вступать в обмен с ионитом содержащиеся в воде ионы располагаются в порядке убывания: катионы H^+—(Fe^{2+})—Ba^{2+}—Sr^{2+}—Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, NH_4^+, Na^+, Li^+; анионы SO_4^{2-}—Cl^-—NO_3^-—HCO_3^-—$HSiO_3^-$. Каждый предыдущий ион способен вытеснять последующий из ионита при отсутствии избытка предыдущего иона; при наличии же избытка возможна и обратная реакция, например регенерация — вытеснение Ca^{2+}, Mg^{2+} и других ионов ионом Na^+ — раствором NaCl. Например, H^+ в 4 раза активнее Ca^{2+} и в 17 раз Na^+. Различная активность обусловлена различной подвижностью ионов.

Существуют другие важные факторы ионообменных процессов при обработке воды.

Диаметр зерен. Чем меньше диаметр зерен ионита, тем больше обменная способность его и скорость обмена, но и тем больше его сопротивление фильтрованию и возможность неравномерного прохода воды и растворов по сечению фильтра. Крупность зерен определяется также технологическими свойствами ионита.

Набухаемость. Воздушно-сухой ионит в воде или растворе обычно набухает — увеличивается в объеме на 10—60% и более. При этом он иногда теряет свою прочность (размягчается). В результате уменьшается его плотность, он слеживается, зерна его слипаются друг с другом, он легче выносится из фильтра при промывках и взрыхлениях снизу и менее равномерно пропускает воду.

Высота слоя. Высота слоя малонабухающих и потому достаточно прочных, а также крупнозернистых (не менее 0,5 мм) ионитов (сульфоуголь) может достигать 3—4 м, сильно набухающих, непрочных, мелкозернистых лишь 0,8—1,2 м. Чем выше слой ионита, тем больше его обменная способность, выше допустимая скорость фильтрования, глубже удаление ионов, меньше удельный расход регенерирующих реагентов, но тем больше потеря напора при фильтровании.

Пептизация. Многие иониты (сульфоуголь) в первое время эксплуатации в щелочной и горячей воде, особенно в начале периода умягче-

ния, склонны разлагаться с выделением в воду коллоидных продуктов своего распада, окрашивающих воду в цвета от желтого до черно-бурого. Пептизация сильнее у катионитов в Na-форме, чем у катионитов в Са- или Н-формах.

Температура. С повышением температуры воды все процессы ионного обмена ускоряются, протекают полнее, однако при этом усложняется устройство и обслуживание фильтров, а также усиливается распад (пептизация) ионитов. Допустимыми принято считать температуры обрабатываемой воды около 30—45 °С в зависимости от сорта ионита. Для горячего конденсата (80—100 °С) должны применяться термостойкие иониты (КУ-2).

Регенерация анионитов, обессоливающих воду температурой 30—40 °С горячим (85 °С) раствором NaOH, протекает значительно эффективнее, чем холодным раствором, с точки зрения полноты выделения из анионита поглощенных ионов, удельных расходов реагентов, скорости регенерации и т. п. Серьезным осложнением является протекание пептизации и так называемого «теплового удара», быстрого повышения и особенно снижения температуры ионита, приводящего к растрескиванию — измельчению особенно крупных зерен ионита вследствие более быстрого сжатия наружных слоев зерен при охлаждении, чем внутренней их части.

За рубежом известен так называемый «сиротерм-процесс», при котором поглощение ионов происходит при низкой температуре воды, а вытеснение поглощенных ионов из ионита — при высокой температуре без применения реагентов. Такой ионит синтезирован и в СССР, однако при «сиротерм-процессе» велик расход воды на собственные нужды.

По данным В. А. Клячко, применение при регенерации сульфоугля раствора соли, нагретого до 40—45 °С, снижает удельный расход соли на 10—12%.

Загрязненность зерен и поверхности фильтрующего слоя, в том числе коллоидно-дисперсными примесями воды и регенерационных растворов, органическими веществами — гуматами, вследствие забивания пор и загрязнения активной поверхности зерен приводит к снижению обменной способности ионита, снижению глубины удаления ионов из воды, в частности кремнекислоты, к повышению сопротивления ионита при фильтровании воды и его слеживанию, к образованию трещин в слое и неравномерному проходу воды (у стенок). Необходимо подавать на иониты только совершенно прозрачные воду и растворы, а на высокоосновные аниониты — еще и воду с минимальным содержанием органических примесей. В случае попадания загрязнений необходимо удалять их путем взрыхления, снятия пленки грязи и мелочи с поверхности слоя, а также химическими промывками ионита [H_2SO_4, HCl, NaOH, NaCl].

Минерализованность. С повышением минерализованности воды за счет противоионного эффекта ухудшаются процессы ионного обмена,

Таблица 5.1. **Важнейшие технологические свойства отечественных**

Марка катионита	Размер зерен, мм	Насыпная масса катионита, т/м³	
		товарного воздушно-сухого продукта	набухшего в воде
Сульфоуголь:			
крупный 1-го сорта	0,5—1,25	0,67—0,7	0,82
крупный 2-го сорта	0,5—1,25	0,67—0,7	0,82
мелкий 1-го сорта	0,25—0,7	0,69—0,78	—
мелкий 2-го сорта	0,25—0,7	0,69—0,78	—
Катионит КУ-1	0,4—2,0	0,65—0,75	0,7
Катионит КУ-2-8 *	0,315—1,25	0,25—0,8	0,8
Катионит КБ-4П-2	0,315—1,6	0,68—0,82	—

* Качество катионита КУ-2-8 не уступает качеству зарубежных марок: (ГДР), Варион KS (ВНР).

Обменная способность и насыпная масса в производственных условиях от цесса: концентрации солей, взаимодействия ионов между собой, температуры,

т. е. глубина умягчения-обескремнивания, а также снижается обменная способность, особенно по кремнекислоте.

Свободная углекислота. Присутствие в воде свободной углекислоты CO_2, H_2CO_3, ионов H+ и HCO_3^- (например, после коагуляции без декарбонизации) может существенно уменьшить обменную способность за счет противоионного действия Н-иона. При анионировании воды высокоосновными анионитами (при обескремнивании) необходимо возможно полнее удалять свободную углекислоту путем декарбонизации или ва-

Таблица 5.2. **Важнейшие технологические свойства отечественных**

Марка анионита	Размер зерен, мм	Насыпная масса анионита, т/м³	
		товарного воздушно-сухого продукта	набухшего в воде
Слабоосновные:			
АН-31	0,4—2,0	0,72—0,75	0,8
АН-221	0,315—1,25	0,85	0,34**
Сильноосновные:			
ЭДЭ-10П	0,4—1,8	0,6—0,64	0,96
АВ-17-8*	0,355—1,25	0,7—0,74	0,74

* Качество анионита АВ-17-8 близко к качеству зарубежных марок: Ам ция), Вофатит SBW (ГДР), Леватит М-500 (ФРГ).

** Содержание сухого вещества в 1 м³ набухшего реагента, анионит пература 100 °С, пока применяется мало.

Обменная способность и насыпная масса в производственных условиях цесса: концентрации солей, взаимодействия ионов между собой, температуры,

катионитов

Обменная способность катионита, г-экв/м³		Влажность товарного воздушно-сухого продукта, %	Коэффициент набухания $k_{нб}$		ГОСТ
в Na-форме	в H-форме		сухого безводного продукта	товарного продукта	
267	270	20—40	1,8	1,25	ГОСТ 5696-51 с изменениями 1971 г.
232					
357	—				
250	—				
350	350	40—55	2,0	1,0	ГОСТ 20298-74
1100	500—600	50—60	2,1	1,0	ГОСТ 20298-74
670	—	65—75	—	—	ГОСТ 20298-74

Амберлит IR-120; Дауэкс (США), Зеролит-225 (Англия), Вофатит KPS-200

личаются от приведенных в таблице из-за переменных условий ведения про-

реакции воды и т. п.

куум-деаэрации, чтобы не расходовать обменную способность анионита на поглощение CO_2.

Щелочность. При наличии в Na-катионируемой воде ионов CO_3^{2-} и OH^- последние, иногда во второй половине периода умягчения, поглощаются Na-катионитом и общая щелочность воды снижается до 50—70% средней. В конце регенерации, при отмывке и в начале умягчения OH^- и CO_3^{2-} выделяются из катионита, повышая щелочность умягченной воды в 2—3 раза, а иногда и более, затягивая отмывку

анионитов

Обменная способность анионита, г-экв/м³			Влажность товарного воздушно-сухого продукта, %	Коэффициент набухания $k_{нб}$, %	ГОСТ
по иону SO_4^{2-}	по иону Cl^-	по кремнекислоте			
850	—	—	30—50	2,1	ГОСТ 20301-74
850	850	—	40—60	3,0	
1200	800	30	10	2,9	ГОСТ 20301-72
430	430	250	35—50	2,2	

берлит IRA-400 и Дауэкс-1 (США), Зеролит FF (Англия), Дуолит А-101 (Фран-

АН-221 является макропористым вариантом анионита АН-22, допустимая тем-

отличаются от приведенных в таблице из-за переменных условий ведения про-

реакции воды и т. п.

и уменьшая рабочую емкость поглощения катионита. Причины этого явления — сорбции-десорбции щелочных ионов и способы борьбы с ним еще не изучены. Ион HCO_3^- поглощается (выделяется Na-катионитом в меньшей степени).

При большом числе работающих фильтров выдача одним из фильтров более щелочной воды компенсируется выдачей другими фильтрами менее щелочной воды, чем средняя. При малом же числе работающих фильтров, если в котлы нежелательно подавать воду с повышенной щелочностью, ее необходимо направлять или в бак известкованно-отстоенной воды, или в осветлители.

Степень деминерализации (обессоливания, уменьшения сухого остатка) воды, % исходной минерализованности при Н-катионировании, определяется по формуле

$$\frac{(Щ_0 - Щ_{ост}) \cdot 100}{Щ_0 + Cl^- + SO_4^{2-}},$$

где $Щ_0$, Cl^-, SO_4^{2-} — соответственно общая щелочность, содержание хлор- и сульфат-ионов исходной воды, мг-экв/л; $Щ_{ост}$ — остаточная щелочность Н-катионированной воды, мг-экв/л.

Допустимая скорость фильтрования определяется рядом причин: наименьшая (5 м/ч) — необходимостью равномерного прохода воды и растворов через фильтрующий слой; при скорости менее 5 м/ч в результате малого сопротивления проходу воды самовыравнивание скоростей прохода не происходит и вода проходит через фильтрующий слой неравномерно, например больше у стенок. Вследствие этого наступает преждевременный проскок жесткости. При слишком больших скоростях сопротивление фильтрованию приводит к слеживанию ионита и чрезмерно частым его регенерациям. При обработке конденсата скорости до 50 и даже 100 м/ч допустимы, но при условии применения промежуточного подрыхления ионита.

Скорости подачи регенерационных растворов и отмывки. Минимальная скорость 3—4 м/ч, максимальная 10—12 м/ч, в среднем 5 м/ч. Для Н-катионитных фильтров, особенно предвключенных и 1-й ступени, регенерируемых 0,8—1,5%-ной серной кислотой, скорость подачи кислоты и отмывки во избежание «загипсовывания» зерен (отложения $CaSO_4$) не должна быть меньше 8 м/ч. Технологические свойства важнейших, применяемых в СССР ионитов приведены в табл. 5.1 и 5.2.

5.3. Схемы умягчения, обессоливания и регенераций

Наиболее употребительной, наименее сложной и в то же время наименее эффективной является прямоточная схема, когда подача обрабатываемой воды, регенерацион-

ных растворов и отмывочной воды производится сверху вниз.

Во всех схемах взрыхление, если оно допускается конструкцией фильтра, производится снизу вверх перед подачей регенерационного раствора. Взрыхление может производиться не при каждой регенерации. Известны также и находят все бо́льшее применение ступенчато-противоточные, противоточные и комбинированные (противоточно-прямоточные) схемы работы ионитных фильтров, а также фильтров смешанного действия, с промежуточным слоем (триобед-процесс), с выносной и внутренней регенерацией, фильтры радиального типа, фильтры непрерывного (иногда пульсирующего) действия. Эти схемы позволяют более глубоко умягчить или обессолить воду и уменьшить расходы воды и реагентов на регенерацию.

На ТЭС в основном применяют прямоточную схему и только в последнее время стали применять ступенчато-противоточную, противоточную, а также блочные схемы-«цепочки» со ступенчато-противоточной регенерацией. При всех схемах применяют фильтры второй ступени, называемые также буферно-барьерными, которые более глубоко извлекают из воды удаляемые ионы как в основной период работы, так и в период использования «хвостовой» обменной способности, во время случайных проскоков жесткости (через щели в загрузке). Использование фильтров второй ступени повышает надежность работы ВПУ и экономит реагенты и воду, особенно при повторном использовании отработавших регенерационных растворов и отмывочной воды (при проведении последовательных регенераций двух фильтров второй и первой ступеней). Они особенно необходимы при умягчении высокоминерализованных вод.

На рис. 5.1 показаны наиболее широко употребляемые схемы ионирования: прямоточная *А*, ступенчато-противоточная *Б*, противоточная с промежуточным подповерхностным дренажем *В* и блочная (цепочка) *Г*. Остальные схемы еще не применяются или применяются только на блоках СКД (ФСД). Оборудование предочисток не показано. При ступенчато-противоточном ионировании оба фильтра могут объединяться в одном корпусе или устанавливаться друг над другом или рядом. О назначении той или иной схемы ионирования можно добавить, что схемы параллельного или последовательного Н — Na-катионирования (наиболее маневренные и удобные в эксплуатации), а также совместного Н — Na-катионирования

Таблица 5.3. **Показатели качества воды после различных ионитных фильтров**

Схема, фильтр	Показатель качества воды после фильтра	Показатель			Примечание
		при включении	в основной период работы	при выключении	
Na-катионитные фильтры 1-й ступени	Жесткость $Ж$, мг-экв/л	50	10—20	500 или до 50% $Ж_{исх}$	Во всех схемах
	Щелочность $Щ$, мг-экв/л	$Щ_{исх}+<50\%$*	$Щ_{исх}$	$<Щ_{исх}$	* Зависит от свойств сульфоугля
	Хлориды Cl^-, мг/л	$Cl^-_{исх}+30$	$Cl^-_{исх}$	$Cl^-_{исх}$	
Na-катионитные фильтры 2-й ступени	Жесткость $Ж$, мг-экв/л	<30	$<5—10$	>10 или по времени, не допуская проскока жесткости*	Во всех схемах * Так как при повторном использовании раствора раннее отключение мало сказывается на общем удельном расходе соли по ВПУ
	Щелочность $Щ$, мг-экв/л	$Щ_{исх}$	$Щ_{исх}$	$Щ_{исх}$	
	Хлориды Cl^-, мг/л	$Cl_{исх}$	$Cl_{исх}$	$Cl_{исх}$	
Н-катионитные фильтры с „голодной“ регенерацией	Жесткость $Ж$, мг-экв/л	$Ж_{исх}—Щ_{исх}+0{,}7—1{,}5$	Не нормируется	—	В схемах подготовки подпиточной воды для теплосети * Проскоки кислотности из-за неудовлетворительной регенерации (избыток кислоты против стехиометрии) не должны иметь места, для борьбы с ними устанавливаются буферные фильтры
	Щелочность $Щ$, мг-экв/л	0,7—1,5	0,7—1,5	$>1,5$	
	Кислотность $К$, мг-экв/л	0	0*	—	
	Солесодержание S, мг/л	—	$S—Щ_{исх}—(0{,}7\pm0{,}5)\cdot50$	—	

Продолжение табл. 5.3

Схема, фильтр	Показатель качества воды после фильтра	Показатель			Примечание
		при включении	в основной период работы	при выключении	
Н-катионитные фильтры 1-й ступени	Кислотность K, мг-экв/л	$Cl^-_{исх}+SO^{2-}_{4\,исх}+NO^-_{3\,исх}+(0,5\div0,8)$	$Cl^-_{исх}+SO^{2-}_{4\,исх}+NO^-_{3\,исх}$	$Cl^-_{исх}+SO^{2-}_{4\,исх}+NO^-_{3\,исх}-(0,1\div0,5)$	Во всех схемах
	Жесткость $Ж$, мг-экв/л	—	До 0,05	$<0,2$—0,3	
	Натрий Na^+, мг/л	—	2	2—10	
Н-катионитные фильтры 2-й (3-й) ступени	Кислотность K, мг-экв/л	$Cl^-_{исх}+SO^{2-}_{4\,исх}+NO^-_{3\,исх}+0,15$	$Cl^-_{исх}+SO^{2-}_{4\,исх}+NO^-_{3\,исх}$	$Cl^-_{исх}+SO^{2-}_{4}+NO^-_{3\,исх}-0,05$	В схемах частичного обессоливания для паровых котлов ВД после H_2
	Жесткость $Ж$, мкг-экв/л	2,0	$<2,0$	—	
	Натрий Na^+, мг/л	$<1,0$	0,1—0,5	$>1,0$	
Н-катионитные фильтры 2-й (3-й) ступени	Кислотность K, мкг-экв/л	150	5	По времени, не доводя до проскока Na^+	После низкоосновных фильтров $АН_1$ в схемах глубокого или полного обессоливания воды для паровых котлов СВД
	Натрий Na^+, мг/л	—	$<0,1$	—	
	Жесткость $Ж$, мкг-экв/л	—	$<0,5$	—	
	Хлориды Cl^-, мг/л	—	$<1,0$	—	
	Сульфаты SO^{2-}_4, мг/л	—	$<0,5$	—	
	Кремнекислота SiO^{2-}_3, мг/л	—	Не изменяется	—	
	Щелочность $Щ_о$, мг-экв/л	—	Отсутствие по ФФ	—	
	Реакция pH	—	5,5—6,5	—	

Продолжение табл. 5.3

Схема, фильтр	Показатель качества воды после фильтра	Показатель			Примечание
		при включении	в основной период работы	при выключении	
Анионитные фильтры 1-й ступени с низкоосновным анионитом $АН_1$	Щелочность *Щ*, мг-экв/л	0,2—0,3	0,1	—	В схемах глубокого или полного обессоливания для паровых котлов СВД. Низкоосновный анионит АН-31 при старении пропускает большие количества Cl
	Хлориды Cl^-, мг/л	<3	1,0	>3	
	Кремнекислота SiO_3^{2-}, мг/л	—	Не изменяется	—	
	Кислотность *К*, мг-экв/л	—	—	Следы	
	Электропроводность $\varkappa$, мкСм/см	—	5—10	>10,0	
	Натрий Na^+, мг/л	—	2,5—3,5	>3,5	
Анионитные фильтры 1-й ступени с высокоосновным анионитом	Кремнекислота SiO_3^{2-}, мг/л	0,1—0,3	<0,100, максимум 0,500	>0,5	В схемах частичного обессоливания-обескремнивания воды для паровых котлов ВД. Применяется высокоосновный анионит АВ-17
	Солесодержание *S*, мг/л	—	1,0—5,0	—	
	Электропроводность $\varkappa$, мкСм/см	—	2—10	—	
	Жесткость *Ж*, мкг-экв/л	—	1—3	—	
	Щелочность *Щ*, мг-экв/л	—	До 0,4	—	
	Окисляемость Ок, мг/л O_2	—	1—3	—	
	Реакция pH	—	Около 7	—	
Анионитные фильтры 2-й ступени	Кремнекислота SiO_3^{2-}, мкг/л	<100	20—50	>50	В схемах глубокого обессоливания - обескремнивания воды для паровых котлов СВД. Применяется высокоосновный анионит АВ-17
	Электропроводность $\varkappa$, мкСм/см	—	0,5—2,0	—	
	Реакция pH	—	Около 7	—	
	Хлориды Cl, мг/л	—	<0,5	—	
	Жесткость *Ж*, мкг-экв/л	—	<1	—	
	Щелочность *Щ*, мкг-экв/л	—	100—500	—	
	Окисляемость Ок, мг/л O_2	—	1—3	—	

(в одном фильтре) (рис. 5.2) пригодны для подготовки питательной воды испарителей, паропреобразователей, котлов низкого и среднего давления, а также подпиточной воды теплосети в случаях, когда отсутствует известковая предочистка, высока относительная щелочность воды, а в паре-конденсате недопустимо высоко содержание свободной углекислоты.

«Голодное» Н-катионирование — регенерация Н-катионитных фильтров недостаточными, стехиометрическими, «голодными» дозами кислоты, достаточными только для разрушения карбонатной жесткости (при остаточном ее значении 0,4—0,7 мг-экв/л), — является недостаточно устойчивым и надежным процессом вследствие возможной выдачи фильтрами то чрезмерно щелочной (более 0,7 мг-экв/л), то кислой воды в разные периоды цикла работы фильтра. Для борьбы с этим явлением после декарбонизации Н-катионированной воды ее с целью устранения возможной кислотности пропускают через нерегенерируемый катионитный фильтр, где взамен H^+ в воду поступает Ca^{2+} (Mg^{2+}). В периоды прохода через буферный фильтр исходной (щелочной) воды или смеси исходной и Н-катионированной щелочной воды (HCO_3^-) он регенерируется.

Предвключенные Н-катионитные фильтры ставятся перед Н-катионитными фильтрами 1-й ступени обессоливающих установок для утилизации остатков серной кислоты из регенерационных растворов после фильтров 1-й ступени.

Качество воды после различных схем ионирования приведено в табл. 5.3.

5.4. Оборудование ионитных установок

Основным оборудованием ионитных установок являются фильтры, декарбонизаторы, а также баки, мерники, насосы и эжекторы для приготовления и разбавления регенерационных растворов и вторичного их использования, баки для воды, баки-нейтрализаторы и др.

Схемы выпускаемых в настоящее время ионитных фильтров с коммуникациями — фронтовыми трубопроводами показаны на рис. 5.3.

Все ионитные фильтры должны быть защищены от коррозии в кислой (H^+) или другой коррозионно-агрессивной среде [NaCl, $(NH_4)_2SO_4$] путем нанесения защитных покрытий и изготовления элементов и деталей из кор-

розионно-стойкого материала, кислотостойкой (нержавеющей) стали или пластмассы.

Оборудование Na-катионитных установок, к сожалению, до сих пор не защищалось от коррозии, что приводило и приводит к коррозии как этого оборудования, так и тракта химически обработанной воды, к обогащению ее окислами железа и заносу их в котлы.

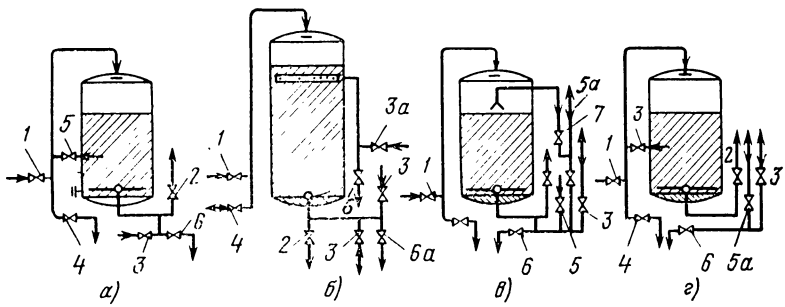


Рис. 5.3. Схемы коммуникаций с задвижками у ионитных фильтров:
а — обычного прямоточного фильтра; *б* — противоточного Н-катионитного фильтра; *в* — противоточного фильтра конструкции Центроэнергочермет (ЦЭЧМ) со сборноотводящим устройством для отвода отработавшего раствора соли (ОРС) из водяной подушки; *г* — фильтра при комбинированной регенерации; *1* — подача обрабатываемой воды; *2* — отвод обработанной воды; *3* — подвод (отвод) взрыхляющей воды; *4* — сброс взрыхляющей воды; *5* — подвод свежего регенерационного раствора (СРС); *5а* — подвод — отвод ОРС; *6* — сброс ОРС; *6а* — сброс отмывочной воды; *7* — отвод воды из водяной подушки

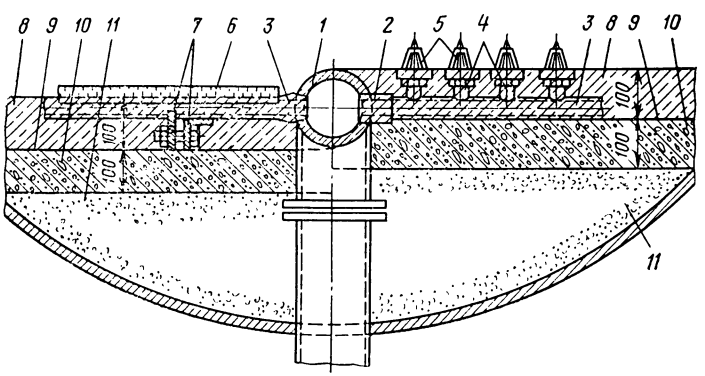


Рис. 5.4. Схема устройства слоевой бетонной подушки ионитных фильтров с желобковым, щелевым и колпачковым дренажем:
1 — магистраль; *2* — муфта; *3* — боковые ответвления; *4* — ниппеля; *5* — пластмассовые колпачки (ВТИ-К); *6* — желобки, перфорированные со щелями 0,4×6 мм; *7* — крепление бокового ответвления к магистрали; *8* — верхний слой бетона; *9* — битумная промазка, δ=5 мм; *10* — нижний слой бетона; *11* — щебень

В ионитных фильтрах обессоливающих установок внутренние устройства (дренажи, распределительные устройства, крепежные детали), а также иногда и фронтовые трубопроводы с арматурой делают из нержавеющей стали. Ранее применялись также щелевые дренажи из винипластовых труб.

Высота водяной подушки в катионитных фильтрах должна составлять 50—70% высоты слоя катионита, в анионитных — не менее 100% во избежание выноса мелкого и легкого (в набухшем состоянии) ионита при взрыхлении.

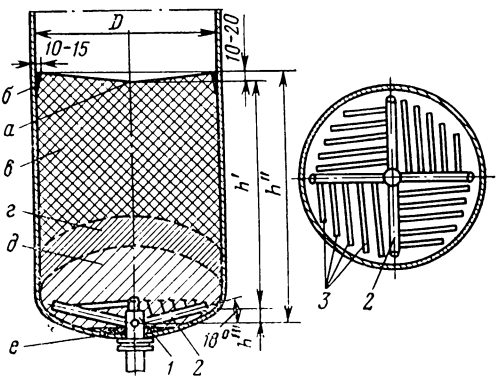


Рис. 5.5. Схема «копирующего» дренажа ТКЗ и его недостатки:

1 — центральная труба; *2* — боковая труба; *3* — ответвление с щелевыми желобками; *а* — центральная вмятина с пленкой шлама; *б* — пристеночные щели; *в* — отработавшийся ионит; *г* — работающий слой; *д* — неработавший ионит; *е* — слой застоявшегося раствора на дне; при *D*, равном 2600, 3000, 3400 мм, *h'''*, соответственно равен 300, 450 и 500 мм

Нижние днища ионитных фильтров или заполняют бетоном с установкой на нем горизонтального дренажа (рис. 5.4), или (после нанесения защитных покрытий — гуммирование) в днище устанавливают не горизонтальный, а так называемый «копирующий» дренаж (рис. 5.5). С целью облегчения удаления бетонной подушки, заполняющей нижнее днище, она делается многослойной (рис. 5.4). Щелевые колпачки и желобки нижних дренажных систем ионитных фильтров должны быть направлены вверх.

Применение в последних конструкциях ионитных фильтров Таганрогского завода негоризонтального, так называемого «копирующего» дренажа (рис. 5.5) явно нецелесообразно. Различная высота слоя фильтрующего материала над дренажем (в центре больше, у стенок меньше) обусловливает меньшее сопротивление слоя у стенок, а следовательно, и большие скорости фильтрования у стенок, чем в центре. Результатом этого является недоиспользование обменной способности ионита в центре фильтра и преждевременный проскок поглощаемых ионов. Кро-

ме того, регенерационные растворы, имеющие бо́льшую плотность, чем вода, скапливаются под дренажем и вымываются из поддренажного («мертвого») пространства «залпом» или длительное время, что удлиняет регенерацию и увеличивает расход отмывочной воды. Накопление грязи-взвеси из воды и регенерационных растворов на поверхности загрузки вызывает ее прогибание (рис. 5.5).

В Na-катионитных фильтрах (рис. 5.4) на насыпанный в днище слой щебня накладывается слой пластичного бетона 1 : 4 : 8 вровень с нижней образующей магистрали (ответвления из нее должны быть вынуты, а отверстия или муфты забиты деревянными пробками). После штукатурки и схватывания бетона через 2—3 сут его высушенная поверхность промазывается битумом марки IV-V. Затем ставятся или ввертываются боковые ответвления так, чтобы ниппеля или щелевые желобки были обращены вверх. Ответвления крепятся к угольникам, залитым в нижний слой бетона. Щелевые желобки заклеивают сверху полоской ткани (в худшем случае плотной бумагой) на мучном клейстере. Щелевую поверхность колпачков после навертывания их на ниппеля также заклеивают тканью или бумагой. После окончательного крепления дренажа на битумную обмазку нижнего слоя бетона укладывают верхний слой бетона 1 : 4 : 8 так, чтобы поверхность его в Na-катионитных фильтрах находилась на уровне нижнего края щелей колпачков или желобков. У стыков ответвлений с магистралью уровень бетона должен быть выше и полностью, слоем в 15—20 мм, закрывать стык. У стенок фильтра бетон должен находиться на уровне верха желобка дренажа. Поверхность бетона штукатурят и железнят.

В Н-катионитных и анионитных фильтрах поверхность второго слоя бетона должна быть на 5—30 мм ниже нижнего края щелей и желобков. После штукатурки и схватывания второго слоя бетона через 4—5 сут на сухую поверхность бетона кладут кислотостойкое покрытие из 15—20 слоев перхлорвинилового лака, эпоксидной шпатлевки, 25—30-миллиметрового слоя битуминоля, асфальта или битума, засыпанного дробленым антрацитом. К бетону можно приклеивать пластикат полиизобутилена. По окончании бетонировки днища и всех коррозионно-изоляционных работ в фильтре смачивают ткань, заклеивающую щели дренажа, водой, снимают ее и прочищают щели. После этого приступают к проверке плотности дренажа, как указано для осветлительных фильтров.

Наиболее простой защитой бетона и вообще нижних горизонтальных поверхностей является покрытие бетона горячим битумом марки IV-V слоем 8—10 мм и засыпка его после остывания дробленым антрацитом толщиной слоя 15—25 мм при диаметре зерен 3—8 мм. Слой антрацита защищает битум от прилипания к нему песка.

После устройства в фильтрах бетонной подушки и защиты ее от коррозии, установки в них внутренних устройств и наружных трубопроводов, проверки плотности защитных покрытий специальным индикатором-детектором или обычным мегаомметром (см. гл. 10) фильтры опрессовывают, после чего они считаются подготовленными к загрузке фильтрующим материалом.

Для предотвращения выноса из фильтров ионитов рекомендуется даже на щелевые дренажные системы (желобковые) с колпачками ВТИ-К или ВТИ-5 загружать подстилочные слои из антрацита, термоантрацита или кварца толщиной 50—100 мм. Применение подстилочных слоев полезно также для уменьшения сопротивления проходу воды дренажных устройств, особенно в барьерных фильтрах, при больших скоростях фильтрования, а также для предотвращения забивания щелей дренажа зернами, иногда размягчающегося анионита, и уменьшения износа зерен ионитов струями воды при взрыхлении.

На некоторых электростанциях для предотвращения попадания кислых сбросных вод в канализацию и во избежание необходимости нейтрализации их устанавливают специальный катионитный фильтр, загруженный карбоксильным катионитом КВ-4П, через который пропускают сначала все кислые сбросные воды после регенерации Н-катионитных фильтров, а затем щелочные сбросные воды после анионитных фильтров 1-й ступени. Пропуская поочередно то кислые, то щелочные отработавшие регенерационные растворы и отмывочные воды через фильтр с карбоксильным катионитом, взаимно нейтрализуют их, выдавая после фильтра нейтральные растворы и отмывочные воды.

Приготовление рабочих растворов регенерирующих реагентов и подача их в ионитные фильтры производится следующим образом (рис. 5.6). Рабочая (разбавляющая, транспортирующая) вода через эжектор попадает в фильтры, засасывая крепкий раствор из мерника. Необходимый расход ее устанавливается по расходомеру. После установления заданного расхода из мерника или запасного бака, имеющего поплавковый указатель уровня

13, в эжектор подается концентрированный реагент H_2SO_4 (75—94%), или NaOH (42%), или NaCl (25%). Подачу концентрированного реагента увеличивают и доводят концентрацию разбавленного в эжекторе раствора

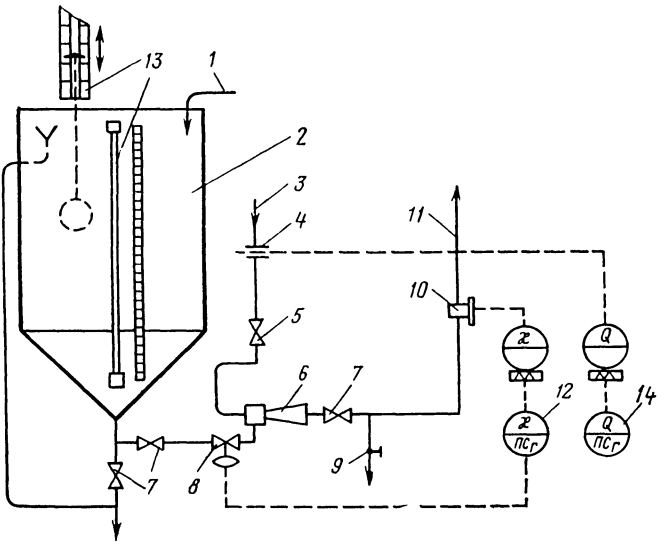


Рис. 5.6. Схема подачи регенерирующих растворов эжектором:
1 — подвод рабочего (крепкого) раствора; *2* — мерник; *3* — подача рабочей (разбавляющей) воды; *4* — измерительная диафрагма; *5* — запорно-регулировочная задвижка; *6* — эжектор; *7* — запорные задвижки; *8* — регулировочная задвижка; *9* — отбор проб; *10* — датчик концентратомера; *11* — рабочий разбавленный раствор в фильтры; *12* — концентратомер; *13* — уровнемер; *14* — расходомер

до необходимой: H_2SO_4 0,8—4%, NaOH 4%, NaCl 5—8%. Концентрацию измеряют и регулируют вручную или автоматическим концентратомером (10—12). Подачу концентрированного реагента прекращают, когда из бака-мерника будет израсходовано нужное количество реагента, определяемое заранее. После прекращения подачи концентрированного реагента прекращают и подачу рабочей воды в эжектор. Расход воды через эжектор и крепость разбавленного раствора должны быть постоянными.

Для улавливания проскочившего через дренажные системы ионита и недопущения попадания его в следующую группу фильтров, например катионита в анионитные фильтры, должны устанавливаться ловушки (рис. 5.7).

В настоящее время еще нет достаточно хорошо разработанных схем и оборудования для отвода и нейтрализации сбросных вод. По-видимому, наилучшими для удале-

ния кислых сбросных вод после Н-катионитных фильтров являются гончарно-керамиковые трубы и полутрубы или бетонные каналы, выложенные кислотоупорной плиткой на кислотоупорной мастике (битуме). Перед каждым

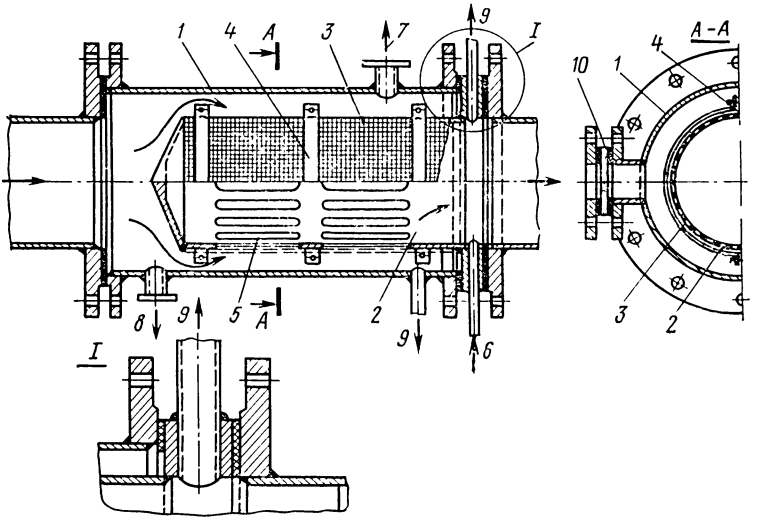


Рис. 5.7. Ловушка для улавливания зернистых материалов:
1 — корпус; *2* — внутренняя труба с прорезями; *3* — сетка 0,2—0,25 мм; *4* — хомут; *5* — прорези; *6*—подвод сжатого воздуха; *7*— выброс воздуха; *8* — дренаж; *9* — штуцера к дифманометру (к манометрам); *10* — смотровое стекло

фильтром при открытом сливе следует устраивать небольшой, закрытый решеткой приямок (рис. 5.8) и делать раздельные каналы (рис. 5.9).

Обращение с кислыми или нейтральными сбросными водами после Н-катионитных фильтров затруднительно, так как они являются пересыщенным раствором $CaSO_4$ и последний начинает иногда выпадать, т. е. кристаллизоваться уже при выходе отработавшего раствора из фильтра, а иногда и в самом фильтре, вызывая «загипсовывание» катионита и удлиняя его отмывку после регенерации.

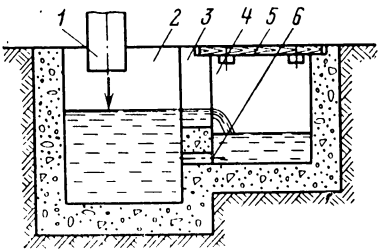


Рис. 5.8. Устройство приямка перед фильтром:
1 — сбросная труба; *2* — приямок; *3*— переливное окно; *4*— канал; *5*— крышка; *6* — опоражнивающий патрубок

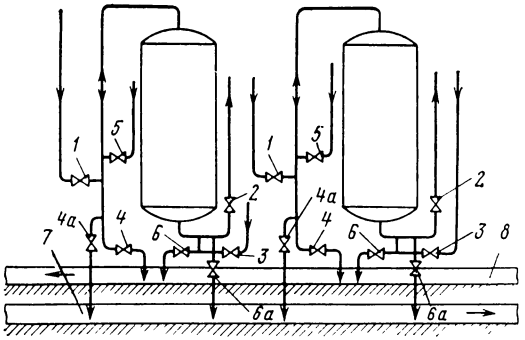


Рис. 5.9. Схема канализации ионитных установок с двумя каналами:
4а, 6а, 7 — сброс пресных шламовых вод в сборные баки сточных вод предочистки; *4, 6, 8* — сброс засоленных, кислых, жестких или щелочных вод в канализацию для повторного использования или обработки; остальные обозначения те же, что и на рис. 5.3

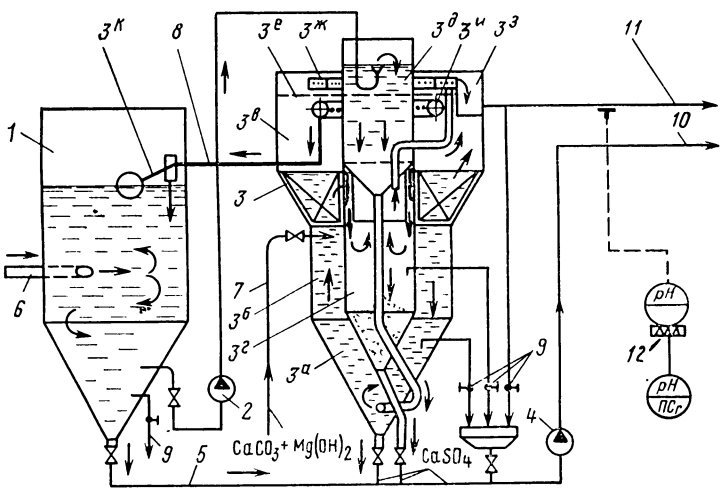


Рис. 5.10. Схема нейтрализации кислых сточных вод Н-катионитных фильтров и других кислых сточных вод известковым шламом из осветлителя:
1 — приемный резервуар; *2* — перекачивающий, циркуляционный кислотоупорный насос; *3* — осветлитель-нейтрализатор; *3а* — смесительная зона; *3б* — реакционная зона; *3в* — зона осветления; *3г* — шламоуплотнитель; *3д* — воздухоотделитель; *3е* — верхняя дроссельная решетка; *3ж* — сборный дырчатый желоб; *3з* — карман для отвода осветленной воды; *3и* — кольцо для сборки и возврата осветленной нейтральной воды в резервуар; *3к* — поплавковый клапан; *4* — откачивающий шламовый насос; *5* — шламовый коллектор; *6* — подвод кислых вод; *7* — подвод шлама; *8* — линия рециркуляции осветленной воды; *9* — отбор проб; *10* — шлам — $CaSO_4$ в линию ГЗУ или на обезвоживание; *11* — осветленная вода к вторичным потребителям, на ГЗУ или сброс; *12* — pH-метр

Насыщенный раствор $CaSO_4$ при температуре 20—40°С имеет концентрацию 20—25 мг-экв/л. Растворы $CaSO_4$, покидающие фильтры, в начале сброса имеют жесткость около 100 мг-экв/л и бывают мутными вследствие уже начавшегося выпадения $CaSO_4$. Для борьбы с загипсовыванием при регенерациях применяют сначала более разбавленную кислоту (0,8—1,5% H_2SO_4), а затем более крепкую (3—4%) при скорости подачи не менее 8 м/ч.

По этой же причине повторное использование отработавшего раствора серной кислоты, содержащего свободную H_2SO_4, бывает затруднено.

Отработавший раствор кислоты после Н-катионитных фильтров 2-й ступени, содержащий больше Na_2SO_4, чем $CaSO_4$, можно использовать для предварительной регенерации Н-катионитных фильтров 1-й ступени или фильтров с «голодной» регенерацией. После этих фильтров повторно использовать отработавший раствор кислоты не рекомендуется из-за его высокой пересыщенности $CaSO_4$ и отсутствия или малого содержания в нем свободной кислоты.

Для нейтрализации сбрасываемых растворов кислоты наиболее удобно использовать растворы щелочи, получающиеся после регенерации анионитных фильтров. Однако более целесообразно использовать эти щелочные растворы повторно для предварительных регенераций следующих анионитных фильтров, для растворения или разбавления новых порций щелочи, для начального этапа отмывки анионитных фильтров, а также (при $S_{исх} \geqslant S_{отм}$) возвращать в голову процесса, в осветлитель, на осветлительные или Н-катионитные фильтры. Только самые первые порции отработавшего раствора щелочи, уже многократно использованные, содержащие небольшое количество NaOH, а в основном только NaCl, Na_2SO_4, Na_2SiO_3, целесообразно использовать для нейтрализации кислых стоков. Однако при этом имеется опасность выпадения геля SiO_2, который затрудняет удаление осадка и нейтрализованной жидкости. Выпадая на зернах низкоосновного анионита, гель SiO_2 ухудшает поглощение им SO_4^{2-}, Cl^- и перегружает высокоосновный анионит по кремнекислоте.

Количество щелочи, содержащееся в первых порциях отработавшего раствора, невелико и обычно недостаточно для нейтрализации. Применять для нейтрализации кислых стоков реагентную соду или едкий натр ввиду их дефицитности и высокой стоимости запрещено. Поэтому для полной нейтрализации кислых стоков приходится исполь-

зовать кальциево-магниевые щелочные соединения $CaCO_3+MgCO_3$, MgO, $CaO-Ca(OH)_2$, а также известковый шлам из осветлителей. Последний является наиболее удобным вследствие высокой дисперсности, возможности перекачки по трубопроводам и необходимости удаления с ВПУ.

Схема установки для нейтрализации кислых сточных вод ТЭС известковым шламом осветлителей, если котлы работают на мазуте или газе, показана на рис. 5.10.

В случае работы котлов на твердом топливе кислые стоки ВПУ могут быть направлены в систему ГЗУ обычно с щелочной золой.

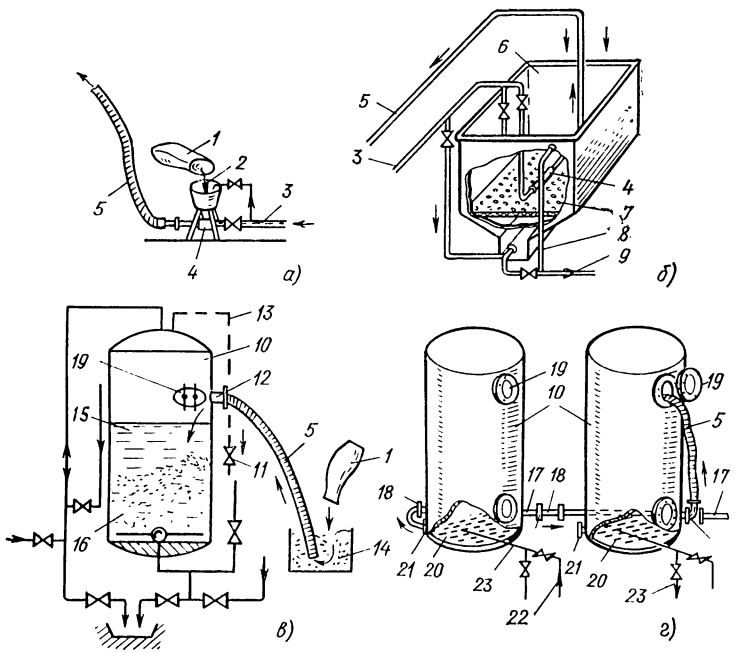


Рис. 5.11. Схемы гидро- и пневмозагрузки и гидроперегрузки фильтров:
а — загрузка гидро- или пневмотранспортером; *б* — загрузка гидроэлеватором из железобетонной ячейки; *в* — вакуумная загрузка синтетических ионитов; *г* — гидроперегрузка фильтров; *1*— мешок с ионитом; *2*— приемная воронка; *3*— подвод рабочей воды (сжатого воздуха); *4* — гидро- или пневмотранспортер; *5*— шланг для подачи в фильтры; *6* — железобетонная ячейка —хранилище ионита; *7*— ложное дно с щелевыми колпачками; *8* —перелив; *9*—в дренаж; *10* — фильтр; *11* — подключение к вакуум-насосу; *12*—штуцер для присоединения шланга; *13*— воздушник; *14* — приемная коробка; *15*— раствор NaOH(NaCl); *16*— ионит; *17* — перегрузочная линия; *18*—вставной патрубок-колено; *19*— верхний лаз; *20* — дренажные системы фильтров; *21*— перегрузочный лючок-бобышка (нижний); *22*— подвод воды для разрыхления ионита; *23* — слив воды из фильтра во время загрузки (коммуникации фильтров для гидроперегрузки такие же, как у работающих фильтров)

Блочные схемы обессоливающих установок (цепочки) работают только совместно-последовательно и отключаются для регенерации, как только один из фильтров перестает выдавать воду нормального для этого фильтра качества, а остальные фильтры продолжают работать.

Трудность создания цепочки, все фильтры которой выходили бы на регенерацию одновременно, обусловлена сезонными колебаниями качества — состава примесей воды; трудностями подбора фильтров необходимых размеров (D, $H_{слоя}$) при проектировании; колебаниями емкости поглощения фильтров (до $\pm 20\%$), вызванными нарушениями гидравлических условий работы фильтрующего материала и отклонениями в эффективности регенераций. Кроме того, некоторые сорта ионитов стареют, особенно при высоком содержании органических веществ и нитритов NO^{-}_{2} в воде, что приводит к ухудшению поглощения АН-31 Cl^{-}, а АВ-17 SiO^{2-}_{3}. В результате суммарные объемы ионитов в фильтрах цепочек обычно больше, чем при параллельных схемах, а использование емкости поглощения меньше. Однако лучшее качество воды, большая простота контроля и автоматизации и большая надежность заставляют применять «цепочки» и ФСД во всех новых проектах ТЭС СКД. На ТЭС ВД и СВД с барабанными паровыми котлами цепочки, ФСД и БОУ пока не применяются, в связи с чем не приводится их более подробное описание.

Предложены и начинают внедряться двухслойные и противоточные ионитные фильтры, в нижней части которых загружен сильнокислотный катионит или высокоосновный анионит, а в верхней — слабокислотный катионит или слабоосновный анионит. Необходимо, чтобы верхние слои ионитов имели меньшие плотность и насыпную массу, чем нижние, и не перемешивались между собой при взрыхлении.

Таким образом, в одном корпусе как бы совмещаются два фильтра обессоливающей установки.

Утверждение разработчиков, что, применяя двухслойные фильтры с верхним слоем слабоосновного карбоксильного катионита КБ-12П, целесообразно отказываться от известкования на предочистке (при сохранении коагуляции в осветлителях), неверно, так как такой отказ увеличивает расходы воды на собственные нужды, ухудшает коагуляцию, уменьшает количество загрязнений, удаляемых в твердом виде, при котором меньше загрязняется окружающая среда.

5.5. Пуск и эксплуатация ионитных установок

Гидравлическая загрузка фильтров свежим сульфоуглем может быть выполнена гидроперегрузчиком — водяным эжектором. Синтетические же иониты во избежание растрескивания зерен при первоначальном увлажнении необходимо загружать в сухом виде непосредственно в фильтры, на 35—50% высоты заполненные 10—15%-ным раствором NaCl и NaOH. Загрузка может осуществляться как вручную из мешков через вставленный в верхний лаз

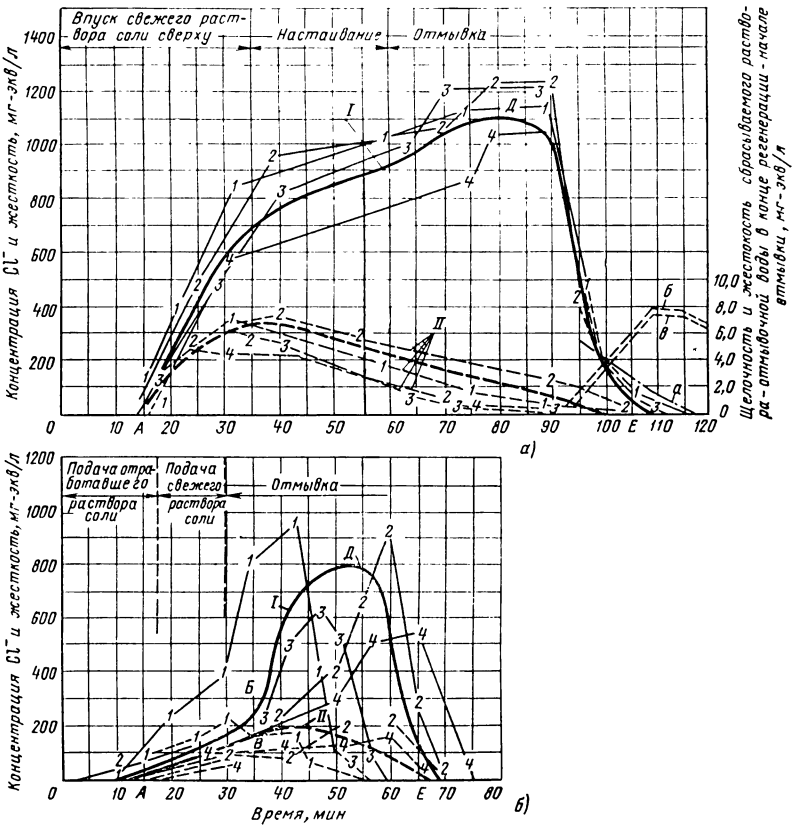


Рис. 5.12. Выходные кривые регенераций ионитных фильтров:

а — обычная прямоточная; *б* — то же с предварительным пропуском отработавшего раствора соли сверху, *NN* на кривых — номера отдельных опытов; *I* — усредненное содержание Cl^-; *II* — усредненная жесткость; *А* — начало сброса; *Б-В* — начало сброса ОРС в бак; *Д* — максимум концентрации — Cl^-; *Е* — конец сброса ОРС в бак повторного использования

лоток, так и при помощи пневмозагрузчика — эжектора, работающего на сжатом воздухе. Гидро- и пневмозагрузчики (рис. 5.11) целесообразно устанавливать возможно ближе к загрузочному люку и желательно над ним, чтобы уменьшить противодавление после перегрузчика. Возможно создание в фильтрах вакуума, благодаря которому происходит всасывание ионита из загрузчиков — приемных коробок (рис. 5.11).

Во избежание попадания в фильтры бумаги, полиэтиленовой пленки и другого мусора иониты должны подаваться в фильтры или в загрузочные воронки загрузчиков через сита с ячейками 5—10 мм. После загрузки нужного количества материала в фильтр (с учетом увеличения объема) его оставляют в покое на сутки для набухания, а затем, проверив высоту загрузки, отмывают ионит от грязи водой, подаваемой снизу, сортируя его по крупности, снимая по окончании отмывки мелочь и грязь с поверхности. Если нужно, то или добавляют ионит, или, наоборот, выгружают лишний.

Раствор NaCl — NaOH после одного фильтра целесообразно использовать во втором, если возможна его передача (через дренажи при помощи вытеснения водой или сжатым воздухом).

Пуск Na-катионитных установок. При загрузке нельзя смешивать мелкий и крупный сульфоуголь в одном фильтре. Крупным сульфоуглем с зернами 0,5—1,1 мм должны быть загружены в первую очередь барьерные фильтры. Применения мелкого сульфоугля с зернами крупностью 0,25—0,70 мм следует избегать. Он может проходить через щели дренажа, выноситься из фильтра при промывке, иметь большое гидравлическое сопротивление, слеживаться, образовывать трещины в слое и у стенок и вызывать этим преждевременный проскок жесткости. Свежий сульфоуголь содержит свободную серную кислоту, поэтому после загрузки его в фильтр, залитый водой или раствором NaCl, набухания в течение суток, промывки снизу для удаления мелочи и грязи и снятия верхнего слоя его промывают сверху вниз (или лучше снизу вверх) прозрачной щелочной жесткой водой до тех пор, пока щелочность сбрасываемого в канализацию фильтрата не будет около 0,1—0,3 мг-экв/л. Промывку снизу целесообразно вести сначала при открытом верхнем загрузочном люке с подставленной к люку воронкой и отводной трубой. После промывки от кислоты катионит регенерируют двойным (в два приема) количеством поваренной соли (80—100 кг/м^3).

По окончании отмывки катионита от соли или после второй регенерации и снижения жесткости фильтрата до 0,03 мг-экв/л фильтр включают в работу, если выходящая из фильтра вода не окрашена продуктами пептизации и имеет щелочность не ниже 0,1—0,3 мг-экв/л.

В течение первых 5—7 циклов после включения фильтра в работу никаких испытаний или наладочных работ с фильтром не проводят, так как вначале обменная способность сульфоугля значительно выше нормы, а щелочность катионированной воды ниже исходной. В этот период лишь осваивают обслуживание фильтра. Вторую, третью и дальнейшие регенерации проводят нормальным количеством соли (40—60 кг/м³ сульфоугля). Когда обменная способность катионита станет более постоянной (±50 г-экв/м³), проверяют хвостовую обменную способность катионита в пяти фильтроциклах. Для этого регенерацию и умягчение ведут обычным порядком с расходом соли 40—60 кг/м³. Количество умягченной воды, жесткость и щелочность ее по фенолфталеину и метилоранжу контролируют, как обычно, пока жесткость катионированной воды не превысит 0,03—0,05 мг-экв/л. После этого контроль осуществляют чаще, производя определения жесткости и щелочности каждые 30 мин и менее. Воду с повышенной жесткостью возвращают в бак умягчаемой воды или направляют для доумягчения на барьерные фильтры или, наконец, если ее нельзя использовать, сбрасывают в дренаж. Умягчение ведут до тех пор, пока жесткость фильтрата не достигнет 50 или 100% жесткости воды до фильтра, после чего проводят регенерацию.

Хвостовая обменная способность, превышающая 20% основной (рабочей), свидетельствует о нарушении гидродинамики фильтра, избирательном протоке воды, неравномерной регенерации и т. п. При возврате не полностью умягченной воды в бак умягчаемой воды хвостовую обменную способность работающего по этому циклу фильтра используют до тех пор, пока жесткость выходящей воды будет не более 1—2 мг-экв/л или максимум 50% жесткости исходной воды. При подаче фильтрата на барьерные фильтры хвостовую способность используют до повышения жесткости до 0,5 мг-экв/л, хотя в ряде случаев ее можно доводить и до 2 мг-экв/л. Полное использование хвостовой обменной способности нежелательно, так как нарастание жесткости катионированной воды от 50 до 100% идет обычно быстро, а количество не полностью умягченной воды сравнительно невелико.

После определения хвостовой обменной способности приступают к установлению оптимальных загрузок соли для регенераций. При этом испытывают загрузки соли по 40—30 кг/м³ катионита. Для каждой загрузки необходимо провести не менее пяти опытов. Оптимальным расходом соли на регенерацию считается такой, при котором основная обменная способность катионита не ниже 220 г-экв/м³ при наименьшем удельном расходе соли. При этом, если установка работает по схеме двухступенчатого катионирования, остаточная жесткость основной массы воды после фильтров 1-й ступени может достигать 0,05—0,07 мг-экв/л. При схеме одноступенчатого катионирования жесткость основной массы воды не должна превышать 0,02—0,03 мг-экв/л (при солесодержании воды до 800 мг/л). При одноступенчатом катионировании фильтр отключают для регенерации при жесткости фильтрата 0,05 мг-экв/л.

Фильтры 2-й ступени регенерируют такими же или бо́льшими количествами соли (80—100 кг/м³), но обменную способность используют лишь на 50—60%, не допуская повышения (проскока) жесткости. Отработавший раствор соли после регенерации фильтров 2-й ступени обязательно и полностью используют для регенерации фильтров 1-й ступени, так как жесткость его обычно невысока, особенно последних его порций.

В процессе эксплуатации Na-катионитных фильтров необходимо вести систематический контроль за содержанием иона хлора в катионированной воде (в конце отмывки и начале умягчения) и ее жесткостью. Щелочность Na-катионированной воды проверяют в начале отмывки и умягчения, а также в конце умягчения. Особенно важен контроль щелочности при умягчении известкованной или содоизвесткованной воды, так как она выше исходной в начале цикла и ниже в конце.

Во избежание усиленной пептизации сульфоугля фильтры необходимо ставить в резерв в конце отмывки при жесткости отмывочной воды 2—4 мг-экв/л (при прекращении быстрого помутнения отмывочной воды после приливания к ней избытка раствора соды или фосфата). Заканчивать отмывку следует перед включением фильтров в работу.

Во время эксплуатации Na-катионитных фильтров периодически проверяют состояние фильтрующего материала, проводят ревизии дренажа, арматуры, контрольно-измерительных и регулирующих приборов фильтра. Во избежание попадания в умягченную воду или фильтр при

регенерации других фильтров растворов соли из-за неплотности задвижек необходимо при умягчении держать в фильтре максимальное давление, т. е. регулировать расход умягченной воды выходной задвижкой, а входную задвижку на трубопроводе поступающей воды держать полностью открытой; при взрыхлении, регенерации и отмывке нужно сохранять в фильтре минимальное давление, т. е. выходные задвижки держать полностью открытыми, а расход регулировать входными.

При проведении всех операций и во время пребывания оборудования в резерве во избежание попадания в фильтр воздуха следует поддерживать в нем избыточное давление 0,1 МПа. Любое открывание или закрывание задвижек следует выполнять обязательно плавно.

Пуск и эксплуатация Na-катионитных фильтров как 1-й, так и 2-й ступени (барьерных и Н—Na-катионитных установок) ничем не отличаются от пуска тех же фильтров Na-катионитных установок.

Пуск Н-катионитного фильтра (Н — Na-катионитных установок). После загрузки катионита в фильтр, залитый водой или раствором NaCl, набухания ионита в течение суток его промывают снизу вверх, снимают слой мелочи и грязи с поверхности и доводят высоту слоя до нормы. Затем закрывают фильтр, заполняют водой снизу и регенерируют кислотой при расходе 100%-ной H_2SO_4 от 17 до 25 кг на 1 м³ катионита. Сначала подают в фильтр сверху эжектором осветленную, подлежащую умягчению воду со скоростью 8—12 м/ч, а затем начинают подавать в эжектор кислоту, постепенно увеличивая подачу, пока крепость разбавленной кислоты при входе в фильтр не достигнет 1—1,5%. После подачи в фильтр необходимого количества крепкой кислоты поступление ее прекращают, а воду продолжают подавать с той же скоростью, сбрасывая пересыщенный гипсом отработавший, обычно нейтральный, регенерационный раствор. Количество сбрасываемого раствора с момента прекращения подачи кислоты должно быть равно объему катионита, загруженного в фильтр. После сброса этого количества раствора и снижения его жесткости до 10—15 мг-экв/л начинают заполнять бак для вторичного использования отработавшего регенерационного раствора кислоты или бак для взрыхления. После их заполнения, если отмывочная вода еще жесткая, продолжают отмывку, спуская отмывочную воду в канализацию.

Процесс заканчивают при снижении жесткости отмывочной воды до 0,2—0,3 мг-экв/л и кислотности до $3{,}5+(SO_4^{2-}+Cl^-)$ мг-экв/л, где SO_4^{2-} и Cl^- — содержание этих ионов в исходной воде, мг-экв/л. Если фильтр необходимо поставить после регенерации в резерв, то отмывку прерывают при жесткости 2—4 мг-экв/л и заканчивают перед включением фильтра в работу.

При регенерации Н-катионита теоретическими или «голодными» (недостаточными) дозами серной кислоты нецелесообразно использовать отработавшие растворы, так как в них нет свободной кислоты.

После включения фильтра в работу воду умягчают до тех пор, пока выходящая из фильтра вода не достигнет при наличии одного постоянно работающего фильтра щелочности 0,1—0,3 мг-экв/л, а при наличии других Н-катионитных фильтров, выдающих кислую воду, — жесткости 0,5—2 мг-экв/л или максимум 50% жесткости исходной воды.

По достижении указанных величин фильтр отключают для регенерации, которую проводят описанным выше способом.

Для второй и последующих регенераций берут 50—70 г кислоты на 1 г-экв использованной обменной способности катионита.

В начальный период работы фильтра ведут контроль за его работой по количеству пропущенной воды, жесткости, щелочности, кислотности, сухому остатку (солесодержанию), содержанию Na^+ (по разности) в исходной и в Н-катионированной воде, по обменной способности Н-катионита (общая, основная, хвостовая), удельному расходу и крепости кислоты и расходу воды на собственные нужды. Показатели первых циклов не учитывают. Когда установится постоянный режим и перечисленные выше показатели станут сравнительно устойчивыми, снимают характеристики работы фильтра. Для этого обменную его способность истощают до тех пор, пока жесткость фильтрата не достигнет 50% жесткости исходной воды, после чего проводят регенерацию разными количествами кислоты (15—20—25 кг H_2SO_4 на 1 м³ сульфоугля).

По количеству и качеству исходной и Н-катионированной воды определяют основную и хвостовую обменную способности катионита, обменную способность по $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ и по $Ca^{2+}+Mg^{2+}+Na^+$. После этого устанавливают оптимальные расход кислоты и режим регенерации, обеспечивающие наилучшие в условиях работы данной

станции показатели: наименьший удельный расход кислоты (50—60 г/г-экв), наибольшую обменную способность (не ниже 200 г-экв/м³), наибольшую глубину умягчения, наименьший расход воды на собственные нужды. Для каждого расхода кислоты 50—70 г/г-экв необходимо провести не менее пяти контролируемых циклов работы.

После установления оптимального режима работы фильтра последний поступает в нормальную эксплуатацию.

Пуск в эксплуатацию установок для параллельного Н — Na-катионирования с барьерными фильтрами. После того, как будут подготовлены к пуску, промыты от грязи, отрегенерированы и отмыты все Н- и Na-катионитные фильтры 1-й и 2-й ступеней, а удалитель углекислоты — декарбонизатор и другое вспомогательное оборудование будут полностью подготовлены к пуску и опробованы, включают в работу сначала один Na-катионитный фильтр, затем один Н-катионитный фильтр, а также вентилятор декарбонизатора. Постепенно увеличивая производительность Н-катионитного фильтра, снижают щелочность смеси Н- и Na-катионированной воды перед декарбонизатором до 0,2—0,3 мг-экв/л. Контроль по щелочности ведут через каждые 5—10 мин. По мере накопления в сборном баке некоторого количества Н — Na-катионированной воды и проверки ее качества (жесткости, щелочности и содержания свободной углекислоты) эту воду подают на барьерный Na-катионитный фильтр, а затем потребителям.

Когда щелочность воды после декарбонизатора начнет возрастать, уменьшают подачу воды через Na-катионитные фильтры и увеличивают подачу ее через Н-катионитные фильтры, таким образом поддерживая нужную щелочность. В момент, когда щелочность Н — Na-катионированной воды после декарбонизатора достигнет верхнего предела, отключают выработавшийся Н-катионитный фильтр для регенерации и, включив другой свежеотрегенерированный Н-катионитный фильтр, снова регулируют подачу воды на Н- и Na-катионитные фильтры, поддерживая щелочность декарбонизованной воды в нужных пределах.

В период пуска-наладки должен быть установлен режим работы Н- и Na-катионитных фильтров, моменты отключения их и т. д. Должно быть измерено количество воздуха, подаваемого в декарбонизатор, проверены степень удаления углекислоты в нем и работа барьерных фильтров.

Пуск и эксплуатация установок для последовательного Н — Na-катионирования. Пуск и эксплуатация установок последовательного Н — Na-катионирования отличаются от пуска и эксплуатации установок параллельного Н—Na-катионирования только тем, что Na-катионитные фильтры 1-й ступени в них отсутствуют и вместо Na-катионированной воды к кислой Н-катионированной воде перед декарбонизатором добавляется жесткая, исходная вода в количествах, нужных для поддержания щелочности воды 0,2—0,5 мг-экв/л. При регенерациях «голодными» дозами кислоты Н-катионированная вода обычно щелочная и после удаления углекислоты может быть сразу направлена на барьерные Na-катионитные фильтры или на нерегенерируемые катионитные фильтры. Если количество щелочи $NaHCO_3$, выдаваемое со щелочным фильтратом длительное время работающих Н-катионитных фильтров превышает количество, необходимое для нейтрализации кислого фильтрата недавно включенных Н-катионитных фильтров, то длительно работающие фильтры приходится выключать для регенерации, не ожидая, чтобы жесткость воды, выдаваемой ими, достигала 1—2 мг-экв/л; Na-катионитные фильтры в этом случае должны быть отключены.

Обессоливающие установки. После приемки фильтров из монтажа, создания кислотостойкой бетонной подушки, проверки плотности арматуры и противокоррозионных покрытий, проверки прочности и правильности изготовления и работы дренажных и распределительных устройств в фильтры для синтетических ионитов загружают подстилочные слои термоантрацита — кварца, промытые для удаления золы соляной кислотой и водой до нейтральной реакции.

Подстилочные слои (нижний фракцией 5—10, а верхний 2—5 мм высотой по 50—100 мм) загружают так же, как это рекомендовано для осветлительных фильтров (см. гл. 4), промывают водой снизу и, спустив воду, выравнивают поверхность. Затем удаляют загрязнения и мелочь с поверхности подстилочного слоя и фильтр до половины высоты заполняют снизу 10—15%-ным раствором NaCl(NaOH) и загружают сухой ионит вручную, под вакуумом или воздушным эжектором. После набухания ионита в растворе верхний лаз закрывают и сначала вытесняют раствор реагента в другой фильтр или в бак для повторного использования. Вытесняют раствор водой, подаваемой сверху. По окончании вытеснения фильтр промывают осветленной водой, подаваемой снизу вверх. Пос-

ле отмывки и спуска воды из фильтра вскрывают верхний лаз и удаляют с поверхности ионита оставшиеся грязь, мелочь, вновь заполняют фильтр водой снизу, закрывают лаз и начинают окончательную отмывку ионита от NaCl+(NaOH), на что затрачивается 20—30 объемов воды на объем ионита, затем приступают к регенерации.

Следует отметить, что при отмывке током воды снизу вверх ионит вначале иногда поднимается «пробкой». Это часто наблюдается, если уровень воды находится ниже поверхности загрузки. При открытом верхнем лазе с подъемом ионита «пробкой» можно бороться путем перемешивания материала через лаз палкой, веслом и т. п. При закрытом фильтре следует подавать воду в фильтр толчками длительностью по 3—5 мин с такими же перерывами для оседания ионита.

Первоначальные регенерационные растворы кислоты и щелочи для включаемых фильтров следует готовить на осветленной, Na-катионированной, H-катионированной или (лучше) на частично или полностью обессоленной воде уже работающих фильтров. Для отмывки следует применять эти же воды, а также последние порции отмывочной воды других одноименных фильтров, запасенные в баках.

При регенерации и отмывке фильтров, включаемых в работу первыми, естественно, приходится несколько отступать от указанных выше требований, но при этом следует всегда пользоваться наиболее чистой водой из имеющихся в распоряжении и включать в работу оборудование в технологической последовательности. Пуск и включение следующей группы фильтров можно производить только тогда, когда предыдущая группа или хотя бы один из ее фильтров включены в работу и выдают воду, пригодную для регенерации, отмывки и работы фильтров следующей группы. Пуск новых фильтров частично уже работающей установки не требует соблюдения такой последовательности, так как имеется вода нужного качества. Когда от обессоливающей установки будет получена вода нужного качества, ее направляют потребителям, а воду, не вполне отвечающую требованиям, используют для менее требовательных потребителей, для отмывки и регенерации других фильтров или подают в «голову» процесса обработки для повторного обессоливания. Пуск декарбонизаторов заключается в загрузке их кольцами Рашига принятых в проекте размеров ($d_н$=25, h=25, $\delta_{ст}$=3 мм). Кольца загружают на решетку в беспорядке, но ровным слоем необходи-

мой высоты. Битые кольца в декарбонизаторы загружать нельзя. Отсортированные целые кольца следует осторожно во избежание боя опускать в декарбонизатор в мешках и вытряхивать их на решетку или поверхность загрузки. Ходить по кольцам запрещается; в крайнем случае на поверхность загрузки кладут доски, подбитые снизу войлоком.

После загрузки определяют производительность вентилятора анемометром или тягомером; создаваемый напор; потерю напора в аппарате и потребляемую мощность двигателя как без подачи воды в декарбонизатор, так и при подаче ее в расчетном количестве. Проверяют и устанавливают равномерность распределения — слива воды через сливные патрубки каждого декарбонизатора и между параллельно работающими декарбонизаторами (расходомеры, задвижки).

Во избежание запаздывания при отборе проб и для усреднения результатов во время наладки работы декарбонизаторов следует, кроме отбора проб после баков декарбонизированной воды, отбирать пробы воды еще и непосредственно после насадки из слоя воды перед сливным гидрозатвором. Пробы воды для определения свободной углекислоты как до, так и после декарбонизаторов должны отбираться с соблюдением предосторожностей против потерь углекислоты (пропуск через колбу нескольких объемов воды). Газы после декарбонизаторов должны выводиться за пределы здания через каплеуловители.

Во время подачи через декарбонизатор обрабатываемой воды определяют глубину удаления углекислоты при гидравлических нагрузках 60, 80, 100 и 120% проектной, при температурах воды 25, 30, 35, 40 °С и имеющейся температуре воздуха, забираемого из верхних частей помещения, при максимальном постоянном расходе воздуха и устанавливают наибольшую допустимую нагрузку и сопротивление аппарата. При сильных выбросах из декарбонизатора вместе с воздухом воды и отсутствии каплеуловителей следует уменьшить подачу воздуха, закрыв заслонку на всасывании или нагнетании у вентилятора. Эффект декарбонизации при этом не должен снижаться. Проверяют также глубину удаления углекислоты без подачи воздуха вентилятором (летом и зимой). Для улучшения удаления углекислоты иногда воздух подогревают в паровом калорифере.

Вакуумные деаэраторы ВПУ включают в работу так, как это указано в гл. 8. Эффективность работы их оцени-

вают по глубине удаления из обрабатываемой воды как кислорода, так и углекислоты. Для более полного удаления углекислоты необходимо увеличивать количество пара, подаваемого на барботаж, не повышая общего его расхода.

Спустя некоторое время после пуска аппаратов обессоливающей установки, когда проведено уже несколько фильтроциклов всех ионитных фильтров и получены первые показатели их эксплуатации в данных условиях, приступают к наладке, т. е. к установлению оптимального режима работы аппаратов и всей водоочистительной установки в целом. Наладка обессоливающей установки заключается в следующем. Сначала сравнивают показатели работы всей установки и отдельных ее узлов, полученные в начальный период эксплуатации, с проектными или нормативными. К сравниваемым показателям относятся производительность, глубина обессоливания и обескремнивания, степень удаления органических веществ и газов, удельные расходы реагентов и воды на собственные нужды, потери напора, эффективность работы осветлителей и осветлительных фильтров, грязеемкость последних, обменная способность ионитов, размер потерь воды на собственные нужды, устойчивость показателей. Выявляют механические, гидравлические и технологические показатели работы оборудования: потери напора в трубопроводах, колебания крепости растворов реагентов и нарушения их дозировки, колебания производительности и температуры подогрева, вынос фильтрующих материалов и ионитов из фильтров при работе, взрыхлениях и промывках, забивание каналов и трубопроводов для удаления шлама. Обращают внимание на работу всех механизмов и транспортирующих устройств, состояние арматуры (плотность закрывания, легкость хода), правильность показаний контрольно-измерительных приборов, работу дозаторов и регуляторов. Обнаруженные недостатки устраняют.

Отклонения от заданных режимов в каждом отдельном случае могут зависеть от качества исходной воды и отношений

$$\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + NH_4^{+}} \quad \text{и}$$

$$\frac{SO_4^{2-} + Cl^{-} + (NO_3^{-} + NO_2^{-})}{SO_4^{2-} + Cl^{-} + (NO_3^{-} + NO_2^{-}) + CO_3^{2-} + HCO_3^{-} + HSiO_3^{-}};$$

от сорта ионита, продолжительности его работы с начала эксплуатации и глубины его старения; схемы водоподготовительной установки, допустимого качества сбросных вод и возможности повторного их использования или очистки; вида воды, применяемой для отмывки и приготовления реагентов.

Оптимальный режим регенераций, обеспечивающий желаемую глубину удаления ионов из воды, при минимальном расходе регенерирующих реагентов и воды на собственные нужды устанавливают при наладке и в дальнейшем проверяют и корректируют не реже 1 раза в год. При составлении рабочих режимных карт в них должны быть указаны расход воды и растворов, $м^3/ч$ и $м^3$/фильтр, расход исходных, крепких растворов реагентов (75—92% H_2SO_4, 42% NaOH, 25% NaCl) в литрах и килограммах, показатели качества обработанной воды при включении-выключении и в основной период работы фильтров (Ж, Щ, Cl^-, Si_3^{2-}, $\varkappa$, CO_2) продолжительность каждой операции, номера открытых задвижек и др.

Оптимальный режим работы ионитных фильтров устанавливают путем изменения количества и крепости растворов регенерирующих реагентов в пределах 60—160% нормативных или проектных с целью установления наименьших удельных расходов реагентов, необходимых как для максимального, так и для технологически приемлемого удаления катионов и анионов (в первую очередь кремнекислоты).

При наладке должны быть определены: интенсивность и продолжительность промывки и взрыхления перед регенерацией всех типов фильтров (осветлительных, катионитных); удельный расход кислоты и щелочи на регенерации; обменная емкость ионитов по жесткости, сумме катионов, сумме анионов сильных кислот и кремнекислоте отдельно или вместе с углекислотой, продолжительность рабочего периода и общая продолжительность цикла, а также зависимость их от расхода реагента, скорости фильтрования и качества исходной воды; показатели качества воды при включении фильтра в работу, в середине рабочего периода и при выключении его для регенерации; длительность операций, связанных с регенерацией фильтра; общий расход воды на собственные нужды каждого фильтра и количество ее, пригодное для вторичного использования, в зависимости от качества исходной и обработанной воды (Н-катионированная или обессоленная); качество сбросных вод в процессе регенераций.

Правильность установленных при наладке оптимальных режимов контролируют при дальнейшей эксплуатации по соответствию их проектным или нормативным данным. В случае необходимости при изменении качества воды, реагентов, ионитов, производительности в них вносят соответствующие изменения.

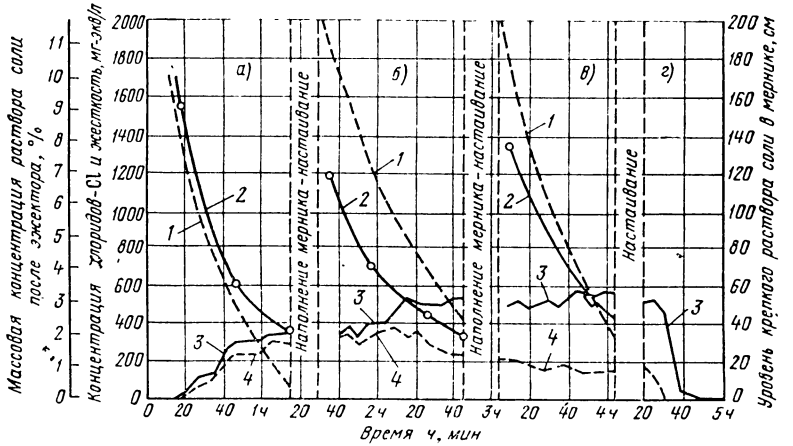


Рис. 5.13. Выходные кривые регенерации Na-катионитного фильтра, загруженного КУ-2 при недостаточном объеме крепкого раствора соли в мернике и подаче его в фильтр эжектором:

а, б, в— подача раствора; *г* — отмывка; *1* — уровень раствора в мернике; *2*— концентрация раствора, подаваемого в фильтры; *3* — содержание Cl^- в ОРС, сливаемом из фильтра; *4*— жесткость ОРС

Растворы соли, щелочи или кислоты, подаваемые для регенерации в ионитные фильтры, должны отстаиваться или фильтроваться через осветлительные фильтры и не должны содержать взвешенных примесей более 3—5 мг/л.

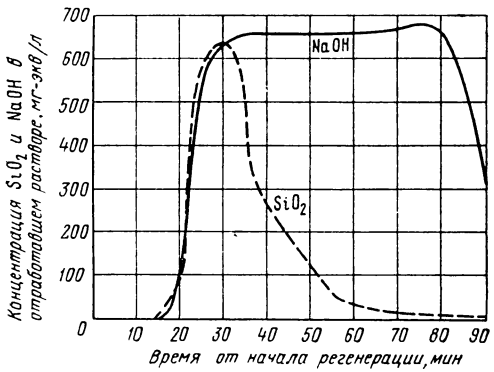


Рис. 5.14. Динамика вытеснения кремнекислоты SiO_2 из смеси высокоосновных анионитов (J_{mac}-S_5=40÷500 л и J_{mac}-C_{14} = 140 л 1 мг-экв/л NaOH= =40 мг/л, 1 мг-экв/л SiO=30 мг/л)

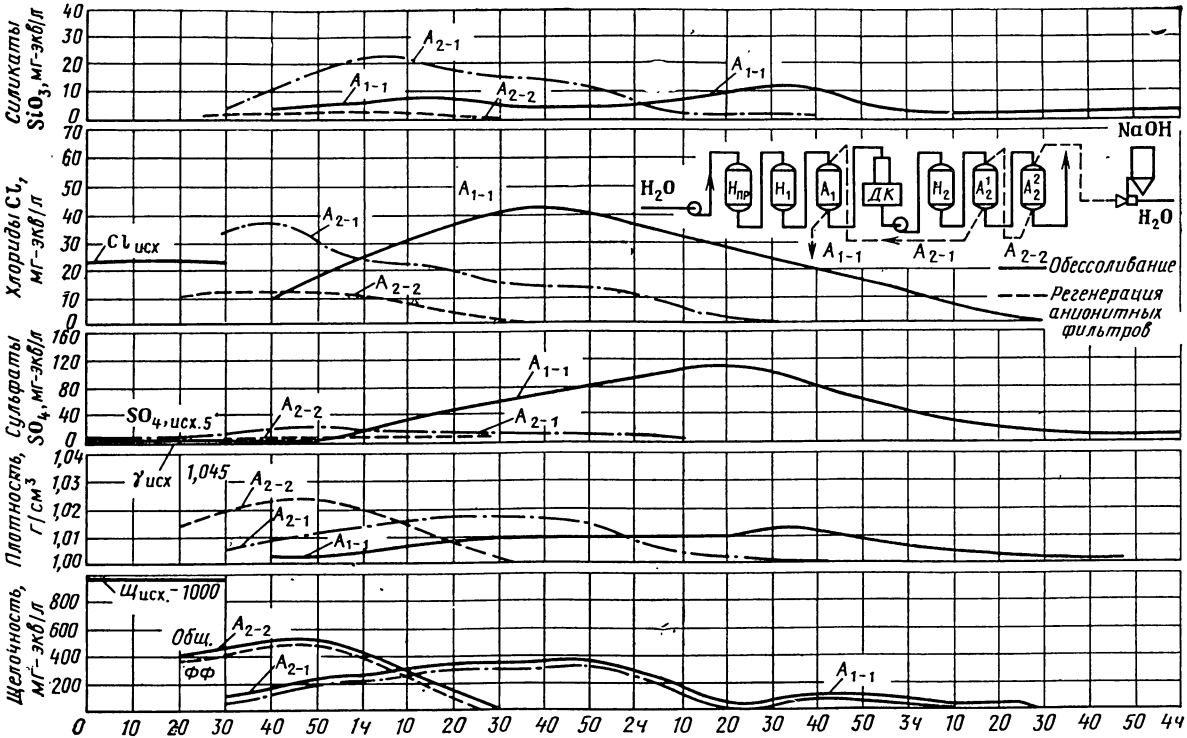


Рис. 5.15. Выходные кривые ступенчато-противоточной регенерации анионитных фильтров «цепочки»: A_{1-1} — анионитный фильтр 1-й ступени; A_{1-2} — анионитный фильтр 2-й ступени (предвключенный); A_{2-2} — то же (основной)

Во время пуска-наладки и установления режима работы, а также в течение нескольких последующих фильтроциклов ведут учащенный в 1,5—3 раза и несколько более подробный контроль работы умягчительной, обессоливающей установки. По данным контроля во время регенераций строят графики, подобные изображенным на рис. 5.12—5.15. На этих графиках по оси абсцисс откладывают время (1 ч — 6—12 см), а на оси ординат — качество регенерационных растворов и отмывочной воды до и после фильтров [концентрация NaCl — (Cl^-), H_2SO_4, NaOH], жесткость, щелочность (концентрацию SiO_2). Все показатели в мг-экв/л (1%-ный H_2SO_4 205 мг-экв/л, 1%-ный NaOH 250 мг-экв/л). Масштаб: 100 мг-экв/л соответствует 1—2 см. Для отмывочных вод при малых концентрациях на правой стороне графика можно применять более крупный масштаб: 1 см соответствует 1—2 мг-экв/л. На одном графике можно разместить результаты трех — пяти опытных регенераций и определить средние показатели. Следует помнить, что невозможно получить одинаковые показатели работы ионитных фильтров (емкость поглощения, удельные расходы реагентов, количество и качество сбросных вод и др.) во всех опытах, так как не могут быть одинаковыми гидравлические условия работы фильтров в каждом цикле. Поэтому-то и необходимо проводить по нескольку (5—10) опытных, контролируемых регенераций и определять средние показатели. Обычные отклонения показателей составляют ±10÷20% средних значений.

На рис. 5.16 показана зависимость обменной способности Na-катионита Зеролит-225 от количества расходуемой соли и скорости фильтрования по данным фирмы «Зеролит».

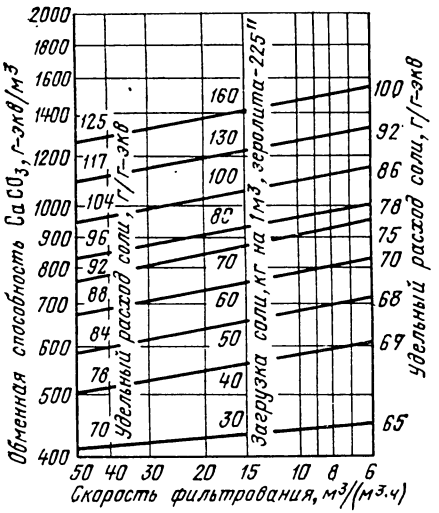


Рис. 5.16. Зависимость удельного расхода соли на регенерацию катионита «Зеролит-225» от количества загружаемой соли, используемой емкости поглощения и скорости фильтрования раствора соли (применима и для КУ-2)

5.6. Некоторые указания по эксплуатации обессоливающих установок

Кроме соблюдения установленного при наладке режима работы водоподготовительного оборудования и поддержания заданных норм качества воды на всех этапах ее обработки, эксплуатационному персоналу приходится проводить ряд дополнительных мероприятий и операций. К ним относится борьба со старением ионитов, т. е. со снижением глубины обессоливания и обескремнивания. Старение высокоосновных анионитов, как известно, вызывается в основном их окислением, а также поглощением ими органических веществ и окислов железа из воды и трудностью удаления их при регенерации анионитов. Стареют также и низкоосновные аниониты, например АН-31, причем он начинает хуже поглощать ион Cl^-. Известны марки высокоосновных анионитов (макропористые и изопористые), из которых поглощенные, органические вещества легко удаляются при обычных регенерациях. На старение некоторых марок анионитов также влияет наличие в воде кислорода. Присутствие в воде больших количеств углекислоты также сказывается на эффекте обескремнивания, кремнеемкость и глубина удаления SiO_3^{2-} уменьшаются. Помимо осуществления возможно более глубокого удаления из обрабатываемой воды органических веществ, свободной углекислоты, кремнекислоты, окислов железа и, в меньшей степени, кислорода, в процессе эксплуатации прибегают к периодическому удалению из анионита поглощенных им органических веществ. Для этого через каждые 3—6 мес после проведения лабораторных опытов обрабатывают сильноосновные аниониты в фильтрах 8—15%-ным раствором NaCl, иногда с примесью 3—4%-ного раствора NaOH. Сначала через фильтр пропускают сверху вниз два-три объема 8—15%-ного раствора соли с температурой 40—50 °С со скоростью 2—4 м/ч, затем сутки настаивают анионит с таким раствором соли и, спустив его из фильтра, снова промывают свежим раствором NaCl, иногда с добавкой 4%-ного раствора NaOH при той же скорости. При второй промывке расходуют три-четыре объема раствора. Отмывку водой ведут до полного обесцвечивания и содержания избыточного Cl^- в сбрасываемой отмывочной воде не более 10—20 мг/л. После этого регенерируют анионит двойным количеством едкого натра или проводят регенерацию дважды с промежуточной отмывкой. После обычной оконча-

тельной отмывки фильтр включают в работу. Первые порции сбрасываемого раствора NaCl и раствора NaCl после настаивания бывают окрашены в темно-красный или темно-бурый цвета. Необходимо отметить, что при такой обработке органические вещества удаляются и обменная способность анионита восстанавливается не полностью, а лишь на 60—85%.

Для предотвращения прогрессирующего слеживания, особенно мягких, пластичных анионитов, и удаления образовавшейся в фильтре анионитной мелочи и скопившейся грязи 1 раз в месяц, а иногда и чаще, производят длительное взрыхление с интенсивностью 1,5—2,2 л/(с·м^2) в течение 1,5—3 ч. После такого взрыхления необходимо удалить с поверхности ионита оставшийся слой мелочи и грязи. Взрыхление и удаление мелочи должно производиться не реже 1 раза в 3—4 мес для борьбы со «стеночным» эффектом.

Во время эксплуатации необходимо систематически наблюдать за целостью дренажных систем и выносом фильтрующих материалов как при фильтровании воды сверху вниз, так и при взрыхлении снизу вверх. Вынос при взрыхлении ионитной мелочи с зернами мельче 0,2 мм является нормальным и положительным явлением, если только в фильтр загружен материал большей крупности (крупнее 0,5 мм). Если же в фильтр загружен мелкий материал, например сульфоуголь с размером частиц 0,25—0,7 мм, то вынос такого материала недопустим. Вынос катионита через нижние дренажи и занос его в анионитные фильтры приводит к резкому снижению глубины обессоливания, обескремнивания воды. Для предотвращения заноса катионита в анионитные фильтры и анионита в резервуары — деаэраторы следует устанавливать ловушки (рис. 5.7).

Периодически перед снятием мелочи с поверхности фильтрующего материала (не реже 1 раза в 3—4 мес) необходимо осматривать состояние фильтрующего материала, проверять его высоту, состояние поверхности, наличие трещин у стенок. Необходимо также проверять состояние устройств внутри фильтра, его арматуры и контрольно-измерительных приборов.

Чтобы уменьшить стеночный эффект (проход воды через щели у стенок фильтра помимо фильтрующего материала), работа фильтров должна происходить со скоростями фильтрования не менее 5—7 м/ч.

Необходимо вести постоянное наблюдение за качеством воды (кислотностью, щелочностью), направляемой в канализацию, не допуская сбрасывания кислой воды. Как кислые, так и сильнощелочные ($5{,}5 > pH > 9{,}5$) воды следует направлять в нейтрализаторы.

Следует производить ежемесячные подсчеты обменной способности ионитов, удельных расходов реагентов и воды на регенерации и промывки (минимальные, максимальные, средние) и регулярно оценивать эффективность работ водоочистительной установки и отдельных ее узлов. Периодически нужно наблюдать за поглощением и выносом органических веществ из ионитов, содержанием кислорода и железа.

Некоторые сорта ионитов в процессе эксплуатации медленно, но сильно набухают и размягчаются, превращаясь в полусклеенную массу, создающую большие сопротивления при фильтровании воды и регенерациях. В отдельных случаях путем выгрузки ионита из фильтра и высушивания его на воздухе до влажности 15—30% удавалось возвратить его (временно) первоначальные свойства (твердость, объем). Загрузка высушенного материала должна осуществляться в 10—15%-ный раствор соли.

5.7. Мероприятия по обеспечению нормальной эксплуатации, устранению недостатков и улучшению работы ионитных установок

Равномерный проход воды через всю площадь сечения фильтра, сокращение «хвостового» периода умягчения-обессоливания, глубина удаления ионов достигаются путем:

применения правильно рассчитанного и выполненного нижнего дренажа (горизонтальность, отсутствие «мертвого» пространства под дренажем, равномерное распределение отверстий-щелей и обеспечение разверки подачи воды при взрыхлении не более ±5%);

загрузки в фильтры достаточно крупного (0,5—1 мм) материала;

удаления мелочи и грязи с поверхности и обрастаний с зерен материала;

своевременного взрыхления материала с необходимой интенсивностью, не допускающей выноса материала из фильтра, промежуточного подрыхления материала при продолжительном периоде фильтрования (фильтры 2-й ступени) для устранения слеживания и трещин, особенно у стенок;

отсутствия взвеси в подаваемой в фильтры воде и растворах;

обеспечения равномерного по площади фильтра подвода воды и растворов как снизу, так и сверху;

промывки ионита, загрязненного окислами железа и алюминия, карбонатом кальция и гидратом окиси магния, соляной кислотой или щелочью для удаления $Al(OH)_3$. Промывку лучше осуществлять в специальном баке-фильтре. Промывку от отложений $CaCO_3 + Mg(OH)_2$ можно производить без выгрузки ионита из фильтра углекислотой, подаваемой в фильтр из баллонов, при взрыхлении водой через нижний дренаж;

недопущения работы с потерей напора в фильтре более 0,1 МПа (включая сопротивление распределительного устройства и дренажа);

выгрузки и подсушивания на воздухе набухшего и размягчившегося ионита;

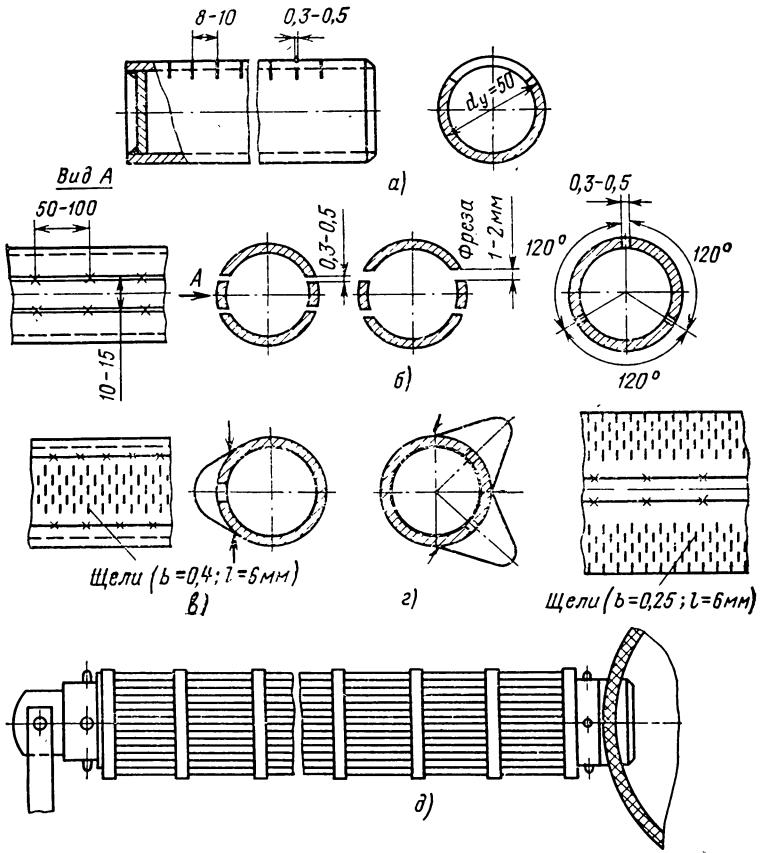


Рис. 5.17. Щелевые дренажи ионитных фильтров:
а — с щелями, прорезанными электроискровым способом в трубах из нержавеющей стали; *б* — с тремя и четырьмя продольными щелями, прорезанными фрезой и сваренными точечной сваркой; *в* — желобковый дренаж для нижних дренажей; *г* — то же для средних подповерхностных дренажей из нержавеющей стали; *д* — сборные пластмассовые ответвления для регенераторов

фильтрования воды и растворов со скоростью не менее 5 м/ч.

При уменьшении высоты слоя фильтрующего материала более чем на 5—10% необходима подгрузка свежего (или работавшего в других фильтрах) материала такого же качества, как и загруженный.

Не следует смешивать в одном фильтре мелкие сорта ионита (мельче 0,3 мм) с крупными (крупнее 0,5 мм).

Целесообразна постепенная замена колпачковых дренажных систем трубчато-щелевыми или желобково-щелевыми из нержавеющих труб (рис. 5.17,*а*, *б* и *в*). Прорезка поперечных щелей в трубах производится электроискровым способом (рис. 5.17,*а*), а прорезка трех-четырех продольных щелей фрезой с последующей сваркой продольных кусков труб с дистанционированием щелей фольгой 0,25—0,4 мм (рис. 5.17,*б*).

На магистралях обработанной воды целесообразна установка ловушек УралВТИ — Пермьэнерго — ТКЗ для улавливания зерен фильтрующего материала в случае нарушения плотности дренажной системы (рис. 5.7).

У каждого фильтра должны быть открытые приямки, а для каждой группы фильтров — открытые каналы и подземные отстойники для улавливания дорогих и дефицитных фильтрующих материалов, вынесенных из фильтров при взрыхлениях — отмывках (рис. 5.8). Кроме того, следует оснащать фильтры арматурой с механическими, электрическими, пневматическими или гидравлическими приводами с дистанционным ручным или автоматизированным управлением.

Целесообразны также:

программная автоматизация регенераций ионитных фильтров при числе регенераций более трех в смену;

оснащение всех ионитных установок трубопроводами и приемными баками (резервными фильтрами) для гидроперегрузки ионитов при ремонтах-ревизиях (схема гидроперегрузки — см. рис. 5.11);

применение электрометрических (кондутометрических) указателей концентрации регенерационных растворов (соли, кислоты, щелочи);

применение на выходе обработанной воды из ВПУ электрометрических сигнализаторов (солемеров) проскока регенерационных растворов в обработанную воду со световым и звуковым сигналами;

подогрев регенерационных растворов до оптимальной температуры (30—40 °С) (повышение и снижение температуры растворов и воды не более чем на 1,5 °С в минуту);

замена одноступенчатого ионирования двухступенчатым с постоянными фильтрами 1-й и 2-й ступеней;

умягчение щелочами и осветление (отстаивание, хуже фильтрование) насыщенных растворов соли;

применение для растворения соли продувочной воды котлов, испарителей или отмывочных вод анионитных фильтров (условия: слабая розовая окраска по фенолфталеину насыщенного раствора соли и концентрация в нем сульфатов не более 5000 мг/л);

применение при регенерации Na-катионита сначала слабых 2—3%, а затем более крепких 5—8% растворов соли с настаиванием и промежуточной отмывкой;

вторичное использование второй части регенерационных растворов для регенераций фильтров как предыдущей, так и той же ступени ионирования, прокладка специальных трубопроводов, установка баков;

возврат в баки предочищенной или полуобработанной воды всех отмывочных вод ионитных фильтров с солесодержанием меньшим, чем солесодержание исходной воды;

применение pH-метров для регулирования смешения H- и Na-катионированной воды перед декарбонизаторами;

полное использование обменной способности H-катионитных фильтров в схемах параллельного H—Na-катионирования (до выдачи H-фильтрами 1-й ступени щелочной воды с жесткостью 0,5—2 мг-экв/л);

замена «голодного» H-катионирования обычным с выдачей кислой воды при регулировании щелочности путем добавки исходной воды перед декарбонизатором в случаях невозможности устранения высокой или непроизвольно колеблющейся щелочности воды;

улучшение удаления CO_2 из H- или H—Na-катионированной воды, в частности увеличением подачи воздуха, заменой дощатой насадки декарбонизаторов кольцами Рашига, применением вакуумной деаэрации, повышением температуры воды (не ниже 25 °С) и воздуха, использованием декарбонизаторов И. Г. Комарчева;

подщелачивание декарбонизованной H—Na-катионированной воды аммиаком или едким натром до pH=8,3÷8,5 для связывания свободной углекислоты и понижения коррозионной агрессивности воды (концентрация NH_3 не более 3—4 мг/л);

защита оборудования, особенно H-катионитной и анионитной части, от коррозии, применение полиэтиленовых труб (контроль содержания Fe в обработанной воде);

недопущение сброса в канализацию кислых сбросных вод H-катионитных фильтров, направление всех кислых вод в специальный буферный или предвключенный H-катионитный фильтр или, хуже, в нейтрализаторы для нейтрализации их известью, известковым шламом из осветлителей, отработавшими щелочными растворами после анионитных фильтров (которые нельзя использовать иным образом, см. рис. 5.10);

аэрация в каналах нейтральных сбросных вод после H-катионитных установок для снижения содержания в них CO_2 (с 250—300 до 10—20 мг/л) и понижения их агрессивности.

С целью уменьшения нагрузки ионитных установок по жесткости и кремнекислоте, улучшения удаления жесткости и SiO_3^{2-} целесообразно на предочистке вводить в обрабатываемую воду перед осветлителями Na_2CO_3, $MgSO_4$, MgO.

С целью уменьшения загрязнения высокоосновных анионитов органическими загрязнениями необходимо улучшать коагуляцию воды, при-

меняя в случае необходимости предварительное хлорирование, фильтрование через активированный уголь, а также специальные марки макро- и изопористых анионитов.

Для удаления органических загрязнений из анионитов их следует обрабатывать 12—15%-ным раствором NaCl с прибавлением NaOH, Cl_2– через каждые 3—6 мес.

Перед задвижкой на линии умягченной, обессоленной воды у фильтра для предотвращения применения умягченной, обессоленной воды для взрыхления ионита должен быть установлен обратный клапан.

5.8. Новые режимы регенераций

В связи с усилением в последние годы борьбы с загрязнением окружающей среды, в том числе сбросными водами и твердыми отходами ТЭС и ВПУ, возросла необходимость сокращения расхода соли на регенерацию Na-катионитных фильтров.

Первые успешные попытки в этом направлении были сделаны в 1950—1955 гг. П. И. Зуевым на ВПУ ЦЭС Новотульского металлургического завода [7—9], предложившим повторное использование второй части отработавшего раствора соли для предварительной регенерации следующего фильтра. Взрыхления при этом должны быть редкими. Это позволило снизить удельный расход соли с 3,5—4-кратного до 2-кратного (100—120 г/г-экв). Затем В. С. Гочев и М. Т. Молчадский, а также Г. К. Фейзиев предложили последовательную, одновременную регенерацию двух фильтров, что позволяет сократить расход соли на 25% и более.

Центроэнергочермет, В. А. Апасов, Г. К. Фейзиев предложили противоточные и смешанные регенерации в обычных фильтрах с повторным использованием второй части отработавшего раствора. Центроэнергочермет, кроме того, предложил расчленить регенерацию Na-катионитного фильтра на отдельные операции по объемам пропускаемого раствора и удалять отработавший раствор соли из водяной подушки через специальное сборное устройство, расположенное над слоем катионита.

Исследования Центроэнергочермета, опыты В. А. Апасова, Г. К. Фейзиева и др. показали, что при подаче регенерационных растворов снизу со скоростью 3,5—4,0 м/ч, т. е. на 20—30% ниже обычной 5 м/ч, применяемой при подаче растворов сверху, слой сульфоугля лежит неподвижно и хорошо регенерируется. Это позволяет при противотоке избежать применения подповерхностного дренажа и организовать противоточные регенерации в обычных фильтрах, т. е. на всех ВПУ.

Схемы регенераций по этим методам приводятся ниже:

по П. И. Зуеву: подача отработавшего раствора соли сверху, подача свежего раствора сверху, отмывка сверху со сбросом I части отработавшего раствора в канализацию, сбором II части в сборный бак

и окончательной отмывкой в канализацию. Взрыхление производится через четыре-пять регенераций и реже, для чего необходимо полное отсутствие взвеси в свежем растворе соли и в умягчаемой воде (рис. 5.18);

по Гочеву и Молчадскому: взрыхление каждого фильтра в отдельности, подача свежего раствора соли сверху вниз последовательно че-

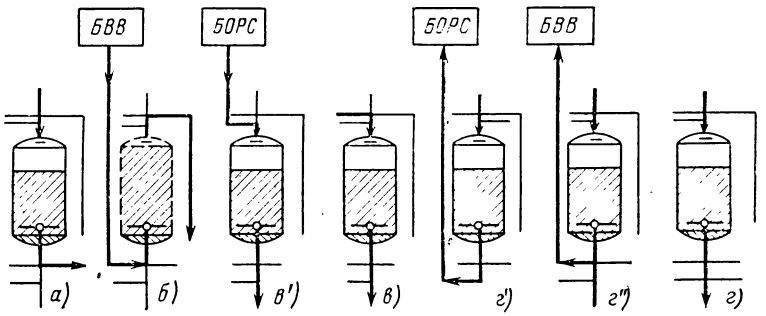


Рис. 5.18. Схема повторного использования отработавшего раствора соли (по П. И. Зуеву):

в' — подача ОРС сверху; *г'* — отмывка — вытеснение ОРС в бак; *г"* — отмывка в бак взрыхляющей воды; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.1—1.3 и 5.1

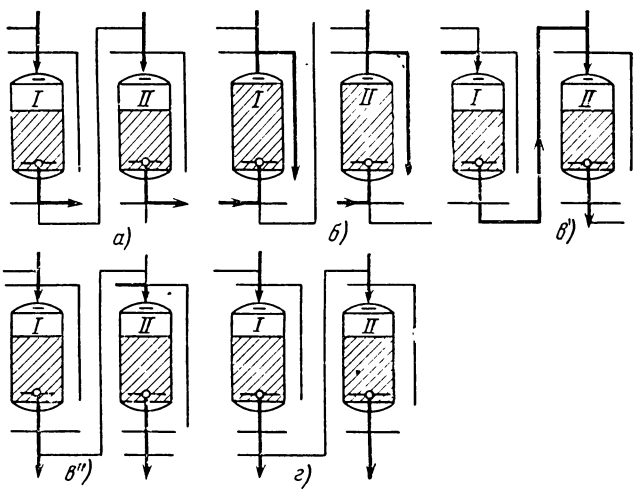


Рис. 5.19. Схема групповой сдвоенной регенерации ионитных фильтров (по Гочеву и Молчадскому):

в' — сдвоенная регенерация обоих фильтров (100% соли, требуемой для одного фильтра); *в"* — дорегенерация второго фильтра (50% соли, необходимой для одного фильтра); суммарный расход соли на два фильтра составляет 75% нормы; остальные обозначения те же, что и на рис. 5.1 и 5.18

рез оба фильтра, отмывка, вытеснение соленого раствора из обоих фильтров также последовательно, как и при подаче раствора соли, дополнительная регенерация второго по ходу регенерации фильтра половинным количеством раствора соли (минуя первый фильтр), окончательная последовательная отмывка обоих фильтров и включение их в параллельную работу (рис. 5.19). Первая порция соли равна коли-

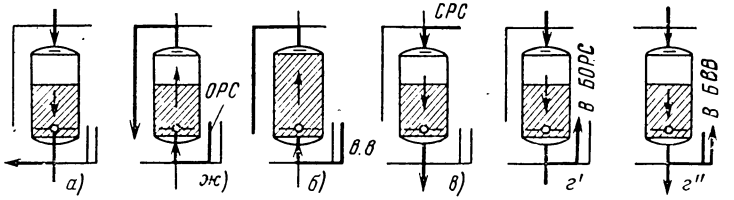


Рис. 5.20. Комбинированная схема Центроэнергочермета (пропуск ОРС снизу с $w=3$ м/ч)

Обозначения те же, что и на рис. 5.1, 5.18, 5.19

честву, необходимому для обычной регенерации одного фильтра, т. е. с 3,5—4-кратным избытком против стехиометрического, вторая (для второго фильтра) — в 2 раза меньше. Возможна подача и второй порции соли также последовательно через первый фильтр по ходу растворов. Экономия соли составляет 25%;

комбинированный метод Центроэнергочермета заключается в том, что перед обычной регенерацией через фильтр снизу вверх со скоростью 3,0—4 м/ч пропускают отработавший раствор соли от предыдущей регенерации (II часть), затем производится обычное взрыхление, отмывка снизу отмывочной водой от предыдущей регенерации со скоростью 10—12 м/ч, после чего следует подача в фильтр свежего раствора соли сверху, как обычно со сбросом в канализацию первых порций пресной воды из слоя катионита, далее следует отмывка сверху со сбором отработавшего раствора соли в бак для предварительной регенерации следующего фильтра, а отмывочной воды — в другой бак для взрыхления

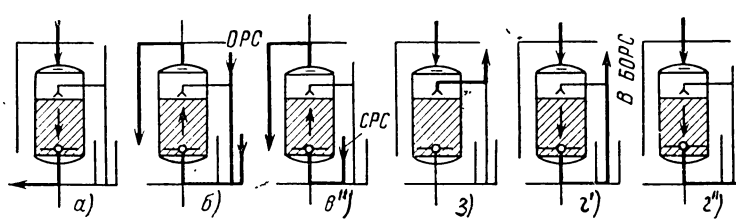


Рис. 5.21. Противоточная схема Центроэнергочермета

з — вытеснение ОРС из водяной подушки в бак; остальные обозначения те же, что и на рис. 5.1, 5.18, 5.19

следующего фильтра. После заполнения обоих баков, если необходимо, производится окончательная отмывка в канализацию, а если фильтр уже отмыли от жесткости и хлоридов, его включают в работу (рис. 5.20).

Противоточный способ Центроэнергочермета: подача отработавшего раствора соли снизу вверх со сбросом дважды отработавшего раствора из верхней части водяной подушки, подача снизу свежего раствора соли также со сбросом отработавшего раствора в канализацию из верхней части водяной подушки, вытеснение раствора соли из водяной подушки в бак для повторного использования через специальное сборное устройство, устанавливаемое над слоем катионита, чтобы избежать пропуска дважды отработавшего жесткого раствора через уже отрегенерированный катионит. Затем следует вытеснение однократно отработавшего раствора соли из слоя катионита в сборный бак для повторного использования и отмывка сначала в бак для отмывочной воды, а затем в канализацию. Отмывка должна производиться сначала отмывочной водой из бака, а затем исходной умягчаемой водой (рис. 5.21).

При осуществлении всех этих схем необходимо полное осветление исходной воды и свежего раствора соли (прозрачность их более 40 см по шрифту).

Осветление может быть достигнуто только путем отстаивания насыщенного раствора соли (иногда с коагуляцией, флокуляцией, электрокоагуляцией).

Интересными и перспективными являются практически бессточные (кроме сброса продувочной воды паровых котлов) схемы подготовки воды, предложенные Г. К. Фейзиевым. Особенностью и новизной этих схем являются: содоизвестковое умягчение смеси исходной воды с отработавшими растворами соли и кислоты и отмывочной водой после регенерации H- или Na-катионитных фильтров с удалением всей жесткости в твердом виде $CaCO_3 + Mg(OH)_2$; удаление растворимых солей, внесенных с исходной водой и реагентами, происходит с продувочной водой паровых котлов или с утечками сетевой воды; дистилляция Na-катионированной воды в испарителях-паропреобразователях с использованием концентрата после подкисления HCl для регенерации Na-катионитных фильтров.

При осуществлении этих схем общее солесодержание содоизвесткованной и Na-катионированной воды по сравнению только с Na-катионированной водой практически не увеличивается, а часто даже и уменьшается, но вместо $NaHCO_3$ (более 1 мг-экв/л) в Na-катионированной воде присутствует NaCl.

Содержание NaCl в содоизвесткованной и Na-катионированной воде увеличивается на 70—75 мг/л.

При наличии в схеме испарителей практически исчезает потребность в свежей соли для регенерации Na-катионита, так как затра-

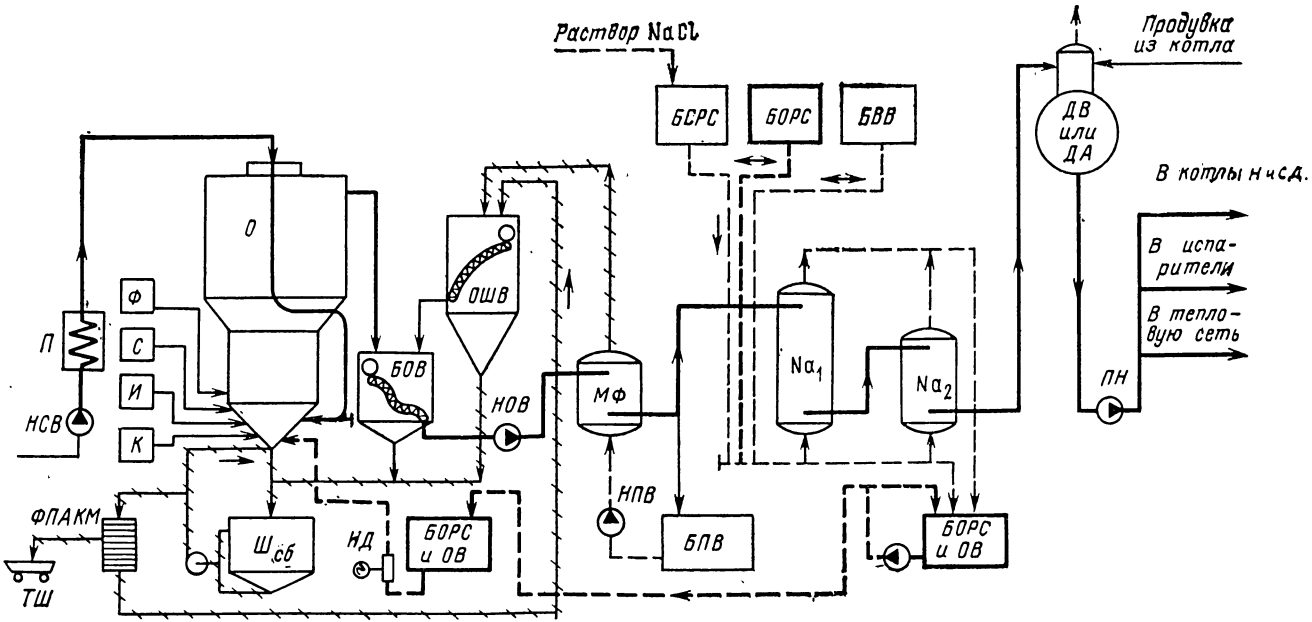


Рис. 5.22. Схема бесточной водоподготовительной установки для подготовки добавочной воды для питания паровых котлов НД и СД и подпитки теплосети (по Г. К. Фейзиеву):

П — подогреватель; *ОШВ* — отстойник шламовой воды; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.1—1.3

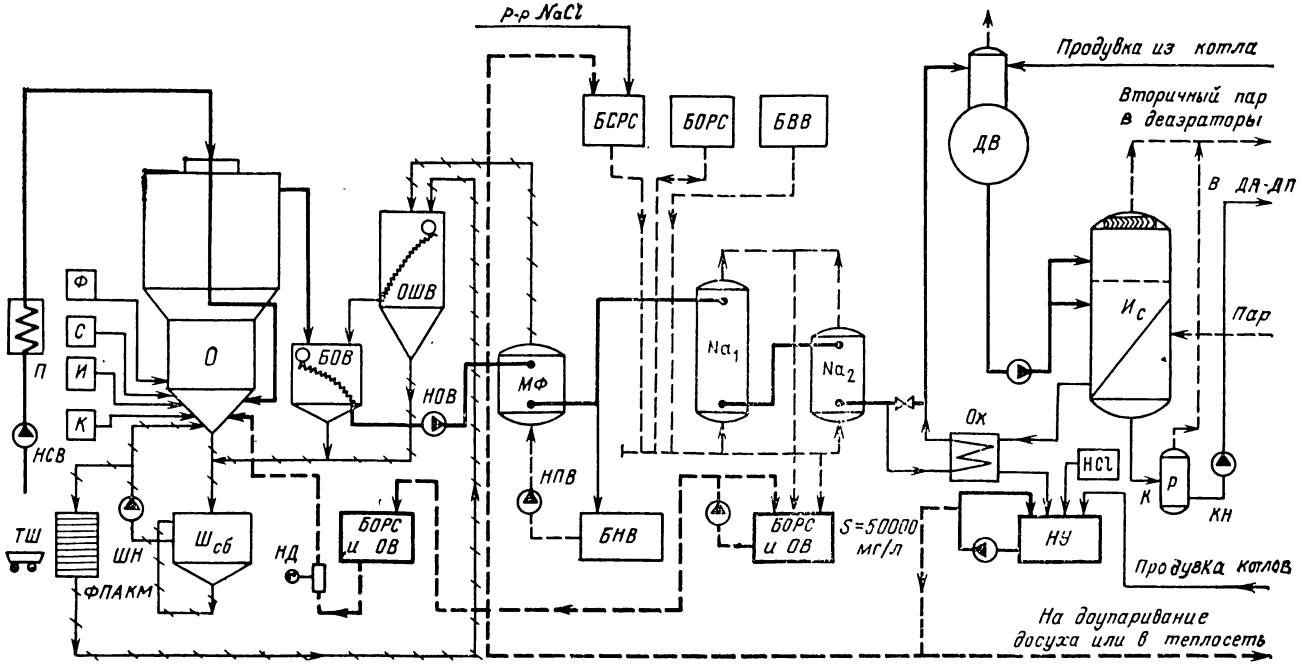


Рис. 5.23. Схема бессточной водоподготовительной установки с испарителями для подготовки дистиллята для питания паровых котлов В и СВ давления (по Г. К. Фейзиеву):

Ис — испарители; *П* — подогреватель; *ДВ* — вакуумный или атмосферный деаэратор

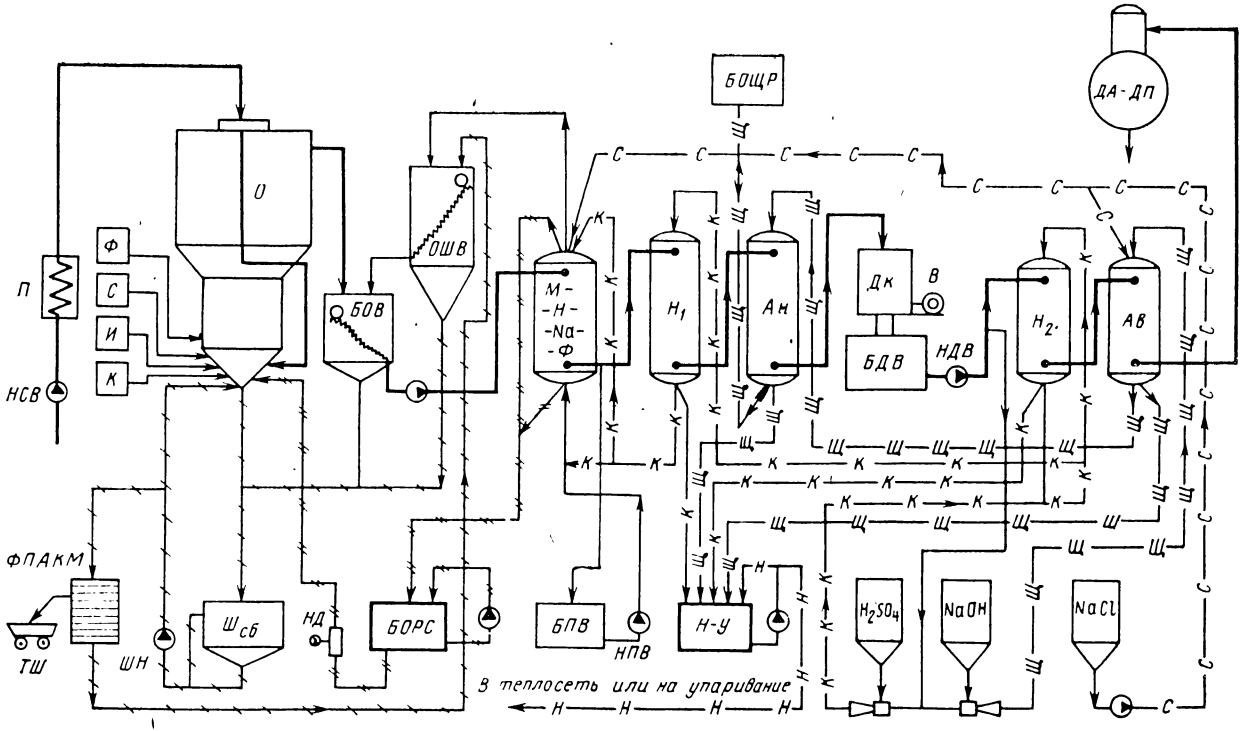


Рис. 5.24. Схема бессточной ионитной обессоливающей установки для паровых котлов ВД и СВД:
М — и Na — Н(Na)-катионитные фильтры, исполняющие функции и механического фильтра; $Б_{уср}$ — бак-усреднитель для сточных вод обессоливающих фильтров; остальные обозначения те же, что и на рис. 1.1—1.3, 5.22, 5.23

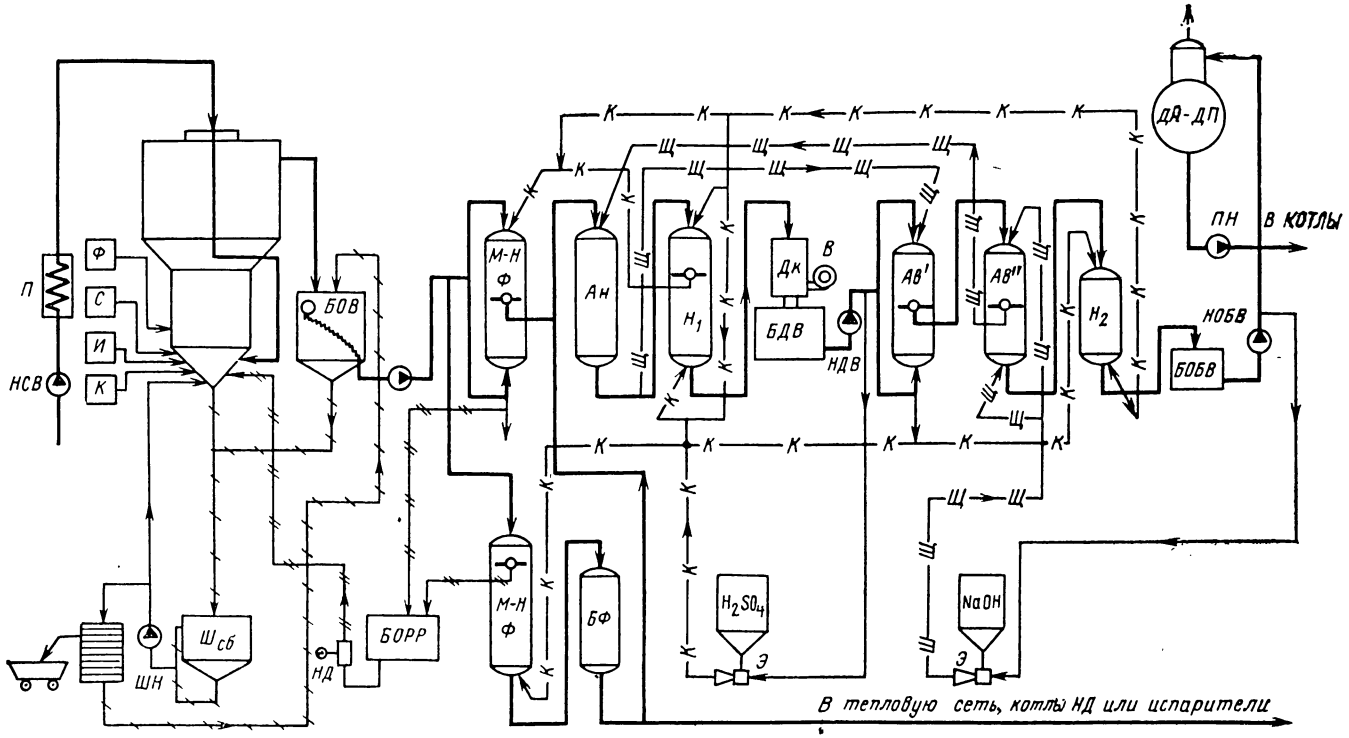


Рис. 5.25. Схема обессоливания добавочной воды паровых котлов ВД, СВД и СКД

БФ — барьерный нерегенерируемый катионитный фильтр; остальные обозначения те же, что и на приведенных выше рисунках

ченная соль возвращается в цикл вместе с концентратом испарителей.

Подготовка подпиточной воды для теплосети по схеме Фейзиева наименее сложна (рис. 5.22). Эти схемы приведены на рис. 5.22—5.25. Основной сложностью при их осуществлении является необходимость усреднения сбросных вод после Na-катионитных фильтров и равномерная подача их в осветлители, чтобы качество смеси их с исходной водой было постоянным и не требовалось частого изменения дозировки реагентов.

5.9. Некоторые расчетные показатели работы ионитных установок по данным каталога «Водоподготовительное оборудование» НИИЭинформэнергомаш, 1979 г. (табл. 5.4—5.7)

Общие показатели

Высота слоя ионита в фильтрах 1-й ступени равна 2—2,5 м, 2-й ступени 1,5 м, блочных («цепочек») не менее 0,8 м, противоточных до 3,5—4,0 м.

Крепость регенерационных растворов NaCl *для загруженных сульфоуглем или КУ-1 фильтров* 1-й ступени составляет 3—5%; 2-й ступени 5—8%; для загруженных катионитом КУ-2 фильтров 1-й ступени 5—8%, 2-й ступени 8—10%. Крепость растворов H_2SO_4 для всех фильтров 1,5—2,0%, иногда для фильтров с КУ-2 2-й ступени в конце пропуска 3—4%.

Крепость растворов NaOH для загруженных анионитом АН-31 фильтров 1-й ступени равна 2—4%, для загруженных анионитом АВ-17 фильтров всех ступеней 3,5—4,5%.

Скорость подачи регенерационных растворов сверху NaCl 4—5 м/ч; H_2SO_4 10 м/ч; NaOH 4—5 м/ч.

Расход реагентов, кг на 1 м³ ионита: NaCl при регенерации фильтров 1-й и 2-й ступеней, загруженных сульфоуглем или катионитом КУ-1, составляет 40—50, катионитом КУ-2 80—100; H_2SO_4 при регенерации фильтров 1-й и 2-й ступеней, загруженных сульфоуглем и катионитом КУ-1, в зависимости от схемы обработки равен 15—30, при катионите КУ-2 в фильтрах 2-й ступени 30—50 *; NaOH при регенерации фильтров 1-й ступени, загруженных анионитом АН-31, составляет 45—50, загруженных анионитом АВ-17, при частичном обессоливании, обескремнивании 80—100, при регенерации фильтров 2-ой ступени, загруженных анионитом АВ-17, 80—120.

---

* Фильтры 1-й ступени регенерируются отработавшим раствором фильтров 2-й ступени.

Таблица 5.4. **Показатели, зависящие от сорта ионита** (см. табл. 5.1, 5.2)

Показатель	Сульфоуголь		Катионит		Анионит	
	мелкий	крупный	КУ-1	КУ-2	АН-31	АВ-17
Высота водяной подушки от высоты слоя не менее, %	50	50	50	50	100	100
Взрыхление						
Интенсивность, м/ч	10—12	12—15	14—16	14—16	12—14	12—14
Продолжительность, мин	10—15	10—15	10—15	10—15	20—30	10—15
					Периодически до 3 ч	
Объем воды, расходуемой для взрыхления, $м^3/м^3$	1,5—3,0	2,0—4,0	2,2—4,0	2,2—4,0	4,0—7,0	2,0—3,5
Отмывка						
Интенсивность, м/ч:						
при Na-катионировании	5—10	5—10	5—10	5—10	—	—
при H-катионировании не менее	10	10	10	10	—	—
при анионировании, 1-й этап	—	—	—	—	4—5	4—5
то же, 2-й этап	—	—	—	—	10—12	10—12
Объем регенерационного раствора при указанной выше крепости, $м^3/м^3$	1—1,5 / 1—2	1—1,5 / 1—2	1—1,5 / 1—2	1,5—2,0 / 2—3	1,8 / —	2,5 / —
Объем отмывочной воды не более, $м^3/м^3$	4/5	4/5	4/5	5/6	20	12
Общий расход воды на регенерацию, $м^3/м^3$:						
при повторном использовании отработавших растворов и отмывочной воды	5,0 / 4,0	5,0 / 4,0	5,0 / 4,0	6,0 / 8,0	20—25	18—20
без использования	5,8 / 7,8	5,8 / 7,8	5,8 / 7,8	6,8 / 8,8	25—30	20—25
Общая продолжительность регенерации, ч	При Na-катионировании 2 ч, при H-катионировании 2,5 ч				При обессоливании до 5—6 ч	

Примечание. Числитель — для фильтров 1-й ступени, знаменатель — для фильтров 2-й ступени.

Таблица 5.5. **Расчетные показатели работы ионных установок, зависящие от жесткости и минерализованности обрабатываемой воды (для сульфоугля) по каталогу НИИЭИинформэнергомаш, 1979 г.**

Показатель	Жесткость (общая/карбонатная), мг-экв/л				
	2,5/2,0	5,5/4,5	9,0/5	15/6	20/7
	Общее солесодержание, мг-экв/л (мг/л)				
	<3 (150—200)	<6 (300—400)	<10 (500—700)	<20 (700—1200)	<30 (1200—2000)
Обменная способность, г-экв/м³ на 1 м набухшего ионита:					
при Na-катионировании:					
фильтров 1-й ступени	310	310	300	260	240
фильтров 2-й ступени *	150—180*	150—180*	140—170*	125—150*	125—150*
при H-катионировании:					
«голодные» регенерации	300	300	290	280	270
фильтров 1-й ступени	280	270	—	—	—
фильтров 2-й ступени *	125—200*	125—200	125--200	110—140	100—120
Удельные расходы на регенерацию, г/г-экв:					
Na-фильтров 100 %-ной NaCl					
фильтров 1-й ступени **	110	120	130	140	150
фильтров 2-й ступени	250	300	300	400	500
H-фильтров 100 %-ной H_2SO_4:					
фильтров с «голодной» регенерацией ***	49	49	49	49	49
фильтров 1-й ступени	75	160	225	—	—
фильтров 2-й ступени **	70	70	70	70	70

Продолжение табл. 5.5

Показатель	Жесткость (общая/карбонатная), мг-экв/л				
	2,5/2,0	5,5/4,5	9,0/5	15/6	20/7
	Общее солесодержание, мг-экв/л (мг/л)				
	<3 (150—200)	<6 (300—400)	<10 (500—700)	<20 (700—1200)	<30 (1200—2000)
Скорость фильтрования нормально-максимальная (последняя кратковременно), м/ч:					
при Na-катионировании:					
фильтров 1-й ступени	25—50	25—40	15—30	10—20	5—10
фильтров 2-й ступени	40—80	35—70	30—60	25—50	20—40
при «голодном» Н-катионировании:	25—50	20—40	15—30	10—20	5—10
фильтров 1-й ступени	20—40	15—30	—	—	—
фильтров 2-й ступени	30—60	30—60	30—60	30—60	30—60
Средняя остаточная жесткость, мкг-экв/л (см. табл. 5.3), после фильтров:					
1-й ступени	10	20	30	50	50
2-й ступени	2—4	3—5	5—7	10	10

* Обменная способность используется на 50—60% задолго до проскока.

** При повторном использовании раствора и противотоке.

*** На удаленную карбонатную жесткость. Продолжительность периода умягчения составляет не менее 6—8 ч. Повышенная обменная способность сульфоугля по табл. 5.5 по сравнению с данными табл. 5.1 объясняется частичным использованием хвостовой обменной способности катионита.

Таблица 5.6. **Сопротивление фильтрованию (потеря напора в фильтрах, загруженных сульфоуглем)**

Скорость фильтрования, м/ч	Сопротивление в фильтрах, м вод. ст.		
	1-й ступени, $H_{слоя} = 2 \div 2{,}5$ м		2-й ступени, $H_{слоя} = 1{,}5$ м
	Мелкий сульфоуголь	Крупный сульфоуголь	Крупный сульфоуголь
60—80	—	15	10
50	15—18	9—10	7—8
40	13—14	8—9	6—7
30	10—11	6—7	5—6
20	8—9	5—6	4—5
10	6—7	4—5	3—4
5	5—6	3—4	3

Таблица 5.7. **Расходы ионитов на досыпку и замену по нормативам Минэнерго**

Ионит и условия его работы	Годовой расход ионита, %		
	на досыпку вследствие уноса и истирания	на замену с учетом срока службы**	общий
Сульфоуголь:			
в фильтрах ВПУ	20/15*	—	20/15*
в механических фильтрах БОУ для конденсата	—	100	100
Катионит КУ-2-8:			
в фильтрах ВПУ	15/10*	—	15/10*
в фильтрах для обессоливания горячего производственного конденсата	20/15*	—	20/15*
в ФСД БОУ для турбинного конденсата	25/20*	—	25/20*
Анионит АН-31 в фильтрах ВПУ:			
при удовлетворительной осмотической стабильности	12/6*	20	32/26*
при пониженной осмотической стабильности	До 30	—	До 30
Анионит АВ-17-8:			
в фильтрах ВПУ	13/6*	18	31/24*
в ФСД БОУ для турбинного конденсата	20/10*	28	48/38*

* Числитель — в первый год работы ионита, знаменатель—в последующие годы.

** Сроки службы анионитов: АН-31 — 5 лет, пропускная способность между полными заменами материала 250 000 м³/м³; АВ-17-8 — в фильтрах ВПУ 5,5 года, пропускная способность 367 000 м³/м³; АВ-17-8 — в фильтрах БОУ 3,5 года, пропускная способность 2 900 000 м³/м³.

Глава шестая

СОКРАЩЕНИЕ ПОТЕРЬ, ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ, СБОР, ОЧИСТКА И ВОЗВРАТ КОНДЕНСАТА

6.1. Общие положения

Конденсаты являются основной и наиболее ценной составной частью питательной воды котлов любых давлений и производительности, но особенно высокого, сверхвысокого и сверхкритического давлений, в первую очередь, вследствие отсутствия в них солей и кремнекислоты, а также благодаря высокой температуре некоторых из них.

Конденсаты можно разделить на следующие группы в порядке возрастания их загрязненности:

турбинные конденсаты температурой 25—45 °С, наиболее чистые, содержат лишь газы NH_3, CO_2 и следы O_2, незначительные количества продуктов коррозии (Fe, Cu, Zn). При подсосах охлаждающей воды солесодержание и жесткость резко возрастают, при подсосах воздуха увеличивается содержание кислорода;

конденсаты пара подогревателей (ПНД, ПВД) имеют высокую температуру (50—100 °С и более), содержат Fe, Cu, Zn в количествах больших, чем турбинные конденсаты, за счет продолжающейся и усиливающейся коррозии (более высокая температура, отсутствие отсоса газов). Солесодержание и жесткость их не повышаются. Очистить их от продуктов коррозии обычно сложно, главным образом вследствие их высокой температуры;

конденсаты пара подогревателей сетевой воды (бойлерные) имеют температуру обычно более 80 °С. Они более коррозионно-агрессивны вследствие более высокой температуры и особенно при отсутствии организованного отсоса неконденсирующихся газов (CO_2, O_2 и др.). Помимо высокого содержания этих газов конденсат бойлеров может содержать большое количество продуктов коррозии (Fe, Cu, Zn), а при неплотностях трубных систем еще и примеси сетевой воды (иногда в значительном количестве).

При мягкой сетевой воде жесткость конденсата не повышается;

конденсаты подогревателей сырой или химочищенной воды имеют различную температуру (50—100 °С), содержат Fe, Cu, Zn, а при неплотностях трубных систем — и соли подогреваемой воды;

дренажные конденсаты, в том числе конденсат эжекторов, от охладителей выпара деаэраторов, от паровых систем отопления и калориферов станции, пара от расширителей непрерывной продувки, от продувки паропроводов имеют температуры до 100 °С и более. В этих конденсатах особенно высоким может быть содержание Fe в результате коррозии стальных (дренажных) трубопроводов. Содержание Cu и Zn обычно невелико. При неплотностях могут попадать примеси сырой (химочищенной) воды. Содержание газов CO_2, O_2, N_2 невелико, так как они удаляются с выпаром из баков;

внешние производственные конденсаты от отопления имеют температуру 80—100 °С, близки по качеству к дренажным;

внешние производственные конденсаты от технологических потребителей пара могут содержать, кроме Fe, Cu, Zn, CO_2, O_2, при подсосах еще и масла, нефтепродукты, смолы и другие химические продукты, нагреваемые паром. В особенности опасны примеси веществ, подвергающихся в котловой воде гидролитическому разложению с образованием сильных минеральных кислот, например примеси дихлорэтана CH_2ClCH_2Cl, хлороформа $CHCl_3$, четыреххлористого углерода CCl_4, нитробензола $C_6H_5NO_2$ и т. п. Большими «залповыми» бывают попадания этих продуктов при разрыве греющих элементов, при конденсации греющего пара и при его давлении, меньшем, чем давление обогреваемой среды — жидкости. В эту же группу входит и конденсат подогревателей мазута;

конденсат паровых машин, молотов, прессов всегда содержит большие количества масел (нефтепродуктов) и сальниковую набивку.

Сокращение потерь конденсата, предотвращение загрязнения и его раннее обнаружение, сбор, возврат на ТЭС и в случае надобности очистка являются основными задачами персонала турбинного и химического цехов ТЭС, в том числе:

1) сокращение расхода пара для отопления и производственных нужд потребителей пара — замена пара горячей водой;

2) сбор конденсата от всех поверхностных паровых подогревателей как самой ТЭС, так и внешних потребителей. Поддержание поверхности нагрева их, а также конденсатоотводчиков, охладителей вторичного пара, сборных баков, насосов и конденсатопроводов в исправном состоянии;

3) борьба с коррозией конденсатопроводов;

4) утилизация выпара конденсата, сбор всех станционных (дренажных конденсатов), недопущение потерь теплоты при сборе и перекачке горячего конденсата;

5) предотвращение загрязнения конденсата путем: а) уменьшения содержания в питательной воде и паре углекислоты, удаления углекислоты из конденсата паровых подогревателей путем барботажа конденсата паром и рационально сконструированной вентиляции паровых объемов подогревателей, а также связыванием углекислоты в конденсате аммиаком и другими нейтрализующими аминами; б) предотвращения попадания кислорода в конденсат (закрытые системы сбора конденсата под давлением выше атмосферного, непрерывное откачивание производственных конденсатов); в) предотвращения попадания в конденсат веществ из среды, нагреваемой паром (жесткая и необессоленная вода, производственные растворы, мазут, нефть, продукты коксования и др.), — борьба с подсосами охлаждающей воды в конденсаторах; г) предотвращения измельчения попавших в конденсат жидких загрязнений (смол, масел, бензола) вторичным или пролетным паром из-за плохой работы конденсатоотводчиков; д) применения у потребителей пара сигнализаторов загрязнения конденсата с устройствами, немедленно и автоматически отключающими подачу загрязненного конденсата в сборные баки ТЭС.

Очистка загрязненного конденсата от механических загрязнений, смол, масел и др. производится у потребителей, а от остатков масел, нефтепродуктов, окислов железа, меди, цинка, жесткости и солей — на водоподготовительной установке или в турбинном цехе ТЭС перед деаэраторами. Транспортировка внешних горячих, иногда замасленных конденсатов должна производиться по двум теплоизолированным трубопроводам: по одному для условно «чистого» конденсата, который может загрязняться только окислами железа, меди, цинка и жесткой водой, по другому для «грязного» конденсата, конденсата, лишь предварительно очищенного от смол, масел и т. д. или иногда загрязняемого ими.

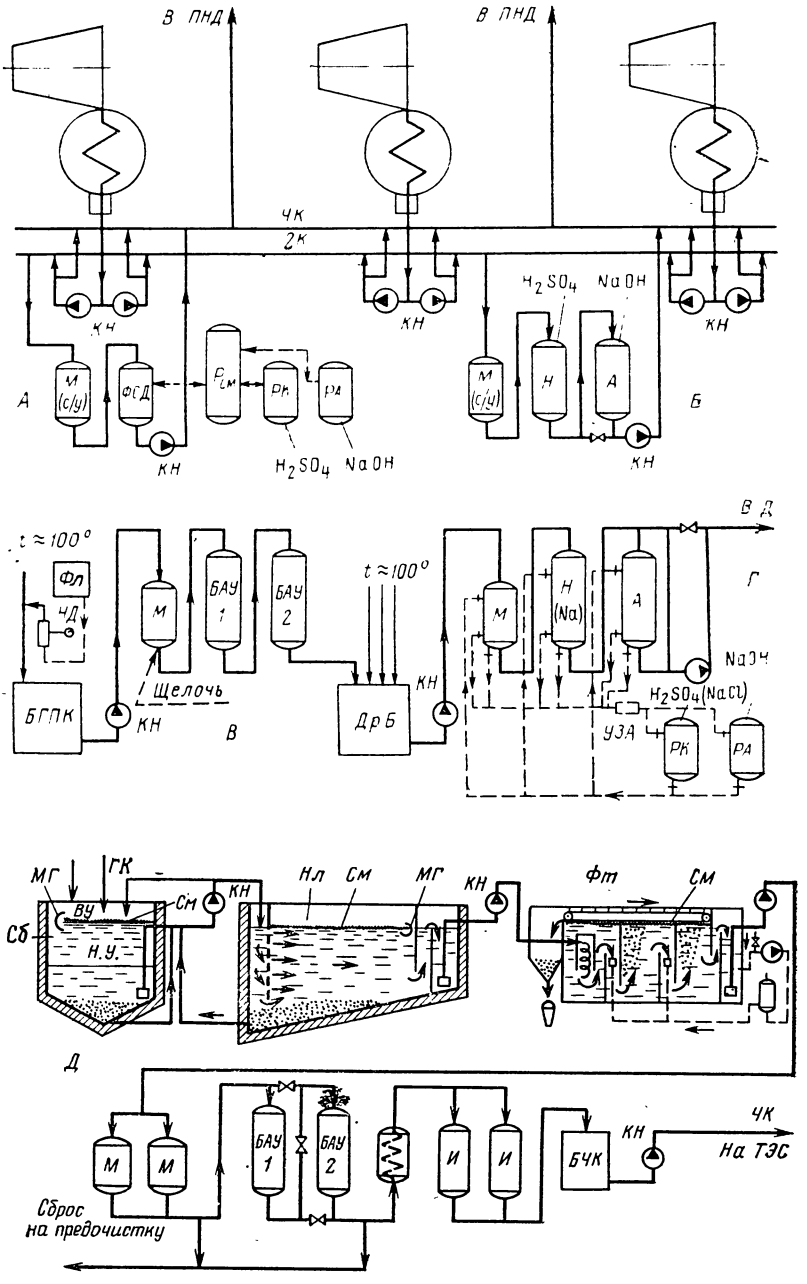
Горячий конденсат, прошедший очистку на ХВО ТЭЦ самостоятельно или с химически обработанной водой, должен деаэрироваться на ХВО и подаваться на ТЭС по трубопроводам, защищенным от коррозии во избежание нового обогащения его кислородом и продуктами коррозии и теплоизолированным.

Конденсаты дренажей, эжекторов, выпара деаэраторов и «чистый» производственный конденсат необходимо постоянно обезжелезивать на электромагнитных, магнетитовых или зернистых фильтрах и умягчить на Na-катионитных фильтрах непосредственно перед деаэраторами. Желательно фильтровать вместе с ними также и горячий конденсат бойлеров.

6.2. Турбинные конденсаты

Необходимо раннее обнаружение и быстрая ликвидация подсосов охлаждающей воды и воздуха в вакуумном участке конденсатного тракта конденсационных установок. На ТЭС с барабанными котлами осветлительные и ионитные фильтры для конденсата турбин устанавливаются только при солесодержании охлаждающей воды более 5000 мг/л, что, по нашему мнению, недостаточно. Следовало бы на всех ТЭС ВД иметь хотя бы одну большую обессоливающую установку (КОУ), рассчитанную на пропуск 100% конденсата одного самого большого турбоагрегата и состоящую из осветлительного фильтра (антрацитного, сульфоугольного, магнетитового, электромагнитного) и одного ионитного ФСД с внутренней или внешней регенерацией или двух фильтров — Н-катионитного (КУ-2) и анионитного (АВ-17). На КОУ следует подавать конденсат от любого турбоагрегата. Из-за тесноты в машинном зале на отметке 0.00 возможна вертикальная компоновка фильтров в 2—3 этажа с управлением на отметке 0.00 или +8.

Работа КОУ и особенно ее осветлительного фильтра необходима во время пуска паровых котлов или турбоагрегатов для выведения из тракта продуктов коррозии, содержащихся во время пуска в питательной воде в количествах в 50—100 раз больше обычных норм. Ионитные фильтры (ФСД или Н+ОН) необходимы в случаях попадания в конденсат циркуляционной или сетевой воды и при непосредственной подаче питательной воды на впрыск для регулирования температуры перегрева пара. В случаях регулирования температуры перегрева пара собственным конденсатом паровых котлов или выделения одного турбоагрегата с деаэратором и питательным насосами для подачи наиболее чистого турбинного конденсата на впрыск, или наличия поверхностных пароохладителей обессоливание конденсата не является необходимым и можно ограничиться только его Na-катионированием.


В ПНД
В ПНД
ЧК
2К
КН
КН
КН
КН
А
М (с/у)
ФСД
Рсм
РК
РД
H2SO4
NaOH
М (с/у)
Н
А
Б
t ≈ 100°
Фл
ЧД
БГПК
КН
М
БАУ 1
БАУ 2
I Щелочь
В
t ≈ 100°
ДрБ
КН
М
Н (Na)
А
В Д
Г
NaOH
H2SO4 (NaCl)
УЗА
РК
РД
МГ
ГК
ВУ
Сб
Н.У.
См
КН
Нл
См
МГ
КН
Фт
См
Д
М
М
БАУ 1
БАУ 2
И
И
БЧК
КН
ЧК
На ТЭС
Сброс на предочистку

При затруднении в организации полных КОУ с осветлительными и обессоливающими фильтрами следует устанавливать хотя бы только осветлительные фильтры для задерживания взвешенных примесей (Fe, Cu, Zn), особенно в период пуска. В дальнейшем после доведения качества питательной воды до норм КОУ или осветлительные фильтры могут быть отключены.

На период пуска агрегатов, если солесодержание конденсата не превышает установленных норм, можно включать в работу только осветлительные фильтры КОУ для удаления нерастворимых окислов железа, меди и цинка. Для их удаления наиболее целесообразно применять сдвоенные: электромагнитные и зернистые фильтры; электромагнитные флокуляторы и зернистые фильтры или только зернистые фильтры с антрацитом, пековым коксом, сульфоуглем, магнетитом с диаметром зерен 0,3—2,0 мм.

Оборудование конденсаторов двойными трубными досками, нанесение на трубные доски уплотняющих каучуковых покрытий, организация солевых отсеков в конденсаторах (возле трубных досок) для отдельного отвода, очистки засоленной части конденсата (с целью уменьшения нагрузки на КОУ), замена латунных конденсаторных трубок в воздухоохладительной части конденсаторов и в конденсаторах пара эжекторов трубками из нержавеющей стали, а также устранение недостаточной температурной компенсации трубок являются сложными для осуществления в условиях эксплуатации и потому здесь не рассматриваются.

Латунные трубки конденсаторов и подогревателей перед их установкой в аппарат должны быть во избежание растрескивания «отожжены» — нагреты паром до температуры 300 °С в течение 1 ч.

Основным способом устранения подсосов охлаждающей воды является полная остановка турбоагрегата или от-

Рис. 6.1. Схемы очистки конденсатов:

А — турбинного для блоков СКД; *Б* — для паровых котлов ВД и СВД; *В* — горячего после очистки у потребителя; *Г* — обезжелезивания, умягчения горячих или обессоливания холодных станционных конденсатов ТЭС ВД и СВД; *Д* — полная схема очистки замасленного конденсата; *а* — у потребителя и *б* — на ТЭС (ВПУ); *КН* — конденсатный насос; *ЧК* — чистый конденсат в *ПНД*; *ГК* — засоленный конденсат; *М(с/у)* — механический (сульфоугольный) фильтр; *ФСД* — фильтр смешанного действия; $Р_{см}$ — регенератор-смеситель-разделитель; *РК* — регенератор катионита; *РА* — регенератор анионита; *Н* — катионитный фильтр; *А* — анионитный фильтр; *БГПК* — бак горячего производственного конденсата; *Фл* — бак флокулянта; *НД* — дозирующий насос; $БАУ_1$, $БАУ_2$ — фильтры с активированным углем 1-й, 2-й ступеней; *ДрБ* — дренажный бак; H(Na)—H- или Na-катионитный фильтр; *УЗА* — ультразвуковой аппарат для удаления с зерен окислов железа; *Сб* — сборный бак замасленного конденсата; *Нл* — нефтеловушка; *См* — слой масла (пены); *МГ* — труба для приемки масла (масляной пены); *Фт* — флотатор; *И* — ионитные фильтры (H- или Na-катионитные и анионитные); *БЧК* — бак чистого конденсата; *ВД* — в деаэратор

ключение конденсатора по половинам, вскрытие люков на водяных камерах, высушивание трубных досок горячим воздухом, обнаружение (течь из трубок, затягивание пламени свечи) поврежденных трубок и заглушение их пробками. Определение мест подсоса производится персоналом турбинного цеха обычно после обнаружения повышенного солесодержания и жесткости конденсата или питательной воды, контроль за качеством которой ведется чаще.

При отсутствии автоматических приборов (солемеров) для своевременного обнаружения подсосов целесообразно передавать колориметрический контроль за жесткостью конденсата дежурному персоналу турбинного цеха, а отбор и контроль проб конденсата от ненадежных конденсаторов осуществлять чаще, чем остальных. Поврежденные трубки можно выявить при остановке турбины, выпуске охлаждающей воды из конденсатора и заполнении его парового пространства горячим (температурой 60—70 °С) конденсатом, что необходимо для высушивания трубных досок. Последнее может быть ускорено обдувкой трубных досок воздухом из шланга через лазы.

В случаях больших подсосов охлаждающей воды (2—3 т/ч) при отключении одной половины конденсатора появляется опасность срыва вакуума. Во избежание этого необходимо включить в работу пусковой эжектор.

При остановке турбоагрегата для обнаружения неплотностей в конденсаторе иногда используют флуоресцентный способ. В воду, заливаемую в паровой объем конденсатора, прибавляют флуоресцирующие в ультрафиолетовом свете вещества (например, флуоресцеин $C_{20}H_{12}O_5$ и $C_{20}H_{10}O_5Na_2$) в количестве 3—5 г/м³. Трубные доски, освещаемые ртутно-кварцевой лампой с рефлектором и ультрафиолетовым фильтром, задерживающим видимые лучи, флуоресцируют (светятся) в местах неплотностей, где просачивается вода.

Следует указать на возможность появления иногда значительных подсосов при пуске турбин, а также при работе их с неполными нагрузками, особенно в зимнее время, при низкой температуре охлаждающей воды. Такие случаи подсоса являются результатом недостаточной температурной компенсации трубок и их плохой вальцовки; с повышением нагрузки эти подсосы обычно уменьшаются или исчезают.

Учитывая, что на впрыск для регулирования температуры перегретого пара идет не более 10% питательной

воды, следует не всегда применять ФСД для обессоливания конденсата ТЭС с барабанными котлами.

Конденсаты эжекторов (особенно 2-й и 3-й ступеней) не следует смешивать с конденсатом турбин из-за их большой загрязненности, их нужно собирать отдельно и очищать с другими загрязненными (дренажными) конденсатами станции.

Схемы очистки турбинного конденсата приведены на рис. 6.1.

6.3. Конденсаты пароводяных подогревателей

Конденсаты станционных и внестанционных поверхностных подогревателей — сырой воды, подаваемой на водоочистку; сетевой воды (бойлерный); химически очищенной и питательной воды, а также от систем парового отопления — имеют более высокую температуру (60—100—150 °С и более) и поэтому за счет теплоты являются более ценными по сравнению с турбинным конденсатом. Однако нередко из-за отсутствия отсоса газов в подогревателях эти конденсаты содержат больше кислорода, углекислоты и аммиака, чем турбинный конденсат, в них чаще попадает (из-за более тяжелых температурных условий работы поверхности нагрева) нагреваемая, иногда жесткая вода, повышая солесодержание и жесткость конденсата. В этих конденсатах обычно значительно больше и продуктов коррозии (Fe, Cu, Zn).

Подсосы обычно мягкой сетевой воды в бойлерах определяют, сравнивая электропроводность или солесодержание конденсата двух аппаратов после дегазации проб, кондуктометрами или солемерами.

При наличии на ТЭС только барабанных котлов ВД и отсутствии впрыска питательной воды в пар можно (иногда продолжительное время) работать с подсосами мягкой сетевой воды в бойлерах, если качество питательной воды находится при этом по жесткости, соле- и кремнесодержанию в допустимых пределах.

Важно устранять углекислоту из конденсата паровых подогревателей (в том числе и ПНД) для предотвращения коррозии питательного тракта и заноса окислов металлов в котлы. Это достигается: удалением углекислоты из конденсата паровых подогревателей путем естественной (при давлении в паровом объеме более атмосферного) или принудительной (отсос при помощи вакуума) вентиляции паровых объемов подогревателей; сбором конденсата у внешних потребителей пара под давлением выше

атмосферного; вводом не содержащего кислорода конденсата в сборные дренажные баки не сверху, а снизу через дырчатые трубы во избежание насыщения его воздухом; применением в баках «одеял» из герметика АГ-4.

Вопросы снижения солесодержания CO_2, HCO_3^-, CO_3^{2-} в очищенной и питательной воде и паре рассматриваются в соответствующих разделах книги.

Для снижения содержания углекислоты в конденсате паровых подогревателей необходимо организовать подачу пара в них по принципу противотока, чтобы из места в конце потока, где содержание пара наименьшее, а CO_2 наибольшее, осуществить продувку парогазовой смеси с содержанием в ней не менее 1000 мг/кг CO_2. Для удале-

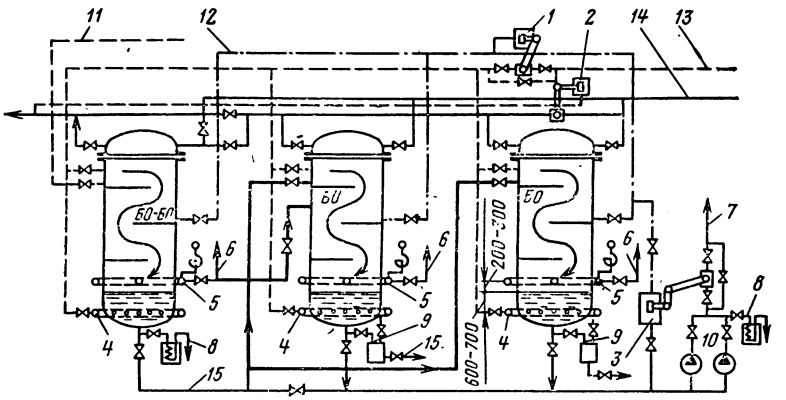


Рис. 6.2. Схема пропуска подогреваемой воды помимо подогревателей, для упрощения их вентиляции и удаления CO_2 (Уралэнергочермет):
1 — регулятор давления греющего пара; *2* — регулятор пропуска воды по обводной линии; *3* — регулятор уровня конденсата; *4* — барботажные коллекторы; *5* — коллекторы отсоса газов; *6* — отвод газа в охладитель и эжектор; *7* — отвод конденсата в деаэратор; *8* — отбор проб; *9* — отбор проб через вакуумный бачок; *10* — конденсатные насосы; *11* — пар (6—7 кгс/см²); *12* — уравнительная линия; *13* — пар (1,2—2,5 кгс/см²); *14* — сетевая вода; *15* — конденсат от пикового бойлера

ния CO_2, оставшейся в конденсате, нужно организовать его барботаж в конденсатосборниках увеличенного объема с разбрызгивающими тарелками, осуществляя барботаж паром, содержащим наименьшее количество CO_2. Таким может быть пар из расширителей непрерывной продувки котлов, хуже — отборный пар турбин.

В случаях, когда подогреваемая в паровых подогревателях мягкая вода имеет конечную температуру менее 100 °С и в паровом объеме создается вакуум, рекомендуется подогревать не всю воду, а лишь часть ее примерно до 100 °С, чтобы в паровом объеме подогревателя при тем-

пературе конденсата не менее 100 °С создавалось давление выше атмосферного и обеспечивалась естественная вентиляция объема. Необходимая температура подогретой воды при этом достигается смешиванием подогретой воды с неподогретой, подаваемой по обводной линии. Мож-

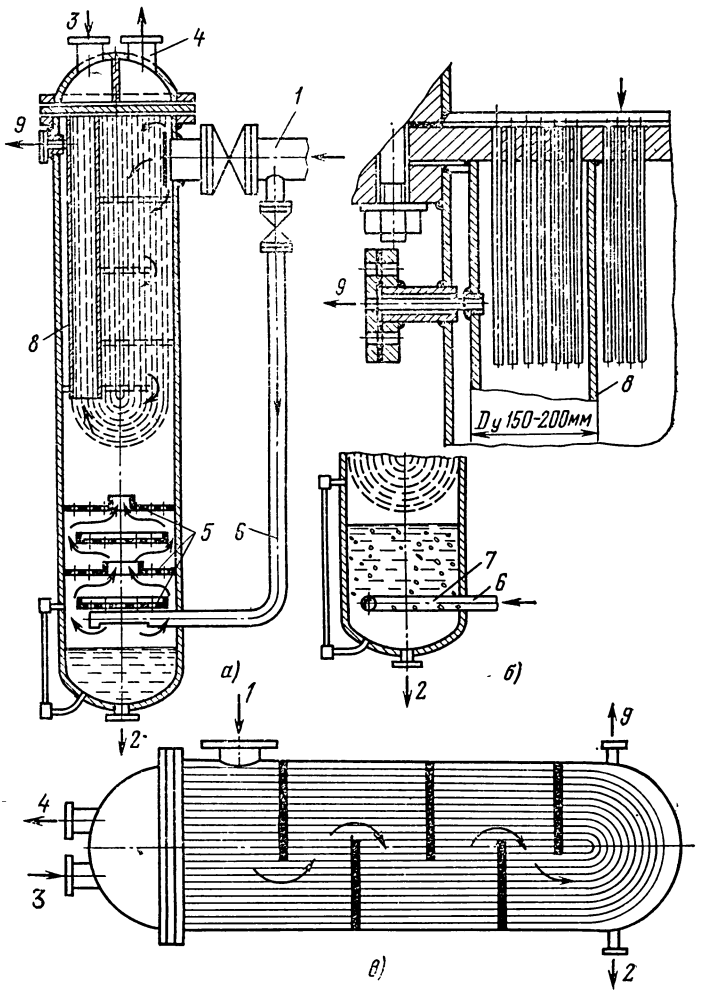


Рис. 6.3. Схемы организации удаления газов (CO_2) из конденсата паровых подогревателей:

а — схема Глазовской ТЭЦ (ТЭЦ—КМК); *б* — схема барботажа в конденсатном сборнике; *в* — схема отсоса из горизонтальных подогревателей; *1* — подвод пара; *2* — отвод конденсата; *3, 4* — вход и выход подогреваемой воды; *5* — деаэрационные тарелки; *6* — подвод пара; *7* — барботер; *8* — труба; *9* — отсос парогазовой смеси

но также присоединить отсос парогазовой смеси к отсасывающему эжектору или конденсатору турбин (диаметр общей отсасывающей линии 80—100 мм) — рис. 6.2.

Во всех случаях отвода неконденсирующихся газов подогреватели должны быть оборудованы регулятором уровня конденсата во избежание засасывания пара конденсатным насосом. Схемы организации отсоса парогазовой смеси и барботажа конденсата даны на рис. 6.3.

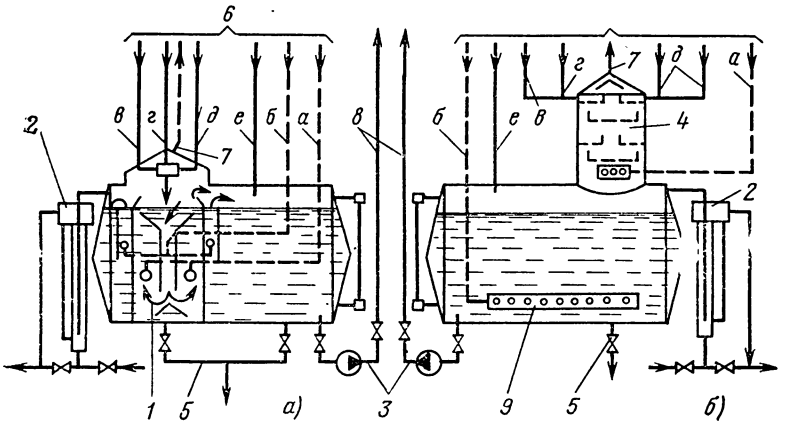


Рис. 6.4. Схемы дренажных баков для сбора загазованных конденсатов и утилизации выпара:

а — бесколонковый; *б* — с колонкой и барботером; *1* — барботажный отсек; *2* — гидрозатвор, *3* — перекачивающие насосы; *4* — деаэрационная колонка; *5* — дренаж; *6* — подвод пара (*а, б*) и горячего конденсата (*в—д* — с $t<100$ °С, *е* — с $t>100$ °С); *7* — выпар; *8* — на механические обезжелезивающие фильтры и далее в деаэраторы; *9* — барботер

Для использования выпара — вторичного пара, получающегося в дренажных баках или в баках низких точек при поступлении в них конденсатов с $t>100$ °С, необходимо оборудовать эти баки деаэрационными струйными колонками (рис. 6.4) и для конденсации выпара подавать в колонки холодный конденсат или в худшем случае химически обработанную воду с $t<80$ °С. Не рекомендуется снижать температуру воды в баках менее 85 °С во избежание поглощения CO_2 и подсоса воздуха. Из выхлопной воздушной трубы баков или колонок всегда должен выходить пар в небольшом количестве, что бывает при температуре воды не менее 85 °С.

Все сказанное выше относится и к «чистым» производственным конденсатам, которые загрязняются только жесткой или мягкой водой и продуктами коррозии. Эти

конденсаты с $t=70—100$ °С должны отдельно или вместе с дренажными конденсатами станции обезжелезиваться и умягчаться перед поступлением в деаэраторы или подаваться на химводоочистку для обезжелезивания и умягчения совместно с природной водой.

Горячие производственно-дренажные и бойлерные конденсаты следует обезжелезивать путем фильтрования их через фильтры, загруженные термостойкими, зернистыми, фильтрующими материалами (пековый кокс, термоантрацит, магнетит, прокатная окалина, сульфоуголь, хуже кварцевый песок) с диаметром зерен 0,3—1,0 мм и высотой слоя 1000 мм. Перед зернистыми фильтрами целесообразно устанавливать электромагнитные фильтры (ЭМФт) со стальными шариками или электромагнитные флокуляторы (ЭМФл), изображенные на рис. 6.5, 6.6. Следует отметить, что электромагнитные фильтры и электромагнитные флокуляторы еще не нашли в СССР широкого применения и установлены, и работают только на нескольких блочных ТЭС. Наибольший эффект от применения ЭМФт получают в периоды пуска блоков (до 80%), когда содержание в питательной воде окислов железа повышено (50 мкг/л и более). При стабильном же режиме работы блоков содержание железа значительно меньше (не более 10 мкг/л), меньше и эффект обезжелезивания (30—50%), а при содержании $Fe\leqslant 5$ мкг/л эффект обезжелезивания практически отсутствует.

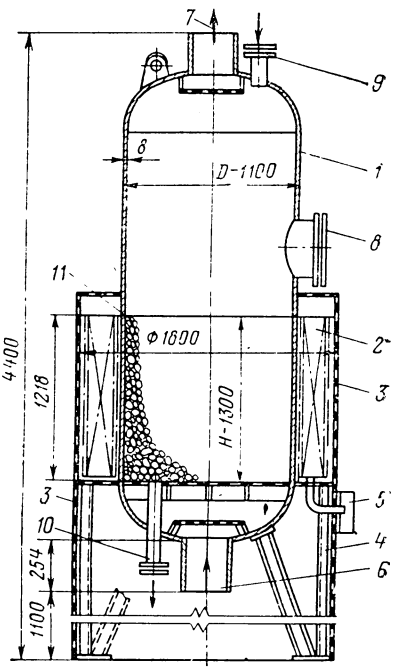


Рис. 6.5. Электромагнитный фильтр:

1 — корпус; *2* — электромагнит; *3* — кожух; *4* — опоры; *5* — коробка зажимов; *6, 7*—входной и выходной патрубки; *8* — лаз; *9, 10* — штуцера для загрузки и выгрузки шариков; *11* — стальные шарики, $d=5\div 8$ мм

Хотя применение зернистых фильтров с магнетитом (рудой) или прокатной окалиной позволяет обезжелези-

вать воду, конденсат с высокой температурой, глубина обезжелезивания при этом не выше, чем при других зернистых, фильтрующих материалах, т. е. 60—70%; при этом может сказаться и растворимость Fe_3O_4 в воде.

В некоторых случаях при частых выходах из строя паровых подогревателей жесткой воды, подаваемой на водоочистку [удары пара, сильная вибрация, выпадение $CaCO_3$, коррозия стальных трубок, высокая минерализованность (Cl^-, SO_4^{2-}) и коррозионная агрессивность воды],

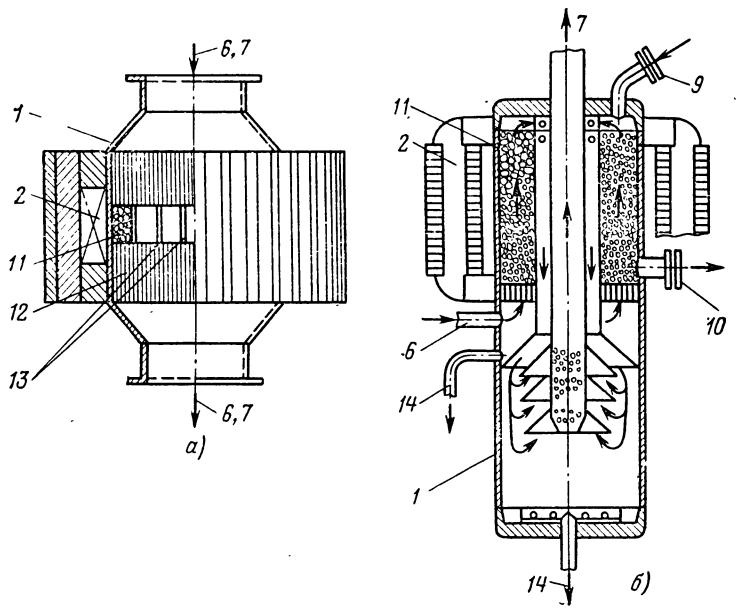


Рис. 6.6. Электромагнитные флокуляторы:

А — конструкция ВТИ—ЦКБ; *Б* — конструкция Ленинградского предприятия Центроэнергочермета с инерционным шламоотделителем для котловой воды; *12* — полюсы; *13* — пространственная решетка; *14* — продувка; остальные обозначения те же, что и на рис. 6.5

приходится прекращать подогрев, так как получаемый конденсат нельзя использовать без очистки и его при отсутствии КОУ приходится сбрасывать в канализацию. В подобных случаях целесообразно заменять поверхностные подогреватели смешивающими (тарельчатыми, с соплами Кертинга, дырчатыми трубами и др.). При этом вместе с промывочными и регенерационными водами ВПУ теряется только 10—15% конденсата, а не все 100 %. При бессточных же схемах потери конденсата отсутствуют.

6.4. Загрязненные, замасленные конденсаты

Очистка обычно горячих (до 100 °С) загрязненных нефтепродуктами станционных или внешних конденсатов проводится по следующей основной схеме (рис. 6.1,*Д*): отстаивание — улавливание плавающих и тонущих загрязнений в сборных баках, нефтеловушках, баках-отстойниках; флотация во флотаторах (ЦНИИ МПС) с применением $Al(OH)_3$ только в случаях высокой дисперсности нефтепродуктов (конденсаты после паровых прессов, молотов, машин и др.)[1]; фильтрация через осветлительные, мелкозернистые фильтры, загруженные термически, химически и механически стойкими материалами (диаметр зерен 0,3—1,5 мм) — антрацитом, термоантрацитом, пековым коксом, магнетитом, прокатной окалиной, сульфоуглем, хуже кварцем.

Если конденсат, профильтрованный через осветлительные фильтры и содержащий 3—5 мг/л нефтепродуктов, нуждается в умягчении или обессоливании, то его направляют на известково-коагуляционную предочистку, где он доочищается совместно с исходной водой. Если профильтрованный конденсат с содержанием нефтепродуктов 3—5 мг/л не нуждается в умягчении или обессоливании, то его для дополнительного обезмасливания направляют на сорбционные фильтры, загруженные активированным углем, где он очищается от нефтепродуктов до содержания менее 1,0 мг/л.

При отсутствии предочистки конденсат после сорбционных фильтров для умягчения или обессоливания должен направляться на Na-катионитные или обессоливающие Н—ОН-ионитные фильтры или на ФСД.

При обезмасливании на зернистых осветлительных фильтрах конденсат попутно освобождается и от взвешенных примесей — сальниковой набивки, окислов железа и других продуктов коррозии. Очищенные конденсаты после осветлительных фильтров, если их нельзя направить для дальнейшей очистки и питания котлов, можно подавать для питания испарителей или в оборотные системы. Неочищенные замасленные конденсаты можно сбрасывать в систему ГЗУ и на установки для очистки обмывочных вод РВП после отделения ванадиевого шлама.

Загрязненные нефтепродуктами конденсаты от внешних потребителей пара должны проходить очистку от нефтепродуктов у потребителей, а на ТЭС только умягчаться, обессоливаться или направляться на предочистку.

Для улавливания «залповых» загрязнений конденсата и выравнивания производительности перед очистными сооружениями должны устанавливаться приемные баки, рассчитанные на пребывание в них конденсата в течение 2—3 ч. Из приемных баков частично обезмасленный конденсат должен самотеком (во избежание измельчения капель) поступать в нефтеловушку, где происходит вторичное всплывание легких

[1] В последнее время флотация перед осветлительными фильтрами считается не обязательной.

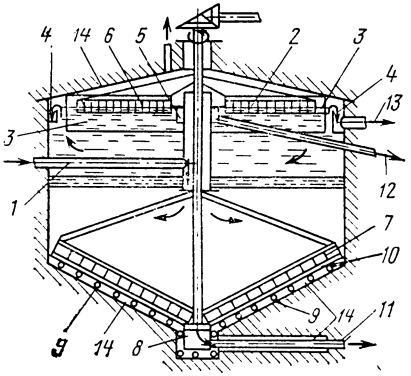


Рис. 6.7. Отстойник-ловушка для конденсата коксохимического производства конструкции Гипрококс

1 — вход грязного конденсата; *2* — гребки для масла ($\gamma<1$); *3* — кольцевой затвор для всплывшего масла; *4* — сборный желоб для отстоенного конденсата; *5* — сборный желоб для масла ($\gamma<1$); *6* — пленка масла; *7* — скребки для смолы ($\gamma>1$); *8* — приямок для смолы; *9* — паровая рубашка; *10* — подвод пара; *11*—откачка смолы; *12*—периодический слив масла; *13* — отвод отстоенного конденсата; *14*—тепловая изоляция

нефтепродуктов и оседание тяжелых (мазут). Схема радиальной нефтеловушки-маслоотстойника изображена на рис. 6.7, а радиального флотатора—на рис. 6.8. Как всплывшие, так и осевшие загрязнения передвигаются к центру бака-ловушки скребками, отводятся и сжигаются. Частично обезмасленный конденсат (10—15 мг/л) поступает в приемный резервуар, а из него насосом подается на осветлительные фильтры и, если нужно, под напором того же насоса в сорбционные и ионитные фильтры. Возможно применение нефтеловушек и флотаторов прямоугольной формы (рис. 6.9).

На конденсатоочистке постоянно должен быть запас фильтрующих материалов для загрузки хотя бы одного осветлительного и одного сорбционного фильтров. Конденсат должен возможно меньше соприкасаться с воздухом (кроме флотаторов). В резервуары и отстойники конденсат должен подводиться снизу под поверхность во избежание или уменьшения продолжительности контакта его с воздухом. С этой же целью не следует полностью удалять масля-

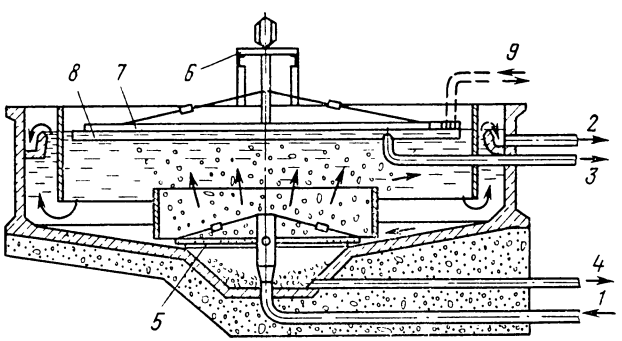


Рис. 6.8. Радиальный флотатор:

1 — подвод конденсата, насыщенного воздухом; *2* — отвод очищенного конденсата; *3* — отвод масляной пены с водой; *4* — отвод шлама; *5* — распределительное устройство; *6* — приводная станция — редуктор для гребков; *7* — гребки; *8* — приемная труба для масляной пены; *9* — подвод пара для разжижения и отделения масла от воды в приемной трубе

ную пленку-слой с конденсата в отстойниках-ловушках (допустимая толщина слоя до 100 мм).

Во все резервуары и отстойники должен быть подведен пар для создания защитной паровой подушки. При температуре конденсата более 85 °С паровая подушка создается за счет самоиспарения.

Промывка как осветлительных, так и сорбционных фильтров от задержанных масел и взвеси должна проводиться сначала путем кипячения материала в фильтре в растворе щелочи (0,1—0,2% NaOH) в тече-

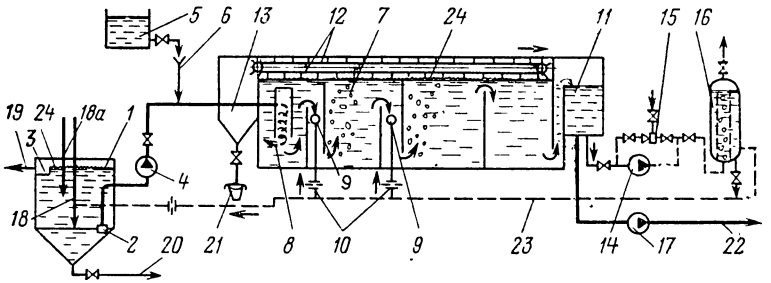


Рис. 6.9. Прямоугольный флотатор ЦНИИ МПС-5, ЦНИИ МПС-10: *1* — приемный бак-усреднитель; *2* — приемный клапан; *3* — сборный желоб-карман для всплывшего масла; *4* — насос; *5* — бак для коагулянта (эмульсия $Al(OH)_3$); *6* — подвод коагулянта в обрабатываемый конденсат; *7* — флотатор; *8* — труба-циклон; *9* — трубы для подвода воды, насыщенной воздухом; *10* — регулирующие дроссельные шайбы; *11* — приемный карман для очищенного конденсата; *12* — скребковый транспортер для масляной пены; *13* — приемный карман для масляной пены; *14* — насос; *15* — эжектор для подсоса воздуха; *16* — напорный бачок для растворения воздуха и выделения его избытка; *17* — насос очищенного конденсата; *18* — подвод сжатого воздуха; *18а* — подвод замасленного конденсата; *19*—слив масла; *20* — выпуск осадка; *21* — ведро; *22* — подача очищенного конденсата на механические фильтры; *24* — слой масла (пены)

ние 1—2 ч с последующими промывками горячей водой, продувкой паром снизу и завершающей промывкой материала горячей умягченной водой снизу, а затем сверху до полного осветления выходящей из фильтра воды-конденсата. Регенерация ионитных фильтров для умягчения, обессоливания конденсата проводится так же, как фильтров 2-й ступени.

При прогрессирующем обрастании зернистой загрузки фильтров для обезжелезивания конденсата (не обезмасливания) окислами железа фильтрующий материал вытесняют водой в фильтр для гидроперегрузки или бак, где его обрабатывают серной или лучше соляной кислотой для растворения окислов железа. После обработки кислотой материал промывают водой и снова загружают в фильтр. При передаче загрязненного материала из фильтра в бак пульпу пропускают через ультразвуковой аппарат для улучшения отделения окислов железа от зерен фильтрующего материала (рис. 6.1,*в* и 6.10). Бак или фильтр гидроперегрузки должны быть защищены от коррозии.

В случае необходимости вскрытия ионитного фильтра и перегрузки фильтрующего материала следует вытеснять горячий конденсат из фильтра снизу вверх в канализацию или баки-сборники неочищенного конденсата, постепенно понижая температуру подаваемой воды на 1,5—2 °С в минуту во избежание растрескивания, измельчения зерен материала — ионита. Это в первую очередь необходимо для синтетических ионитов КУ-2, АВ-17 и др. Температуру воды снижают до 25—30 °С, после чего ее спускают из фильтра и вскрывают лазы.

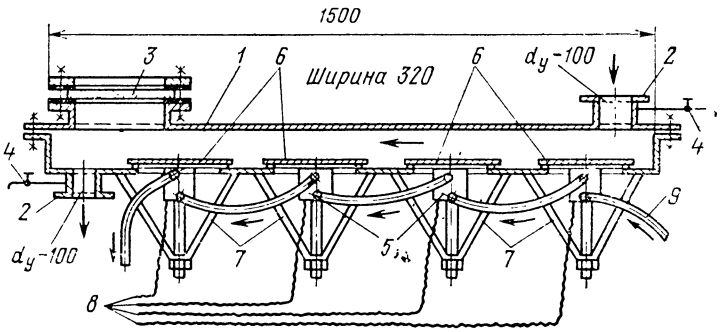


Рис. 6.10. Схема ультразвукового аппарата для очистки зернистых материалов от окислов железа:

1 — корпус аппарата; *2* — штуцер для подвода — отвода пульпы; *3* — смотровое окно; *4* — отбор проб пульпы; *5* — преобразователь ультразвука ПМС-6-22; *6* — излучающая поверхность — пластина 300×300 мм; *7* — крепление преобразователя; *8* — питание от ультразвукового генератора; *9* — охлаждающая вода

Для улучшения отделения масел и смол целесообразно в конденсат (перед подачей его в отстойники-флотаторы) вводить суспензию $Al(OH)_3$, а также флокулянты (полиакриламид ПАА, ВА и др.).

Пленка из $Al(OH)_3$ или целлюлозы, создаваемая на поверхности фильтрующего материала осветлительных фильтров, задерживает взвесь эмульгированных смол или масел лучше, чем обычная зернистая загрузка.

Все оборудование конденсатоочисток должно быть защищено от коррозии термостойкими покрытиями; дренажные системы фильтров должны быть трубчато-щелевыми из нержавеющей стали. Конденсатоочистительные установки должны быть при температуре конденсата более 45 °С теплоизолированы и оснащены всеми необходимыми контрольно-измерительными приборами: термометрами, манометрами, расходомерами, уровнемерами, солемерами, мутномерами, холодильниками с подводящими трассами и змеевиками из трубок нержавеющей стали.

Канализация должна быть закрытая с вестовой трубой вне здания и подачей холодной технической воды для конденсации пара и охлаждения сбрасываемых горячих растворов, промывочной воды или конденсата.

Замасленный пар от поршневых, паровых машин, прессов, молотов и его конденсат очищают сначала у потребителя. Пар отделяется от влаги и масел в механических пароочистителях (цепных, отбойных или встроенных в трубопроводы «карманах»-ловушках) и затем в паропромывателях, куда для улучшения отделения масел вводится суспензия гидрата окиси алюминия. Конденсат такого обезмасленного пара проходит дальнейшую очистку в приемных резервуарах, в отстойниках-ловушках (флотаторах), а затем на осветлительных зернистых фильтрах и, наконец, в случае необходимости в сорбционных фильтрах, загруженных активированным углем или пековым коксом. Замену замасленного активированного угля или пекового кокса рекомендуется проводить послойно: верхний, наиболее замасленный слой удалять и сжигать, нижний, мало загрязненный выгружать и на его место в фильтре загружать свежий уголь, а поверх него вновь загружать выгруженный из фильтра нижний, частично замасленный слой угля с целью донасыщения его маслом.

При полном обеспечении котлов ТЭС чистыми или очищенными станционными конденсатами, очистка которых более надежна и проста, а также дистиллятом испарителей или обессоленной водой очищенные производственные конденсаты следует направлять менее требовательным потребителям, пар которых не перегревается и не расходуется в турбинах с конденсаторами или в теплообменниках с трубками из медных сплавов, что позволяет упростить очистку конденсата.

6.5. Пуск и наладка работы установок для очистки конденсата

Пуск, наладка и эксплуатация установок для очистки конденсатов (отстойников-нефтеловушек, флотаторов, осветлительных и ионитных фильтров) мало чем отличаются от тех же процессов при пуске предочистки или установки ионитной обработки воды. Отличиями же являются необходимость: обеззоливания фильтрующих и подстилочных материалов (антрацит, термоантрацит и др.) путем обработки их 3—5%-ными растворами соляной кислоты с последующей промывкой конденсатом в специальном баке или выделенном фильтре; циркуляционной отмывки ионитных фильтров после регенерации с целью сокращения расхода воды на отмывку и использования всех сбрасываемых вод на водоочистительной установке, если эти воды имеют солесодержание, жесткость и другие показатели не хуже, чем исходная вода, или передачи другим, менее требовательным потребителям (испарители, теплосеть и др.); при температуре более 50 °С необходимы теплоизоляция оборудования и снабжение всех отборных точек холодильниками.

Основными визуальными быстроопределяемыми показателями удовлетворительного удаления взвешенных примесей и нефтепродуктов из очищенного конденсата являются: полная прозрачность, отсутствие мути, видимых взвешенных частиц, плавающих пленок и запаха. При этом сравнивается качество конденсата до очистки и после нее с лабораторным дистиллятом. Это относится к очищенному конденсату после нефтеловушек, флотаторов, осветлительных и сорбционных фильтров. Качество конденсата после умягчения, обессоливания определяется обычными аналитическими методами.

Периодичность промывок осветлительных и сорбционных и регенераций ионитных фильтров устанавливается по возрастанию потерь напора в фильтрах или ухудшению качества профильтрованного конденсата и, наконец, по результатам подсчета поглощенных фильтрами нефтепродуктов, окислов железа, жесткости, солей, взвешенных примесей.

При слеживании фильтрующих ионитных материалов может периодически проводиться их подрыхление с целью уменьшения сопротивления и устранения щелей.

В процессе наладки и эксплуатации должны поддерживаться показатели отдельных процессов и работы всех аппаратов, приводимые в § 6.6.

Основными мероприятиями по улучшению очистки конденсата на действующих установках являются уменьшение коррозионной агрессивности конденсатов — содержания в них кислорода, углекислоты, аммиака; поддержание реакции pH на уровне 8,3—8,8; уменьшение содержания в конденсате загрязнений как растворимых, так и нерастворимых, в том числе высокодисперсных нефтепродуктов, окислов железа, органических растворенных веществ, т. е. обеспечение плотности поверхности нагрева и охлаждения подогревателей-теплообменников; вторичное использование регенерационных растворов и отмывочных вод; уменьшение потерь теплоты (выпара). Необходимы полное использование на ТЭС всех конденсатов, очистка которых до соответствующих кондиций возможна на оборудовании ТЭС и ее ВПУ, а также автоматический сброс загрязненных конденсатов у потребителя при превышении ими норм, допустимых разрешающей способностью конденсатоочистительного оборудования.

6.6. Важнейшие условия и показатели работы конденсатоочистительных установок

Приемные резервуары. Общее количество 2—3 шт.; общий объем рассчитан на 2—3-часовую среднюю производительность; возможность поочередной и параллельной работы; конденсация выпара, забор конденсата ниже наинизшего уровня (рис. 6.1,*Д* и 6.4); недопущение опорожнения во время эксплуатации, удаление всплывших нефтепродуктов; возможность вывода одного резервуара для очистки, ремонта; температура до 100 °С.

Осветлители-нефтеловушки (рис. 6.1,*Д* и 6.7). Скорость горизонтального движения составляет 2—3 м/ч при температуре до 100 °С. Необходимы: маслозатворы перед сборными желобами, сохранение пленки нефтепродуктов на поверхности для защиты от растворения кислорода и для сохранения теплоты; остаточное содержание нефтепродуктов при нагрузке 2 м³/ч на 1 м³ объема равно 10—20 мг/л и при нагрузке 0,5 м³/ч на 1 м³ объема 8—15 мг/л. В ловушках удаляются в основном крупнокапельные, плавающие нефтепродукты.

Флотаторы радиальные (рис. 6.8) или прямоугольные ЦНИИ МПС (рис. 6.9). Продолжительность процесса флотации 10—15 мин. В состав агрегата ЦНИИ входят усреднитель стоков на 20—30 мин, насос или гидроэжектор, многокамерный флотатор, насос для рециркуляции части очищенной воды, эжектор для подсоса воздуха, напорный бак для растворения и удаления избытка воздуха, бачок для приготовления суспензии $Al(OH)_3$, дозирующий бачок для суспензии, скребковый транспортер для сгребания всплывавшего масла-пены. Производительность флотатора ЦНИИ-5 составляет 5 м³/ч, ЦНИИ-10 10 м³/ч; исходное содержание нефтепродуктов до 100 мг/л, конечное 10—15 мг/л. Очищенная вода, конденсат должны быть прозрачны.

Электромагнитные фильтры и флокуляторы (рис. 6.5, 6.6). Диаметр шариков равен 5—8 мм; материал — размагничивающаяся сталь для фильтров и обычная для флокулятора; высота слоя в фильтре 500—1000 мм, в флокуляторе 200—300 мм; температура до 200—250 °С; скорость фильтрования 200—1000 м/ч; напряженность поля $(0{,}5 \div 2) \cdot 10^5$ А/м. Задерживаются только магнитные окислы железа: магнетит Fe_3O_4 и магемит Fe_2O_3, остальные взвеси задерживаются лишь попутно и частично. Содержание магнитных окислов в конденсате обычно 60—70% общего; эффект удаления 40—80% исходного содержания. При действии электромагнитного поля частицы окислов железа укрупняются, слипаются, флокулируют, увеличиваются в размере с 1 до 100 мкм (электромагнитная флокуляция). Поэтому за электромагнитными фильтрами (флокуляторами) необходимо устанавливать зернистые фильтры, позволяющие увеличить удаление всех окислов железа и взвеси до 90—95%.

В связи с еще коротким периодом эксплуатации в СССР немногочисленных электромагнитных фильтров и флокуляторов привести бо-

лее точные и достаточно надежные данные об оптимальных параметрах их работы, пригодные для переноса в другие условия, пока не представляется возможным.

Зернистые фильтры для удаления взвеси и нефтепродуктов. Материал: антрацит, термоантрацит, пековый кокс, магнетит-руда, прокатная окалина; диаметр зерен 0,3—1,0 мм, хуже 0,5—2,0 мм; высота слоя 1000—1200 мм; скорость фильтрации 5—10 м/ч; конечная потеря напора около 10 м вод. ст.; содержание нефтепродуктов до фильтра 10—20 мг/л, после фильтра 3—5 мг/л, окислов железа Fe до фильтра около 100 мкг/л, после фильтра 30—40% и менее; температура до 100 °С; теплоизоляция; холодильники для отбора проб. Промывка осуществляется сначала щелочной водой (0,1—0,2 %-ным NaOH, Na_3PO_4, Na_2CO_3) с кипячением, затем горячей водой для удаления эмульгированных нефтепродуктов; продувка снизу паром в течение суток, промывка горячей водой — конденсатом сначала снизу, затем сверху до полного осветления промывочной воды.

По некоторым литературным данным эффективность удаления окислов железа и нефтепродуктов зернистыми фильтрами при намыве на зернистый слой мелковолокнистой целлюлозы или хлопьев $Al(OH)_3$ достигает 60—70 % и даже более.

Сорбционные фильтры, загруженные активированным углем. Размер зерен составляет 1—3,5 мм, высота слоя до 3000 мм; насыпная масса 200—250 кг/м³; зольность 5—15% (перед загрузкой или в фильтре промыть 1—5 %-ной HCl); емкость по нефтепродуктам 15—25 %. Скорость фильтрования 3—5 м/ч, потеря напора до 5 м вод. ст. Содержание нефтепродуктов до фильтров составляет 4—5 мг/л, после фильтров около 1,0 мг/л, иногда менее. При двух ступенях фильтрования содержание нефтепродуктов после фильтров составляет примерно 0,5 мг/л; промывка такая же, как указана для зернистых фильтров; температура до 100 °С; теплоизоляция; холодильники для отбора проб. При двух ступенях целесообразно менять фильтры (фильтр 2-й ступени включать в качестве фильтра 1-й ступени, а загруженный свежим углем в качестве фильтра 2-й ступени).

Na-катионитные фильтры для умягчения условно чистых или обезмасленных конденсатов (после сорбционных фильтров). Материал — катионит КУ-2, высота слоя около 1 м (температура до 100 °С). Все показатели эксплуатации, как у обычных фильтров 2-й ступени; скорость фильтрации 30—50 м/ч; теплоизоляция; холодильники для отбора проб.

Обессоливающие фильтры для обессоливания турбинного конденсата с температурой 35—45 °С. Все показатели эксплуатации, как у Н-катионитных и анионитных фильтров 2-й ступени. Материал — катионит КУ-2 и АВ-17, высота слоя 1 м; скорость фильтрования 30—50 м/ч.

Все оборудование, особенно осветлительные, сорбционные и ионитные фильтры, защищается от коррозии термостойкими покрытиями.

Глава седьмая

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ И ПАРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

7.1. Общие вопросы, схемы и оборудование испарительных и паропреобразовательных установок. Подготовка питательной воды. Водный режим

Основной предпосылкой применения испарителей-паропреобразователей для подготовки добавочной воды для питания паровых котлов является возможность испарять в них природную, не глубокоочищенную, не обескремненную, а часто и высокоминерализованную и жесткую воду. Дистиллят, получаемый из вторичного промытого пара, пригоден для питания паровых котлов любого давления. При этом количество сбросных вод водоподготовительных установок и продувочных вод испарителей, как правило, значительно меньше, чем сбросных вод только ионитных обессоливающих установок.

До последнего времени испарительные установки применялись на конденсационных ТЭС и отопительных ТЭЦ для покрытия внутристанционных потерь в размере 2,5—3,5% паропроизводительности станции при сумме $SO_4^{2-}+Cl^-+NO_3^-$ более 5—7 мг-экв/л (350—500 мг/л).

В результате совершенствования схем испарительных установок, включения их в общую тепловую схему станций и объединения их с установками для подогрева сетевой воды тепловые потери существенно уменьшились. Это привело к возможности увеличить выработку дистиллята до 12—15% паропроизводительности ТЭЦ, понизить порог солесодержания исходной воды ($SO_4^{2-}+Cl^-+NO_3^-$) с 5—7 до 3—4 мг-экв/л, т. е. сделать дистилляцию конкурентоспособной ионитному обессоливанию даже для вод с солесодержанием 200—300 мг/л. Возможность повышения солесодержания конденсата — продувочной воды до 30 000—50 000 мг/л и более и сокращения размеров продувки до 1—2% резко уменьшает количество солевых стоков. Начинают применяться в отдельных случаях многокорпусные испарительные установки мгновенного вскипания (адиабатные), почти не требующие обработки питательной воды (известкование, затравки $CaSO_4$, $CaCO_3$).

Применяя специальные, дополнительные корпуса испарителей для доупаривания продувочной воды основных испарителей-паропреобразователей, можно получать содержащиеся в ней соли в твердом виде, пригодном для повторного использования (например, NaCl), и, таким образом, превратить водоподготовительные установки в почти бессточные, не требующие расхода привозной соли.

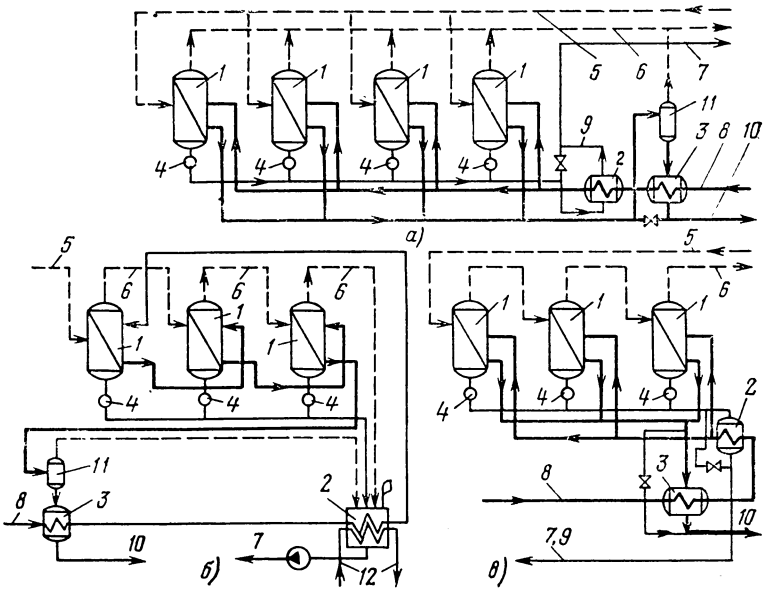


Рис. 7.1. Схемы автономных испарительных и паропреобразовательных установок:

а — параллельная (паропреобразовательная); *б* — последовательная по пару и воде; *в* — последовательная по пару; *1* — испарители-преобразователи; *2* — охладитель конденсата; *3* — охладитель продувочной воды; *4* — конденсатоотводчик; *5* — свежий пар; *6* — вторичный пар в блок ВД или потребителям; *7* — конденсат в блок ВД; *8* — питательная вода; *9* — охлажденный конденсат; *10* — охлажденная продувочная вода (концентрат); *11* — расширитель; *12* — охлаждающая вода

Основными схемами обычных, автономных испарительно-паропреобразовательных установок являются параллельная и последовательная.

В первой все корпуса получают первичный пар и питаются одной и той же водой независимо друг от друга (работают параллельно) рис. 7.1. При этой схеме на 1 т свежего пара вырабатывается несколько менее 1 т вторичного пара. Когда нужно получить больше дистиллята и нельзя использовать всю теплоту вторичного пара, приме-

няется последовательная схема. Продувочная вода первого (или последнего) корпуса испарительной установки является питательной водой следующего второго (или предпоследнего) корпуса и т. д., а вторичный пар первого корпуса является первичным греющим паром следующего корпуса (рис. 7.1,*б*). При этом 1 т свежего пара может выработать 2—3 т дистиллята и более.

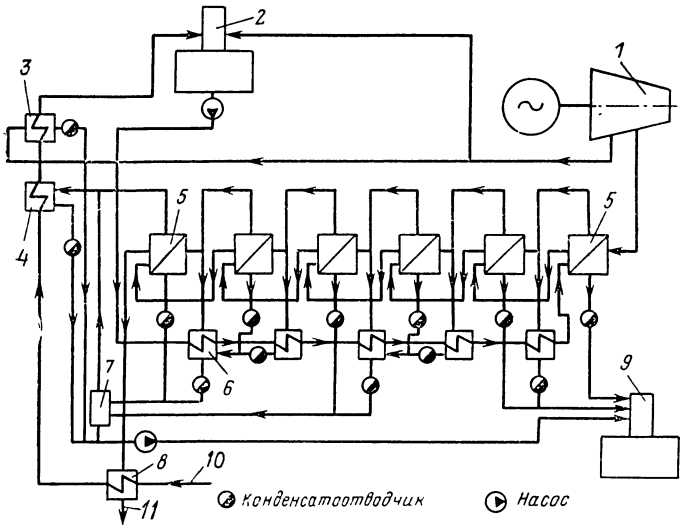


Рис. 7.2. Схема последовательного питания испарительных установок:
1 — турбина; *2* — деаэратор низкого давления; *3* — подогреватель химически обработанной воды; *4* — конденсатор вторичного пара; *5*— испарители; *6*— подогреватели; *7* — расширитель; *8* — охладитель продувки; *9* — деаэратор питательной воды котлов; *10* —подача химочищенной воды; *11* — охлажденный продуваемый концентрат

Известны также смешанные схемы (рис. 7.2), когда, например, питательная вода подается во все корпуса параллельно, а пар — последовательно и наоборот. На рис. 7.3 показана тепловая схема ТГ-ВК-50 с испарителями, сетевыми подогревателями и ПНД.

К недостаткам дистилляции следует отнести наличие во вторичном паре иногда значительных количеств свободной углекислоты, поскольку этот пар получается из воды со щелочностью 0,5—1,0 мг-экв/л, а иногда и более. Для уменьшения коррозионной агрессивности дистиллята необходима вентиляция паровых объемов, где происходит конденсация свежего и вторичного пара. Отбор парогазовой смеси производится из мест с наибольшей концентра-

цией углекислоты и других газов в паре (CO_2 более 1 г/кг). Применяют также ввод аммиака в питательную воду испарителей в количествах, обеспечивающих концентрацию связанного NH_3 в питательной воде паровых котлов 500—1000 мкг/л, а во вторичном паре-дистилляте не более 3—4 мг/л.

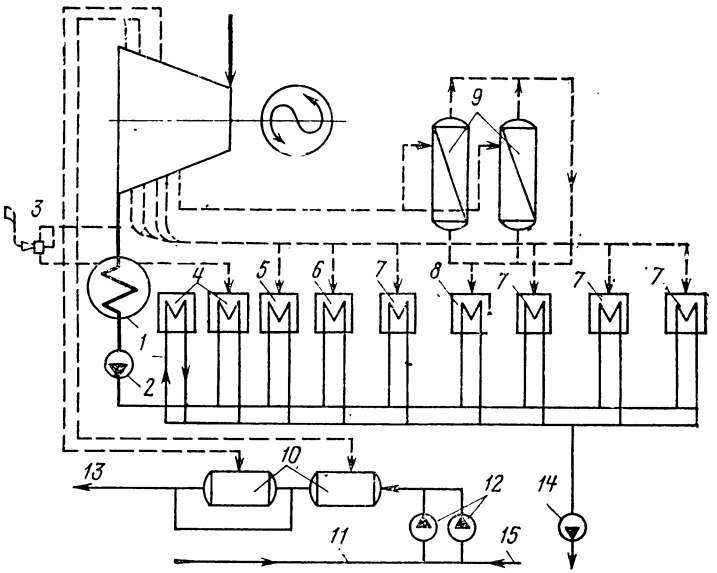


Рис. 7.3. Тепловая схема турбогенератора СВД с встроенной в регенеративную схему испарительной установкой:

1 — конденсатор; *2* — конденсатный насос; *3* — пусковой эжектор; *4* — холодильник пускового эжектора; *5* — подогреватель; *6* — конденсатор пара сальниковых уплотнений турбогенератора; *7* — ПНД 1—4; *8* — конденсатор вторичного пара испарителей; *9* — испаритель ИСВ; *10* — подогреватели сетевой воды; *11* — обратная сетевая вода; *12* — сетевые насосы; *13* — прямая сетевая вода; *14* — конденсат в деаэраторы ДП; *15* — подпиточная вода теплосети

Дистиллят, полученный из вторичного пара испарителей-паропреобразователей, иногда может содержать продукты коррозии Fe, Cu, Zn в количествах свыше допустимых, и поэтому его при блоках СКД необходимо прежде обезжелезивать, обессоливать, а затем уже подавать для окончательной деаэрации в основные деаэраторы ТЭС.

Вспениваемость концентрата испарителей-преобразователей при солесодержании его более 8—12 г/л значительно ослабевает, и влажность пара уменьшается, а солесодержание его не возрастает. Это позволяет испарителям-паропреобразователям работать с солесодержанием кон-

центрата 30—200 г/л (3—20%), т. е. иметь небольшие размеры продувки или питать испарители высокоминерализованной (1000—5000 мг/л) и даже морской водой. В этих случаях размер продувки определяется необходимостью вывода шлама и предотвращения кристаллизации солей (обычно $CaSO_4$) в аппарате, а также коррозии металла.

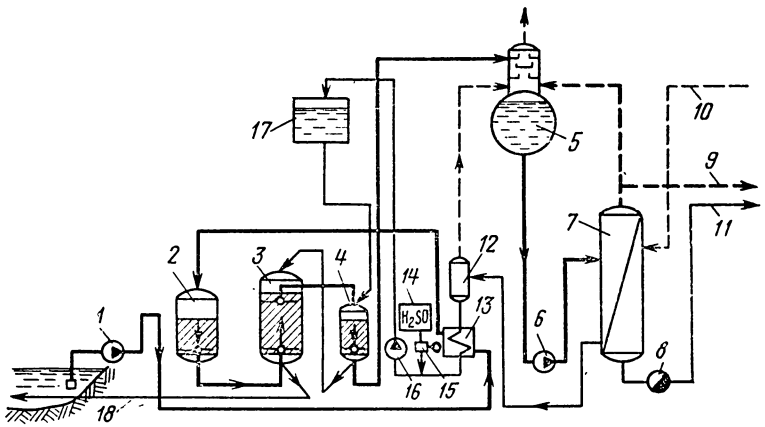


Рис. 7.4. Схема испарительной установки, работающей на умягченной морской воде (Азэнерго):

1 — насос морской воды; *2* — механический фильтр; *3* — Na-катионитный фильтр I-й ступени (КУ-2); *4* — Na-катионитный фильтр 2-й ступени (с/у); *5* — деаэратор; *6* — питательный насос; *7* — испаритель; *8* — конденсатоотводчик; *9* — вторичный пар в блок ВД ТЭС; *10* — свежий пар; *11* — конденсат свежего пара в блок ВД ТЭС; *12* — расширитель непрерывной продувки; *13* — теплообменник; *14* — бак рабочего раствора серной кислоты; *15*—насос-дозатор рабочего раствора серной кислоты, *16*—подкачивающий насос; *17* — бак нейтрализованной продувочной воды или регенерационного раствора; *18* — сброс отработавшего регенерационного раствора в море

Оборудование корпусов испарителей двухступенчатой промывкой пара питательной водой и собственным дистиллятом с увеличением высоты парового объема позволяет получать вторичный пар с солесодержанием менее 0,1 мг/кг, т. е. такого же качества, как турбинный конденсат или полностью обессоленная вода.

На Сумгаитской ТЭЦ и Северной ГРЭС Азглавэнерго уже несколько лет работают установки по Na-катионированию воды Каспийского моря и получению из нее дистиллята для питания паровых котлов ВД, разработанные институтом Азнефтехим (рис. 7.4).

Выбор типа испарительной установки определяется тепловой схемой отдельных турбоагрегатов и всей стан-

ции, включая бойлеры, водогрейные котлы, качеством исходной воды и схемой ее обработки.

Согласно п. 22-13 ПТЭ (1977 г.) питательная вода испарителей должна иметь такое же качество, как и питательная вода котлов с давлением до 40 кгс/см^2 (4,0 МПа), работающих на твердом топливе, а именно:

Жесткость, мкг-экв/л	10 (30)
Железо Fe, мкг/л	200 (—)
Кислород O_2, мкг/л	20 (30)
Углекислота свободная CO_2, мг/л	0
Сульфит натрия, мг/л	2 (—)
Реакция pH, ед.	9,1±0,1 (—)
Аммиак NH_3, мкг/л	1000 (—)
Нитриты NO_2^-, мкг/л	20 (—)
Медь Cu, мкг/л	20 (—)
Масла и нефтепродукты, мг/л	1 (—)

В скобках даны нормы ПТЭ (12-е издание), причем при высокой минерализованности допускалась жесткость питательной воды 75 мкг-экв/л. Черточка в скобках означает, что по этому показателю питательная вода ранее не нормировалась. Согласно п. 2.2-13 ПТЭ (13-е издание) допускается корректировка норм, которые не всегда могут быть соблюдены. Например, при питании испарителей известкованной или продувочной водой pH может быть 9,5—10,5.

Строгое соблюдение норм качества питательной воды испарителей может затруднить использование для них некоторых мягких сбросных вод ТЭС, например продувочных вод паровых котлов (по pH, взвеси и содержанию Fe), мягких отмывочных вод ВПУ (по pH) и др.

Высококонцентрированные продувочные воды испарителей-паропреобразователей, если они не доупариваются в специальных корпусах, должны после использования теплоты сбрасываться в систему ГЗУ, а при малом содержании SO_4^{2-} — использоваться для регенераций катионитных фильтров или для растворения свежей соли.

Вторичный пар-дистиллят испарителей, предназначенный для восполнения потерь в основном цикле ТЭС, не должен иметь солесодержание более 100 мкг/л в пересчете на Na^+ и содержание свободной углекислоты более 2 мг/л. Следует отметить, что такое содержание свободной углекислоты достижимо только при хорошей вентиляции паровых объемов конденсаторов свежего и вторичного пара испарителей.

Согласно ПТЭ питательная вода испарителей должна иметь такое же качество, как и вода для питания котлов

СД, т. е. обработка ее должна осуществляться по схеме: коагуляция — известкование или содоизвесткование — механическое фильтрование — двухступенчатое Na-катионирование. Предочистка необходима для уменьшения количества сточных вод и снижения содержания CO_2 в паре. С разрешения энергоуправления допустимы и другие схемы: без известкования, с H- или Na-катионированием при условии надежного отсоса парогазовой смеси из конденсаторов вторичного пара испарителей, из мест с наибольшей концентрацией CO_2.

Питательной водой испарителей может являться практически почти всякая умягченная и обезмасленная сточная вода ТЭС. Мягкие, отмывочные, щелочные воды анионитных фильтров, продувочная вода паровых котлов после расширителей могут использоваться для питания испарителей, как правило, без каких-либо дополнительных видов обработки. Продувать паровые котлы непосредственно в испарители не рекомендуется.

Следует отметить недопустимость образования накипи в испарителях. Накипь толщиной в 1 мм уменьшает коэффициент теплопередачи с 4000—12 500 до 2500—3300 кДж/(м^2·ч·К), т. е. 2—4 раза, снижая производительность аппарата. При накипи повышается температура конденсата первичного пара и возрастают потери теплоты.

Основными типами испарителей-паропреобразователей являются вертикально-водотрубные ИСВ и И (рис. 7.5).

Греющий трубчатый элемент испарителя должен быть снабжен устройством для отвода неконденсирующихся газов (O_2, CO_2, N_2). Отвод парогазовой смеси из испарителей целесообразно осуществлять сначала в корпуса испарителей, работающих при более низком давлении, затем в конденсаторы турбин или специальные конденсаторы, а также при давлении более 0,1 МПа в дренажные баки ТЭС, имеющие подвод расхолаживающей воды-конденсата (см. рис. 6.4).

Фосфатирование концентрата испарителей и паропреобразователей обязательно при давлении более 0,8 МПа, а также при низких размерах продувки (не более 2%), когда происходит значительное концентрирование всех примесей, в том числе и накипеобразователей, содержащихся в питательной воде. Фосфатирование не производится в случае питания испарителей продувочной водой паровых котлов, уже содержащей фосфаты.

Испарители и паропреобразователи должны быть снабжены манометрами, регуляторами питания, указате-

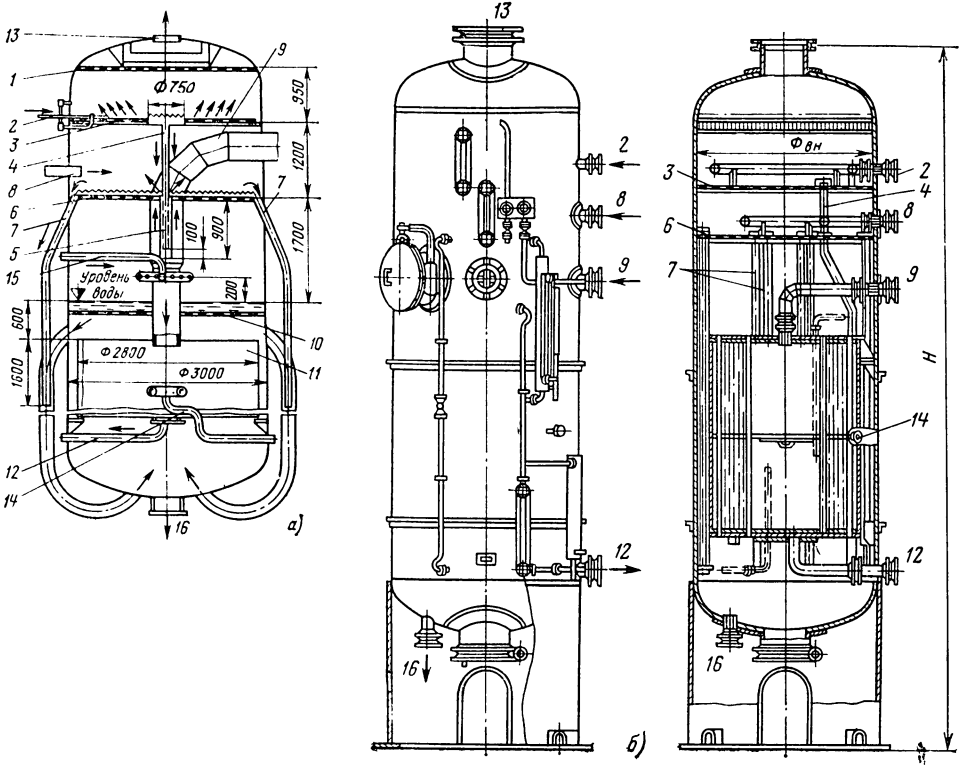


Рис. 7.5. Корпус испарителя:

а — ИСВ-965; *б* — И-120-1, И-120-2, И-250-1, И-250-2, И-350-1, И-350-2, И-585-1, И-585-2; *1* — дырчатый пароприемный потолок; *2* — подвод собственного дистиллята-конденсата для промывки; *3* — верхний промывочный лист; *4* — труба, отводящая промывочную воду с верхнего листа; *5* — гидрозатвор; *6* — нижний промывочный лист; *7* — опускные трубы промывочной воды; *8* — подвод питательной воды для промывки; *9* — подвод греющего пара; *10* — затопленный дырчатый лист; *11* — греющая секция; *12* — отвод конденсата греющего пара; *13* — отвод вторичного пара; *14* — вентиляция парового объема греющей секции; *15* — подвод питательной воды; *16* — продувка концентрата

лями уровня, устройствами для вентиляции паровых объемов, для непрерывной и периодической продувок и для отбора проб концентрата, вторичного пара и промывочной воды.

7.2. Пуск, наладка и испытания испарительных установок

Пуск, наладка и испытания проводятся пусконаладочными бригадами теплотехников-турбинистов с участием наладчиков-химиков или персоналом турбинного и химического цехов.

Перед пуском проверяется правильность монтажа испарительной установки (ее корпусов, расширителей, конденсаторов, трубопроводов, баков, насосов и контрольно-измерительных приборов). Особенно внимательно контролируется герметичность греющих элементов корпуса. Проверяется правильность монтажа питательных, сепарационных и паропромывочных устройств, перепускных клапанов для концентрата и т. д.

После очистки и промывки корпусов, трубопроводов и других элементов испарительной установки от ржавчины и грязи проводится щелочение водяного объема испарителей 0,5—1%-ным раствором NaOH, Na_2CO_3 или Na_3PO_4 аналогично щелочению паровых котлов (см. гл. 11). Щелочение не проводится, если испарители имеют трубки из цветных металлов.

По окончании щелочения энергичной нижней продувкой с одновременной подпиткой питательной водой доводят качество концентрата испарителей до качества питательной воды или до предполагаемого, заниженного качества концентрата. Затем начинаются собственно пуск и эксплуатация установки по проектной схеме и производятся наладка и испытания теплового режима установки. В это время теплотехники ведут регистрацию: расхода, давления и температуры первичного пара, количества и температуры питательной воды, выработанного дистиллята или вторичного пара, продувочной воды: температуры и давления в каждой полости корпусов; температурного перепада в каждом корпусе и во всей установке в целом; уровней концентрата; количества дистиллята и питательной воды, подаваемых на паропромывочные устройства.

Если из-за неудовлетворительной работы питательных клапанов не обеспечивается последовательное питание отдельных корпусов и поддержание уровня воды в них, в

эти корпуса должна добавляться свежая питательная вода, количество которой также должно измеряться.

В это же время химики контролируют солесодержание, щелочность, содержание фосфатов в питательной воде, концентратах корпусов, в конденсатах первичного и вторичного паров, а также в паропромывочных водах корпусов, оборудованных паропромывочными устройствами с отборами проб. Показания приборов записывают через 5—15 мин. Анализы выполняют каждые 30—60 мин. Опыт длится 6—7 ч. Схема точек контроля трехступенчатой испарительной установки изображена на рис. 7.6.

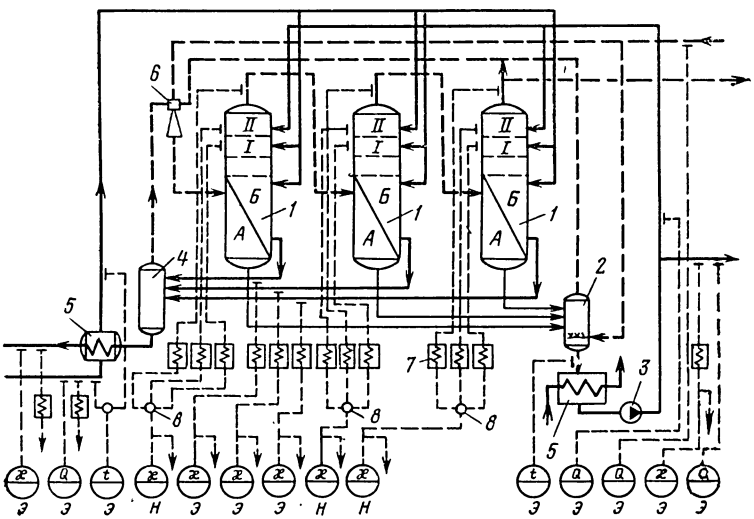


Рис. 7.6. Схема контроля работы испарительной установки во время испытаний:

1 — корпуса 1—3-й ступеней испарения; *2* — расширитель конденсата; *3* — конденсатный насос; *4* — расширитель продувочной воды; *5* — охладители продувочной воды и конденсата; *6* — термокомпрессор; *7* — холодильники для отбираемых проб; *8* — переключатель; *к* — солемер-концентратомер; *Q* — расходомер; *t* — термометр; *Э* — точки эксплуатационного контроля; *Н* — точки контроля при пуске и испытаниях; *А* — паровой объем первичного пара; *Б* — объем концентрата; *I* — паропромывочный лист нижний; *II* — то же верхний

При первоначальных наблюдениях и теплотехнических испытаниях установки с последовательным питанием не следует допускать ухудшения качества вторичного пара. Испытания следует проводить при увеличенной продувке каждого корпуса и полном или частичном их питании по свободным линиям, что позволяет регулировать качество концентрата. В процессе испытаний при условии нормаль-

ного качества вторичного пара, получаемого при проектных параметрах работы установки, индивидуальные продувки и подпитку корпусов сокращают и затем совершенно прекращают, а продувку последнего корпуса уменьшают, что приводит к повышению солесодержания концентрата — продувочной воды.

Определение оптимального количества воды, подаваемой на промывочное устройство при постоянной нагрузке корпуса, производится путем постепенного изменения ее подачи до момента, при котором качество вторичного пара начинает ухудшаться (обычно 5—15% паропроизводительности корпуса). Контроль качества промывочной воды необходим также для определения количества концентрата, забрасываемого паром на промывочные устройства.

Целью теплохимических испытаний испарительных установок является определение максимально допустимого содержания примесей в концентрате, при котором еще не начинает ухудшаться качество вторичного пара или его конденсата, получаемого в следующем корпусе.

При последовательной подаче в корпуса пара и параллельном питании их водой, равно как и при параллельной подаче в них пара и воды, можно вести испытания каждого корпуса в отдельности. При последовательном питании корпусов водой испытываться должны все корпуса установки одновременно. Необходимо проводить не менее 6—10 опытов продолжительностью по 6—7 ч, чтобы установить оптимальные значения солесодержания и уровня концентрата в каждом корпусе и производительность, а также давление первичного и вторичного пара.

При испытаниях многоступенчатых установок необходимо обеспечивать такой режим питания корпусов, чтобы качество концентрата первых было заниженным по сравнению с критическим, при котором качество вторичного пара начинает ухудшаться. В некоторых случаях схемы испарительных установок допускают и параллельное, и последовательное включение корпусов. Если какой-либо из корпусов в такой установке (например, второй) выдает вторичный пар неудовлетворительного качества, то можно снизить солесодержание его концентрата путем подачи в него свежей питательной воды и полной или частичной подачи концентрата предыдущего (первого) корпуса в следующий за рассматриваемым, например в третий корпус.

В случае, если какой-либо из корпусов не может использовать весь вторичный пар предыдущего корпуса,

часть этого пара пропускают, минуя этот корпус, в следующий, если это позволяет схема. Паропроизводительность каждого корпуса подсчитывают по количеству поданной питательной воды или концентрата, продуваемого из предыдущего корпуса, которое в свою очередь определяют по тепловым перепадам, солесодержанию питательной воды и продуваемого концентрата при помощи обычных формул. Эта схема контроля позволяет определить тепловые показатели каждого корпуса, подогревателя, а также расширителей и конденсаторов испарительной установки. В случае необходимости могут быть произведены упрощенные испытания всей установки в целом, для чего необходимы только эксплуатационные точки контроля.

При недостатке холодильников для отбора проб концентрат или вторичный пар от нескольких корпусов может быть подведен к двум холодильникам. Подвод к одному холодильнику и концентрата, и вторичного пара недопустим. В крайнем случае концентрат можно отобрать без холодильника, вводя поправку на самоиспарение.

По результатам испытаний составляют сводную таблицу и график для каждого опыта, подобно тому как это делается при испытании деаэраторов или котлов, а также режимную карту, где приводят нормы теплового и химического режимов работы установки.

7.3. Эксплуатация испарителей и паропреобразователей

Испарительные и паропреобразовательные установки электростанций входят в состав турбинных цехов. Обслуживающий персонал химических цехов следит за качеством питательной воды, концентрата, вторичного пара — дистиллята и промывочной воды, т. е. ведет водный режим работы установок. Нормы качества питательной воды испарителей и дистиллята даны в § 7.1, а нормы солесодержания и щелочности концентрата устанавливаются специальными испытаниями водно-химического режима. Поддерживание заданного качества концентрата достигается непрерывной или периодической продувкой при низком солесодержании питательной воды и высоком солесодержании концентрата и небольших устойчивых размерах продувки (периодической).

Основными условиями получения дистиллята нормального качества являются поддержание устойчивой производительности аппарата, не превышающей установленную

при испытаниях, надежное поддержание уровня и допустимого солесодержания концентрата. Контроль качества концентрата и дистиллята, а также регулирование непрерывной продувки следует автоматизировать или применять лабораторные (переносные) солемеры, передав их обслуживание персоналу турбинного цеха. Контроль за содержанием фосфатов в концентрате и общий уточненный периодический контроль водного режима испарительных установок должен осуществляться персоналом химического цеха.

Отбор проб концентрата и дистиллята, а также промывочных вод из корпусов, работающих под вакуумом, следует выполнять через холодильник при помощи вакуумных бачков-накопителей или специальных насосов ОРГРЭС.

Очистка от отложений водотрубных испарителей должна проводиться механическим путем (при помощи шарошек), реже химическим способом. Необходимо внимательно следить за появлением разрывов труб, что сопровождается обычно ухудшением качества вторичного пара этого корпуса или конденсата следующего корпуса.

Одноступенчатая промывка пара может осуществляться питательной водой испарителей, двухступенчатая — питательной водой и собственным дистиллятом. На промывочные устройства подается 5—15% питательной воды или вырабатываемого корпусом дистиллята. Необходимы также дырчатые листы в водяном объеме, выравнивающие скорость пара по поверхности испарения и улучшающие его качество.

Рекомендуется оборудование выносных конденсаторов вторичного пара барботерами для барботажа дистиллята или конденсата паром и устройствами для отсоса неконденсирующихся газов. Необходимо оснащение корпусов автоматическими регуляторами питания с успокоительными колонками, обеспечивающими устойчивый уровень в поплавковых камерах и стеклах, и золотниковыми клапанами (вместо заслонок), обеспечивающими малый пропуск пара при закрытом клапане. Целесообразно увеличение числа (сечения) опускных труб, чтобы площадь их сечения равнялась 50% сечения подъемных труб и в них не засасывался пар. Более полное использование теплоты вторичного пара испарителей возможно путем подачи его в головки атмосферных деаэраторов (вторичный пар пригоден и для барботажа в деаэраторах в случае,

если содержание свободной CO_2 в нем не превышает 2 мг/кг).

Желательно применение термокомпрессоров для уменьшения расхода свежего пара и повышения производительности установки. Применение компрессоров возможно, когда давление свежего пара превышает необходимое и без применения термокомпрессора его все равно нужно дросселировать. Использование термокомпрессоров в испарительных установках значительно повышает выработку дистиллята при той же поверхности нагрева. Так, обычная двухкорпусная испарительная установка, вырабатывающая около 1,7 т дистиллята на 1 т первичного пара, после установки термокомпрессора, способна выработать на 1 т свежего пара 3,4—4,5 дистиллята тем же оборудованием, т. е. может заменить собой 5—6-корпусную испарительную установку. Термокомпрессор представляет собой пароструйный инжектор, в котором за счет дросселирования свежего пара повышенного давления повышается температура и давление эжектируемого из второго корпуса вторичного пара до параметров, необходимых для работы в качестве первичного пара первого корпуса.

При сливе промывочной воды с нижней тарелки в водяной объем испарителя во избежание выбросов концентрата через сливные трубы их необходимо заглублять и делать в виде U-образного гидрозатвора.

7.4. Важнейшие показатели работы испарителей и паропреобразователей

Важнейшие показатели работы испарителей и паропреобразователей приведены ниже:

Напряжение парового объема, м³/м³ . . .	Не более 1200
Напряжение зеркала испарения при высоте парового объема не менее 1000—1500 мм и наличии эффективной сепарации (паропромывочных устройств и каплеуловителей), м³/м³ . . .	Не более 2500
Число ступеней промывки при применении дистиллята для питания котлов давлением:	
до 4 МПа	Без промывки
10—11 МПа	Одна ступень (питательная вода)
13—16 МПа	Две ступени (питательная вода и собственный дистиллят)
Температура свежего пара, °С	Не более 320
Колебания уровня, мм	100 (необходима автоматика питания)

Выработка вторичного пара на 1 кг свежего пара:	
в паропреобразователях	0,85—0,95
в испарителях при числе корпусов и последовательной работе по пару:	
один	0,85—0,95
два	1,4—1,65
три	2,0—2,5
четыре	3,0
пять	3,5—3,7
Температурный перепад в корпусах, °С	5—15
Коэффициент теплопередачи поверхности нагрева испарителей и паропреобразователей, кДж/(м²·ч·К):	
при чистой поверхности	4000—12500
при накипи толщиной 1 мм	2500—3000

Глава восьмая

ПОДГОТОВКА ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ И ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Практически на каждой ТЭС (КЭС или ТЭЦ) имеются теплофикационные установки, сетевые подогреватели (бойлеры) или водогрейные котлы, обеспечивающие теплотой или горячей водой ТЭС город, поселок, промышленные или сельскохозяйственные предприятия.

Нормы качества подпиточной и сетевой воды систем теплоснабжения и горячего водоснабжения при централизованной подпитке приведены в табл. 1.6.

После отопительного сезона или при остановке водогрейных котлов должны быть приняты меры по консервации водогрейных котлов и сетей.

Соблюдая нормы (см. табл. 1.6), необходимо дополнительно учитывать еще ряд факторов:

неизбежное повышение pH подпиточной воды сетей горячего водоснабжения до 8,5 и более при деаэрации ее при температуре более 70 и особенно более 100 °С и содержании иона HCO_3^- более 1,0 мг-экв/л, даже если до деаэрации вода имела показатель pH ниже 8,0; недопустимость применения стальных трубок при нагреве недеаэрированной воды в бойлерах потребителей; выпадение карбоната кальция в трубках нижних рядов конвективных пакетов водогрейных котлов при жесткости подпиточной сетевой воды более 300—400 мкг-экв/л, особенно

при затягивании в эти пакеты факела и неравномерном протоке воды по многочисленным змеевикам; при наличии сульфатно-кальциевой жесткости возможность выпадения в отдельных змеевиках при недостаточном протоке воды $CaSO_4$ и их закупорки; выпадение шлама $CaCO_3$ не только в водогрейных котлах или в станционных бойлерах, но и в самой теплосети и отопительных приборах при малых скоростях и длительном пребывании воды.

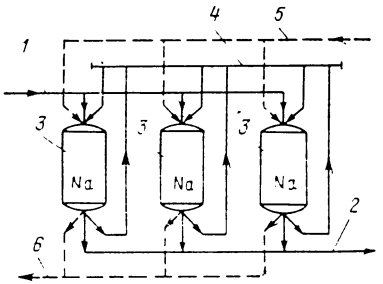


Рис. 8.1. Схема одно- и двухступенчатого Na-катионирования с меняющимися фильтрами:
1 — подача исходной воды; *2* — выход умягченной воды в деаэратор; *3* — Na-катионитный фильтр; *4* — перекидной коллектор воды после фильтров 1-й ступени; *5* — подача регенерационного раствора (соли); *6* — сброс отработавшего раствора соли и отмывочной воды

При закрытой сети теплоснабжения с теплопунктами для подогрева воды местных систем горячего водоснабжения допустима подпитка технической (не питьевой), но обязательно очищенной водой, обязательна деаэрация ее при температуре более 102 °С в течение не менее 20 мин, при необходимости с последующим охлаждением ее перед питательными насосами водой, подаваемой в деаэратор.

При подпитке теплосети водой питьевого качества допустима вакуумная деаэрация ее при температуре не менее 70 °С.

Рекомендуется увеличивать емкость запасных баков для горячей воды до десятикратного среднечасового расхода воды.

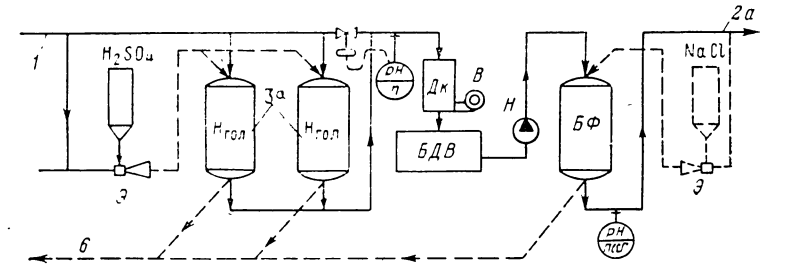


Рис. 8.2. Схема «голодного» Н-катионирования:
3а — $H_{гол}$—Н-катионитные фильтры с «голодной» регенерацией (стехиометрические дозы кислоты); H_2SO_4 и NaCl — мерники крепких растворов кислоты и соли; *Э* — эжекторы; *Дк* — декарбонизатор; *БДВ* — бак декарбонизированной воды; *В* — вентилятор; *Н* — насос; *БФ* — барьерный нерегенерируемый или Na-катионитный фильтр; *2а* — умягченная вода в деаэраторы; остальные обозначения те же, то и на рис. 8.1

Силикатирование рекомендуется во всех случаях как способ защиты всех теплосетей от кислородной коррозии во время простоев при опорожнении сетей и обязательно при эксплуатации в отсутствие деаэрации подпиточной воды.

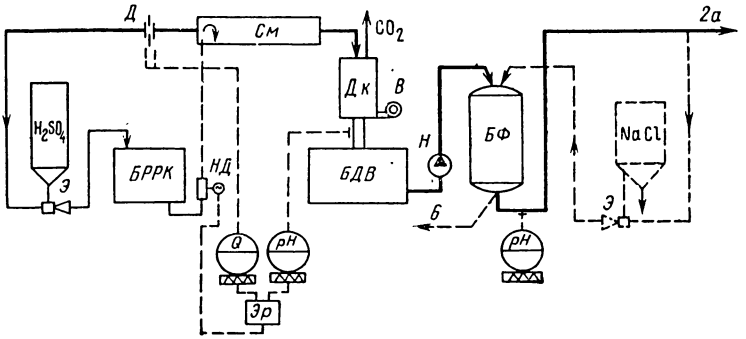


Рис. 8.3. Схема подкисления с декарбонизацией и барьерным неперегенерируемым или Na-катионитным фильтром:

Д — измерительная диафрагма; *Эр* — электронный регулятор; *БРРК* — бак разбавленного раствора кислоты; *НД* — дозирующий насос; остальные обозначения те же, что и на рис. 8.1—8.2

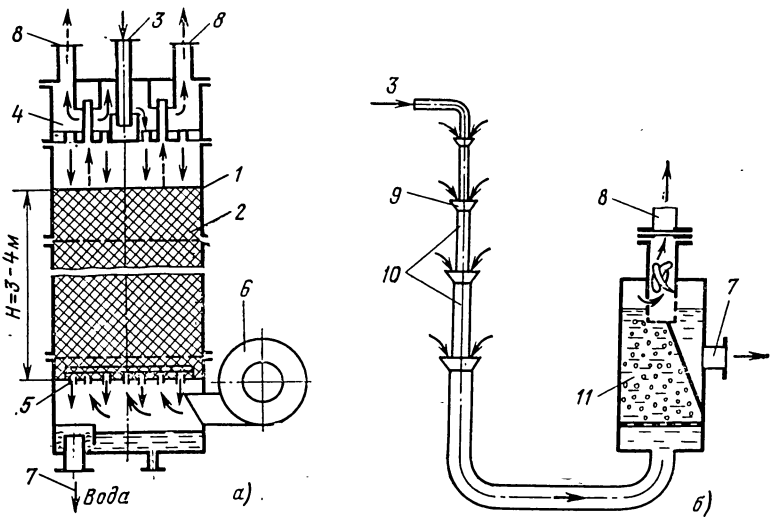


Рис. 8.4. Декарбонизаторы:

а — по нормалям Сантехпроекта; *б* — Волгоградской ТЭЦ-2; *1* — корпус; *2* — насадка из фарфоровых колец Рашига; *3* — вход воды; *4* — распределительное устройство; *5* — поддерживающая решетка со сборно-распределительным устройством; *6* — вентилятор; *7* — слив с гидрозатвором; *8* — выход воздуха с CO_2; *9* — сопла для подсоса воздуха; *10* — корпус декарбонизатора; *11* — воздухоотделитель

Не рекомендуется обработка магномассой даже для малых систем из-за сложности ее получения. Этот способ допустим при невозможности деаэрации воды.

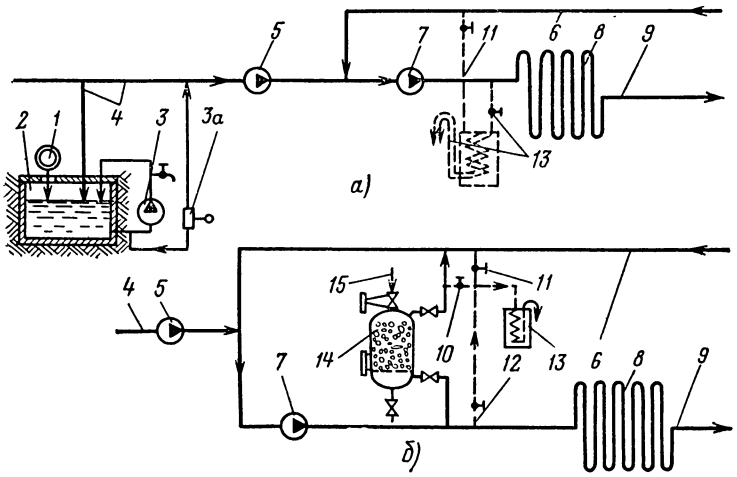


Рис. 8.5. Схема ввода силиката натрия в подпиточную воду:

а — при получении жидкого стекла; *б* — при получении силиката-«глыбы»; *1* — бочка с жидким стеклом; *2* — резервуар для хранения жидкого стекла и приготовления рабочего раствора; *3* — циркуляционный насос; *3а* — насос-дозатор; *4* — подпиточная вода; *5* — подпиточный насос; *6* — обратная сетевая вода; *7* — сетевой насос; *8* — водонагреватель (водогрейные котлы или бойлеры); *9* — прямая сетевая вода; *10* — отбор проб раствора силиката; *11* и *12* — отборы проб обратной и прямой сетевой воды; *13* — холодильник; *14* — бачок для растворения «глыбы»; *15* — загрузка «глыбы» в бачок

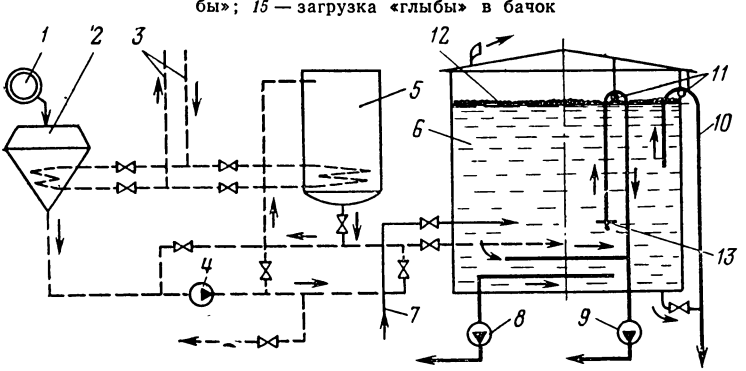


Рис. 8.6. Схема ввода «герметика» в аккумуляторный бак с устройствами для предотвращения попадания герметика в сетевую воду или в канализацию:

1 — бочка с герметиком; *2* — приемный бункер с змеевиком; *3* — подвод пара для разогрева — разжижения герметика; *4* — насос для перекачки герметика; *5* — бак для хранения герметика с змеевиком; *6* — аккумуляторный бак; *7* — подача воды для заполнения бака; *8* — подвод деаэрированной воды; *9* — откачка деаэрированной воды; *10* — перелив; *11* — воздушник для срыва сифона; *12* — слой «герметика АГ-4»; *13* — щиток

В настоящее время широко применяется Na-катионирование для подпиточной воды закрытых систем теплоснабжения и в ближайшее время, несмотря на недостатки этого способа (pH воды после деаэрации более 8,5), будет еще применяться.

Использование для подпитки закрытых теплосетей продувочных вод паровых котлов, отмывочных вод анионитных фильтров и др. в решении НТС Минэнерго СССР пока не рассмотрено.

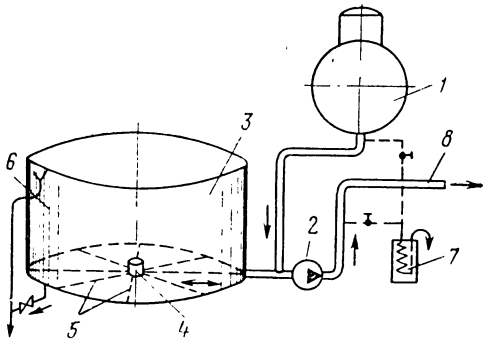


Рис. 8.7. Схема «паука» в аккумуляторном баке

1 — деаэратор; *2* — подпиточный насос; *3* — аккумуляторный бак; *4* — центральный «стакан»; *5* — дырчатые распределительные трубы с отверстиями, обращенными вниз; *6* — перелив; *7* — холодильник для отбираемых проб; *8* — деаэрированная подпиточная вода в теплосеть

На рис. 8.1 показана схема одно-, двухступенчатого Na-катионирования; на рис. 8.2 — схема «голодного» Н-катионирования. На рис. 8.3 приведена схема подкисления с декарбонизацией и барьерным нерегенерируемым фильтром.

Декарбонизаторы обычного скрубберного типа с фарфоровыми кольцами Рашига и струйного типа, установленные на Волгоградской ТЭЦ-2, изображены на рис. 8.4. На рис. 8.5 приведены схемы ввода в подпиточную и сетевую воду силиката натрия. Рисунок 8.6 иллюстрирует схему ввода герметика в аккумуляторный бак для защиты от попадания воздуха в деаэрированную воду. Схема предотвращает попадание больших количеств герметика в подпиточную воду и переливную трубу.

Устройство «паука» в аккумуляторном баке для предотвращения перемешивания воды в нем и предотвращения засоса воздуха сливающейся струей воды показано на рис. 8.7.

Таблица 8.1. **Выбор способа обработки воды для централизованного горячего водоснабжения по данным ВТИ**

Показатели качества исходной водопроводной воды (средние за год)				Способ противокоррозионной и противонакипной обработки воды в зависимости от вида труб			Показатели качества воды после обработки			
	Концентрация, мг/л							Концентрация, мг/л, не более		
Индекс насыщения J при 60 °С	хлоридов и сульфатов (суммарной) $Cl^- + SO_4^{2-}$	свободной углекислоты CO_2	Окисляемость, мг/л O_2	Стальные трубы без покрытий	Оцинкованные трубы	Стальные трубы с внутренним неметаллическим покрытием или термостойкие пластмассовые трубы	pH	растворенного кислорода O_2	хлоридов и сульфатов (суммарно) $Cl^- + SO_4^{2-}$	свободной углекислоты CO_2
$J < -1{,}5$	⩽50	⩽20	Любая	ВД	ВД	—	8,3—8,5	0,1	Исходная	0
$-1{,}5 \leqslant J \leqslant -1$	⩽50	⩽20	»	С	С	—	⩾7	Исходная	»	Уменьшается
$J < -1$	⩽50	>20	»	ВД+П	ВД+П	—	8,3—8,5	0,1	»	0
$-1 \leqslant J \leqslant 0$	⩽50	⩽20	»	С	—	—	⩾7	Исходная	»	Уменьшается
$-1 \leqslant J \leqslant 0$	⩽50	>20	»	ВД+П	—	—	8,3—8,5	0,1	»	0
$J \leqslant 0$	>50	⩽20	»	ВД	ВД	—	8,3—8,5	0,1	»	0
$J \leqslant 0$	>50	>20	»	ВД+П	ВД+П	—	8,3—8,5	0,1	»	0
$0 < J \leqslant 0{,}5$	51—200	Любая	>3	С	С	—	⩾7	Исходная	»	Уменьшается
$0 < J \leqslant 0{,}5$	>200*	⩽20	>3	ВД	ВД	—	8,3—8,5	0,1	»	0
$0 < J \leqslant 0{,}5$	>200*	>20	>3	ВД+П	ВД+П	—	8,3—8,5	0,1	»	0
$0 < J \leqslant 0{,}1$	⩽50	Любая	0—6	—	—	—	—	—	—	—
$0{,}1 < J \leqslant 0{,}5$	⩽50	»	>3	—	—	—	—	—	—	—
$0{,}1 < J \leqslant 0{,}5$	⩽50	»	⩽3	М	М	М	Исходная	Исходная	Исходная	Исходная
$J > 0{,}5$	⩽50	»	0—6	М	М	М	То же	»	»	»
$0{,}1 < J \leqslant 0{,}5$	51—200	»	⩽3	С+М	С+М	М	⩾7	»	»	Уменьшается
$0{,}1 < J \leqslant 0{,}5$	>200*	⩽20	⩽3	ВД+М	ВД+М	М	8,3—8,5	0,1	»	0
$0{,}1 < J \leqslant 0{,}5$	>200*	>20	⩽3	ВД+П+М	ВД+П+М	М	8,3—8,5	0,1	»	0
$J > 0{,}5$	51—200	Любая	0—6	С+М	С+М	М	⩾7	Исходная	»	Уменьшается
$J > 0{,}5$	>200*	⩽20	0—6	ВД+М	ВД+М	М	8,3—8,5	0,1	»	0
$J > 0{,}5$	>200*	>20	0—6	ВД+П+М	ВД+П+М	М	8,3—8,5	0,1	»	0

* В пределах ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая».

Примечания: 1. ВД — вакуумная деаэрация; П — подщелачивание; С — силикатирование; М — магнитная: знак «—» означает, что обработка воды не требуется.

2. Выбор способа обработки воды производится при любой концентрации растворенного в воде кислорода.

3. Магнитная обработка воды применяется при общей жесткости воды не более 10 мг-экв/л и карбонатной жесткости (щелочности) выше 4 и не более 7 мг-экв/л.

4. Определение индекса насыщения (Ланжелье) J затруднительно, так как значение колеблется по временам года.

5. В настоящее время нормы качества подпиточной и сетевой воды как и выбор схем обработки подпиточной воды пересматриваются.

В табл. 8.1 приведен выбор способа обработки воды для централизованного горячего водоснабжения.

Показатели качества воды и работы аппарата при магнитной обработке приведены ниже:

Исходная вода

Солесодержание, мг/л	До 500
Окисляемость перманганатная, мг/л O_2	6—8
Цветность по хроматно-кобальтовой шкале, град	15—20
Жесткость общая, мг-экв/л	До 10
Щелочность общая (карбонатная жесткость), мг-экв/л	4—7
Содержание взвеси, мг/л	Не более 1—2
Содержание свободной углекислоты	10—15 мг/л

Работа аппарата

Напряженность магнитного поля, А/м	200—230
Скорость воды в аппарате, м/с	0,7—0,8
Время пребывания воды в рабочем зазоре, с	0,02—0,04
Продолжительность сохранения эффекта омагничивания, ч	18—24
Количество сетевой воды, направляемой на повторное омагничивание, %	6—25
Допустимое теплонапряжение поверхности нагрева водогрейного котла, кДж/(м²/ч)	До 400 000
Удельный расход электроэнергии на омагничивание воды, Вт/м³, при производительности, м³/ч:	
до 100	6—18
100—1000	3,5—4,5

Обработанная вода

	До деаэратора	После деаэратора
Содержание свободной углекислоты, мг/л	10—15	0
Содержание кислорода O_2, мг/л	5—7	0,03
Содержание шлама крупнее 1,0 мкм, мг/л	До 1—2	
Крупность выпадающего шлама, мг/л (%):		
крупнее 1,5 мкм	0,05 (0,4)	
0,5—1,5 мкм	2 (20)	
мельче 0,5 мкм	8 (80)	
Максимально допустимое содержание взвеси с размером частиц более 1,0 мкм (норма ПТЭ), мг/л	5	

На совещаниях, состоявшихся в апреле 1983 г., обсуждались проекты норм качества подпиточной и сетевой воды систем теплоснабжения (закрытых) и горячего водоснабжения (открытых) и способы обработки подпиточной воды. Как выяснилось, даже превышение давления в водогрейном котле на 2,0 МПа сверх давления, соответствующего

средней температуре воды после котла (150 °С), не позволяет избежать «пристенного» кипения воды в отдельных змеевиках конвективных пакетов современных водогрейных котлов, отложений накипи и растворимых солей в этих змеевиках при соблюдении норм качества подпиточной воды согласно ПТЭ.

В результате неоднократных обсуждений было намечено:

переработать проект норм, разработанный отделением водно-химических процессов ВТИ;

стремиться избегать огневого подогрева жесткой сетевой воды и в качестве первоочередной меры снижать норму общей жесткости до 200 мкг/л с дальнейшим понижением ее до 100 мкг/л для закрытых систем теплоснабжения;

переходить на двухконтурную схему подогрева сетевой воды: водогрейный котел — водо-водяной теплообменник или паровой котел — паровой подогреватель сетевой воды, при этом котлы могли бы работать на совершенно мягкой, обессоленной воде или конденсате при безнакипном и бескоррозионном режиме;

поддерживать pH сетевой воды даже закрытых систем теплоснабжения не более 9,5 из-за опасности разрушения — обесцинкования латунных трубок теплообменных аппаратов как источника теплоснабжения, так и потребителей теплоты;

ввиду опасности (при закрытых системах теплоснабжения) перетекания сетевой воды через прокорродированные латунные трубки теплообменников местных систем горячего водоснабжения подпиточная вода закрытых систем должна отвечать требованиям, предъявляемым к качеству питьевой воды или в крайнем случае (при поверхностных водах) быть химически обработанной и деаэрированной при температуре не ниже 100 °С.

Глава девятая

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДЕАЭРАЦИОННО-ДЕГАЗАЦИОННЫХ УСТАНОВОК

На ТЭС специально деаэрируется, т. е. осуществляется удаление растворенных газов (O_2 и CO_2) из умягченной или обессоленной воды на ВПУ, особенно в случае сооружения ВПУ в особом здании. Деаэрируются также питательная вода испарителей-паропреобразователей и котлов, подпиточная вода тепловых сетей, а при конденсации пара в коденсаторах конденсат турбин и иногда добавляемая в конденсаторы добавочная обессоленная вода.

Основным способом удаления из воды растворенных газов является термическая деаэрация, проводимая при различных физических условиях: при давлении 0,0075—0,05 МПа, т. е. при разрежении, и температуре 40—80 °С; при атмосферном давлении 0,12 МПа и $t=103\div107$ °С; при повышенном давлении 0,6; 0,7 и 0,8 МПа и $t=158\div170$ °С.

В качестве дополнительных методов удаления O_2 и CO_2 после термической деаэрации применяются химические методы: сульфитное и гидразинное обескислороживание и связывание CO_2 щелочами NaOH или NH_3.

Известны, но не имеют применения на ТЭС десорбционное, сталестружечное, ионитное и электрохимическое обескислороживание.

Хотя оборудование для термической деаэрации и находится обычно в составе турбинного цеха ТЭС и только иногда в составе химического цеха, персонал последнего должен достаточно хорошо знать условия его эксплуатации, а не только контролировать качество деаэрированной воды.

9.1. Основы термической деаэрации

Удаление кислорода и углекислоты при термической деаэрации происходит в результате снижения растворимости этих газов до нуля при кипении воды. Одновременно с удалением O_2 и свободной CO_2 при кипении воды происходит частичный распад бикарбонатов и карбонатов натрия с выделением и уносом паром освобождающейся CO_2:

$$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2\uparrow;$$

$$Na_2CO_3 + H_2O \rightarrow 2NaOH + CO_2\uparrow.$$

Для ускорения извлечения из воды растворенных газов, кроме доведения ее до температуры кипения, необходимо создание большой поверхности раздела вода — газ. При этом сокращается время, необходимое для выделения из воды пузырьков газов и уноса их паром.

При термической деаэрации кислород удаляется из воды быстрее и полнее, чем CO_2, которая более растворима в воде и способна образовывать с водой угольную кислоту

$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3.$$

Таким образом, CO_2 находится в воде как в виде свободной (агрессивной и равновесной), так и в виде полусвязанной HCO_3^- и связанной CO_3^{2-}, а для распада последних

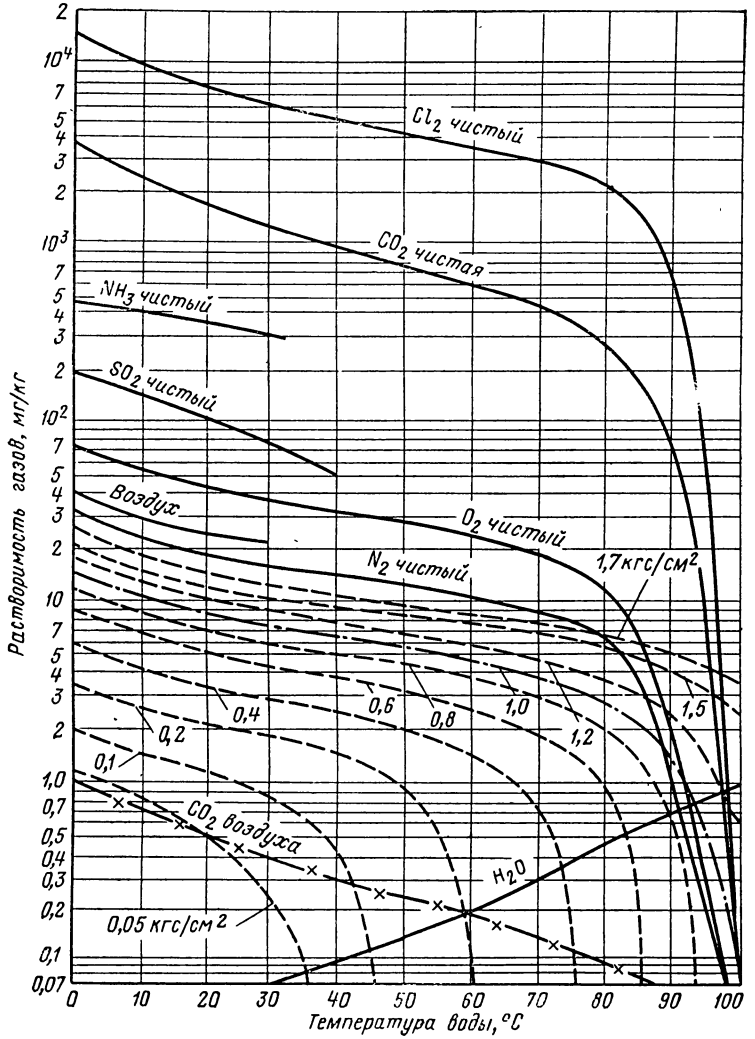


Рис. 9.1. Растворимость газов в зависимости от температуры и давления:

пунктирные линии — растворимость кислорода воздуха; цифры на кривых — давление, кгс/см²; численные значения для NH_3 и SO_2 нужно умножить на 1000; H_2O — парциальное давление водяного пара (над водой) в долях единицы

необходимы и время, и температура. С повышением температуры распад $HCO_3^- — CO_3^{2-}$ на H_2O+CO_2 ускоряется.

Аммиак из деаэрируемой воды удаляется лишь на 10—20%, так как обычно он связан с углекислотой в менее летучие соединения: $(NH_4)_2CO_3$ и NH_4HCO_3.

В деаэрационной колонке в размельченном на капли и струи состоянии вода находится всего несколько секунд и поэтому распад бикарбонатов, карбонатов в ней или совсем не происходит, или происходит в незначительной степени. Только при длительном барботаже воды в деаэраторном баке (10—20 мин) при давлении более 0,1 МПа и температуре более 100 °С происходит заметный распад бикарбонатов (в меньшей степени карбонатов) и унос освобождающейся CO_2 с паром (выпаром).

Для удаления O_2 и CO_2 следует незамедлительно отводить выделившиеся газы от деаэрированной воды, для чего необходимо быстро удалять пар в количестве 1,5—2 кг на 1 т деаэрируемой воды из верхней части колонки деаэратора.

При деаэрации в вакууме распад бикарбонатов, а тем более карбонатов практически не происходит. При бикарбонатной щелочности менее 0,3 мг-экв/л распад бикарбонатов при атмосферном давлении во время прохода через деаэрационную колонку не наблюдается и устойчиво происходит в колонке только при бикарбонатной щелочности более 0,6 мг-экв/л.

Растворимость газов в воде при различных температурах и давлениях показана на рис. 9.1.

9.2. Деаэрация добавочной воды в конденсаторах

Добавочная вода, вводимая в конденсаторы для предварительной ее деаэрации, должна быть нагрета на 1—3 °С выше температуры конденсации. Однако подача в конденсаторы холодной добавочной воды более экономична. Подаваемая в верхнюю часть конденсаторов для деаэрации добавочная вода должна хорошо разбрызгиваться (рис. 9.2). Количество воды, подаваемой в конденсаторы, обычно не превышает 3—5% количества конденсата. Оно зависит от резерва мощности рабочего эжектора и плотности вакуумной части турбины и конденсатора.

Подсосы воздуха в паровой объем конденсатора не опасны до тех пор, пока эжекторы в состоянии удалять все газы и поддерживать глубокий вакуум. При больших

подсосах воздуха эжекторы уже не в состоянии справляться с отводом газов и деаэрация конденсата ухудшается. В этих случаях в работу дополнительно включают пусковые эжекторы до устранения неплотностей. Более опасны подсосы воздуха в водяном объеме конденсатора

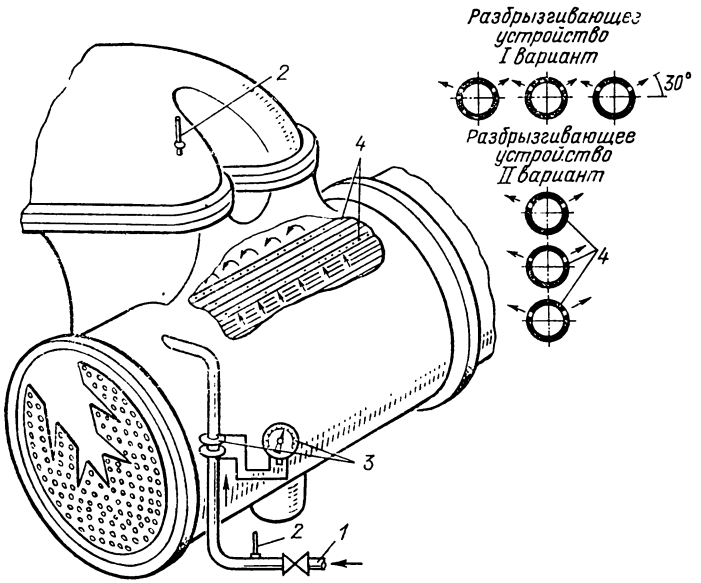


Рис. 9.2. Схема дегазации воды в конденсаторе турбины:
1 — вход очищенной воды; *2* — термометр; *3* — расходомер; *4* — разбрызгивающее устройство ($d_{отв}$=1÷3 мм)

и в конденсатопроводе от конденсатора до насосов. Важно также предотвращать переохлаждение конденсата в конденсаторах, способствующее растворению в нем газов в большом количестве.

9.3. Вакуумная деаэрация в специальных деаэраторах

Вакуумная деаэрация рекомендуется для питательной воды котлов низкого давления, испарителей и паропреобразователей, а также для подпиточной воды сетей теплоснабжения и особенно горячего водоснабжения, если остаточное содержание O_2 (около 50 мкг/л) соответствует нормам качества питательной воды потребителей. Деаэрация под разрежением позволяет уменьшить тепловые по-

тери по тракту и применить холодноводные насосы; pH воды при 70—75 °С не повышается, так как распад бикарбонатов при этих температурах незначителен.

Вакуумная деаэрация может применяться при температуре 40—80 °С и абсолютном давлении 0,0075—0,05 МПа. Вакуум создается и поддерживается водяными эжекторами типов ЭВ-1 — ЭВ-75, а при большой производительности (более 400 м³/ч) еще и паровыми эжекторами, например, типа ЭП-3-25/75 ХТГЗ, а также вакуумнасосами. Наиболее целесообразна последовательная установка эжекторов: сначала парового (первой ступени), а затем водяного, выполняющего одновременно роль конденсатора. Водяной эжектор работает на деаэрируемой воде, подаваемой затем в деаэратор.

При коагуляции воды без известкования вакуумный деаэратор может быть установлен на ВПУ после ввода реагентов, так как это позволяет уменьшить содержание в воде кислорода, и CO_2, выделившейся при коагуляции.

В схемах с параллельным или последовательным Н — Na-катионированием или «голодным» Н-катионированием деаэратор целесообразно устанавливать вместо

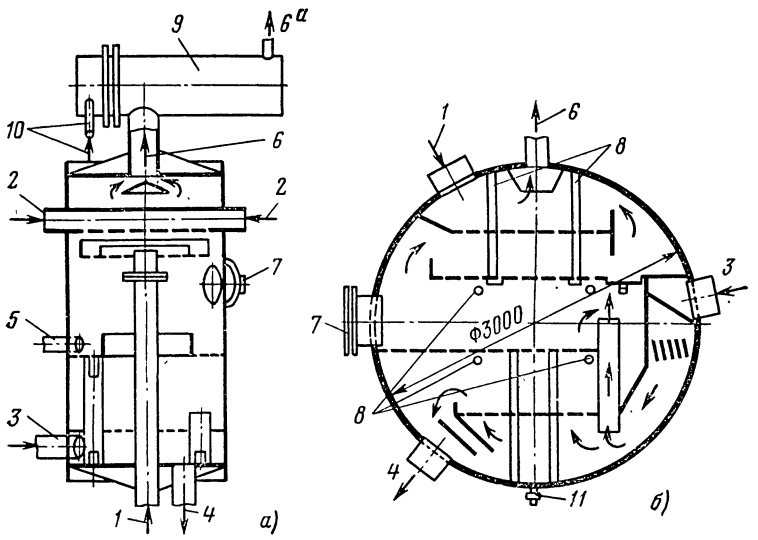


Рис. 9.3. Вакуум-деаэраторы (по каталогу НИИЭинформэнергомаш): *а* — ДСВ-ДВ Q=25÷300 т/ч; *б* — ДСВ-ДВ Q=400 т/ч (одна секция, l=2000 мм); *1* — вход воды; *2* — вход воды из охладителя выпара; *3* — вход пара; *4* — отвод воды; *5* — ввод конденсата; *6* — выход выпара; *6а* — к эжектору; *7* — лаз, d=400÷500 мм; *8* — подвески-стяжки; *9* — охладитель выпара; *10* — подвод и отвод воды в охладитель выпара; *11* — дренаж

декарбонизатора после смешивания кислой воды со щелочной.

В качестве вакуумных, кроме специальных конструкций (рис. 9.3), могут применяться и деаэраторы обычного типа после проверки их прочности и производительности при работе под полным вакуумом и необходимого укрепления стенок деаэраторных баков, а в отдельных случаях и колонок. Могут быть применены и смешивающие деаэраторы-подогреватели конструкции типа Уралэнергочермета (рис. 9.4). В них вода подогревается и деаэрируется как в струях, так и в водяном объеме путем барботажа. Деаэраторы должны снабжаться автоматическими регуляторами уровня, температуры и вакуума.

Применяя последние конструкции вакуумных деаэраторов большой производительности, можно деаэрировать

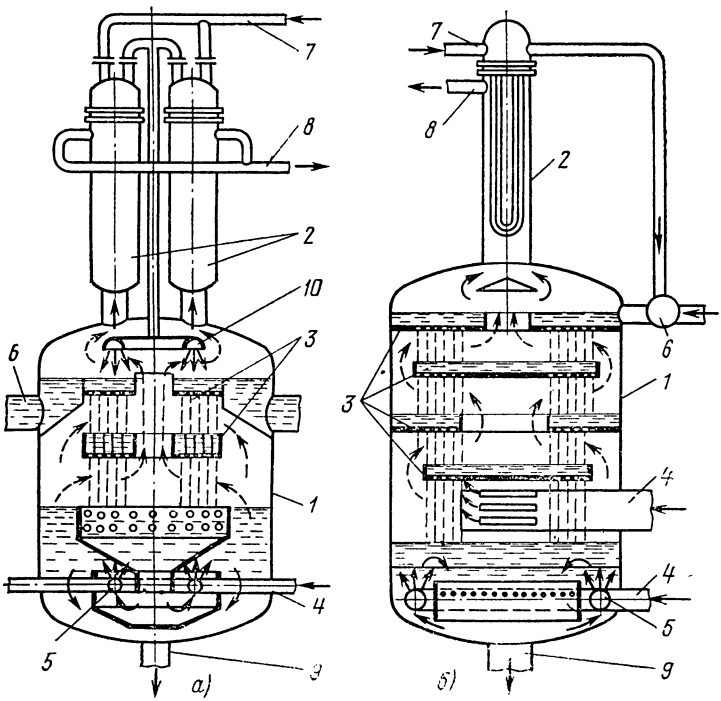


Рис. 9.4. Смешивающий вакуумный струйно-барботажный деаэратор конструкции Уралэнергочермета:

а и *б* — варианты; *1* — корпус (корпус фильтра); *2* — охладитель выпара; *3* — разбрызгивающие тарелки с отверстиями; *4* — подвод пара в барботер; *5* — барботер; *6* — подвод воды; *7* — подвод охлаждающей воды в охладители выпара; *8* — отвод выпара к эжектору; *9* — отвод деаэрированной воды; *10* — разбрызгиватель

подпиточную воду тепловых сетей с водогрейными котлами, используя для подогрева пар, получаемый при самоиспарении подогретой прямой сетевой воды. Возможен также подогрев холодной деаэрируемой воды горячей сетевой водой в поверхностных подогревателях с коррозионно-стойкими поверхностями нагрева, а также подогрев-кипячение воды в деаэраторных баках горячей прямой сетевой водой (взамен парового барботажа).

Основным условием для обеспечения надежной работы вакуумного деаэратора, кроме обеспечения вакуума в соответствии с температурой воды является высокая герметичность, обеспечивающая отсутствие подсосов, особенно в водяной части. Трубопровод от колонки до деаэраторного бака должен быть цельносварным. Отдельную деаэрационную колонку необходимо размещать на высоте 11—12 м (но не менее 4—5 м) над деаэраторным баком, чтобы вода в нем, арматура и насосы находились под давлением. Это дает возможность избежать подсосов воздуха. Если невозможно размещение вакуумно-деаэраторной колонки на такой высоте, необходимо более надежно обеспечить отсутствие подсосов воздуха в агрегате (водяное уплотнение сальников, задвижек, насосов и других приборов и аппаратов установки).

В деаэраторные баки воду из колонок следует подводить снизу и организовывать в баках паровую или газовую (азотную) подушку, устанавливать поплавки, применять «одеяла» из герметика и т. д.

Скорости в трубопроводах, подводящих воду в колонки деаэраторов, не должны превышать 1,5 м/с, а отводящих воду — 1 м/с. Скорость в трубопроводах паровоздушной смеси должна быть не более 10 м/с. Для сокращения длины трубопровода, отводящего паровоздушную смесь, и уменьшения объема парогазовой смеси необходимо охладители выпара устанавливать над колонками, а паровые эжекторы возможно ближе к ним, на 5—7 м выше уровня в баке рабочей воды, и на охлаждение подавать наиболее холодную воду.

Для отбора проб следует применять устройства, позволяющие отбирать пробы из-под вакуума, в частности сконструированный ОРГРЭС насос или в худшем случае накопительный бачок.

При помощи бачка, однако, нельзя отбирать пробы для определения кислорода, их приходится отбирать или после насоса, или на 7 м ниже деаэратора.

9.4. Деаэрация в деаэраторах атмосферного и повышенного давления

Деаэраторы атмосферного давления, точнее работающие под небольшим избыточным давлением, применяются на ТЭС для деаэрации питательной воды паровых котлов, испарителей, паропреобразователей, подпиточной воды теплосетей (с охлаждением в водо-водяных теплообмен-

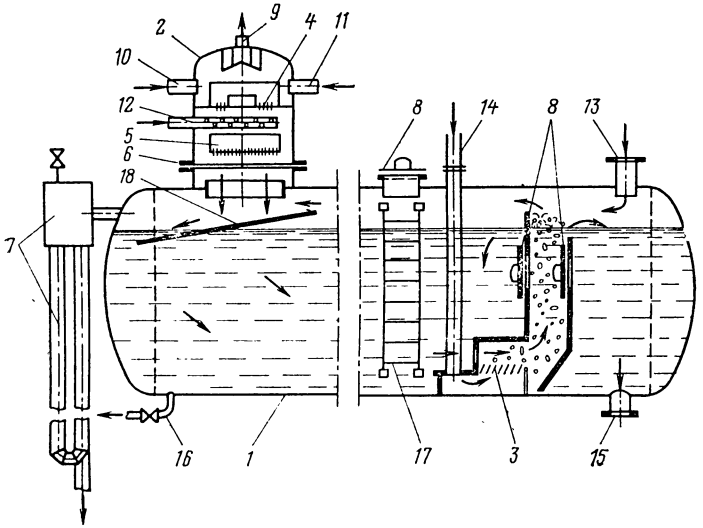


Рис. 9.5. Струйно-барботажный деаэратор атмосферного давления (ДСА-ДА):

1 — деаэраторный бак; *2* — деаэрационная колонка; *3* — барботер «домик»; *4, 5* — верхняя и нижняя тарелки; *6* — фланцевый разъем; *7* — гидрозатвор-перелив; *8* — лаз; *9* — отвод выпара в охладитель; *10* — подвод химически обработанной воды; *11* и *12* — подвод холодного и горячего конденсата; *13* и *14* — подвод основного и барботажного пара; *15* — отвод деаэрированной воды; *16* — опорожнение; *17* — лестница; *18* — направляющий лист

никах) — рис. 9.5, а также для предварительной деаэрации загазованных составных частей питательной воды паровых котлов ВД и СВД (обессоленная вода, бойлерный конденсат, дистиллят, дренажи, конденсат из запасных баков — БЗК и др.), если их нельзя направить для предварительной деаэрации в конденсаторы турбин.

Защитные устройства — гидрозатворы для предотвращения заброса воды из деаэраторного бака во внезапно остановившуюся турбину показаны на рис. 9.6.

Деаэраторы повышенного давления применяются для окончательной деаэрации всей питательной воды паровых котлов ВД и СВД.

Схематически устройства струйных и струйно-барботажных деаэраторов атмосферного и повышенного давления показаны на рис. 9.7 и 9.8. Все деаэраторы атмосферного давления должны быть оборудованы барботажными устройствами как в колонках, так и в деаэраторных баках

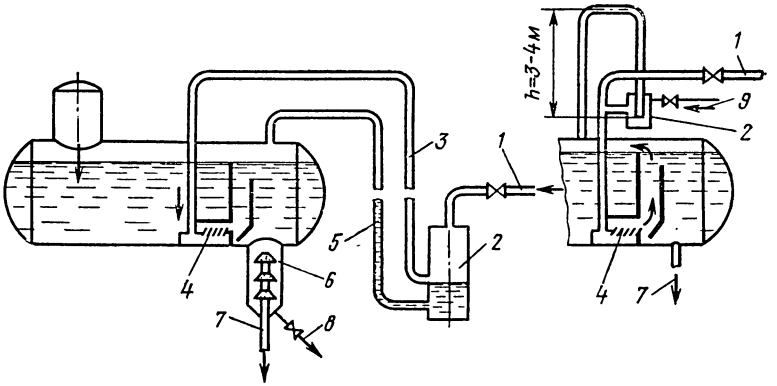


Рис. 9.6. Защитные гидравлические устройства (затворы) против заброса воды из деаэратора в турбину при внезапной ее остановке:
1 — подвод пара; *2* — бачок; *3* — паропровод; *4* — барботер «домик»; *5* — затвор; *6* — гравитационный шламоотделитель ЦКТИ; *7* — деаэрированная вода к насосу; *8* — продувка шлама; *9* — заливка бачка

и во включаемых параллельно с ними резервных буферных баках деаэрированной воды. Исключение составляют только деаэраторы повышенного давления, работающие обычно на деаэрированных конденсатах-дистиллятах и обессоленной воде, практически не содержащих солей.

В таких деаэраторах (рис. 9.5) вода и холодные конденсаты с $t<80$ °С поступают на верхнюю тарелку колонки, на нижнюю подаются горячие конденсаты с $t=80\div105$ °С, а перегретые конденсаты с $t>105$ °С подаются непосредственно в деаэраторный бак. Пройдя через основной объем деаэраторного бака, не полностью (на 80—85%) деаэрированная в колонке вода поступает в щелевой барботер («домик») и выбрасывается с паром в отсек полностью деаэрированной воды. Избыток воды из этого отсека перебрасывается через перегородку обратно в основной отсек деаэраторного бака, совершая таким образом многократную циркуляцию.

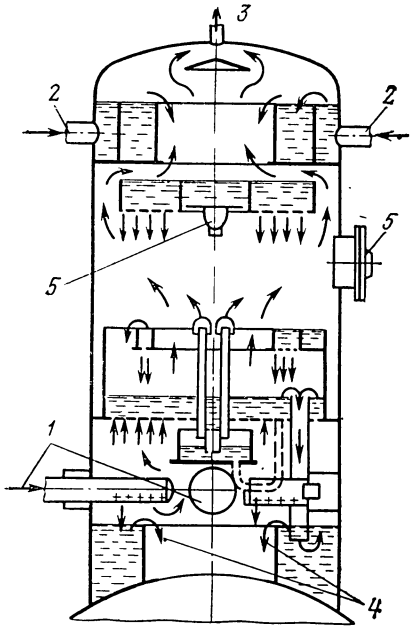


Рис. 9.7. Деаэрационная колонка повышенного давления ДСП-ДП-225-7:

1 — подвод греющего пара и перегретых конденсатов; *2* — подвод холодных конденсатов; *3* — выпар в охладитель; *4* — слив деаэрированной воды в деаэраторный бак; *5* — лаз, d_4=400÷500 мм

В барботер должен подаваться пар в количестве 20—25 кг на 1 м³ деаэрированной воды (2,0—2,5%). Подавать на барботаж пар в количестве менее 15 кг/м³ не рекомендуется. Лучше подавать в барботер весь пар, необходимый для деаэрации, если это не вызывает энергетических потерь, например необходимости применять большие количества пара из промышленного отбора (0,6—1,0 МПа). Недостающее для деаэрации количество пара может подаваться из теплофикационного отбора в паровой объем деаэраторного бака.

Деаэраторы старых типов и буферные баки питательной воды, соединяемые параллельно с деаэраторными баками, должны оснащаться барботерами из двойных дырчатых труб, расположенными в нижней части бака немного выше устьев водозаборных труб (рис. 9.9). Давление пара, подаваемого в барботер деаэратора, должно быть не менее 0,2—0,25 МПа, что требует применения отборного пара более высокого давления (промышленный отбор) и поэтому снижает экономичность работы турбоагрегата. Барботаж обеспечивает деаэрацию воды и при поврежденных, прокорродированных тарелках до плановой остановки без существенного ухудшения деаэрации, а также способствует распаду бикарбонатов. Барботаж является излишним при малом содержании газов и бикарбонатов (не более 0,05 мг-экв/л) в деаэрируемой воде. Для барботажа целесообразно использовать весь вторичный пар из расширителей непрерывной продувки, практически не содержащий газов (CO_2 не более 3—5 мг/л). Менее целесообразно применение выпара дренажей. При двухсту-

пенчатой деаэрации (ДА и ДП) выпар из ДП используется для барботажа, в ДА, если он не содержит сколько-нибудь существенных количеств кислорода или углекислоты. Продолжительность пребывания воды в

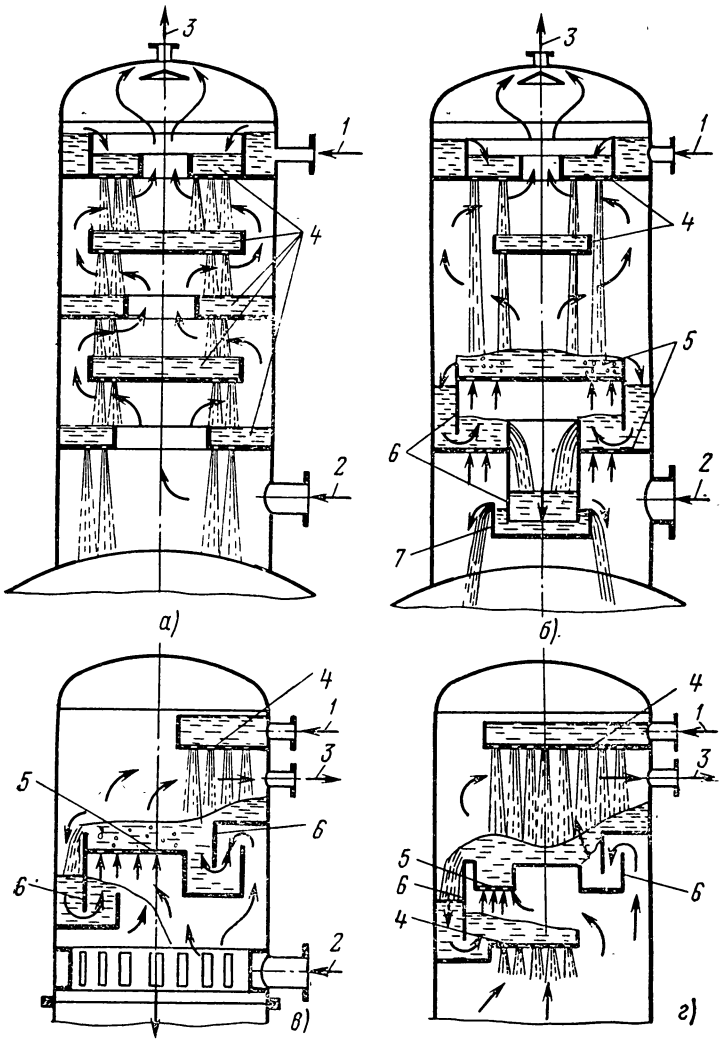


Рис. 9.8. Реконструкция струйных деаэраторных колонок ДСА-ДА в струйно-барботажные:

а — до переделок; *б* — переделки по схеме Сибтехэнерго; *в*, *г* — переделки по схеме УралВТИ; *1* — вход воды; *2* — вход пара; *3* — выпар; *4* — дырчатые листы-тарелки (провальные); *5* — беспровальные дырчатые барботажные листы-тарелки; *6* — затвор; *7* — поддон

деаэраторном баке должна быть не менее 10—15 мин. При барботаже улучшается вентиляция парового объема деаэраторного бака и нижней части колонки.

Струйные деаэрационные колонки старой конструкции с дырчатыми тарелками (рис. 9.8) работают с номинальной производительностью, выдавая хорошо деаэрированную воду только при определенных температурах поступающей воды. Снижение температуры на 5 °С, по данным

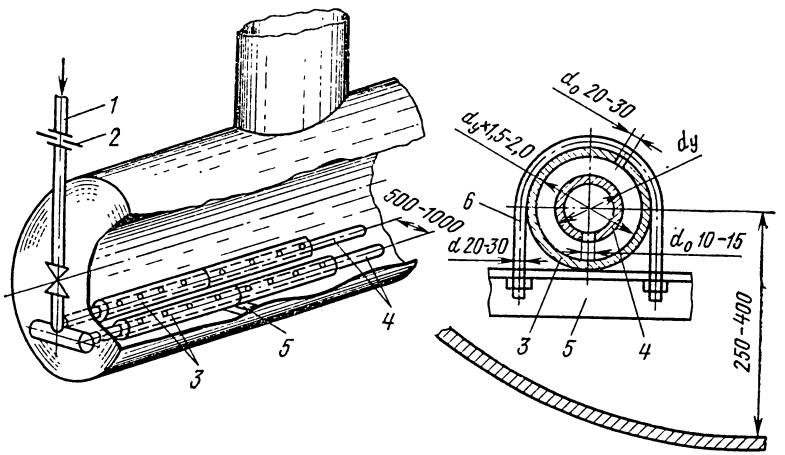


Рис. 9.9. Барботажные трубы в деаэраторных баках:
1 — вход пара; *2* — измерительная диафрагма; *3*, *4* — наружные и внутренние барботажные трубы; *5* — уголок № 10—15; *6* — хомут для крепления труб

Г. П. Сутоцкого, приводит к уменьшению допустимой нагрузки примерно на 10% или повышению остаточного содержания кислорода. Повышение температуры, подаваемой в колонку воды, улучшает процесс деаэрации и ликвидирует гидравлические удары. Однако уменьшение расхода свежего пара на подогрев воды в колонке ухудшает вентиляцию ее нижней части и может привести к повышению остаточного содержания кислорода в деаэрированной воде. Поэтому температура воды, поступающей в деаэратор, не дожна быть выше 95 °С, а температура воды, поступающей в колонки ДП, должна быть ниже температуры кипения воды при имеющемся давлении в колонке не менее чем на 5° С и не более чем на 10 °С.

Применение в деаэраторах перегретого пара высоких давлений возможно, но не желательно, так как при этом объем подводимого пара увеличивается на 15—20% по

сравнению с насыщенным паром того же давления, затрудняется регулирование его подачи в связи с уменьшением массового количества, ухудшается вентиляция колонки и понижается экономичность работы турбин.

Все мелкие загазованные составляющие питательной воды, кроме турбинного конденсата, следует сначала собирать и предварительно деаэрировать в дренажных баках, в конденсаторах турбин или, наконец, в атмосферных деаэраторах и уже в виде смеси, иногда через общий с конденсатом турбин трубопровод, непрерывно и равномерно подавать в деаэраторы повышенного давления. Для удаления из этой смеси продуктов коррозии ее целесообразно перед подачей в деаэраторы фильтровать через осветлительные фильтры с мелкозернистым, термостойким, фильтрующим материалом (пековый кокс, антрацит, магнетит-окалина и др.), предварительно отмытым от растворимых примесей (SiO_2, соли Ca, Mg и др.).

Существенными показателями эффективности работы деаэраторов при работе их на воде, содержащей $NaHCO_3$, являются: повышение pH воды с 6,5—7,5 до 8,5—9 за счет распада бикарбонатов и удаления CO_2 и появление розовой окраски по фенолфталеину.

При отсутствии амминирования появление окраски деаэрированной воды по фенолфталеину служит показателем не только распада бикарбонатов, но и полноты удаления кислорода, так как последний удаляется обычно раньше и быстрее, чем CO_2.

Деаэраторы повышенного давления допускают значительное снижение давления без ухудшения деаэрации, но при этом работа питательных насосов вследствие уменьшения подпора становится ненадежной.

9.5. Основные требования, предъявляемые к конструкции деаэраторов

Схематически устройство деаэраторов показано на рис. 9.5—9.8. Суммарная их производительность должна быть не менее максимального расхода питательной воды. Эта производительность должна быть обеспечена и при одном отключенном аппарате. Число деаэраторов для каждого вида воды должно быть не меньше двух. Если число деаэраторов меньше числа турбин, должна быть обеспечена возможность ремонта любого из них при ремонте одной из присоединенных к нему турбин.

Добавочная химически обработанная, частично обессоленная вода должна равномерно распределяться между деэраторами, за исключе-

нием случаев, когда питательная вода применяется для впрыска в пар. В этом случае хотя бы один деаэратор, из которого вода берется для впрыска, должен работать на чистом конденсате. Если добавочная вода глубоко обессолена, то ее во всех случаях можно распределять по деаэраторам равномерно. Сопротивление водяного тракта от деаэраторов до питательных насосов не должно превышать 1,0 м вод. ст.

Деаэраторные баки параллельно работающих деаэраторов и буферные баки при одинаковом качестве воды в них должны быть соединены уравнительными линиями по воде. Паровыми уравнительными линиями могут оборудоваться все деаэраторы, работающие при одинаковом давлении, хотя бы и с различным качеством деаэрируемой в них воды; объединение деаэраторов по пару выравнивает их работу, повышает ее надежность.

При производительности каждого из сблокированных деаэраторов до 150 т/ч сечение паровой и водяной уравнительных линий должно быть 200 мм, а при производительности 200—300 т/ч 250—300 мм. При скорости воды в магистрали питательной воды перед питательными насосами менее 1 м/с или пара в паровой магистрали перед деаэраторами менее 10 м/с специальные уравнительные линии необязательны. Сопротивление уравнительных линий при максимальном перетоке не должно превышать 200 мм вод. ст.

Общие автоматические регуляторы уровня и давления в деаэраторах должны устанавливаться по два: один рабочий и один резервный на все имеющиеся деаэраторы.

Во избежание попадания пара в линию обработанной добавочной воды при остановке насосов на ней должен быть установлен обратный клапан возле деаэраторов.

Гидразин и сульфит для связывания остатков кислорода, нитритов, пассивации поверхности и борьбы с отложением окислов железа в котлах, а также аммиак для повышения щелочности (pH) питательной воды должны вводиться централизованно и непрерывно в питательную воду после деаэраторов.

В отдельных случаях аммиак для связывания CO_3 с целью упрощения схемы вводят в обессоленную или питательную воду испарителей.

Гидразингидрат может вводиться также в конденсат турбин.

Целесообразно деаэрировать обработанную воду на водоочистке в вакуумных деаэраторах при температуре 40—80 °С или в атмосферных с водо-водяными теплообменниками. При pH деаэрированной воды ниже 8,3 ее следует подщелачивать аммиаком или едким натром. Более целесообразно прокладывать трубопроводы химически обработанной или обессоленной воды от ВПУ до деаэраторов трубами с противокоррозионным покрытием или из коррозионно-стойкого материала.

Необходимо обеспечивать горизонтальность кромок распределительных желобов в деаэрационных колонках, тарелках, барботажных

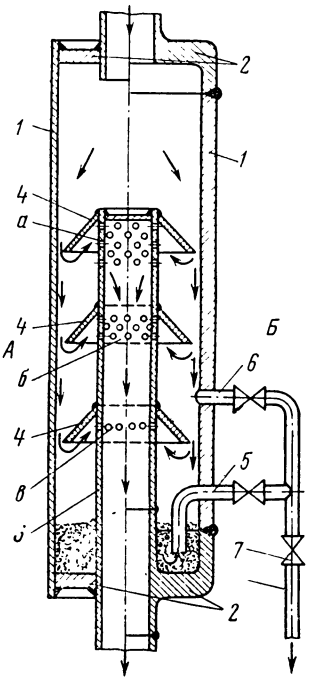


Рис. 9.10. Гравитационный грязевик ЦКТИ (механический инерционный шламоотделитель — МИШ):

А — для ДВ-ДА; *Б* — для ДП и паровых котлов; *1* — корпус; *2* — дно; *3* — труба с отверстиями $d=3\div10$ мм; *4* — козырьки; *5* — основная продувочная труба; *6* — то же резервная; *7* — регулирующий вентиль; *а* — верхний дырчатый участок с суммарной площадью отверстий 70 % площади сечения трубы; *б* — то же 25 %; *в* — то же 5%

устройств и прочное их крепление, а также необходимый диаметр отверстий и число их в трубах и тарелках. В деаэраторах, работающих на химически обработанной и особенно высокоминерализованной ($S>1000$ мг/л) воде, все внутренние устройства целесообразно выполнять из нержавеющей стали или другого коррозионно-стойкого материала, а внутреннюю поверхность стенок колонок покрывать термостойкими и коррозионно-стойкими лаками или эмалями. Для уменьшения содержания в питательной воде продуктов коррозии деаэраторы целесообразно оборудовать грязевиками конструкции ЦКТИ (рис. 9.10). Следует забирать воду на 150—200 мм выше дна бака, из мест, наиболее удаленных от колонок и барботеров. Схема самозаливающегося гидрозатвора—перелива атмосферных деаэраторов изображена на рис. 9.11.

Для снижения температуры питательной воды после деаэратора перед питательными насосами должны устанавливаться водо-водяные теплообменики для охлаждения горячей воды после деаэратора холодной водой, поступающей в него:

Деаэраторы повышенного давления должны быть оборудованы предохранительными и переливными клапанами.

Для выравнивания подачи добавочной воды и конденсатов в несколько деаэраторов обычно на отводах к колонкам создают сопротивления (0,02—0,05 МПа) с помощью дроссельных диафрагм. Необходимо обеспечивать также дистанционное управление всей основной арматурой деаэраторов, РОУ и перекачивающих насосов с рабочего места машиниста питательных насосов или дежурного по деаэраторам.

Деаэраторы должны быть оборудованы: водоуказательными стеклами по всей высоте деаэраторных баков; дистанционным регистратором уровня; термометрами, устанавливаемыми на баке и трубопроводе деаэрированной воды возле бака; местным и дистанционным манометрами, регистрирующими давление в нижней части колонки, в паровом объеме деаэраторного бака или в паровой уравнительной линии группы

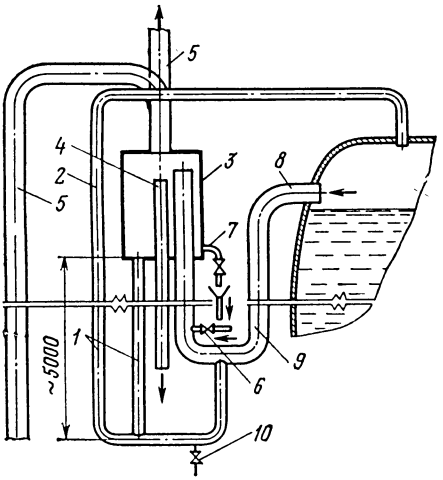


Рис. 9.11. Схема гидрозатвора деаэраторов (ДСА-ДА):

1 — переливной гидрозатвор; *2* — подвод пара из деаэратора; *3* — расширительный бачок; *4* — сливная труба для воды; *5* — выхлоп пара в атмосферу; *6* — трубка для залива гидрозатвора химочищенной водой; *7* — трубка для контроля залива; *8* — подвод воды от деаэратора; *9* — гидрозатвор от повышения давления; *10* — дренаж

деаэраторов; расходомером или мерным бачком на конденсате выпара; указывающими расходомерами на подаче добавочной воды и дренажного конденсата; указывающим расходомером и местным манометром на линии барботажного пара; местными манометрами на основных подводящих паровых магистралях. Атмосферные и вакуумные деаэраторы должны быть снабжены, кроме того, штуцерами и вентилями для присоединения к паровому объему деаэраторного бака U-образных ртутных манометров или дифманометров для точного измерения давления или вакуума во время испытаний.

На линии, отводящей от бака деаэрированную воду, должна быть установлена пробоотборная трубка с холодильником. В эту же линию, возможно ближе к деаэраторному баку, до пробоотборной трубки вваривается штуцер с вентилем для ввода реагентов (гидразина, сульфита, аммиака и др.). Деаэраторы должны быть оснащены автоматическими регуляторами давления греющего пара и уровня в деаэраторном баке, а также кислородомером. Распределение тепловых и гидравлических нагрузок между деаэраторами должно быть пропорционально их производительности.

9.6. Пуск и испытания деаэраторов

Пуск, наладка и эксплуатация деаэраторов производится персоналом турбинного цеха ТЭС, в ведении которого они находятся, или наладочной бригадой. Персонал химического цеха или химической лаборатории при этом осуществляет контроль за качеством деаэрированной воды и ее составляющими.

После монтажа деаэратора производят устранение недоделок, механическую очистку от отложений и водную или химическую промывку с последующей пассивацией трубопроводов, колонки и деаэратор-

ного бака вместе с котлом. Пуск промытого деаэратора начинается с заполнения его питательной водой на половину высоты деаэраторного бака. Затем при помощи барботажных устройств, размещенных в баке, паром от внешнего источника производится подогрев и кипячение воды сначала при атмосферном, а затем при расчетном давлении в деаэраторе. Кипячение ведут в течение не менее 1 ч до полного удаления кислорода из воды, отбирая пробы из линии после бака. После этого начинают постепенно подавать воду и основной пар через колонку, не прекращая подачи пара через барботер. При повышении уровня воды до отметки 0,75 диаметра бака деаэратор подключают к питательным насосам, если содержание кислорода находится в пределах норм. В противном случае увеличивают подачу пара на барботаж и повышают уровень до отметки 0,8—0,85 диаметра бака, после чего подключают деаэратор к питательным насосам независимо от концентрации кислорода. Пуск деаэраторов блоков СВД проводится по специальным пусковым инструкциям. Во время пуска осуществляется контроль за содержанием кислорода в деаэрированной воде, ее жесткостью, присутствием в ней взвешенных веществ, окислов железа и другими показателями ее качества (CO_2, $Щ_{фф}$, $Щ_{общ}$, NH_3, SiO_3^{2-}, N_2H_4, pH). В случае значительного загрязнения воды в деаэраторе окислами железа и кремнекислотой ее следует сначала направлять в котлы низкого давления, испарители, теплосеть или, наконец, сбрасывать, если это возможно.

В большинстве случаев загрязненную воду приходится подавать в котлы при усиленной продувке последних. Повышенное содержание железа в таких случаях наблюдается довольно долго (дни, недели и более), особенно при пуске первых агрегатов. Значительную роль в ускорении удаления продуктов коррозии из деаэрированной воды могут сыграть грязевики, устанавливаемые как на деаэрированной воде после деаэраторов, так и на циркулирующей воде паровых котлов (рис. 9.10).

После пуска и наладки деаэраторов и обеспечения устойчивого качества деаэрированной воды проводятся испытания их работы, желательно при гидравлических нагрузках 40, 60, 80, 100 и 120% расчетной и средней температуре смеси поступающей воды на 10, 20, 30 и 50 °С ниже точки кипения. Испытания особенно важны для деаэратора, пускаемого в работу первым среди однотипных.

Перед началом испытаний деаэратора должны быть собраны все необходимые сведения о его устройстве и режиме работы: тип, завод-изготовитель, номинальная производительность, диаметр, высота и объемы колонки и деаэраторного бака; число тарелок, их размеры и диаметр и количество отверстий на каждой тарелке; площади сечений для прохода пара, расчетное давление его и температура; характеристика и конструкция барботажных устройств; наличие автоматических регуляторов давления и уровня, типы, места установки; поверхность охладителя выпара, место его установки, расход и температура охлаж-

дающей воды, диаметр выхлопной трубки из охладителя; места ввода различных потоков воды и пара в колонку. Следует также иметь сведения о месте установки, типе и характеристике контрольно-измерительных приборов, установленных на деаэраторе, особенно о кислородомере. Важно знать также тип и характеристику гидрозатворов, места и устройства для отбора проб, переливов, предохранительных клапанов, диаметры паровых и водяных уравнительных линий.

Кроме того, должны быть известны ориентировочный состав питательной воды, т. е. величины составляющих ее в процентах, имеющиеся или ожидаемые показатели качества отдельных потоков, диаметры подводящих трубопроводов.

При испытаниях должны контролироваться следующие параметры: давление в верхней части деаэраторного бака или в нижней части колонки. Измерения производятся U-образным ртутным манометром или точным манометром класса 0,5. Желательна, кроме того, автоматическая регистрация давления на щите; температура каждого потока воды и пара, поступающего в деаэратор, а также деаэрированной воды и выпара. Точность измерений должна быть ± 1 °С, а при определении коэффициента тепло- и массообмена $\pm 0{,}1$ °С; сухость (влажность) и энтальпия выпара (продолжительность измерения 1—2 мин), сопротивление колонки по пару и разбрызгивающих устройств колонки по воде; производительность деаэратора и уровень воды в баке.

Желательно знать концентрацию кислорода во всех поступающих в деаэратор и уходящих из него потоках воды хотя бы ориентировочно для расчета среднего содержания O_2. Определение концентрации кислорода производится йодометрическим способом с двойным или тройным отбором, если концентрация O_2 находится в пределах 0,2—1 мг/л; при концентрации более 1 мг/л следует применять метод Винклера. Малые концентрации кислорода, характерные для деаэрированной воды или турбинных конденсатов, определяются лейкометрическими методами с использованием индигокармина или сафранина.

Содержание свободной углекислоты, аммиака, щелочность по фенолфталеину и общую определяют в воде до и после деаэратора. При общей щелочности воды меньше 0,1 мг-экв/л определение ее ведут по смешанному индикатору. Продолжительность каждого опыта 5—6 ч, число опытов 10—15.

Измерения температуры, давления, расхода, уровня воды производятся через 5—10 мин. Определение показателей качества потоков воды, поступающих в деаэратор, производится 1—2 раза за опыт, а деаэрированной воды (O_2, CO_2, NH_3, $Щ_о$, $Щ_{фф}$) через 20—30 мин. Схема оборудования деаэраторов пробоотборными устройствами и точками для контроля при испытаниях показана на рис. 9.12.

По результатам опытов составляются графики, подобные графикам, составляемым при теплохимических испытаниях котлов на качество пара (см. гл. 11). По этим графикам определяют оптимальные

условия работы деаэратора, составляют характеристики и режимную карту. На этих графиках должны быть нанесены в виде кривых все условия проведения опытов и полученные результаты: производительность деаэратора, расходы турбинного, дренажного и других видов конденсатов, обработанной воды, пара в колонку и на барботаж, расход выпара; температуры всех конденсатов, обработанной и деаэрированной воды; давление греющего пара в деаэраторе; уровень воды в аккумуляторном баке; содержание кислорода, углекислоты, аммиака и щелочность по фенолфталеину и метилоранжу во всех составных частях и в деаэрированной воде.

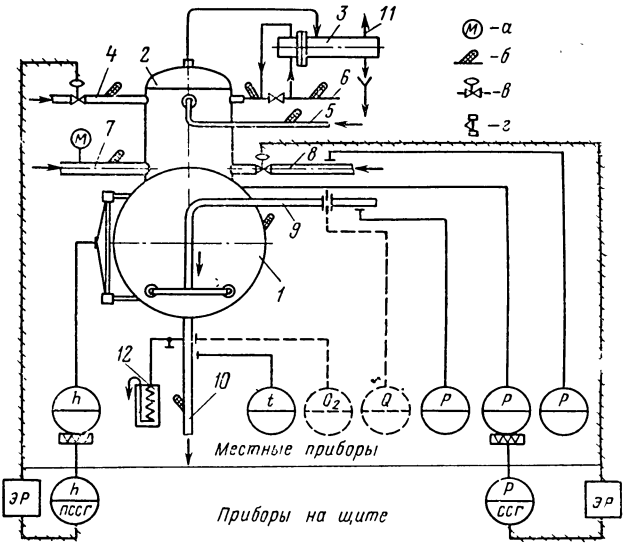


Рис. 9.12. Схема оснащения деаэратора контрольно-измерительными приборами:

1 — деаэраторный бак; *2* — деаэраторная колонка; *3* — охладитель выпара; *4* — вход регулируемой воды; *5* — вход нерегулируемого конденсата; *6* — подача воды в охладитель выпара; *7* — вход нерегулируемого греющего пара; *8* — вход регулируемого греющего пара; *9* — подача пара в барботер; *10* — деаэрированная вода к насосам; *11* — выход газов из охладителя выпара; *12* — холодильник для отбора проб на кислород; *а* — местный пружинный манометр; *б* — местный термометр (ртутный); *в* — регулирующий автоматический клапан; *г* — водомерное стекло

При эксплуатации деаэраторов важно обеспечить равномерное распределение всех составляющих питательной воды и нагрузок по всем работающим деаэраторам во избежание перекосов, не допускать периодической подачи дренажных конденсатов или добавочной воды. Запрещается включение в работу деаэраторов, не оснащенных регуляторами давления и уровня или с неисправными регуляторами, а также включе-

ние деаэраторов в параллельную работу без предварительного выравнивания давления и уровня между ними.

Все регистрирующие приборы по деаэраторам: давления, температуры, уровня, производительности должны быть установлены на щите машиниста или помощника машиниста турбины или старшего машиниста, дежурного инженера станции (ДИС). Указывающие приборы могут быть местными.

При эксплуатации нельзя допускать даже кратковременной перегрузки деаэраторов (более 120%), а при остановках необходимо поддерживать в них избыточное давление пара во избежание подсоса воздуха. После ремонта деаэратор необходимо по возможности очистить, отмыть от продуктов коррозии, грязи и сразу же включить в работу, не допуская новой коррозии.

9.7. Улучшение работы деаэраторов

Улучшение работы деаэраторов достигается проведением ряда мероприятий и, в первую очередь, ревизий колонок и устранением всех обнаруженных недостатков. При ревизиях и ремонтах осуществляются проверка и выравнивание тарелок по уровню, крепление их, а также очистка отверстий и замена тарелок новыми в случае их сильной коррозии. Надежность работы деаэраторов и эффект деаэрации повышаются при выполнении ряда условий. К ним следует отнести: увеличение числа или объема параллельно работающих буферных баков (в пределах установленных норм); установку автоматических регуляторов уровня воды и давления в деаэраторах там, где они не установлены; применение или усиление барботажа; усиление вентиляции парового объема, т. е. увеличение количества выпара; устройство самозаливающихся гидрозатворов (у атмосферных деаэраторов). Далее следует отметить необходимость повышения температуры воды, поступающей в деаэратор, до рекомендуемых значений, т. е. подогрев ее перед подачей в деаэратор. Целесообразны предварительная дегазация загазованных составляющих питательной воды в дренажных баках или конденсаторах, а также смешение в коллекторе подаваемых в деаэраторы потоков воды с различной температурой и равномерная подача смеси.

Работа струйных деаэрационных колонок значительно улучшается, повышается их производительность, уменьшается чувствительность к переменным нагрузкам (10—120%) благодаря переделке их в струйно-барботажные по типу, предложенному Уральским отделением ВТИ

(рис. 9.8), а также увеличению числа, а в некоторых случаях и диаметра (до 6—8 мм) отверстий, увеличению расстояния между тарелками до 480—500 мм и числа тарелок с 4 до 5—6, устройству дырчатых барботажных сит в нижней части колонок, уменьшению скорости движения пара между тарелками и в отверстиях (проходах), снижению места подвода пара или подводу его в паровой объем деаэраторного бака.

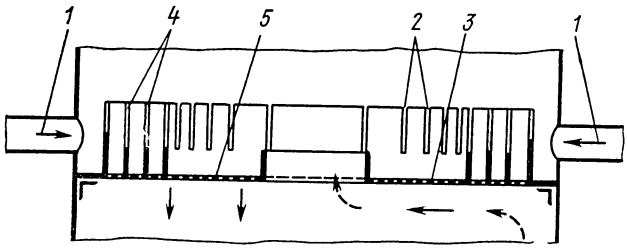


Рис. 9.13. Устройство кольцевых перегородок на верхней распределительной тарелке струйных деаэраторов ДСА-ДА:

1 — вход воды; *2* — прорези; *3* — верхняя тарелка; *4* — концентрические перегородки; *5* — отверстия в тарелках

Для улучшения работы струйных деаэраторов при малых нагрузках верхнюю распределительную тарелку целесообразно снабдить концентрическими перегородками со щелями-прорезями для равномерного слива воды по окружности колонки (рис. 9.13). Благодаря омыванию всех стекающих струй и невозможности независимого прохода

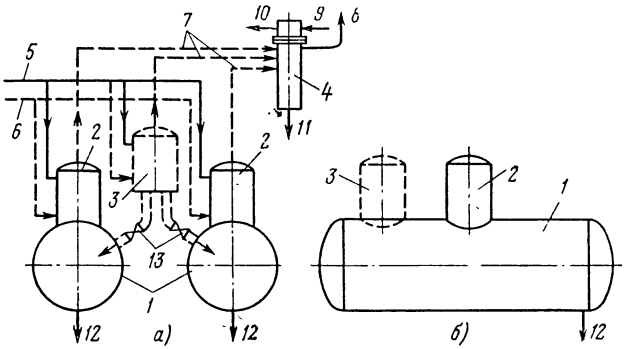


Рис. 9.14. Установка дополнительных деаэрационных колонок:

а — выносная; *б* — на баке; *1* — деаэраторный бак; *2* — основная деаэрационная колонка; *3* — дополнительная деаэрационная колонка; *4* — охладитель выпара; *5* — подача воды; *6* — подача пара; *7* — линии выпара; *8* — выход газов из охладителя выпара; *9* и *10* — вход и выход охлаждающей воды; *11* — отвод конденсата выпара; *12* — деаэрированная вода к питательным насосам; *13* — отвод деаэрированной воды от дополнительной колонки

пара и воды деаэраторная колонка может удовлетворительно работать и с малыми нагрузками (25—30%), что при обычной конструкции невозможно. Целесообразно концентрические перегородки иметь не только на верхней тарелке, но и на всех нижних.

В случае недостаточной производительности деаэрационных колонок (хотя бы временной, например, в часы пик) целесообразно устанавливать дополнительные колонки на аккумуляторных баках или делать выносную колонку (рис. 9.14). Последнюю можно монтировать независи-

Таблица 9.1. **Основные показатели термической деаэрации воды (по ГОСТ 16860-77)**

Показатель	Деаэраторы		
	вакуумный	атмосферный	повышенного давления
Давление, кгс/см² (МПа)	0,075—0,5 (0,0075—0,05)	1,2 (0,12)	6—7 или 8 (0,6—0,7 или 0,8)
Температура, °С	40—80	104—107	158—165
Производительность, т/ч	5—2400	1—300	6—4000
Колебания производительности, %	30—120		
Колебания подогрева, °С	15—25	10—40	
Температура воды перед деэратором, °С	От 15—25 до 55—65	65—95	120—155
Количество пара, подаваемое на барботаж, кг/т	15—25		
Удельный расход выпара (не менее), кг/т	5	1,5	1,5
Остаточное содержание кислорода O_2 при насыщении исходной воды кислородом, мкг/кг	50	20	—
То же при содержании кислорода в исходной воде не более 1 мг/кг, мкг/кг	—	—	10
Реакция pH (без ввода щелочных реагентов), ед.	7,0—8,5		
Высота гидрозатворов, м	Около 10	4,5—5,0	—

мо от работы основных колонок, что требует очень малого времени на присоединение и подключение ее к деаэраторному баку.

9.8. Важнейшие условия и технологические показатели термической деаэрации

Основные требования к деаэраторам сводятся к следующему:

при наличии барботажных устройств в деаэраторных баках целесообразна подача пара с минимальным содержанием CO_2 (от расширителей непрерывной продувки) при расходе не менее 15—20 кг/т деаэрируемой воды. Охладители выпара рассчитываются на конденсацию всего количества выпара;

Таблица 9.2. **Остаточное содержание свободной углекислоты CO_2 при отсутствии аминирования**

Тип деаэратора	Исходная вода		Деаэрированная вода. Остаточное содержание CO_2, мг/л
	Содержание свободной CO_2, мг/л	Бикарбонатная щелочность, мг-экв/л	
Любой	20	Более 0,7	Отсутствует
Вакуумный	10	0,4—0,7	0,5
Атмосферный и повышенного давления	10	0,4—0,7	Отсутствует
Повышенного давления	5	0,2—0,4	"
То же	1	Менее 0,2	0,5

гидрозатворы, переливные и предохранительные клапаны и трубы рассчитывают на пропуск всей воды или пара, поступающих в деаэратор при избыточных давлениях: в атмосферных деаэраторах 0,17 МПа; в деаэраторах, работающих под повышенным давлением, 0,7—0,8 МПа;

паровые и водяные уравнительные линии между деаэраторными и буферными баками должны быть рассчитаны на скорость движения воды не более 1 м/с, пара не более 20 м/с, при полной производительности всех деаэраторов и полном потреблении ими пара при разности давлений не более 0,2 м вод. ст:

регуляторы давления на линии основного греющего пара устанавливаются по одному-два на группу деаэраторов.

Показатели термической деаэрации воды (по ГОСТ 16860-77) приведены в табл. 9.1, а остаточное содержание свободной углекислоты при отсутствии аминирования — в табл. 9.2.

9.9. Обработка воды гидразином

Обработка питательной воды гидразином производится для связывания остаточных количеств кислорода (не более 0,01—0,03 мг/л), которые трудно удалить при помощи термической деаэрации, для разру-

шения нитритов, а также для предотвращения либо уменьшения в котлах отложений железоокисной накипи и разрушения уже образовавшейся. Гидразин применяется также при гидразинно-кислотных промывках и для пассивации поверхности нагрева котлов перед остановкой их на ремонт или после кислотных промывок. Применение гидразина при содержании O_2 более 0,05 мг/л не рекомендуется из-за его токсичности, дефицитности и высокой стоимости, так как требуются большие его дозы. Известны два практически важных соединения гидразина. Первое — гидразингидрат $N_2H_4 \cdot H_2O$, представляющий собой ядовитую жидкость со слабоосновными и сильновосстановительными свойствами, горючую при концентрации гидразина более 40%, транспортируемую в герметически закрытой таре из нержавеющей стали. Если концентрация гидразингидрата ниже 20%, раствор можно перевозить в обычных стальных бочках. Второе — гидразинсульфат $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$, представляющий собой твердое, менее ядовитое, чем гидразингидрат, вещество с кислыми свойствами, негорючее, более удобное в обращении. Гидразинсульфат дешевле гидразингидрата (в пересчете на N_2H_4), он доставляется и хранится в деревянной таре. Еще реже применяется гидразинхлорид $N_2H_4 \cdot HCl$.

Для дополнительной деаэрации питательной воды прямоточных котлов и воды, употребляемой для впрыска в пар с целью его охлаждения, применяется только гидразингидрат. Он не увеличивает сухого остатка и не вызывает понижения щелочности воды, а при переходе в аммиак даже несколько увеличивает ее. При наличии в питательной воде щелочности можно применять гидразинсульфат, увеличивающий сухой остаток воды примерно на 0,1 мг/л на каждые устраняемые 0,02—0,03 мг/л O_2.

Связывание кислорода гидразином протекает по следующей суммарной реакции

$$O_2 + N_2H_4 \rightarrow N_2 + 2H_2O.$$

При наличии в воде окислов железа и меди протекают побочные реакции, увеличивающие расход гидразина:

$$6Fe_2O_3 + N_2H_4 \rightarrow N_2 + 2H_2O + 4Fe_3O_4$$

(и до FeO или даже до Fe) и

$$2CuO + N_2H_4 \rightarrow N_2 + 2H_2O + 2Cu$$

или

$$4CuO + N_2H_4 \rightarrow N_2 + 2H_2O + 2Cu_2O.$$

Первоначальная дозировка гидразина с повышенными дозами необходима для скорейшего восстановления имеющихся в питательном тракте окислов железа и меди. Период восстановления окислов железа продолжается от 7—10 до 20—30 сут при старых, долго работавших котлах, после чего дозировка гидразина снижается.

В начальный период обработки воды гидразином содержание окислов железа и меди в котловой воде немного повышается, а затем сни-

жается. При высоких температурах пара (более 300 °С) гидразин быстро разлагается. В паре с более низкой температурой он обнаруживается только при дозировках в 5—10 раз больше расчетных; при 2—2,5-кратной дозировке и воде не более 0,1 мг N_2H_4 на 1 л питательной воды гидразин в паре, как правило, не обнаруживается. Гидразин разлагается с образованием аммика и азота по реакции:

$$3N_2H_4 \rightarrow 4NH_3 + N_2,$$

или

$$3N_2H_4 \rightarrow 2NH_3 + 3H_2 + 2N_2.$$

Гидрзингидрат и гидразинсульфат вводят в питательную воду в виде 0,1—0,5%-ного раствора. Их можно вводить как самостоятельно, так и вместе с аммиаком в конденсат перед конденсатными насосами или после деаэратора, после БОУ.

9.10. Основные показатели обработки воды гидразином

На 1 мг удаляемого O_2 теоретически требуются 1 мг N_2H_4, 1,56 мг $N_2H_4 \cdot H_2O$ и 4,1 $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$. Практически требуется 2,5—3-кратный расход. Максимальная дозировка равна 0,1 мг N_2H_4 на 1 л питательной воды, при пуске — до 3 мг/л.

При употреблении гидразинсульфата на каждый миллиграмм его в 1 л необходимо иметь 0,063 мг-экв/л щелочности питательной воды для связывания серной кислоты.

Для защиты баков и труб от коррозии раствор гидразинсульфата необходимо нейтрализовать по метилоранжу, а при обработке конденсата и дистиллята — по фенолфталеину. На 1 кг 100%-ного гидразинсульфата для нейтрализации его по фенолфталеину нужно 0,65 кг, а по метилоранжу 0,32 кг NaOH.

Крепость раствора гидразина должна быть 0,1—0,5% по N_2H_4; вводить его в деаэрированную воду после деаэратора или в конденсат следует непрерывно. Начальная дозировка N_2H_4, мг/л, до появления избытка гидразина в воде равна:

$$N_2H_4 = 3C_1 + 0{,}3C_2 + 0{,}15C_3 + 0{,}35C_4 + 1{,}05C_5,$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 и C_5 — содержания в обрабатываемой воде O_2, Fe_2O_3, CuO, NO_2^- и NO_3^-, мг/л.

Нормальная дозировка гидразина в 1,5—2 раза меньше начальной, она должна обеспечить содержание N_2H_2 перед котлом 20—60 мкг/л.

Сухой остаток воды при гидразингидрате не увеличивается. Увеличение сухого остатка при предварительной нейтрализации гидразинсульфата составляет 4,5 мг/л на 0,1 мг/л O_2.

Объем исходного раствора гидразина, л, заливаемого в растворный бачок-дозатор, определяется по формуле

$$V_1 = \frac{q_г Q t}{10 p \gamma},$$

где $q_г$ — доза гидразина (N_2H_4), мг/л; Q — расход питательной воды, т/ч; t — продолжительность работы бачка, ч; p — процентное содержание гидразина в исходном заливаемом растворе, %; γ — плотность исходного раствора гидразингидрата или гидразинсульфата, г/см³.

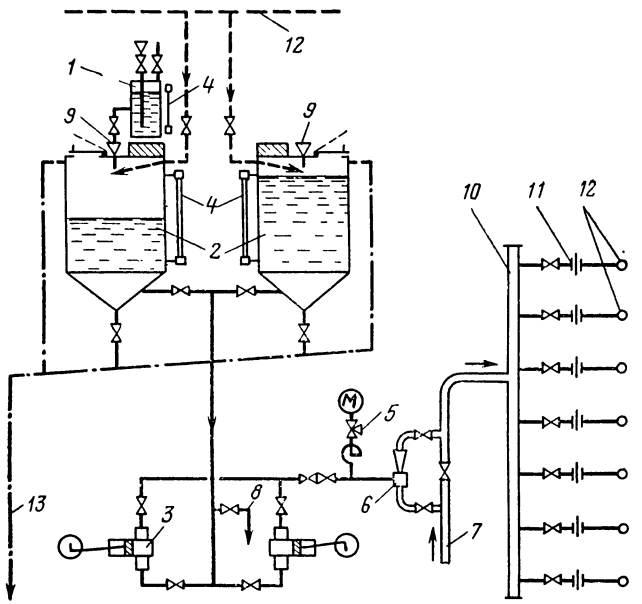


Рис. 9.15. Схема установки для ввода гидразина (сульфита):

1 — переносный бачок с гидразином; *2* — рабочие баки; *3* — насосы-дозаторы; *4* — водомерные стекла; *5* — манометр; *6* — водяной эжектор; *7* — подвод деаэрированного конденсата для разбавления раствора гидразина; *8* — отбор проб раствора гидразина; *9* — сливная воронка; *10* — коллектор разбавленного раствора; *11* — ограничительные шайбы на вводе разбавленного раствора гидразина в питательные линии; *12* — всасывающие стояки питательных насосов; *13* — дренаж на нейтрализующую установку

Ввод раствора гидразина должен осуществляться непрерывно дозирующим насосом в линии питательной воды после деаэраторов. Схема установки изображена на рис. 9.15.

Основным критерием правильности дозировки гидразина являются избыток гидразина в питательной воде перед экономайзером около 0,02—0,06 мг/л и отсутствие следов гидразина в паре.

При работе с гидразином необходимо надевать резиновые перчатки, фартук, очки и иметь наготове противогаз. Помещение, где ведется

работа с гидразином, должно быть оборудовано вытяжной общей и местной вентиляцией. При попадании гидразина на кожу необходимо быстро смыть капли или частицы его сильной струей воды, протереть ватой, смоченной спиртом и, затем снова промыть кожу водой. Нельзя допускать открытого огня вблизи аппаратуры с гидразингидратом крепостью более 20%. Недопустимо хранение вблизи баков с гидразингидратом окислителей, горючих и пористых материалов (асбеста, активированного угля, сульфоугля, песка, дробленого антрацита). Пробы растворов гидразина нельзя засасывать в пипетку ртом.

Для работы с гидразином должен быть выделен специальный персонал, снабженный, кроме резиновых сапог, фартука, перчаток и очков, еще спецодеждой, снимаемой при выходе из помещения гидразинной установки. Помещение гидразинной установки должно запираться. При работе с гидразином должны соблюдаться и другие меры предосторожности, рекомендуемые Институтом охраны труда АМН СССР.

9.11. Обработка воды сульфитом

Вместо гидразина для дообескислораживания питательной воды паровых котлов низкого и среднего давления, испарителей и паропреобразователей и для борьбы с нитритной коррозией может применяться сульфит натрия Na_2SO_3. Он может применяться и для обескислороживания подпиточной воды сетей теплоснабжения и горячего водоснабжения.

Для постоянного удаления из питательной или подпиточной воды больших количеств кислорода применять сульфит не рекомендуется.

Так как остаточное содержание кислорода в воде обычно колеблется, то приходится вводить заведомый избыток сульфита, чтобы не допустить проскока кислорода. Ввод сульфита в котловую воду для борьбы с нитритной коррозией требует менее точной дозировки. Схема установки для приготовления раствора сульфита и ввода его в питательную или котловую воду изображена на рис. 9.16. Подщелачивание раствора и соблюдение предосторожностей при обращении с сульфитом не требуется. Предельное давление в котле, при котором допускается применение сульфита 4,5—5,5 МПа.

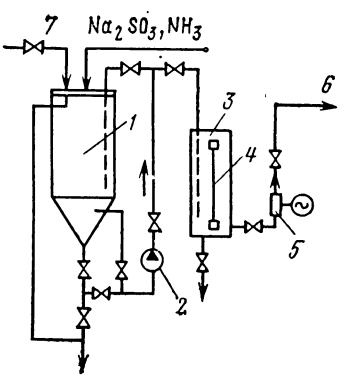


Рис. 9.16. Схема установки для приготовления рабочего раствора сульфита (аммиака) и ввода его в питательную или котловую воду:

1 — бак для растворения и отстоя; *2* — циркуляционный, перекачивающий насос; *3* — мерник; *4* — водомерное стекло; *5*—дозирующий насос; *6* — раствор в питательную магистраль после деаэратора; *7* — вода-конденсат для растворения

9.12. Важнейшие показатели обработки питательной воды сульфитом

Расход 100%-ного Na_2SO_3 на 1 мг O_2 составляет 8 мг. Повышение сухого остатка на 1 мг O_2 равно 9 мг, а с учетом избытка и балласта Na_2SO_4 13—18 мг/л. Избыток сульфита в питательной и подпиточной воде составляет 2 мг/л, в котловой воде нормально 25—40, максимум 200. Крепость раствора сульфита (около 5%) определяется йодометрически. Температура реакции — оптимальная (не менее 70 °С). Ввод раствора сульфита при дообескислороживании должен быть точный, автоматический, непрерывный.

9.13. Аминирование питательной воды

Ввод в питательную воду аммиака производится как для связывания содержащейся в воде остаточной свободной CO_2 и повышения pH, так и в основном для связывания свободной CO_2 в конденсате пара, где CO_2 наиболее коррозионно-опасна.

Содержание аммиака NH_3, NH_4^+ в питательной воде и конденсате согласно ПТЭ не должно превышать 1,0 мг/л, однако с целью уменьшения возможности аммиачной коррозии медных сплавов конденсатно-питательного тракта рекомендуется поддерживать концентрацию NH_3 в питательной воде и турбинном конденсате 0,5—0,7 мг/л при pH$\leqslant$9,2.

В конденсате, возвращаемом с производства, при отсутствии у потребителя аппаратуры и трубопроводов из медных сплавов допускается содержание только связанного NH_3 в виде NH_4HCO_3 до 3,5—4,0 мг/л при соблюдении всех норм качества питательной воды. Аммиак обычно вводится в виде 1—5%-ного раствора NH_4OH в химически обработанную воду. Его можно вводить и в виде сернокислого аммония при сохранении в воде после ввода $(NH_4)_2SO_4$ достаточной щелочности (не менее 0,4 мг-экв/л). При приготовлении и дозировании раствора аммиака противокоррозионные мероприятия не предусматриваются.

Сернокислый амоний не только сам имеет кислую реакцию, но может содержать и свободную серную кислоту, вследствие чего вся аппаратура для его растворения и дозирования должна быть коррозионно-стойкой или защищенной от коррозии.

Для ввода-дозирования аммиака или его солей должны применяться дозирующие насосы (НД), автоматизированные по расходу воды. При постоянной производительности ВПУ, испарителей, котлов, турбин, когда потребность в аммиаке составляет 70—100% максимума, в ряде случаев можно применять и более простые дозаторы постоянной дозы.

Аммиак и его соли можно вводить как индивидуально, так и в смеси с другими реагентами: фосфатами, гидразином, комплексонами, едким натром.

Нейтрализующий амин-морфолин C_4H_9ON, более удобный в эксплуатации, чем аммиак, на ТЭС СССР пока почти не применяется.

Схема приготовления раствора аммиака обычно проще, чем гидразина или сульфита (рис. 9.16), так как он вводится в меньшее количество точек питательного тракта и сохраняется во всем пароводяном тракте ТЭС.

Для связывания 1 мг/л CO_2 в паре-конденсате в бикарбонат аммония NH_4HCO_3 необходимо ввести 0,4 мг NH_3.

Глава десятая

ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО И ОСНОВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

10.1. Общие положения

В обязанности эксплуатационного персонала химических цехов ТЭС входят: соблюдение норм качества воды, профилактические осмотры оборудования, своевременное выявление и правильное определение вида появившейся коррозии и принятие мер для борьбы с ней.

Борьба с коррозией, т. е. с разрушением металла трубопроводов, водоподготовительного и теплосилового оборудования под действием пара, воды и содержащихся в них коррозионных агентов, разбивается на следующие основные виды, многие из которых описаны в настоящей книге:

удаление из воды коррозионно-агрессивных примесей (кислорода, углекислоты, аммиака, щелочей, нитритов, окислов железа и меди);

нейтрализация — перевод агрессивных примесей в неопасные соединения без удаления их из воды, пассивация, сульфитирование, ввод гидразина, ввод аммиака и летучих аминов, нитрата натрия — селитры, применение гексаметафосфата натрия и др.;

создание временных защитных пленок на корродируемой поверхности при помощи октадециламина или втилена, магнетитовой пленки при помощи трилона Б или гидразина, нитритной или ферросиликатной пленки при помощи нитрита или силиката натрия;

применение материалов, стойких против коррозии в данной среде: нержавеющей стали, латуни, бронзы, мель-

хиора, пластмасс (винипласт, полиэтилен, плексиглас, фаолит, резина, эбонит), или покрытие конструкций различными противокоррозионными лаками, эмалями и красками, сырой резиной-эбонитом, резиновыми клеями и другими покрытиями, лужение, оцинкование;

соблюдение оптимального, безопасного, теплового и химического режима эксплуатации оборудования; создание и сохранение на омываемой водой или паром поверхности металла тонкой, плотной, защитной, препятствующей коррозии, магнетитовой пленки, исключающей доступ пара-воды к металлу, появлению межкристаллитных или иных трещин вследствие наводороживания, обезуглероживания металла; предотвращение чрезмерных термомеханических его напряжений. Сюда же относятся недопущение быстрых и частых растопок, остановок котлов и чрезмерно высокой разности температур (более 30—40 °С) в теле барабанов и их элементов, на гибах труб; защита металла от перегрева и местного охлаждения, поддержание постоянного качества котловой воды, в том числе щелочности, pH и содержания в ней коррекционных веществ (PO_4^{3-}, трилон Б и др.);

применение гальванических способов предотвращения коррозии в высокоминерализованной воде, т. е. изменение направления возникающих при электрохимической коррозии гальванических токов путем применения катодной или протекторной защиты, при которых поражается коррозией (разрушается) не металл оборудования, а специально введенные куски другого металла (чугуна при катодной защите, цинка или сплава алюминия с цинком при протекторной защите);

консервация, т. е. борьба со стояночной коррозией паросиловых агрегатов, в первую очередь паровых котлов, находящихся в резерве или ремонте, как со спуском, так и без спуска воды, осуществляемая путем: высушивания аппаратов, заполнения их щелочной (pH 7—9) водой и недопущения подсосов воздуха (кислорода), заполнения щелочными растворами ($NaOH$, NH_4OH, N_2H_4, $NaNO_2$), азотом, создания на внутренней поверхности на период стоянки в ремонте пленок.

Как при отсутствии явлений коррозии теплосилового оборудования, так и особенно при их появлении и проведении мероприятий по борьбе с ними необходим тщательный контроль за содержанием агрессивных примесей, продуктов коррозии и концентрацией защитных реагентов, а также за состоянием металла в опасных с точки зрения его повреждения местах.

10.2. Борьба с коррозией паровых котлов во время работы

Способы предотвращения кислородной, углекислотной, нитритной, подшламовой и межкристаллитной коррозии металла котлов в настоящее время хорошо известны и сравнительно легко осуществимы. Борьба с трещинообразованием в барабанах и других элементах паровых котлов, пароводяной коррозией участков поверхности нагрева, с местными, высокими, тепловыми напряжениями под действием пара и горячей воды гораздо сложнее. Пароводяная коррозия сопровождается наводораживанием и обезуглероживанием металла. Причины этих коррозионных процессов заключаются часто в конструкции парового котла, параметрах пара, высоких теплонапряжениях, заложенных в проекте, и других причинах, трудно устраняемых в условиях эксплуатации. Персонал ТЭС при этом вынужден лишь добиваться соблюдения заданного оптимального водно-химического и теплового режимов эксплуатации оборудования и осуществлять контроль за выполнением конкретных профилактических мероприятий, появлением и развитием трещин, язв и других коррозионных повреждений и не допускать их опасного развития.

К профилактическим мероприятиям относятся:

устойчивое соблюдение в котловой воде оптимальных, заданных величин pH и концентрации коррекционных веществ, колебания которой вызывают разрушение магнетитовой пленки (см. § 1.1);

соблюдение безопасной относительной щелочности котловой воды (не более 50% для паровых котлов с вальцовочными соединениями и не более 20% для котлов с заклепочными соединениями) или при большой относительной щелочности применение пассиваторов ($NaNO_3$) межкристаллитной коррозии в котлах низкого и среднего давления. В котлах ВД и СВД со сварными соединениями относительная щелочность котловой воды не нормируется;

обеспечение кратности упаривания котловой воды паровых котлов, питающихся конденсатом, между отсеками не более 8—10 при помощи рециркуляционных линий с регулирующими задвижками;

хорошее состояние термозащитных рубашек и других устройств, предупреждающих попадание «холодной» ($t < t_{кип}$) воды и растворов на стенки барабанов, проверка их состояния при капитальных ремонтах;

медленные растопки и остановки в соответствии с директивными указаниями Минэнерго с регистрацией температуры питательной воды после экономайзера и температур обечайки барабана в характерных точках, намеченных при наладке;

контроль за качеством металла барабанов, парообразующих и опускных труб, паропроводов и арматуры высокого давления, качеством заводских, стыковых, сварных швов, отсутствием очагов (язв) подшламовой коррозии возле швов;

при монтаже труб, сваренных на заводе-изготовителе методом контактной сварки, прокатка их шарами с $d=$ $=0{,}9$ внутреннего диаметра трубы;

проверка наличия и состояния наружных термозащитных покрытий барабанов и газовых перегородок, ремонт или восстановление их, проверка возможности свободного расширения всех элементов парового котла при тепловой наладке.

Мероприятиями по борьбе с пароводяной коррозией внутренней поверхности нагрева, в том числе и под отложениями, являются: снижение местных тепловых напряжений, рассредоточение горелок, увеличение их числа, предотвращение «лизания» экранных и фестонных труб пламенем, торкретирование экранов в зоне ядра факела и несколько выше его, снижение форсировки котла, полная или частичная замена мазута газом, предотвращение отложений в экранных трубах, уменьшение содержания накипе- и шламообразователей в питательной воде, обеспечение возможно более устойчивого химического и теплового режимов во избежание растрескивания защитной пленки магнетита при теплосменах, обеспечение надежной циркуляции воды в паровых котлах.

10.3. Борьба со «стояночной» (кислородной) коррозией паровых котлов и другого энергетического оборудования, находящегося в резерве или ремонте

Простейшим методом борьбы со стояночной коррозией опоражниваемых паровых котлов является спуск из них еще горячей воды ($t=70\div80\,°C$) и высушивание их путем открытия всех лючков, лазов и воздушников для выхода образующегося пара. Однако из невентилируемых, недренируемых элементов паровых котлов, например из нижней части некоторых коллекторов, из паровых

котлов с безлючковыми коллекторами вода полностью не удаляется.

В отдельных случаях для улучшения и ускорения высушивания можно применять слабый обогрев опорожненного котла, зажигая газовые горелки ($t_{ст} \approx 100\,°C$).

Применяют вытеснение влажного воздуха из отглушенных котлов (преимущественно прямоточных), заполнение их сухими азотом или газообразным аммиаком (из сжиженного NH_3) и поддержание в паровых котлах, заполненных этими газами, избыточного давления не менее 100 мм вод. ст. в верхней точке консервируемого агрегата-элемента.

«Сухие» методы консервации обязательны, хотя бы при временном снижении ниже нуля температуры в котельной, котле или его частях. При всех методах консервации (как «сухих», так и «мокрых») важнейшим условием является надежное отсоединение котлов от всех общих паровых, питательных, водяных и дренажных линий. «Мокрые» методы консервации допустимы при температуре выше нуля, они более удобны, чем «сухие». К «мокрым» методам относятся: пребывание котлов в горячем резерве с поддержанием в нем среднего уровня котловой воды и избыточного давления 0,3—0,5 МПа в паровом объеме паром: от других котлов, от отборов турбин, от расширителей непрерывной продувки, водой от деаэраторов повышенного давления, из линии пара собственных нужд или растопочной; заполнение опорожненного котла деаэрированной водой, кипячение ее и поддерживание в нем давления выше атмосферного в самой верхней точке котла (воздушник). Давление в нем поддерживается деаэрированной питательной или сетевой водой или водой после деаэраторов.

При длительном (более года) выводе в резерв энергетического оборудования и целых тепловых электростанций низкого и среднего давлений консервация их проводится только сухими способами согласно типовой инструкции Минэнерго.

Перед постановкой остановленного котла на консервацию находящуюся в нем и содержащую кислород воду кипятят в течение 2—3 ч при давлении 0,3—0,5 МПа, после чего топку гасят, подпитывают котел, включая пароперегреватель, до воздушника деаэрированной питательной водой и ставят в резерв. Во время пребывания котла на консервации из него 1—2 раза в неделю отбирают пробы (лучше из воздушника) для определения со-

держания в воде кислорода. Содержание последнего не должно превышать 30 мкг/л. Целесообразно поддерживать постоянный проток через котел консервирующей воды, сбрасывая ее из воздушника в дренажные баки в количестве около 100 л/ч. При постановке в холодный резерв работающего котла снижают давление в барабане до 0,2—0,5 МПа, подпитывают деаэрированной питательной водой до воздушника и ставят в холодный резерв, отключая котел от всех магистралей (паровых, дренажных, продувочных, питательных и т. д.).

Схема консервации котла под давлением деаэрированной воды приведена на рис. 10.1.

Опорожненные котлы заполняют водным раствором щелочи NaOH 2—10 кг/м³, $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ 5—20 кг/м³ или NH_3 1—1,5 кг/м³. Меньшие количества применяются при приготовлении раствора на конденсате-дистилляте, бо́льшие — при высокоминерализованной (3000 мг/л и выше) воде. Раствор щелочи следует готовить в специальном баке сразу на весь объем котла. Можно также готовить раствор во время подачи его в котел, поддерживая заданную концентрацию и осуществляя циркуляцию (по линии аварийного слива) в течение 3—5 ч (3—4-кратный обмен). Заполнение котла можно осуществлять через дренажный коллектор нижних точек растворами NaOH, Na_3PO_4 до среднего (наивысшего) уровня (до заполнения верхнего барабана), а раствором NH_3 — до воздушника (до заполнения пароперегревателя).

Для приготовления консервационных растворов следует использовать оборудование (баки, насосы и т. д.), применяемое для химических промывок паровых котлов (см. гл. 12).

Перед растопкой котла щелочной консервационный раствор (кроме аммиачного) должен быть опущен из парового котла в бак или канализацию и заменен питательной водой. Пар во время растопки в зависимости от его качества может быть использован внутри ТЭС. Пар, получаемый при растопке котла, законсервированного аммиаком, до снижения содержания в нем NH_3 (до 1—2 мг/кг) должен выбрасываться в атмосферу во избежание аммиачной коррозии медных сплавов у потребителей.

Таким же способом консервируются и котлы после химических промывок (см. гл. 12).

Новейшими способами создания защитной пленки магнетита на внутренней поверхности останавливаемого в резерв или ремонт и опоражниваемого котла являются гидразинный и комплексонный.

При гидразинном способе в паровой котел за 6—8 ч до его остановки при помощи фосфатного дозирующего насоса (НД) вводят значительные количества гидразина (гидразингидрата или нейтрализованного по фенолфталеину гидразинсульфата), доводя концентрацию N_2H_4 в котловой воде до 150—250 мг/л. При кипячении воды в паровом котле на внутренней поверхности его создается

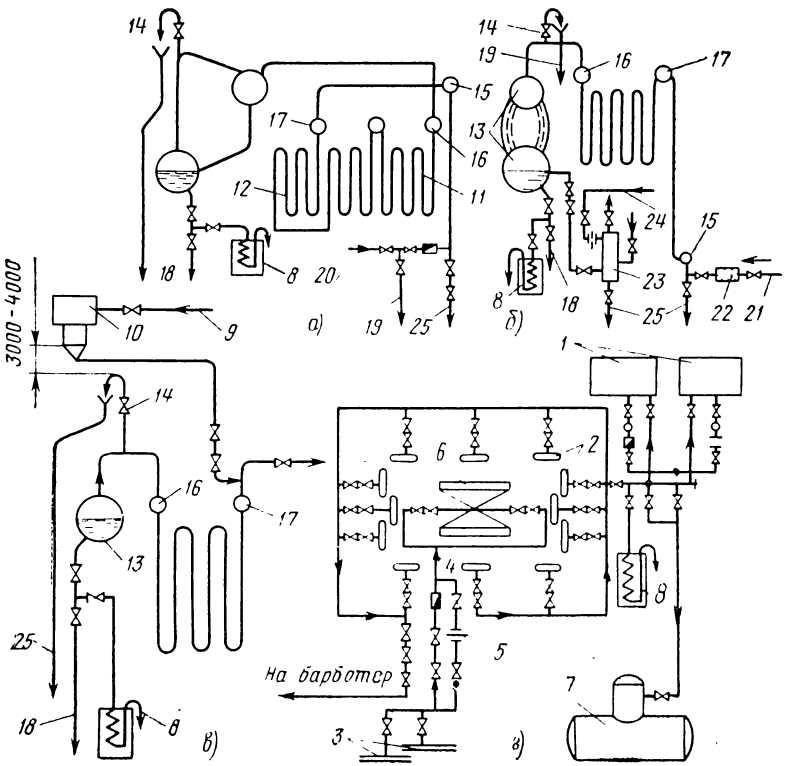


Рис. 10.1. Схемы консервации паровых котлов деаэрированной водой под давлением:

а — горячий резерв; *б* — заполнение деаэрированной водой; *в* — заполнение питательной водой от линии впрыска; *г* — заполнение питательной водой через дросселирующее устройство; *1* — дренажные баки; *2* — нижние коллекторы экранов; *3* — магистрали питательной воды; *4* — питательная вода в экономайзер; *5* — обводная линия с дросселем; *6* — экономайзер; *7* — деаэратор; *8* — отбор проб; *9* — подача питательной воды на впрыск; *10* — впрыскивающие пароохладители; *11*, *12* — первая и вторая ступени пароперегревателя; *13* — котел; *14* — воздушники; *15* — главный паропровод; *16* и *17* — входной и выходной коллекторы пароперегревателя; *18* — в расширитель непрерывной продувки; *19* — в дренажные баки; *20* — пар собственных нужд; *21* — вода от деаэраторов ДП, конденсат ПВД или продувочная вода от расширителей непрерывной продувки (0,6 МПа); *22* — сталестружечный фильтр; *23* — фосфатный дозатор-вытеснитель; *24* — подвод питательной воды в дозатор; *25* — сброс в дренаж

довольно прочная железоокисная пленка, защищающая от кислородной коррозии влажную поверхность металла.

При комплексонном способе в котел за 4—8 ч до остановки вводят комплексон — этилендиаминтетрауксусную кислоту (ЭДТК) или ее соль (трилон Б) в количестве 200 г/м³ и кипятят воду при температуре 150—200 °С и давлении 0,5—1,5 МПа в течение 3—5 ч. При этом отложения Ca, Mg, Fe, Al, Zn частично переходят в раствор в виде комплексонатов, затем температуру в котле поднимают до 260—300 °С, а давление до 3,5—7,0 МПа и продолжают кипячение еще 2—3 ч. В результате происходит разрушение комплексонатов железа и других отложений и выделение магнетита Fe_3O_4 на внутренней поверхности водяного объема котла. Образуется механически и химически довольно прочная пленка, защищающая в дальнейшем (после охлаждения и спуска воды) влажную поверхность металла от коррозии. Этот способ пригоден только для котлов ВД и СВД ($p > 7{,}0$ МПа), так как в котлах низкого и среднего давления нельзя поднять температуру до 260 °С, необходимую для разрушения комплексонатов и выделения Fe_3O_4.

10.4. Борьба с коррозией обратных конденсатопроводов

Основными методами борьбы с коррозией обратных конденсатопроводов производственного конденсата являются удаление из конденсата свободной углекислоты путем вентиляции паровых объемов подогревателей и конденсаторов и связывания остатков ее аммиаком. Полное связывание аммиаком возможно лишь при остаточном содержании CO_2 до 5—7 мг/л, а при большем — лишь частичное. Аммиак для связывания углекислоты может вводиться как в конденсат, добавочную и питательную воду, так и в паровой котел вместе с фосфатами и в отдельных случаях в пар, направляемый потребителям. Ввод водного раствора аммиака в направляемый на производство пар может осуществляться при помощи дозирующих насосов НД-100/10 или дозаторов другого типа.

Контроль за дозировкой аммиака в пар должен осуществляться по следующим показателям качества возвращаемого конденсата: содержанию связанного NH_4^+ (обычно до 3—4 мг/л*); отсутствию свободного NH_3;

* При содержании NH_3 в питательной воде паровых котлов в пределах нормы ПТЭ (500—1000 мкг/л) и при содержании меди (цинка) в ней также в пределах норм.

возможно меньшему содержанию свободной CO_2; содержанию меди Cu (не более 20 мкг/л). Применение для борьбы с коррозией обратных конденсатопроводов пленкообразующих аминов — октадециламина (ОДА), втилена и др. не нашло достаточно широкого распространения даже на станциях Минэнерго вследствие непрочности создаваемой пленки.

10.5. Борьба с коррозией трубок из медных сплавов поверхностей нагрева теплообменных аппаратов (конденсаторов, паровых подогревателей и др.)

Стойкость против кислородной коррозии и более высокая, чем у стали, теплопроводность, позволяющая сократить размеры теплопередающей поверхности, обусловливают применение медных сплавов при температурах до 200 °С в конденсаторах, сетевых подогревателях, ПНД, подогревателях сырой и химически обработанной воды. На ТЭС СКД медные сплавы заменяются нержавеющей сталью. Такая замена желательна и для ТЭС ВД, и СВД хотя бы в районах отсоса газов из конденсаторов, подогревателей, где высокая концентрация NH_3 и CO_2 в парогазовой смеси наиболее опасна.

Основными видами коррозии трубок из медных сплавов с паровой стороны являются углекислотная и аммиачная, последняя особенно в присутствии кислорода. Образовавшийся конденсат обогащается медью и цинком. Много цинка в конденсате при высокой его температуре и наличии свободной углекислоты. С водяной стороны обычно протекает углекислотная и при высокой минерализованности воды гальваническая коррозия (обесцинкование).

Удаление из питательной воды и паровых объемов подогревателей NH_3 и CO_2 описано в гл. 4—7, основным же способом борьбы с коррозией трубок из медных сплавов с водяной стороны является применение различных сортов металлов (сплавов), стойких в данных условиях. Рекомендации техсовета Минэнерго СССР и Уралэнергочермета по этому вопросу даны в табл. 3.2 и 10.1.

Следует, однако, отметить, что считающиеся наиболее коррозионно-стойкими трубы из мельхиора (70% Cu и 30% Ni) иногда подвергались сильной язвенно-точечной коррозии, пробочному обезникеливанию в воде, содержащей 8—9 г/л солей и большие количества шлама.

Таблица 10.1. **Рекомендуемые марки сплавов для трубок подогревателей воды, содержащей кислород (Уралэнергочермет)**

Сухой остаток, мг/л	Температура воды, °С		
	до 40	до 60	до 80
До 500	Латунь Л-68	Латунь-68	Латунь ЛО-70-1
500—1000	Латунь ЛО-70-1 или сплав МНЖ-5-1	Латунь ЛО-70-1 или сплав МНЖ-5-1	Мельхиор МН-70-30 или нержавеющая сталь
Более 1000	Латунь ЛО-70-1 или сплав МНЖ-5-1	Мельхиор МН-70-30 или нержавеющая сталь	Мельхиор или нержавеющая сталь

Примечание. Для латунных трубок обязателен отжиг при 280—300 °С.

Точечное обезникеливание протекало по верхней образующей наиболее нагретых трубок, по-видимому, там, где выделялись и задерживались под слоем отложений пузырьки воздуха или других газов. Трубки из сплава МНЖ оказались в этих условиях более стойкими.

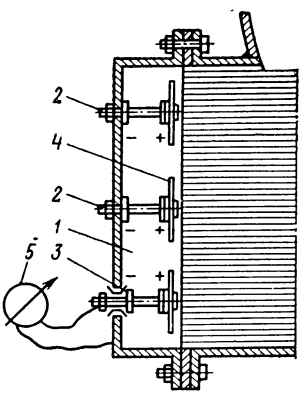


Рис. 10.2. Схема протекторной защиты водяных камер конденсаторов, охлаждаемых морской водой:
1 — водяная камера; *2* — неизолированные стержни; *3* — изолированный стержень; *4* — протекторные пластины (Zn, Al+Zn и др.); *5* — гальванометр для наблюдения за ходом разрушения пластин

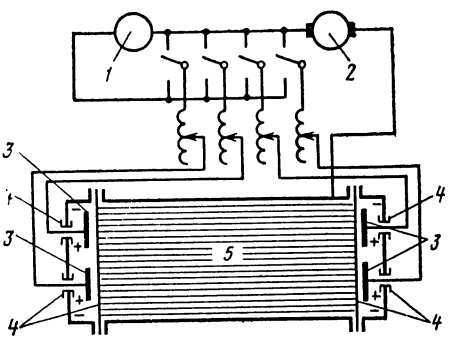


Рис. 10.3. Схема катодной защиты водяных камер конденсаторов, охлаждаемых морской водой:
1 — миллиамперметр; *2* — источник постоянного тока; *3* — аноды; *4* — изолирующие втулки; *5* — конденсаторы

Для защиты водяных камер, стальных трубных досок и концов трубок конденсаторов, охлаждаемых высокоминерализованной или морской водой ($S > 800$ мг/л), применяют пластичные противокоррозионные покрытия, служащие также для уплотнения вальцовочных соединений. Применяют также протекторную защиту, состоящую в том, что в водяные камеры помещают пластины из ме-

талла, имеющего более отрицательный электродный потенциал, чем сталь или латунь (например, цинк, сплав алюминия с цинком и т. д.), соединенные с корпусом конденсатора через изолятор (рис. 10.2). При катодной защите (рис. 10.3) к помещенным в водяных камерах пластинам из чугуна или стали, являющимся анодом, подводится постоянный ток напряжением 15—25 В. В обоих случаях защищаемые детали являются катодом и не разрушаются, а разрушаются аноды-пластины. Однако средняя часть трубок конденсатора, удаленная от пластин, от коррозии высокоминерализованной водой не защищается. Трубные доски конденсаторов, охлаждаемых морской водой, обычно делают из медных сплавов.

10.6. Защита от коррозии водоподготовительного оборудования

Коррозия водоподготовительного оборудования вызывается обычно высокой минерализованностью и кислой реакцией воды и растворов, наличием в них кислорода и углекислоты. Защита от коррозии достигается применением коррозионно-стойких материалов (нержавеющей стали, бронзы, латуни, пластмассы, дерева) или нанесением на поверхность стали противокоррозионных покрытий.

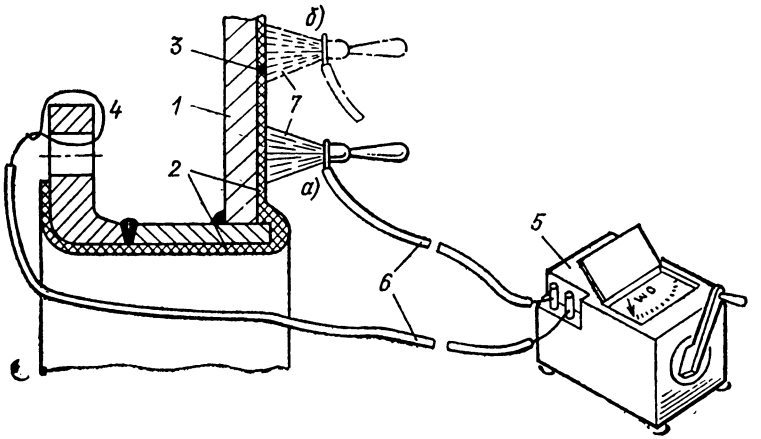


Рис. 10.4. Схема контроля плотности противокоррозионных покрытий оборудования:

1 — корпус (металл); *2* — противокоррозионное покрытие; *3* — дефект покрытия; *4* — место контакта металла с проводом; *5* — магомметр-дефектоскоп; *6* — изолированные провода (одинарные); *7* — щетка, вата, смоченные крепким раствором NaCl; *а* — плотное покрытие (показание мегомметра — бесконечность); *б* — дефектное место (показание мегомметра 0)

Согласно рекомендациям Минэнерго СССР практически все оборудование и трубопроводы водоподготовительных установок должны защищаться от коррозии, чтобы не заносить с водой окислы железа в ионитные фильтры и далее в деаэраторы и котлы. Исключение при этом составляют резервуары и трубопроводы крепкой серной кислоты (не менее 75%), едкого натра (не менее 10%), щелочных фосфатов, трубопроводы, баки и другое оборудование, работающее на сырой воде до ввода в нее реагентов и ее подогрева.

По опыту автора, верхняя часть зернистых осветлительных фильтров, фильтрующих щелочную (pH>8,5) известкованную воду, может не иметь противокоррозионных покрытий, равно как и баки промывочной воды. Однако дренажи этих фильтров и отводящие профильтрованную воду трубопроводы уже должны иметь защитные покрытия или выполняться из коррозионно-стойкого материала.

Из-за дефицитности; высокой стоимости материалов и сложности нанесения противокоррозионные покрытия до последнего времени применялись редко, лишь в установках Н-катионирования или обессоливания воды, для кислых растворов коагулянта, серной кислоты и др., что привело к тому, что очень часто обработанная и питательная вода имела повышенное против норм ПТЭ и ГОСТ 2874-82 содержание железа, меди, цинка.

При нанесении противокоррозионных покрытий исключительно важное значение имеет подготовка поверхности защищаемого металла (очистка его от ржавчины, грязи, масляных и других отложений, особенно очистка коррозионных язв и других неровностей). Плотность нанесения покрытия должна проверяться при помощи дефектоскопа ЭД-4 или мегомметра (рис. 10.4). Для этого защищенную поверхность смачивают 0,1—1,0 %-ным раствором хлористого натрия и проводят по ней щеткой или кистью, также смоченной в растворе хлористого натрия и соединенной с одним из контактов мегомметра. Другой контакт соединен с корпусом аппарата или стенкой трубы. При неплотном покрытии сопротивление резко падает до нуля. На этом месте покрытие должно быть восстановлено.

Восстановление перхлорвиниловых покрытий может производиться путем наклеивания на поврежденное место куска перхлорвиниловой пленки, специально приготовленной путем налива на стекло перхлорвинилового лака, высушивания пленки и нового налива. Пленка-заплатка должна состоять из 7—10 слоев. К поврежденной поверхности ее приклеивают также при помощи перхлорвинилового лака и дают высохнуть в течение не менее 20—24 ч. Полиизобутиленовое покрытие восстанавливают заплатками, устанавливаемыми на клею и привариваемыми по краям к основному, неповрежденному покрытию.

Поврежденные резиновые (листовые или клеевые) покрытия восстанавливаются с трудом (требуется новая вулканизация). Надежнее произвести, если возможно, полную замену покрытия. Трудность ремон-

та резиновых (эбонитовых) покрытий снижает ценность этих надежных и прочных покрытий, работающих на некоторых ТЭС Минэнерго по 20 лет и более без ремонта.

Во время нанесения защитных покрытий должны строго выполняться правила техники безопасности при проведении взрывоопасных работ. К числу важнейших требований относятся: постоянная приточная вентиляция аппарата во время пребывания в нем рабочих или в период сушки покрытий не менее чем с 200-кратным часовым обменом воздуха; работа внутри фильтра только в противогазе, а при пескоструйной очистке — в респираторе и очках; обязательный выход воздуха из аппарата не менее чем через два отверстия; по возможности освещение внутренности аппарата снаружи через стекло, в крайнем случае применение лампы с напряжением тока 12, а лучше 4—6 В. Лампа должна быть заключена в герметический стеклянный колпак и прочную алюминиевую или медную решетку-сетку; провод к лампе должен быть совершенно исправным, бронированным и заключенным поверх брони в прочную резиновую трубку (участок провода, заносимый в аппарат); к аппарату во время нанесения на его внутреннюю поверхность защитных покрытий нельзя приближаться с открытым огнем, нельзя устанавливать электродвигатели или открытые электролампы, выключатели ближе 5—6 м; во время нанесения покрытий и их сушки нельзя допускать каких-либо ударов о металл, вызывающих искрение; диаметр одного из лазов должен быть не менее 600 мм.

10.7. Борьба с коррозией тепловых сетей

Защита закрытых тепловых сетей от внутренней коррозии сетевой водой при небольших размерах подпитки осуществляется путем: деаэрации воды в вакуумных или атмосферных деаэраторах, декарбонизации воды известкованием, аминированием, фильтрованием через магномассовые фильтры; использования для подпитки продувочной воды котлов, испарителей, паропреобразователей, не содержащей ни свободной CO_2, ни кислорода, без превышения допустимых значений pH; сульфитирования для связывания кислорода; создания на внутренней поверхности труб защитной пленки карбонатов, фосфатов или силикатов. Для создания защитной фосфатной пленки в процессе эксплуатации в сетевую воду закрытых тепловых сетей при жесткости подпиточной воды не более 50 мкг/л вводят гексаметафосфат $[NaPO_3]_n$ или триполифосфат $[Na_5P_3O_{10}]$ и поддерживают в воде концентрацию 5—7 мг/л в пересчете на PO_4^{3-}. В начальный период до создания защитной пленки на всей поверхности труб (до устойчивого снижения содержания в сетевой воде Fe) концентрацию PO_4^{3-} поддерживают более высокой (50—60 мг/л).

Для создания в трубах железосиликатной пленки в сетевую воду систематически вводят силикат натрия $Na_2O \cdot 2{,}8 \div 3{,}5\ SiO_2$ в количестве до 40 мг/л в пересчете на SiO_3^{2-} (см. рис. 8.5).

Для ввода силиката в сетевую воду небольших систем теплоснабжения применяют фильтр, загруженный кусками силиката-глыбы, через который пропускается часть горячей прямой сетевой воды.

Для борьбы со стояночной коррозией тепловых сетей и водогрейных котлов перед остановкой в резерв или ремонт их заполняют раствором силиката натрия с концентрацией SiO_2 1000—2500 мг/л и не выпускают раствор из сети и котлов возможно дольше. После ремонта вновь заполняют сеть и котлы таким же раствором и только перед началом отопительного сезона раствор заменяют подпиточной водой.

Для борьбы с углекислотной коррозией внутренней поверхности аккумуляторных баков при отсутствии деаэрации и декарбонизации подпиточной воды на некоторых районных тепловых станциях применялась катодная защита (установка в баках электродов-анодов с превращением стенок баков в катоды). При этом не учитывалось, что влажная поверхность стенок над уровнем воды будет подвергаться коррозии, как и раньше, так как защита касалась только нижней части стенок бака, ниже уровня воды, что при катодной защите из воды, содержащей свободную CO_2—H_2CO_3, на стенках катода выделяется водород H_2, а на аноде CO_2. Вследствие этого содержание равновесной углекислоты, необходимой для поддержания $Ca(HCO_3)_2$ в растворенном состоянии, снижается, а бикарбонаты $Ca(HCO_3)_2$ разлагаются с выделением карбоната кальция $CaCO_3$ и получением новых количеств свободной CO_2, выделяющейся на аноде. Выпадающий в баках карбонат кальция отлагается на стенках, оседает на дне и заносится в водогрейные котлы, где выпадение $CaCO_3$ продолжается и усиливается от повышения температуры. Все это приводит к забиванию трубок котлов и сети карбонатной накипью и пережогам труб котлов.

10.8. Борьба с коррозией оборотных охлаждающих систем и охлаждаемого оборудования

Вода оборотных систем, охлаждаемая в брызгальных бассейнах или градирнях, насыщена кислородом и содержит немного свободной, обычно неагрессивной, CO_2 (3—7 мг/л) и лишь при рекарбонизации 10—15 мг/л и более.

При высокой минерализованности воды применяют коррозионностойкие материалы и покрытия, а также катодную или протекторную защиту. Однако в отдельных случаях при охлаждении среды с высокой температурой создать безопасный (безнакипный и бескоррозионный) режим охлаждающей воды не удается.

Во входной части водяного объема теплообменника протекает коррозия, особенно при высокоминерализованной воде, а в выходной части может наблюдаться низкотемпературное накипеобразование. В этих случаях целесообразно вводить в оборотную воду ингибиторы $Cr_2O_7^{2-}$,

CrO_4^{2-}, PO_4^{3-}, SiO_3^{2-}, а также иногда во избежание накипеобразования подпитывать систему щелочной, умягченной водой.

В оборотной воде при этом должно поддерживаться содержание CrO_4^{2-}, $Cr_2O_7^{2-}$ 20—50 мг/л в пересчете на Cr, PO_4^{3-} и Zn^{2+} по 5 мг/л (против загнивания воды), SiO_3^{2-} 15—30 мг/л, а также pH=8,3—8,5 (во избежание равномерной углекислотной коррозии).

В качестве ингибиторов применяют $K_2Cr_2O_7$, Na_3PO_4, $ZnSO_4$, $Na_2O \cdot 2{,}8 \div 3{,}5SiO_2$ и NaOH для подщелачивания до слабо-розовой окраски по фенолфталеину.

Оптимальные концентрации ингибиторов и эффект обработки устанавливают путем длительного наблюдения за состоянием поверхности охлаждаемых аппаратов и труб или помещаемых в них индикаторов. Каждый цикл продолжается не менее 1 мес. Необходимо проверить не менее пяти-шести циклов, чтобы выявить оптимальные концентрации ингибиторов, в первую очередь Cr, SiO_3^{2-}, NaOH, а также наличие или отсутствие накипеобразования и коррозионных процессов в трубах и аппаратах по всему водяному тракту.

По мнению автора, во всех случаях, когда невозможны ни создание защитных пленок на поверхности аппарата, ни заполнение находящегося в резерве или ремонте оборудования или трубопроводов консервирующим раствором, для ослабления коррозии следует заполнять их снизу возможно более холодной водой, вытесняя из них весь воздух и не допуская попадания его снова в аппарат. Слабое подщелачивание консервирующей воды до pH=8,3÷8,5 еще более замедляет коррозию.

Не следует допускать перемешивания воды в аппарате, ее подогрева и необходимо выпускать из аппарата выделяющийся из воды воздух.

Вопросы биологической коррозии оборудования и трубопроводов ранее были практически неизвестны. В настоящее же время уже считается, что 10—20 % общего ущерба, приносимого коррозией народному хозяйству, должно быть отнесено за счет биологической коррозии. Последняя вызывается как аэробными, так и анаэробными бактериями, водными растениями, дрожжевыми клетками и другими водными организмами. Бактерии, не воздействующие непосредственно на металл, при благоприятных условиях (температуре, наличии питательных органических и неорганических веществ, наличии или, наоборот, отсутствии кислорода и др.) делают среду агрессивной.

При этом некоторые бактерии могут разрушать защитные органические покрытия металла, который в дальнейшем подвергается уже обычным видам коррозии (кислородной, кислотной, углекислотной).

В нефтяной промышленности наибольший ущерб биокоррозия наносит подземным сооружениям. В энергетике биокоррозия наблюдается в сетях горячего водоснабжения при температуре 60—70 °С, при малых скоростях движения воды — застое, при наличии в воде органических веществ (перманганатная окисляемость более 4 мг/л O_2) и сульфатов. Сульфатвосстанавливающие бактерии восстанавливают сульфат-ион

SO_4^{2-} до сероводорода H_2S. Последний же растворяет сталь с образованием сернистого железа, придающего воде темный цвет и неприятный сероводородный запах.

В случаях невозможности стерилизации воды при температуре более 100 °С применяют различные биоциды (Cl_2, O_3, воздух и др.), а также биостаты, задерживающие, угнетающие развитие бактерий (ультрафиолетовое и радиоактивное облучение, магнитная обработка и т. п.), однако эффект воздействия этих средств на биокоррозию недостаточен.

При отсутствии деаэрированной воды или щелочных консервирующих растворов оборудование и трубопроводы можно заполнять непроточной недеаэрированной водой под давлением.

Глава одиннадцатая

ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ БАРАБАННЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ВЫСОКОГО И СВЕРХВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

11.1. Общие вопросы

Правильные подготовка и водный режим ТЭС определяют в конечном счете безаварийную работу котлов и турбин, обусловленную отсутствием отложений, накипи, шлама растворимых солей и явлений коррозии как в этих агрегатах, так и во всем водно-паровом тракте ТЭС.

Практически все барабанные котлы ВД и СВД работают с конденсатно-дистиллятным питанием, при удовлетворительной термической деаэрации, с гидразинным дообескислороживанием. Благодаря большому диаметру барабанов, циклонной сепарации, промывке пара питательной водой и сравнительно небольшому содержанию солей в котловой воде отложения растворимых солей в пароперегревателях, паропроводах и в проточной части турбин практически отсутствуют. Регулярные химические очистки котлов от отложений накипи и шлама позволяют поддерживать их поверхности нагрева в достаточно чистом состоянии.

Поскольку, однако, отложения шлама и накипи в котлах ВД и СВД все же возникают, то при несвоевременных химических промывках, а также при нарушениях теплового и гидравлического режима эти отложения иногда приводят к пережогам и разрывам экранных труб, преимущественно в зоне ядра факела и в солевых, продувочных отсеках.

В отложениях обычно присутствуют окислы железа и меди, металлическая медь и соединения кальция, магния и цинка, а также кремнекислота.

В последние годы стало наблюдаться повышенное содержание соединений цинка, особенно в отложениях из солевых отсеков, а также органических соединений, нерастворимых в кислотах. Последние попадают в котлы из исходной поверхностной воды в виде различных органических соединений. Железо поступает с продуктами коррозии стальных участков водно-парового тракта, а цинк и медь — в результате аммиачной и углекислотной коррозии трубок конденсаторов и подогревателей, изготовленных из медно-цинковых сплавов. Как показал опыт, основными «поставщиками» Cu и Zn являются конденсаторы турбин, ПНД, сетевые подогреватели.

Нормы технологического проектирования ТЭС предусматривают установку блочных обессоливающих установок (БОУ) для конденсата турбин ВД только при солесодержании охлаждающей воды свыше 5000 мг/л, хотя целесообразно было бы устанавливать их уже при солесодержании охлаждающей воды выше 2000 мг/л. Можно утверждать, что Zn в конденсатах, питательной воде и отложениях присутствует всегда, и только недостаточная точность определений его позволяла и позволяет смешивать Zn с Ca, Mg, Al и не придавать значения равномерному обесцинкованию латуни в конденсаторах, ПНД, бойлерах и других подогревателях ТЭС и потребителей. Этому способствовало еще и отсутствие регламентации содержания Zn в водах ТЭС в отечественных и зарубежных нормативных директивных материалах (ПТЭ ЭС Минэнерго, нормы VGB).

Образование отложений цинка происходит, по-видимому, при низких pH котловой воды (9,5—10,0) и повышенной концентрации в ней иона Zn^{2+}.

По некоторым зарубежным данным, содержание в воде продуктов коррозии при трубках из адмиралтейской латуни (более стойкой, чем обычная) должно составлять не более 10 мкг/л Fe и по 5 мкг/л Cu и Zn.

Опыт эксплуатации и многочисленные анализы показывают, что как количество, так и состав и свойства отложений на обогреваемой и необогреваемой сторонах труб одного и того же котла могут очень сильно отличаться. Так, были исследованы отложения в экранной трубе только одного левого солевого отсека в зоне факела, в углу топки, котла ТП-85 СВД ТЭЦ. Магнитогор-

ского металлургического комбината. На обогреваемой стороне это были трудно растворимые в кислоте отложения, состоящие на 85% из кристаллического фосфата цинка, а на необогреваемой — рыхлые, легко растворимые в кислоте, состоящие на 85% из Fe_2O_3, CuO и Cu.

Солесодержание котловой воды барабанных котлов, питающихся конденсатом-дистиллятом (обессоленный водой), состоит в основном из фосфатов. Соли же, внесенные с питательной водой, составляют лишь небольшую часть (10—20%) общего солесодержания. Поэтому определить размер продувки по балансу нелетучих солей, пользуясь обычными формулами, невозможно, поскольку погрешность и чувствительность методов определения нелетучих примесей в питательной воде (солесодержание, содержание Cl^-, SO_4^{2-}, SiO_3^{2-}, щелочность) нередко значительно выше фактического содержания этих примесей. Кроме того, определять размер продувки например, по $SiO_3^{2-}+SiO_2$ нельзя еще и потому, что часть SiO_2 может уноситься с паром, а часть выпадать в виде накипи, количество же щелочей, содержащихся в котловой воде, уменьшается в результате выпадения $CaCO_3$, $Mg(OH)_2$, $CaSiO_3$, $Ca_3(PO_4)_2$ и других веществ. В котловой воде можно более или менее точно определить содержание хлоридов и по ним уже вычислить кратность упаривания котловой воды между отсеками и размер продувки.

Определение размера продувки по разности между количеством питательной воды и выработкой пара паровым котлом ненадежно вследствие больших погрешностей расходомеров ($\pm 2 \div 4\%$ и более), особенно при малых расходах и вскипании воды при дросселировании. Наиболее удобно определять расход самой продувочной воды (вернее, его постояннство) по обычному дроссельному расходомеру ($d_y \geqslant 50$ мм) на продувочной линии до дросселирования.

Коррозия паровых котлов имеет следующие разновидности:

кислородная и углекислородная — во входных петлях водяного экономайзера во время работы котлов, а во время стоянок без воды — на всей влажной поверхности, более интенсивная вблизи лазов;

подшламовая — под наносами-«лепешками» железоокисных отложений в экранных трубах, чаще возле сварных стыков и в опускных трубах;

пароводяная — при температурах стенки выше 450 °С для углеродистых и 500—550 °С для легированных ста-

лей. Пароводяная коррозия протекает как в змеевиках пароперегревателей, образуя черный с металлическим блеском слой магнетита Fe_3O_4, так и под отложениями в экранных парогенерирующих трубах. Пароводяная коррозия ($2Fe+3H_2O \rightarrow Fe_2O_3+3H_2$) сопровождается наводораживанием металла, обезуглероживанием его ($2H_2+C \rightarrow CH_4$) и охрупчиванием, приводящим к трещинам-разрывам; теплосмены, колебания температуры стенок и низкие pH ($<9{,}5 \div 9{,}8$) усиливают трещинообразование, а также способствуют выпадению железофосфатных накипей;

нитритная вследствие обычно малого содержания NO_2^-, NO_3^- в питательной и котловой воде обычно не отмечается (NO_2^- и NO_3^- удаляются при анионировании;

межкристаллитная щелочная коррозия в связи с отсутствием в котлах ВД и СВД заклепочных и вальцовочных соединений обычно также не возникает и относительная щелочность котловой воды, по крайней мере в пределах до 50%, не оказывает влияния на появление хрупких разрушений металла. Появление трещин в трубных очках и днищах барабанов паровых котлов ВД и СВД вызывается термомеханическими причинами, качеством металла и другими факторами, не зависящими от щелочности котловой воды.

В котлах ВД и СВД возникают следующие отложения:

в экономайзерах, барабанах, на питательных устройствах и в опускных трубах отлагаются окислы железа, в малых количествах соединения SiO_2, а также соединения Ca, Mg, PO_4 и Cu. Это обычно рыхлые отложения, легко удаляемые механическим путем и растворимые в кислотах. Образуются они в результате коррозии и подсосов охлаждающей воды в конденсаторах турбин и коррозии конденсатно-питательного тракта, при этом количество их в опускных трубах и барабанах может быть очень значительным (1000—10 000 г/м^2).

В экранных трубах чистых отсеков отлагаются окислы железа и медь, фосфаты кальция, магния и цинка, кремнекислота. Под наносными отложениями на обогреваемой стороне труб, особенно на высокотеплонапряженных участках, протекает пароводяная коррозия, и ее продукты, имеющие черный цвет с металлическим блеском, присоединяются к наносным отложениям (верхний слой). Этот нижний слой магнетита Fe_3O_4 плотный, прочно сцепленный с металлом, и имеет обычно более

высокую теплопроводность, чем наносные отложения,— до 75—84 вместо 4,2—8,4 кДж/(м²·ч·К) для накипи, содержащей Ca и Mg. Теплопроводность стали 125—170 кДж/(м²·ч·К).

В экранных трубах солевых продувочных отсеков возникают отложения примерно того же состава, что и в чистых отсеках, но часто в бóльших количествах, так как концентрация примесей в котловой воде солевых отсеков выше. Содержание цинка и металлической меди в них обычно больше. Плотность отложений, наличие магнетитового подслоя и сцепляемость его с металлом примерно такие же, как и в чистых отсеках.

Отложения как в чистых, так и в солевых отсеках на участках поверхностей нагрева с высокой теплонапряженностью (в зоне ядра факела, в центре экранов) и на обогреваемой стороне труб значительно больше, чем на участках с низкими теплонапряжениями и на необогреваемой стороне труб.

Как показывают наблюдения и исследования последних лет, на отложение железоокисной накипи (Fe_3O_4) на обогреваемой стороне экранных труб котлов ВД и СВД весьма большое влияние оказывает намагниченность труб. Намагниченность возникает при высокой температуре стенки, а также бывает остаточной, если при магнитной дефектоскопии готовых труб на заводе-изготовителе она не была снята.

Чем выше намагниченность стенок труб, тем сильнее притягиваются к ней магнитные частицы окислов железа, содержащиеся в котловой воде, тем толще отложения. Для измерения остаточной намагниченности труб определяется их коэрцитивность — напряженность магнитного поля, необходимая для размагничивания труб от остаточной намагниченности. Для определения остаточной намагниченности применяются специальные приборы — коэрцитиметры [22].

11.2. Химические режимы котловой воды

Основным водно-химическим режимом барабанных, паровых котлов ВД и СВД в настоящее время является гидразинно-аммиачно-фосфатный. Фосфат-тринатрий-фосфат $Na_3PO_4 \cdot H_2O$ (или $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$) вводится при этом непосредственно в барабан котла для связывания Ca^{2+} в гидроксилапатит $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ (в меньшей степени для связывания Mg^{2+} в $nMgO \cdot mP_2O_5$). Железо связывается с PO_4^{-3} в $FePO_4$ или в $NaFePO_4$ лишь при

высокой концентрации PO_4^{3-} (100 мг/л и более) и низкой щелочности (pH менее 9,0).

Кислые фосфаты: динатрийфосфат $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$, гексаметафосфат (соль Грахама) $(NaPO_3)_n$ и триполифосфат $Na_5P_3O_{10}$ — можно применять лишь при наличии щелочной питательной воды (NaOH, Na_2CO_3, $NaHCO_3$). В настоящее время стараются избегать применения кислых фосфатов, так как наличие в котловой воде свободного NaOH оказывается полезным для замедления или предотвращения пароводяной коррозии металла.

Магний в котловой воде обычно связывается с Si_3^{2-} в серпентин $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Гидразингидрат $N_2H_4 \cdot H_2O$ вводится или перед конденсатными насосами турбин, или на других участках конденсатно-питательного тракта для связывания остаточного кислорода, некоторого повышения pH, для восстановления окислов железа до состояния, в котором они не прикипают к стенкам труб, и для борьбы с нитритной коррозией.

Аммиак $NH_3 — NH_4OH$ вводится для связывания углекислоты, попавшей в водно-паровой тракт с дистиллятом или охлаждающей водой, подсосанной в конденсаторах турбин, и для повышения pH питательной воды (конденсата) до $9{,}1 \pm 0{,}1$.

Аммиак летуч, он не увеличивает щелочности котловой воды и циркулирует во всем водно-паровом тракте ТЭС. Свежий аммиак вводится только для возмещения потерь аммиака с выпаром деаэраторов, с отсасываемой из конденсаторов парогазовой смесью в БОУ или с паром, отдаваемым на сторону (суммарные потери около 20%).

Ввод перечисленных выше реагентов называется корреционной обработкой питательной и котловой воды для уменьшения вредных последствий, вызываемых незначительными, но подчас неустранимыми примесями в питательной воде.

Качество котловой воды паровых котлов как ВД, так и СВД приведено в табл. 11 по данным ПТЭ.

Кратность упаривания между чистым и солевыми отсеками должна составлять 8—10. Щелочность, кремнесодержание и солесодержание (последнее фактически на 60—80% состоит из фосфатов) должны устанавливаться теплохимическими испытаниями. Обычно в чистых отсеках паровых котлов ВД солесодержание поддерживается не выше 30—40 мг/л, а в солевых (продувочных) 300—

400 мг/л без ухудшения качества пара, в котлах СВД соответственно 15—20 и 150—200 мг/л.

Содержание кремнекислоты SiO_3^{2-} в чистом отсеке обычно равно 1—2 мг/л, а в продувочном — 5—10 (максимум 20) мг/л.

Количество вводимого фосфата, г/ч, определяется:

$$PO_4^{3-} = G[28{,}5Ж(1+p)+pi],$$

или

$$Na_3PO_{4безв} = 1{,}75G[28{,}5Ж(1+p)+pi],$$

где G — паропроизводительность парового котла, т/ч; $Ж$ — жесткость питательной воды, мг-экв/л (обычно менее 0,05 мг-экв/л); p — размер продувки в долях паропроизводительности, обычно 0,01; i — расчетный избыток фосфата PO_4^{3-} в продувочной воде, мг/л.

При высоких расчетных нагрузках паровых котлов, работающих при фосфатном режиме, нередко наблюдается явление исчезновения — «прятания» солей, точнее, фосфатов с появлением в котловой воде ощутимых количеств свободной NaOH. В зарубежной литературе это явление называется «хайд-аутом» и происходит, по-видимому, в результате распада Na_3PO_4 на NaOH, Na_2HPO_4 и NaH_2PO_4 при высоких температурах и выпадения последних на стенках труб с оставлением в воде свободного NaOH. С понижением нагрузки теплонапряжение и температура стенок падают и происходит обратное явление — растворение моно- и динатрий-фосфата, повышение концентрации иона PO^{3-}_4 в котловой воде и уменьшение содержания в ней свободного NaOH.

Несколько лет назад, необоснованно опасаясь высокой относительной щелочности (более 20%), ее снижали, вводя в котловую воду кислые фосфаты Na_2HPO_4, $(NaPO_3)_n$, $Na_5P_3O_{10}$. Однако в последнее время было установлено, что опасность высокой относительной щелочности сильно преувеличена и, наоборот, снижение ее, т. е. снижение общей щелочности и pH, более опасно в связи с усилением пароводяной коррозии (наводороживания или обезуглероживания) стали.

Снижение pH котловой воды приводит также иногда к выпадению фосфатов железа ($FePO_4$—$NaFePO_4$). Для предотвращения этого рекомендуется поддерживать некоторый избыток щелочи NaOH сверх содержащегося в котловой воде Na_3PO_4 и pH — в пределах норм табл. 1.1. Некоторые исследователи (А. Б. Вайнман) рекомендуют при комплексном режиме котловой воды поддерживать в продувочной воде котлов ВД и СВД содер-

жание свободной щелочи NaOH до 30 мг/л pH не ниже 11,0. Повышение pH котловой воды, кроме того, уменьшает унос кремнекислоты паром.

В последние годы делали и делают попытки замены в паровых котлах ВД и СВД противонакипного фосфатного режима комплексонным (трилонным), поскольку предполагают, что при этом режиме все накипеобразователи [Ca, Mg, Fe, Al, Cu·(Zn)] переходят в растворимые комплексонаты, а затем в результате термолиза выделя-

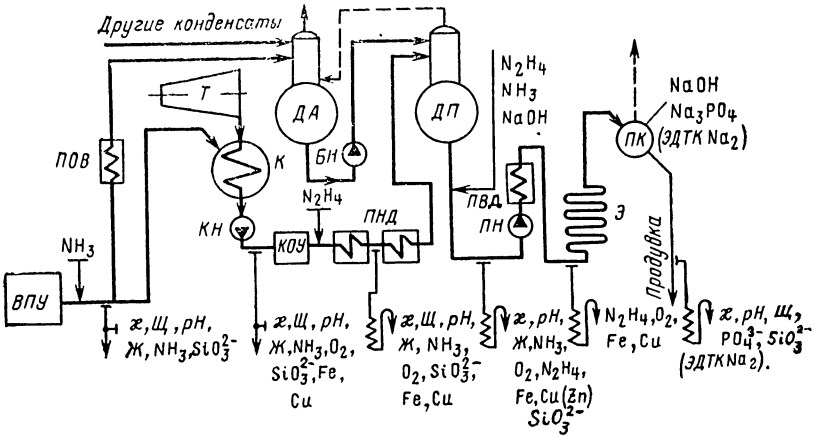


Рис. 11.1. Схема точек возможного ввода корректирующих реагентов в водопаровой тракт ТЭС и контроля за их концентрацией:

ВПУ — водоподготовительная установка; *Т* — турбина; *К* — конденсатор; *КН, БН, ПН* — конденсатный, бустерный и питательный насосы; *КОУ* — конденсатообессоливающая установка; *ПНД, ПВД* — подогреватели низкого и высокого давления; *ПОВ* — подогреватель обессоленной воды; *ДП* и *ДА* — деаэраторы; *Э* — экономайзер; *ПК* — паровой котел

ют магнетит на всей поверхности нагрева котла, а не только на наиболее опасных участках с высокими тепловыми напряжениями. Испытания комплексонного режима продолжаются, но широко он еще не применяется. В паровых котлах СД его применение разрешено, поскольку при более низких температурах воды распад комплексонатов замедлен и они удаляются продувочной водой, не откладываясь на поверхностях нагрева.

В блочных прямоточных паровых котлах СКД комплексонный режим находит применение вследствие наличия БОУ (меньшего содержания накипеобразователей) и более высоких температур воды, обусловливающих ранний распад комплексонатов и отложение окислов железа в экономайзерной части котла.

Таблица 11.1. **Технологические показатели коррекционной обработки питательной и котловой воды паровых котлов ВД и СВД**

Наименование и формула реагента	Назначение реагента	Дозировка или концентрация в воде	Концентрация вводимого раствора, %	Место ввода	Устройство для ввода
Гидразингидрат $N_2H_4 \cdot H_2O$	Для связывания остаточного кислорода, борьбы с нитритами, восстановления окислов железа и меди до металла	Дозировка N_2H_4 20—60 мкг/л питательной воды; максимальная доза N_2H_4 100 мкг/л, при пуске до 3000 мкг/л	0,1—1,0%	В конденсаторы турбин или после деаэраторов	Насосы-дозаторы, равномерный ввод
Аммиак NH_3—NH_4OH	Для связывания углекислоты в питательной воде, паре и конденсате и повышения pH до 9,1±±0,1	Содержание NH_3 в питательной воде-конденсате 500—1000 мкг/л, в обратном производственном конденсате до 3—4 мг/л	1—5,0%	После деаэраторов в обработанную или обессоленную воду или в паровые котлы (с фосфатами)	Различные типы дозаторов, шайбовые (постоянной дозы, низкого давления) насосы-дозаторы
Едкий натр NaOH	Для поддержания нужной щелочности котловой воды при конденсатно-дистиллятном питании и связывания углекислоты в питательной воде	pH котловой (продувочной воды) от 9,3 до 10,7	1—5%	В любом месте питательного тракта	Любые дозаторы, непрерывный ввод

Продолжение табл. 11.1

Наименование и формула реагента	Назначение реагента	Дозировка или концентрация в воде	Концентрация вводимого раствора, %	Место ввода	Устройство для ввода
Гидрат окиси лития LiOH	Для тех же целей и создания более прочной пленки $Fe_3O_4 \cdot LiFe_2O_2$	pH в 1-й ступени испарения 9,3, содержание Li^+ 100—200 мкг/л; в продувочной воде $Li < 2000$ мкг/л	—	Перед паровым котлом	Насосы-дозаторы высокого давления
Тринатрийфосфат $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$*	Для связывания Ca^{2+} в гидроксилапатит, частичного связывания Mg^{2+} и перевода их в шлам	Содержание PO_4^{3-} в продувочной воде: паровых котлов без ступенчатого испарения 5—15 мг/л, со ступенчатым испарением 30—50 мг/л, в чистом отсеке 2—6 мг/л	1—5%	В барабаны паровых котлов	Насосы-дозаторы высокого давления

* Кислые фосфаты при конденсатном питании неприменимы. Дозировка ЭДТА Na_2 может быть снижена на 25—35%.

Продолжение табл. 11.1

Наименование и формула реагента	Назначение реагента	Дозировка или концентрация в воде	Концентрация вводимого раствора, %	Место ввода	Устройство для ввода
Щелочно-комплексонный режим: ЭДТА $Na_2 \cdot 2H_2O$ (трилон Б) и NaOH до перевода ЭДТА Na_2 в ЭДТА Na_4 с небольшим избытком NaOH	Для связывания Fe; Cu; Zn; Ca+M в котлах ВД и СВД и равномерного по площади высаждения $Fe_3O_4+\gamma Fe_2O_3$ при жесткости питательной воды менее 2 мкг-экв/л	Дозировка, мкг/л, рассчитывается по формуле: ЭДТА $Na_2=186Ж+$ $+6{,}7Fe+6Cu$. Обычная дозировка ЭДТА Na_2 70—100 мкг/л **. NaOH вводят до pH 8,8—9,0; 9,2—9,4; 9,8—10,3; 10,5—11,0 соответственно рабочего раствора, питательной котловой воды I и II ступеней; $Щ_{отн}=20 \div 25\%$	1—1,5	В питательную воду перед котлом	Автоматизированные по производительности насосы-дозаторы завода Ригахиммаш.

Предложенный в последнее время литиевый режим котловой воды барабанных котлов путем образования на поверхности нагрева защитной пленки из $LiFeO_2$, Fe_3O_4 при внедрении оказался трудно осуществимым из-за недопустимости даже малейшей жесткости питательной воды в результате подсосов, а также дефицитности и высокой стоимости литиевых соединений.

Схема точек ввода корректирующих реагентов и контроля за их концентрацией показана на рис. 11.1, а основные технологические показатели коррекционной обработки даны в табл. 11.1.

В ряде случаяев возможен и целесообразен совместный ввод щелочных реагентов, например гидразина и аммиака, щелочи или аммиака и фосфатов.

11.3. Внутрибарабанные устройства

Внутри барабанов паровых котлов ВД и СВД имеются следующие устройства: для ввода в барабан питательной воды и корректирующих реагентов; для осуществления ступенчатого испарения; сепарационные, паропромывочные и паросборные; для непрерывной продувки котловой воды и отбора проб воды и пара.

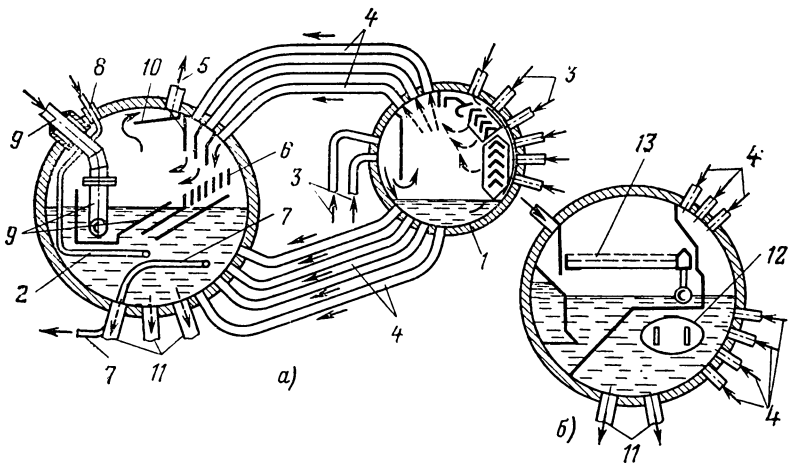


Рис. 11.2. Схема сепарационных устройств в паровых котлах ТП-170 и ТП-230 с предвключенным барабаном:

а — разрез по чистому отсеку; *б* — разрез по солевому отсеку основного барабана: *1* — предвключенный барабан d=800 мм; *2* — основной барабан d=1300 мм; *3* — подвод пароводяной смеси; *4* — паро- и водоперепускные трубы; *5* — отвод пара; *6* — встречные жалюзи; *7* — отбор проб котловой воды; *8* — подвод корректирующих реагентов; *9* — подвод питательной воды; *10* — отбойные щитки; *11* — опускные трубы, *12* — лаз; *13* — паропромывочное устройство в чистом отсеке (вариант)

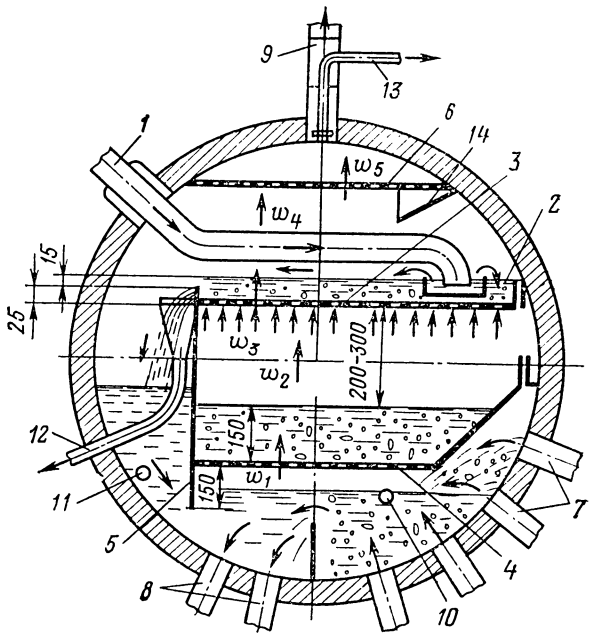


Рис. 11.3. Сепарационные устройства в барабанах паровых котлов сверхвысокого давления:

1 — подвод питательной воды; *2* — питательное корыто; *3* — беспровальный паропромывочный лист; *4* — затопленный дроссельный щит; *5* — гидрозатвор; *6* — пароприемный потолок; *7* — подвод пароводяной смеси; *8* — опускные трубы; *9* — пароотводящие трубы; *10* — продувочный коллектор; *11* — труба для ввода раствора фосфата (трилона Б); *12* — отбор проб промывочной воды; *13* — отбор проб насыщенного пара; *14* — щиток. Скорость потоков, м:с: w_1 2—4; w_2 0,3—0,4; w_3 1—1,2; w_4 0,5—0,6; w_5 8—12

В настоящее время сепарационные, паропромывочные и пароприемные устройства, разработанные Союзтехэнерго, ЦКТИ, ТКЗ, в совокупности с барабанами больших диаметров, ступенчатым испарением, с питанием паровых котлов конденсатом-дистиллятом и обескремненной-обессоленной водой обеспечивают выдачу котлами пара нормального качества ($\varkappa$=0,08÷0,15 мкСм/см, Na^+=10÷15 мкг/л, SiO_2=15÷25 мкг/л) и работу паровых турбин без отклонений в проточной части.

Рис. 11.5. Выносной циклон ЦКТИ:

1 — корпус; *2* — верхнее дно; *3* — нижнее дно; *4* — патрубок для подвода пароводяной смеси; *5* — дырчатый потолок; *6* — успокоительный щиток; *7* — отвод пара; *8* — соединительный патрубок; *9* — опускные трубы; *10* — питание из барабана; *11* — непрерывная продувка; *12* — смотровой лючок; *13* — дренажные патрубки для спуска воды и воздуха при опрессовке и периодической продувке; *14* — парозаборный дырчато-щелевой зонд; *15* — штуцер обводной трубы; *16* — направляющий щиток; *17* — успокаивающая крестовина; *18* — обводная труба для испытания головных образцов циклонов

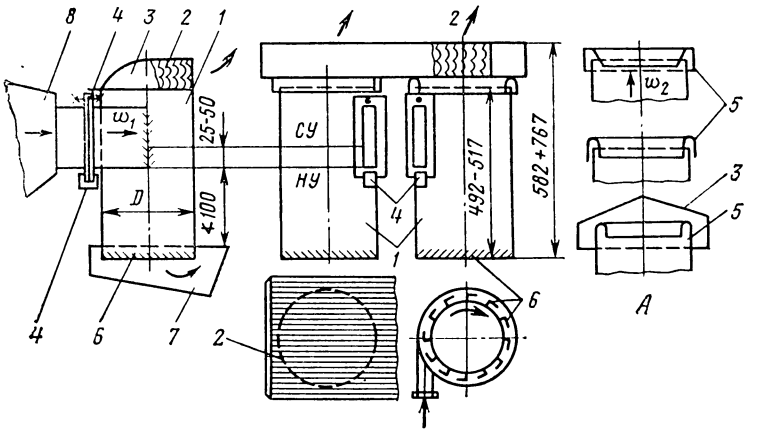
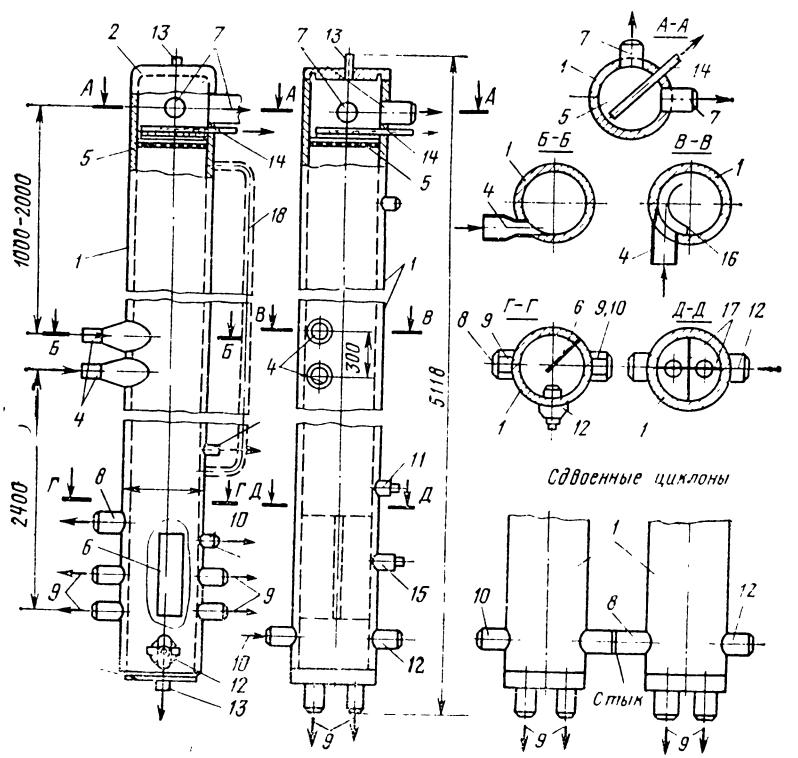


Рис. 11.4. Внутрибарабанные циклоны:

1 — корпус; *2* — жалюзийная крышка; *3* — глухая крышка; *4* — клиновой разъем; *5* — воротник; *6* — направляющие лопасти; *7* — поддон; *8*—паросборный короб барабана; *А* — варианты верхней части циклонов; *Су* и *Ну* — средний и низший уровень в циклонах



Наиболее распространенными являются два вида сепарации, один применяется в двухбарабанных котлах ТП-170 и ТП-230 с барабанами диаметром 800 и 1300 мм (рис. 11.2), другой — в однобарабанных паровых котлах ВД и СВД с внутрибарабанными и выносными циклонами, паропромывочными устройствами и пароприемным дроссельным потолком (см. рис. 11.3—11.5).

Раньше в некоторых конструкциях паровых котлов перед дроссельным потолком для улавливания капель промывочной воды устанавливали жалюзийный каплеуловитель, который в настоящее время не считается (при конденсатно-дистиллятном питании) необходимым. В паровых котлах предусматривали также три ступени испарения (третья ступень — выносные циклоны). При конденсатно-дистиллятном питании это оказалось не нужным. Внутрибарабанные циклоны в новых паровых котлах ВД и СВД при конденсатном питании в настоящее время также не устанавливают.

11.4. Продувка паровых котлов

Продувка с целью вывода из котла растворенных солей и шлама должна производиться из мест, где эти примеси содержатся в наибольшей концентрации.

Верхняя, непрерывная продувка, предназначенная для удаления растворенных солей, ведется из солевых (продувочных) отсеков из мест, где котловая вода солевого отсека еще не смешана с питающей солевые отсеки водой чистого отсека и где в продувочную линию не может попасть пар.

Нижняя, периодическая продувка для вывода осевшего шлама ведется из нижних коллекторов котла, где возможно накапливание частиц шлама и чешуек отвалившейся накипи.

С целью устранения химических перекосов между отсеками и уменьшения кратности упаривания между ними (уменьшения накипеобразования в экранных трубах солевых отсеков) котлы оборудуются трубами перекрестной нерегулируемой циркуляции между солевыми отсеками и трубами рециркуляции с регулирующими вентилями для возврата части котловой воды из солевых отсеков в чистый (рис. 11.6).

Непрерывную продувку можно также осуществлять из гравитационно-инерционного шламоотстойника, устанавливаемого на одной из опускных труб солевых отсеков или встроенного в выносной циклон (см. рис. 9.10).

Вследствие больших перепадов давления в регулировочных вентилях непрерывной продувки рабочие поверхности вентилей быстро изнашиваются. Нередко регулирующие вентили (их микроскопические щели) забиваются окислами железа. Поэтому в качестве регулирующих органов рекомендуется применять специальные угловые

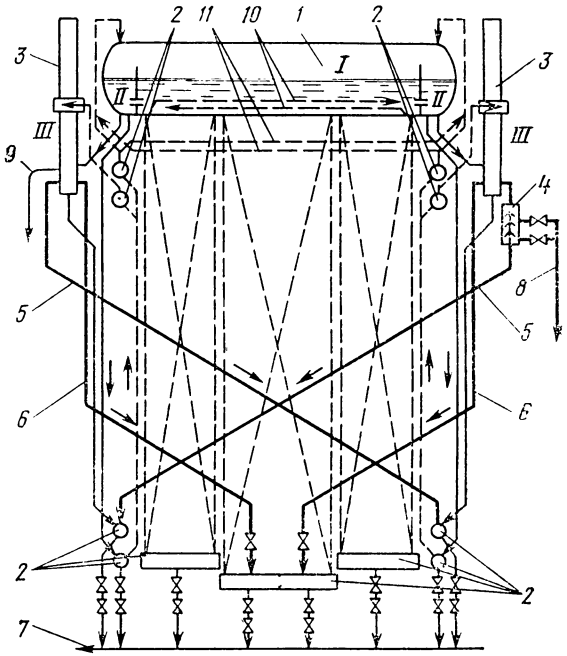


Рис. 11.6. Схема перекрестной циркуляции и рециркуляции котловой воды солевых отсеков, установки шламоотстойников и объединения продувки котла:

I—III — ступени испарения; *1* — барабан; *2* — коллекторы экранов; *3* — выносные циклоны; *4* — шламоотстойник; *5* — линия перекрестной циркуляции; *6* — линия рециркуляции; *7* — коллектор продувки нижних точек; *8* — автоматизированная непрерывная продувка в расширитель (через автоматический регулятор); *9* — то же неавтоматизированная; *10* — перекрещивающиеся подъемные трубы чистого отсека внутри барабана; *11* — то же второй ступени вне барабана

вентили ОРГРЭС или ВТИ с «лабиринтами» (рис. 11.7) или «гребенки» ОРГРЭС (рис. 11.8) с дроссельными шайбами разных сечений, а также дроссельные проставки — патроны с набором шайб (рис. 11.9). Последние требуют только двух-трех обычных, полностью открываемых запорных вентилей, но неудобны тем, что обеспечивают только ступенчатое регулирование расхода продувочной воды.

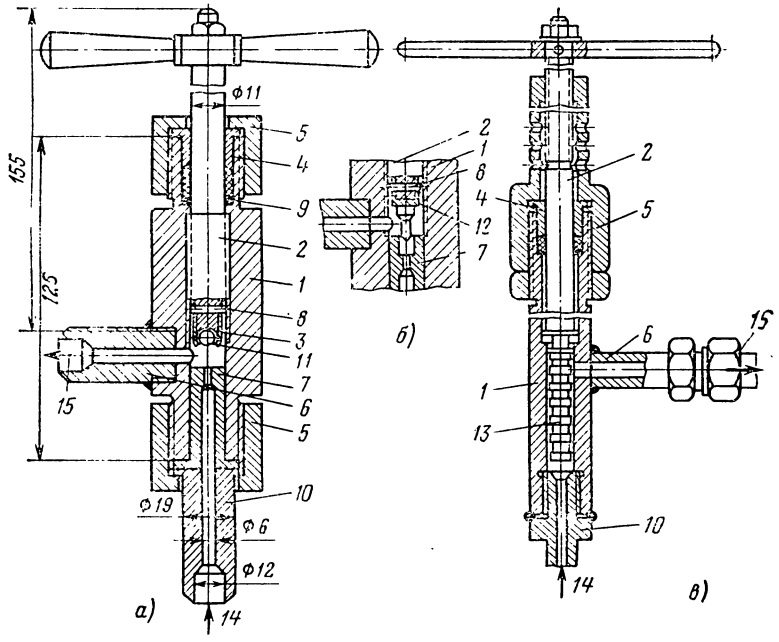


Рис. 11.7. Угловые вентили ОРГРЭС и ВТИ для регулирования продувки и отбора проб:

а — шариковый запорный ОРГРЭС; *б* — игольчатый регулирующий ОРГРЭС; *в* — лабиринтовый запорно-регулирующий ВТИ; *1* — корпус; *2* — шпиндель; *3* — гильза; *4* — букса; *5* — накидная гайка; *6* — выходной штуцер; *7* — седло; *8* — штифт; *9* — кольцо сальника; *10* — ниппель; *11* — шарик d=7,03 мм; *12* — игла; *13* — лабиринт; *14* и *15* — вход и выход пробы

Регулирующие и дросселирующие устройства следует устанавливать (вблизи) около расширителей, обеспечивая, однако, условия для укрупнения мельчайших капель, образующихся при дросселировании в результате самоиспарения продувочной воды, или для образования из воды пленки на стенках труб, подводящих пароводяную смесь к расширителю. Это улучшает отделение воды от вто-

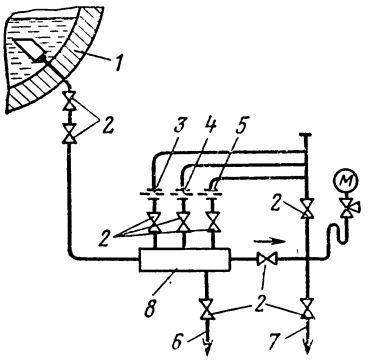


Рис. 11.8. «Гребенка» ОРГРЭС:

1 — барабан; *2* — запорные вентили; *3* — дроссельная шайба сечением f; *4* — то же сечением $2f$; *5* — то же сечением $4f$; *6* — продувка в барботер; *7* — продувка в расширитель; *8* — коллектор

ричного пара, а следовательно, и качество пара. Пар после расширителей направляется на барботаж или в деаэраторы питательной воды. Расстояние от дросселирующих устройств до расширителей должно быть не менее 15 м. Продувочную воду паровых котлов ВД и СВД непосредственно после дросселирующих устройств или после расширителей следует направлять в деаэраторы питательной воды испарителей или подпиточной воды закрытых сетей теплоснабжения или в теплообменники

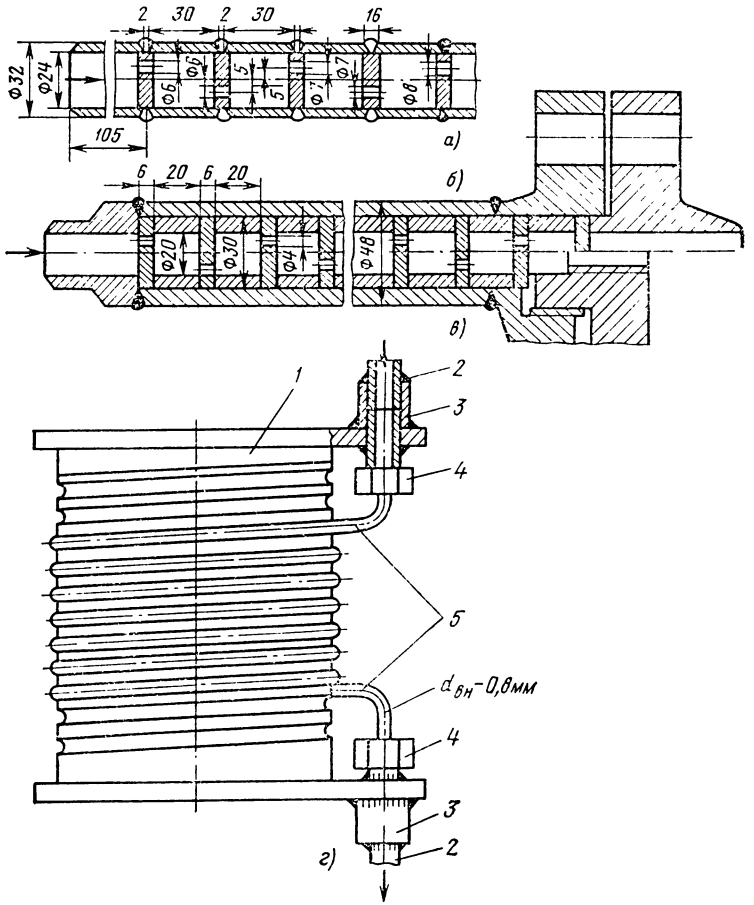


Рис. 11.9. Дроссельные устройства ОРГРЭС для ограничения размеров продувки или величины отбираемых проб:

а — сварная дроссельная проставка; *б* — то же фланцевая; *в* — то же резьбовая; *г* — капиллярная трубка на барабане; *1* — барабан; *2* — входные трубы; *3* — приварной штуцер; *4* — накидная гайка; *5* — капиллярная трубка ∅ 4×1,6 мм

для подогрева сырой или обработанной (обессоленной) воды.

Если качество продувочной воды котлов ВД и СВД не может ухудшить качество предочищенной воды (по SiO_3^{2-}, Cl^-, SO_4^{2-}, Na^+), то продувочную воду или непосредственно из паровых котлов (после дросселирования), или после расширителей-теплообменников можно направлять для смешивающего подогрева исходной воды.

Регулирование непрерывной продувки при размере ее более 1 т/ч желательно автоматизировать по солесодержанию (электропроводности) продуваемой воды. Однако при конденсатно-дистиллятном питании паровых котлов, особенно при номинальной их нагрузке и наличии выносных циклонов, а также при размере продувки до 1% и при полном использовании ее теплоты, размер продувки можно регулировать и вручную, так как колебания концентрации примесей котловой воды солевых продувочных отсеков в пределах 30—100% (200—500 мг/л) не могут ухудшить качество пара и весьма незначительно сказываются на потере теплового потенциала — снижении экономичности работы котла.

Продувка должна регулироваться в одной точке. При двусторонних солевых отсеках они должны быть оборудованы, как указано выше, линиями перекрестной циркуляции, причем из одного циклона продувка должна вестись с постоянным нерегулируемым расходом 50—70% общего, а из второго отсека с регулировкой вручную или автоматической.

Можно также объединить обе продувочные линии (при перекрестной циркуляции) и регулировать всю продувку из объединенной линии, а также определять количество продуваемой воды точнее, поддерживать постоянство ее расхода.

В условиях питания паровых котлов практически не содержащей солей питательной водой расчет величины продувки по обычным формулам дает обычно значения, заниженные в 3—5 раз (см. с. 248). Продувка нижних коллекторов паровых котлов должна вестись не реже раза в неделю по каждой точке. Продувка ведется следующим образом: открывают сначала полностью ближний к котлу вентиль, затем следующий также полностью и сразу же закрывают. После этого закрывают и ближний вентиль.

Выпар периодической продувки целесообразно использовать, направив его в дренажные баки станции, в деаэратор подпиточной воды теплосети и т. д.

Из воды непрерывной продувки котлов ВД и СВД в сепараторе можно получить до 40% пара, содержащего 50—70% теплоты продувочной воды (рис. 11.10). Этот пар может содержать до 0,1% влаги и солей (по ОСТ 24.838,11-72), в нем мало свободной углекислоты и аммиака, и потому его целесообразно использовать в основных деаэраторах станции.

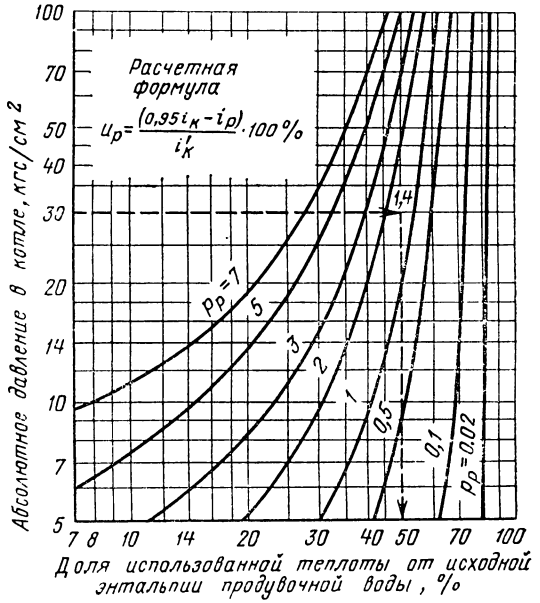


Рис. 11.10. График самоиспаряемости котловой воды при различных давлениях в барабане и расширителе:

$p_р$ — избыточное давление в расширителе, кгс/см²

На рис. 11.11 показано устройство сепараторов ЦКТИ, d=300 мм по ОСТ 24.838.11-72, а также d= =500÷800 мм. Высота парового объема в сепараторах составляет 1000 мм; расчетная влажность пара 0,1%, солесодержание менее 1 мг/кг.

Учитывая недостаточную надежность клапанов для выпуска продувочной воды, поддерживающих постоянный уровень в сепараторах, рекомендуется при низком давлении в них (менее 0,1 МПа) устанавливать сепараторы на отметке +8 м (рис. 11.12) и снабжать их сифонным гидрозатвором-переливом ЦКТИ.

Для контроля качества пара при наладке работы сепаратора рекомендуется в верхний пароотводящий штуцер вваривать дырчато-щелевой или устьевый парозаборный зонд и устанавливать холодильник для отбора проб.

С целью более экономичного использования продувочной воды возможно двухступенчатое расширение ее сначала в сепараторах I ступени при давлении 0,6—0,8 МПа с подачей пара в линию промышленного отбора или в деаэраторы, а продувочной воды в сепараторы II ступени, работающие при давлении 0,16 МПа, с пода-

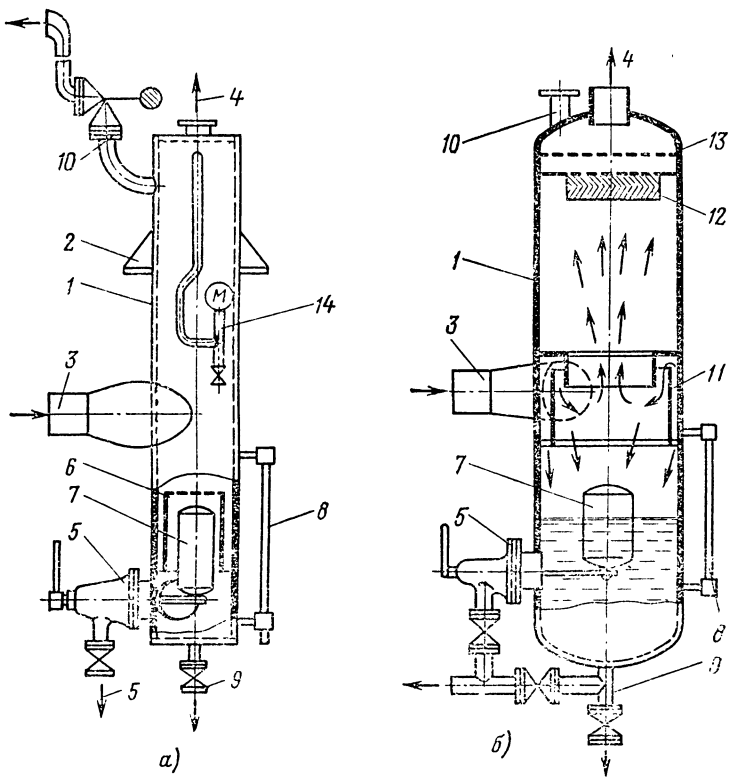


Рис. 11.11. Сепараторы-расширители продувочной воды ЦКТИ:
а — сепаратор d=300 мм; *б* — сепаратор d=500—800 мм; *1* — корпус; *2* — опора; *3* — вход продувочной воды; *4* — выход отсепарированного пара; *5* — регулятор выхода продувочной воды; *6* — дырчатый колпак; *7* — поплавок регулятора; *8* — водомерное стекло; *9* — дренаж; *10* — предохранительный клапан; *11* — улитка; *12* — пластинчатый каплеуловитель; *13* — дроссельный потолок; *14* — манометр

чей пара из них в линию теплофикационного отбора, в деаэраторы воды для питания испарителей, подпитки теплосети или в теплообменники для подогрева исходной или обработанной воды.

Схема продувки паровых котлов ВД или СВД с двух- и трехступенчатым испарением и отбора проб приведена на рис. 11.13.

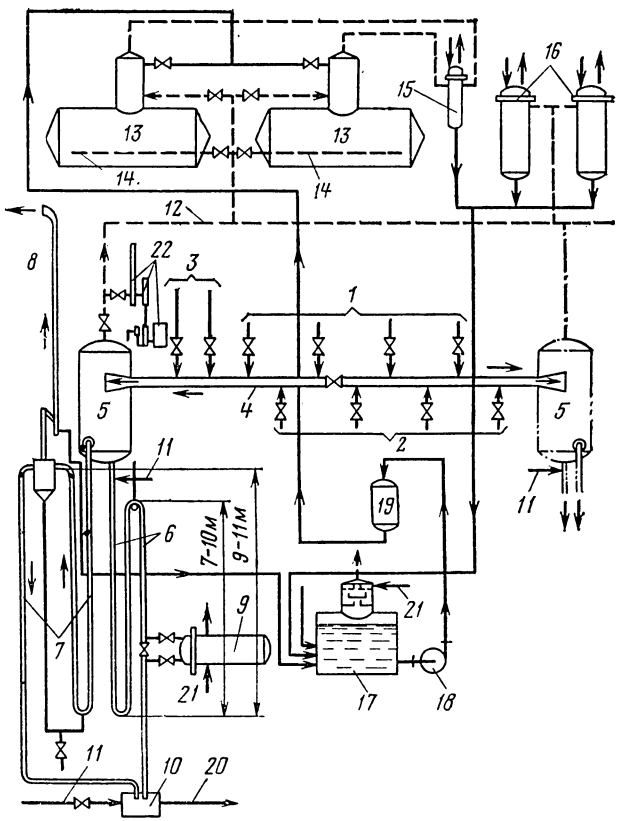


Рис. 11.12. Установка сепаратора с сифонным гидрозатвором-переливом на отметке +8 м:

1 — непрерывная продувка; *2* — периодическая продувка; *3* — другие виды продувки; *4* — коллектор; *5* — расширители-барботеры; *6* — слив воды (сифон); *7* — гидрозатвор; *8* — аварийный выхлоп; *9* — теплообменник; *10* — охладитель; *11* — техническая вода для расхолаживания; *12* — паропровод на 1,2—2 кгс/см²; *13* — деаэраторы ДСА; *14* — барботеры деаэраторов; *15* — охладитель выпара; *16* — бойлеры; *17* — дренажный бак с колонкой; *18* — насос; *19* — механический фильтр для дренажного конденсата; *20* — слив в канализацию; *21* — химически обработанная вода для охлаждения; *22* — отбор проб пара

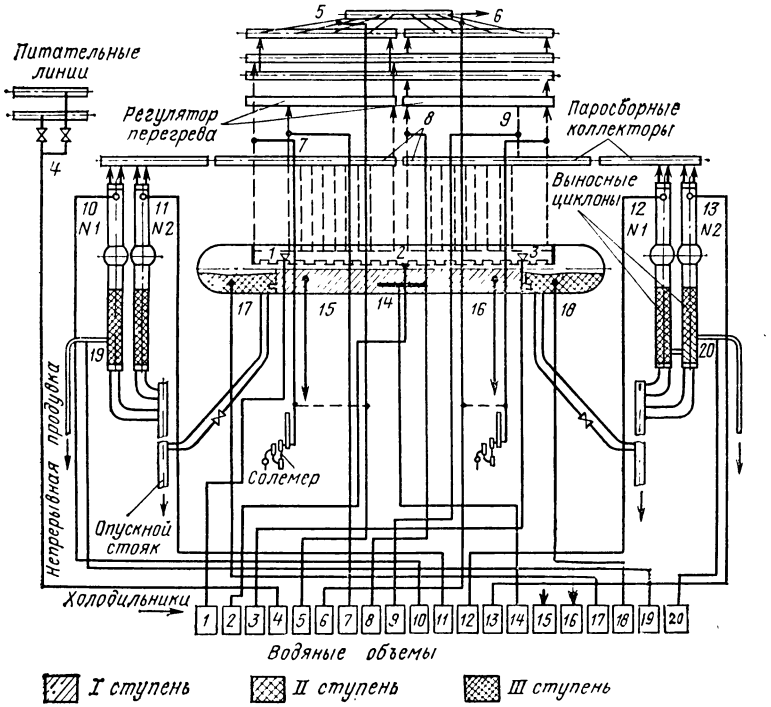


Рис. 11.13. Схема непрерывной продувки и отбора проб воды и пара паровых котлов ВД и СВД

Проба	Точка отбора пробы	Назначение	Проба	Точка отбора пробы	Назначение
Промывочная вода:			Насыщенный пар циклона:		
левая	1	Экспериментальное	левого 1	10	Экспериментальное
средняя	2	То же	левого 2	11	
правая	3	„ „	правого 1	12	То же
Питательная вода	4	Эксплуатационное	правого 2	13	„ „
			Котловая вода I ступени:		
Перегретый пар:			средняя	14	Эксплуатационное
левый	5	Экспериментальное	левая перед соплом	15	Экспериментальное
правый	6	То же	правая	16	То же
Насыщенный пар:			Котловая вода II ступени:		
			левая	17	„ „
левый	7	Эксплуатационное	правая	18	„ „
			Котловая вода III ступени:		
средний	8	То же			
правый	9	„ „	левая	19	Эксплуатационное
			правая	20	То же

11.5. Оснащение паровых котлов устройствами для отбора проб воды и пара

Для контроля правильности ведения водно-химического режима, качества питательной и котловой воды, насыщенного и перегретого пара паровые котлы должны быть оборудованы отборными устройствами, позволяющими отбирать представительные пробы воды и пара, т. е. пробы того же качества, что и среды, из которых они отобраны. Сложности появляются, когда среда, из которой отбирается проба, двухфазная: например, вода содержит взвешенные примеси, а пар — капельки котловой воды; особенно если эти примеси распределены в объеме или потоке среды неравномерно.

Паровые котлы ВД и СВД сооруженные за последние 8—10 лет, оснащены достаточно совершенными заводскими продувочными устройствами и устройствами для отбора проб воды и пара, обычно не требующими изменений или усовершенствований. На большинстве ранее сооруженных паровых котлов ВД и СВД продувочные отборные устройства в настоящее время заменены более совершенными.

Ниже приводится табл. 11.2 стандартизованных ЦКТИ отборных устройств (ОСТ 108.030.04-80); они показаны на рис. 11.14—11.18.

Для контроля работы паропромывочных устройств и предвключенных циклонов Союзтехэнерго рекомендует устанавливать специальные устройства для отбора проб непромытого пара и промывочной воды, изображенные на рис. 11.19 и 11.20.

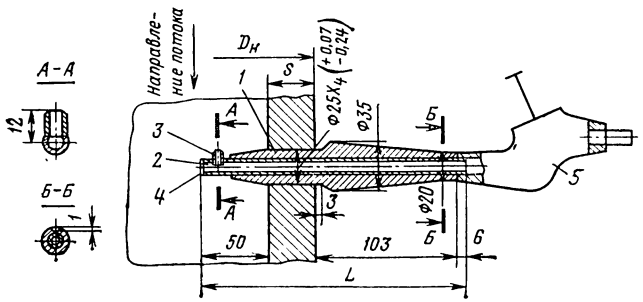


Рис. 11.14. Трубчатый однососковый зонд ЦКТИ для отбора проб воды со взвесью (Fe_3O_4, $CaCO_3$ и др.) или перегретого пара:
1 — корпус; *2* — вставная трубка из нержавеющей стали; *3* — сосок; *4* — донышко; *5* — вентиль

Таблица 11.2. **Устройства для отбора воды и пара паровых котлов с давлением выше 10 МПа (по ОСТ 108.030.04-80)**

Наименование пробы	Наименование зонда	Место установки	Требования к установке	Назначение пробы
Питательная вода	Трубчатый (см. рис. 11.14)	Трубопровод питательной воды вблизи парового котла. При наличии постоянно работающих двух линий пробы отбираются из любой	Наличие прямого вертикального участка трубопровода длиной $10D$ до отборной точки $5D$ после нее	Для основного эксплуатационного контроля
Вода на впрыск	То же	Объединенная линия впрыска	То же	Для дополнительного контроля
Котловая вода I ступени испарения	» »	Одна из средних опускных труб I ступени испарения	То же с учетом размещения оборудования на пробоотборной линии и уклона ее по ходу пробы	Для основного эксплуатационного контроля
То же II ступени при трех ступенях испарения	» »	Опускная труба II ступени испарения	То же	Для дополнительного контроля при испытаниях
То же продувочная (II и III ступени испарения) или котлов без ступенчатого испарения	Трубчатый (см. рис. 11.14)	Линия непрерывной продувки или опускная труба продуваемого отсека или всего барабана	То же с учетом размещения оборудования на пробоотборной линии и уклона ее по ходу пробы	Для основного эксплуатационного контроля. При двустороннем расположении продувочных отсеков (II и III ступени) и наличии перекрещивающихся опускных труб проба берется из того отсека, где регулируется продувка

Насыщенный пар (из барабанов)	Устьевой (см. рис. 11.15)	Пароотводящие трубы; точки отбора располагаются по длине барабана посередине групп пароотводящих труб, состоящих каждая из одной трети труб	В устье трубы. Входное сечение наконечника должно находиться по касательной к внутренней поверхности барабана	Для дополнительного контроля (при испытаниях). Точки поддерживаются в рабочем состоянии
То же	Со смесительной трубой Вентури (см. рис.11.16)	Пароотводящие трубы (см. выше)	Соосность соска зонда и трубы Вентури. Наконечник должен быть направлен навстречу потоку	Для дополнительного контроля при испытаниях исследовательского характера
Насыщенный пар из выносных циклонов	Дырчато-щелевой (см. рис. 11.17)	Над пароприемным потолком циклона	Щель направлена навстречу потоку пара; размеры по рис. 11.15	Для дополнительного контроля, точки поддерживаются в рабочем состоянии
Перегретый пар	Однососковый трубчатый (см. рис. 11.14)	На паропроводе котла, при двух паропроводах отбор производится из каждого	На штуцере зонда наносится риска, определяющая положение наконечника или среза навстречу потоку пара	Для основного эксплуатационного контроля
Пар до и после промежуточного перегревателя	То же	Возле котла на подводе и отводе пара. При наличии двух линий пробы отбираются из обеих самостоятельно и после запорных вентилей объединяются	То же	Для дополнительного контроля
Насыщенный (влажный) пар после испарителей и пароперобразователей	Дырчато-щелевые зонды со смесителем (рис. 11.18)	Место строго не регламентируется, лучше на нисходящем вертикальном участке	—	Для основного эксплуатационного контроля

Трассы для отвода проб воды и пара выполняются трубками из нержавеющей стали диаметром 10×2 мм. Особенно необходимо применение нержавеющей стали

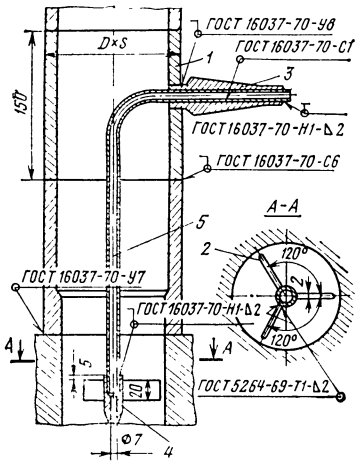


Рис. 11.15. Устьевый зонд для отбора проб насыщенного пара

1 — отрезок трубы; *2* — дистанционирующие ребра; *3* — приварной штуцер; *4* — наконечник-сосок; *5* — трубка из нержавеющей стали

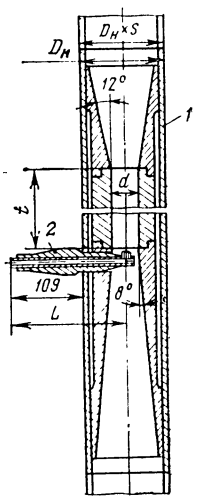


Рис. 11.16. Зонд в трубе Вентури для отбора проб насыщенного пара:

1 — смесительное устройство — сужающая вставка; *2* — пробоотборное устройство — однососковый зонд

для взятия проб пара, питательной воды, конденсата. Трубки должны прокладываться с постоянным уклоном в сторону отбора. Во избежание засорения трубок малого диаметра (5—6 мм) перед входом проб воды в эти трубки должны устанавливаться специальные шламоотделители-фильтры. Для дросселирования отбираемой воды Союзтехэнерго рекомендует применять капиллярную трубку диаметром 4×1,6 мм, навитую на специальный

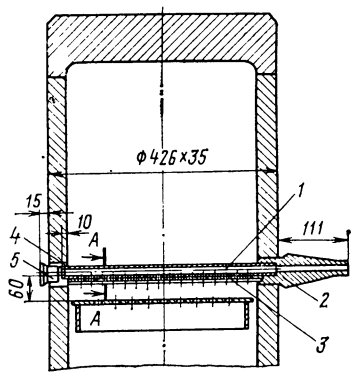


Рис. 11.17. Дырчато-щелевой зонд в выносном циклоне или в пароотводящей трубе возле барабана:

1 — трубка; *2* — приварной штуцер; *3* — приварная направляющая «щель-гребешок»; *4* — донышко; *5* — пробка

барабан (см. рис. 11.10). Длина трубки определяется экспериментально при наладке. Применение пробоотборных труб большого диаметра ($d_{вн} > 8 \div 10$ мм) *, а также

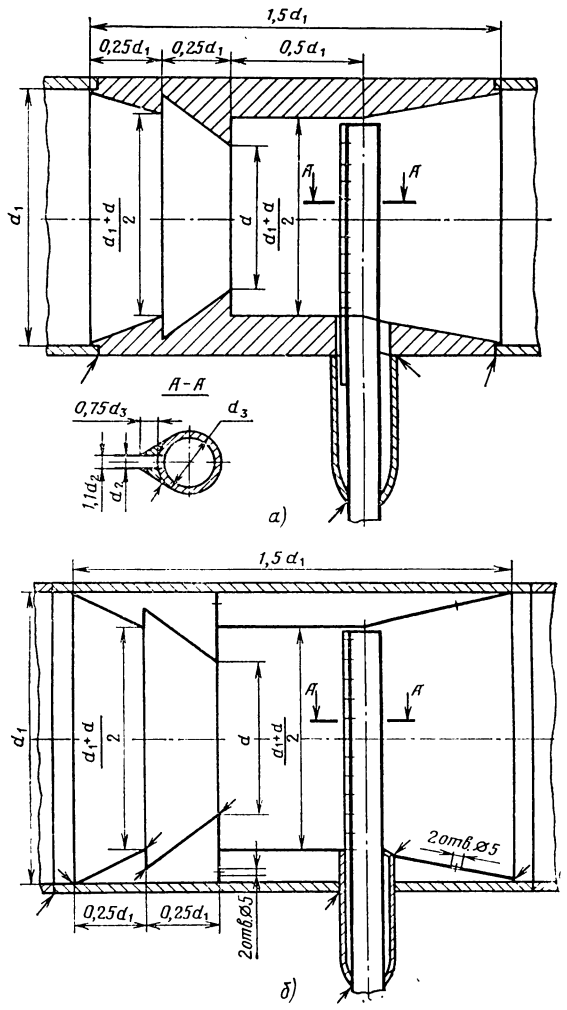


Рис. 11.18. Дырчато-щелевые зонды со смесителями для отбора проб насыщенного пара:

а — при $d_у < 100$ мм; *б* — при $d_у > 100$ мм; $d_у = 0{,}1 \div 0{,}15 d_у$

* Трубки большого диаметра допускается устанавливать на трассах отбора проб пара до холодильников, но не для воды.

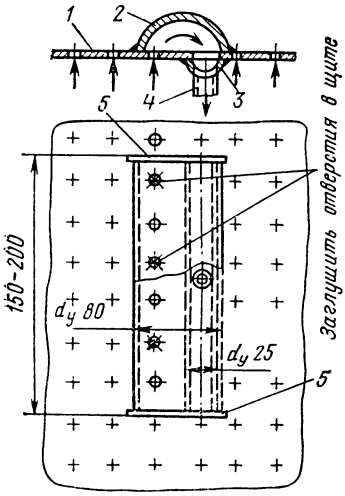


Рис. 11.19. Устройство для отбора проб непромытого пара:
1 — дырчатый потолок; *2* — верхний направляющий колпак; *3* — сборный желобок; *4* — отвод пара; *5* — донышко колпака

обычных и даже специальных угловых игольчатых вентилей (рис. 11.8) нежелательно, так как при малом расходе пробы (30—50 л/ч) и при скоростях, меньших 0,1 м/с, а также при небольшом зазоре между клапаном и седлом вентиля (<0,1 мм) на стенках труб и в зазоре задерживаются взвешенные примеси (Fe_3O_4 и др.). Таким образом, качество пробы по этим примесям улучшается.

В качестве холодильников следует применять змеевиковые холодильники ЦКТИ (рис. 11.21), ОРГРЭС — Союзтехэнерго (рис. 11.22), Центроэнергочермета (рис. 11.23), а также прямотрубные Союзтехэнерго (рис. 11.22).

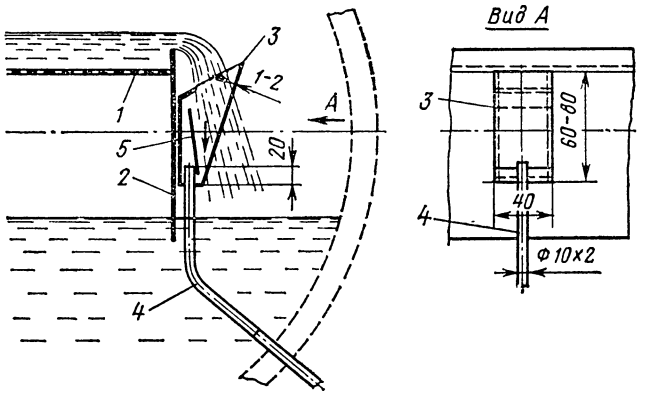


Рис. 11.20. Устройство для отбора проб промывной воды с паропромывочного листа:
1 — беспровальный паропромывочный лист; *2* — щиток-гидрозатвор; *3* — приемная воронка; *4* — отводная трубка; *5* — щиток для отвода пара

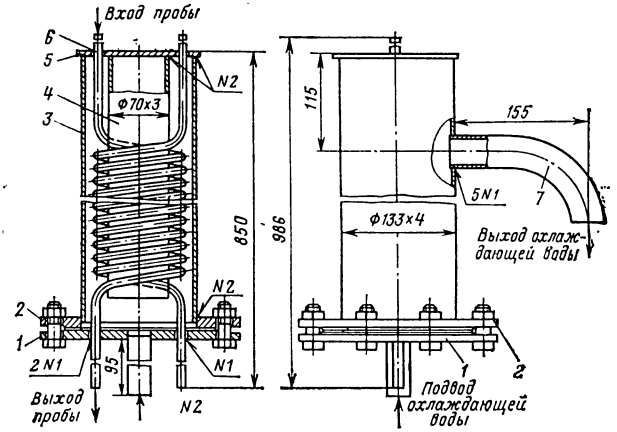


Рис. 11.21. Змеевиковый двухточечный холодильник ЦКТИ:

1 — дно; *2* — фланец; *3* — корпус; *4* — внутренняя труба; *5* — приварная крышка; *6* — змеевики $d=10\times2$ мм из нержавеющей стали; *7* — слив охлаждающей воды

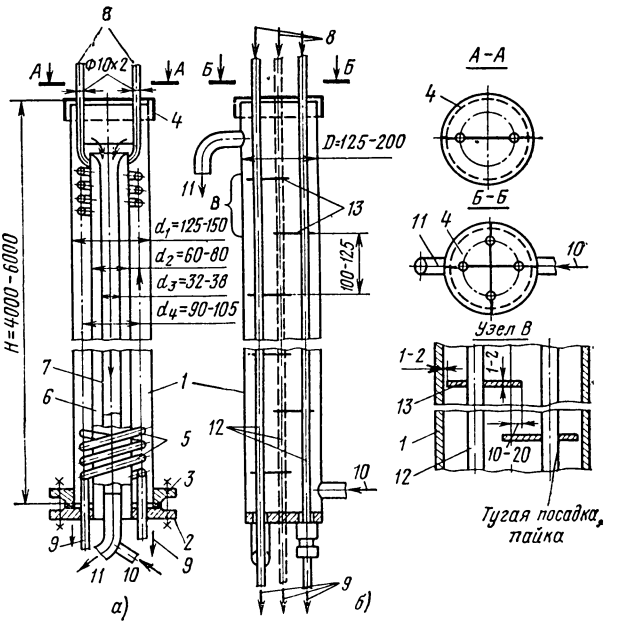


Рис. 11.22. Холодильники ОРГРЭС — Союзтехэнерго:

а — змеевиковый; *б* — прямотрубный; *1* — корпус; *2* — дно; *3* — фланец; *4* — крышка; *5* — змеевик; *6* — внутренняя трубка; *7* — сливная трубка; *8* — вход проб; *9* — выход проб; *10* — подвод охлаждающей воды; *11* — слив охлаждающей воды; *12* — прямые охлаждающие трубки; *13* — направляющие перегородки

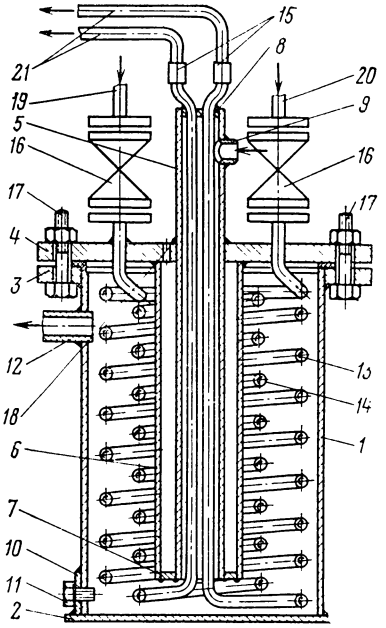


Рис. 11.23. Двухточечный противоточный змеевиковый холодильник Центроэнергочермета:

1 — корпус; *2* — дно; *3* — фланец; *4* — крышка; *5* — внутренняя трубка; *6* — внешняя трубка; *7* — нижнее дно вставки; *8* — верхнее дно вставки; *9* — подвод охлаждающей воды; *10* — бобышка; *11* — болт; *12* — слив охлаждающей воды; *13* — внешний змеевик (для пара); *14* — внутренний змеевик (для воды); *15* — муфты; *16* — вентили ВД; *17* — болты с гайками; *18* — отверстие для контроля плотности труб 5 и 6; *19* — вход котловой воды; *20* — вход пара; *21* — отбор проб

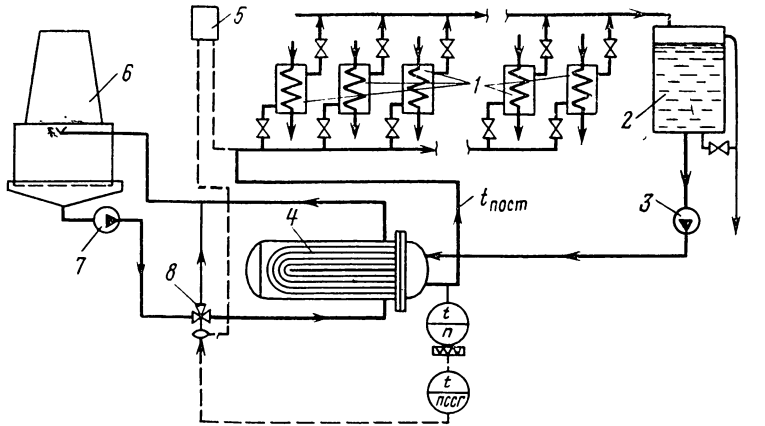


Рис. 11.24. Схема охлаждения холодильников конденсатом (ОРГРЭС):

1 — холодильник; *2* — сборный бак конденсата; *3* — насос; *4* — теплообменник; *5* — бачок постоянного уровня; *6* — градирня; *7* — насос; *8* — регулятор подвода технической воды в теплообменник

Во избежание накипеобразования на змеевиках холодильников, особенно при жесткой охлаждающей воде, необходимо, чтобы ее температура не поднималась выше 30—35 °С.

Наиболее надежно охлаждать пробы конденсатом-дистиллятом, умягченной или обессоленной водой с постоянной температурой, которую потом можно или использовать, или направлять в водоводяной теплообменник для охлаждения (рис. 11.24).

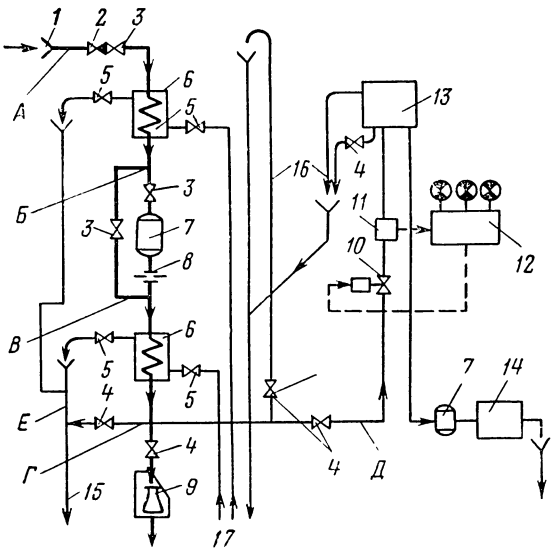


Рис. 11.25. Схема подготовки проб пара и воды для приборного контроля:

1 — отбор проб; *2* — обратный клапан; *3* — запорный вентиль; *4* — запорно-регулировочный вентиль; *5* — вентили на охлаждающей воде; *6* — холодильник; *7* — фильтр-отделитель взвеси окислов железа (см. рис. 11.29); *8* — дроссель; *9* — водный щит для ручного отбора проб; *10* — соленоидный регулятор расхода проб; *11* — температурный индикатор; *12* — термоограничитель с сигнальными лампами; *13* — переливной бачок; *14* — анализатор; *15* — слив охлаждающей воды; *16* — перелив; *17* — подвод охлаждающей воды

Точка отбора пробы	Параметры пробы		
	Давление, МПа	Температура, °С	Расход, л/ч
А	9,0—15,5	300—530	—
Б	9,0—15,5	70	—
В	0,1	70	—
Г	0,1	35	—
Д	0,1	35	100
Е	—	35—45	—

В случае появления неплотностей в змеевиках возможно попадание в отбираемые пробы охлаждающей воды. Во избежание этого давление в змеевиках должно быть больше, чем давление охлаждающей воды, последняя должна сливаться из холодильника свободно. Схема подготовки проб перед подачей их в автоматические приборы показана на рис. 11.25.

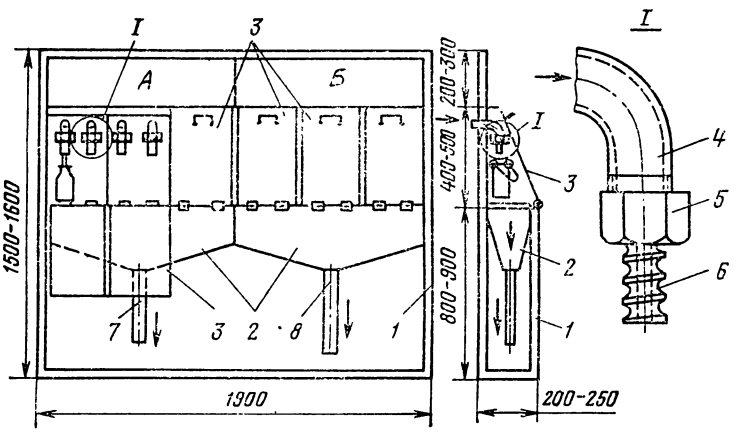


Рис. 11.26. Водный щит ЦКТИ — ОРГРЭС для ручного отбора проб в посуду:

А — отборы проб пара и питательной воды; *Б* — отборы проб котловой воды; *1* — каркас; *2* — корыто; *3* — откидная крышка; *4* — подводящие трубки; *5* — накидная гайка; *6* — ниппель-сосок для резиновой трубки; *7* — слив в дренажный бак; *8* — слив в канализацию

Для отбора проб в «стаканчики-ведерки» или колбы применяются так называемые водные щиты (рис. 11.26), которые должны располагаться возле экспресс-лабораторий или у рабочих мест лаборантов (в боксах).

11.6. Внутренние осмотры паровых котлов

Начальник химического цеха (лаборатории) или его заместитель вместе с работниками котельного или теплосилового цеха должны осматривать как новые котлы перед пуском их в работу, так и котлы после капитальных или текущих ремонтов, когда вскрываются барабаны.

Осмотр котла производится с целью выявления допущенных при изготовлении и монтаже внутрикотловых устройств отклонений от проекта или от общепринятых норм, неплотностей и иных дефектов, могущих осложнить водно-химический режим, ухудшить качество пара,

снизить надежность и экономичность работы котла, а также для определения степени загрязненности его продуктами коррозии, накипью, шламом, песком, маслами, гратом.

Осмотры после очисток производятся с целью определения их эффективности. До очисток и после них производятся вырезки контрольных участков труб (см. гл. 12).

Кроме собственно котла и отдельных его элементов (экономайзер, барабан, коллекторы, парогенерирующие и опускные трубы, выносные циклоны, пароперегреватель, пароохладитель), осматриваются также устройства для измерения, регулирования количества и использования продувочной воды, устройства для отбора, транспортировки и охлаждения проб воды и пара, автоматические контрольно-измерительные приборы и индикаторы, оборудование для водно-химических промывок и консервации котлов.

При осмотре барабанов обращают внимание на правильность ввода питательной воды, наличие термозащитных рубашек-«стаканов» на вводах «холодных» воды и растворов, условия сепарации пара, образовавшегося из питательной воды в кипящих экономайзерах, правильность разводки в барабане корректирующих реагентов. Проверяются также: правильность изготовления и монтажа внутрибарабанных и выносных сепарационных устройств; площади сечения всех проходов для воды и пара; плотность сварных и болтовых соединений; наличие прокладок (просвечиванием, смачиванием швов керосином с помощью щупов или струи воды из резинового баллончика); плотность и прочность присоединения улиток циклонов к коробам пароводяной смеси; правильность изготовления и установки устройств для отбора проб пара, котловой и промывочной воды, успокоительных устройств для водоуказательных стекол и т. д.

Все замеченные отклонения от проекта и неисправности устраняют, усиливают, если нужно, крепление циклонов.

Особенно тщательно осматривают и устраняют неплотности пароприемных устройств.

Количество ржавчины, образовавшейся в результате коррозии во время монтажа незаконсервированного или плохо законсервированного оборудования (в основном парогенерирующих труб), особенно в местах, где могла остаться вода после гидравлической опрессовки котла, определяют путем вырезки контрольных образцов.

Взамен вырезанных участков вваривают новые. Повторная вырезка должна производиться после проведения предпусковой химической промывки из участков, соседних с вырезанными, для определения эффективности промывки.

Все результаты осмотра как самого котла и его элементов, так и вспомогательного оборудования должны фиксироваться в специальном приемочном акте или журнале осмотра агрегатов как в котельном, так и в химическом цехе.

11.7. Пуск паровых котлов

После осмотра котла и составления акта о его состоянии осуществляется сушка обмуровки. В конце сушки или после нее производится обязательная химическая (кислотная) промывка с последующими щелочением или пассивацией (см. гл. 12).

На вновь вводимый в эксплуатацию котел составляют формуляр-паспорт, в который вносят основные сведения, важные для характеристики водного режима котла, а именно:

тип, давление, проектная производительность и величина поверхности нагрева — общая и по элементам, в том числе солевых отсеков; проектная кратность циркуляции, размер продувки, предусмотренное проектом качество котловой и питательной воды; данные теплового расчета, скорость движения воды в опускных и подъемных трубах и особенно пара в змеевиках пароперегревателей на входе и выходе: характеристика пароохладителей, диаметры и соотношения площадей сечения опускных и подъемных труб в каждом циркуляционном контуре, наличие приваренных «стаканов-колпаков» на нижних коллекторах для их осмотра и очистки;

фактические размеры живых сечений для прохода воды и пара в перфорированных щитах, стенках и других внутрибарабанных устройствах и скорость воды, пара и пароводяной смеси в этих сечениях, трубах и сепарационных устройствах при расчетной нагрузке котла;

допущенные отступления от проекта и наличие дополнительных внутрибарабанных устройств; устройства для продувки, отбора проб пара и котловой воды; данные о металле, диаметре и длине пробоотборных трасс; сведения о холодильниках для охлаждения проб, расширителях и теплообменниках продувочной воды;

наличие автоматических контрольно-измерительных приборов, регуляторов уровня воды в барабане и продувки котла.

К формуляру должны быть приложены: циркуляционная схема парового котла и общий вид его в масштабе 1 : 50, чертежи барабанов с внутрибарабанными устройствами в масштабе 1 : 20 или 1 : 10, схема продувки котла (включая расширители и теплообменники), схема расположения точек для отбора проб и контроля качества пара и котловой воды с трассами, холодильниками, солемерами-кондуктометрами и т. п., намечаемый объем контроля водного режима парового котла.

При очередных осмотрах находящегося в эксплуатации котла этот формуляр проверяют и исправляют в соответствии с вносимыми в конструкцию агрегата изменениями.

По окончании химической промывки, внутреннего осмотра котла, очистки нижних коллекторов от шлама и кусков отложений, вырезки контрольных участков для проверки полноты удаления окислов и врезки новых участков «стаканы» нижних коллекторов экранов приваривают, продувочные вентили после ремонта или ревизии ставят на место, устанавливают снятые на время химической промывки внутрибарабанные устройства, котел опрессовывают и включают в работу (проводят 72-часовые приемо-сдаточные испытания) или консервируют (см. гл. 10).

Пар, выдаваемый котлом в начале его эксплуатации, нередко может быть некачественным в связи с уносом отложений и окислов из пароперегревателей, паропроводов и трасс и из-за неналаженности теплового и водно-химического режимов. Оставшиеся в котле после химической промывки песок, цемент, изоляционные материалы постепенно растворяются в котловой воде, повышая содержание в ней кремнекислоты, что отражается и на качестве пара.

При недостаточно интенсивной циркуляции во время предпусковых химических промывок или щелочения механические примеси при продувках удаляются не полностью и оседают в застойных местах. При повышении нагрузки и усилении циркуляции эти примеси вновь переходят в котловую воду, бывшую до этого прозрачной. Поэтому нагрузку барабанных паровых котлов в период пуска следует повышать постепенно или ступенчато до полного осветления воды, ведя усиленную непрерывную (до 3—5%) и учащенную периодическую продувку с целью более быстрого удаления примесей.

В течение некоторого периода времени после пуска котел обычно работает с пониженной нагрузкой, иногда с увеличенной добавкой обессоленной воды. Нередко его приходится останавливать для устранения механических или топочных дефектов. Поэтому проведение испытаний водно-химического режима в полном объеме в этих условиях невозможно. Оно заменяется так называемыми эксплуатационными наблюдениями, во время которых ведется учащенный контроль качества пара, питательной и котловой воды и других показателей работы котла

(давления, нагрузки, уровня, температуры перегрева) с регистрацией их в специальных ведомостях или журналах.

Эти наблюдения при наличии регистрирующих приборов ведутся круглосуточно в течение 3—5 сут. Если регистрирующие приборы еще не отлажены или не установлены, наблюдения можно проводить в дневную смену в виде отдельных опытов продолжительностью по 5—6 ч при общей продолжительности наблюдений 30—50 ч. Эксплуатационные наблюдения отличаются от нормальных испытаний водно-химического режима тем, что они ведутся при фактическом режиме работы парового котла, а не при том режиме, которого требует программа испытаний. Объем контроля во время наблюдений обычно сокращен по сравнению с нормальными испытаниями. Соле- и кремнесодержание котловой воды во время эксплуатационных наблюдений не следует поднимать до значений, при которых можно ожидать ухудшения качества пара, или до расчетных норм.

По результатам эксплуатационных наблюдений должны быть выработаны или подтверждены предварительно намеченные нормы качества котловой воды.

В период пуска и проведения эксплуатационных наблюдений выявляются недостатки водно-химического и теплового режимов работы котла, как-то: плохое качество пара, низкая или высокая кратность упаривания воды между отсеками и другие дефекты, причины которых должны быть выявлены и устранены в возможно более короткий срок.

11.8. Наладка водно-химического режима работы паровых котлов

Целью наладки является достижение надежного и экономичного водного режима котла. Она состоит в выявлении и устранении причин, вызывающих отклонение показателей водно-химического режима от оптимальных или препятствующих его экономичной работе. Отклонениями от нормального водно-химического режима могут быть: большая продувка; расхождение в качестве котловой воды по одноименным отсекам (на 20% и более); ухудшенное качество насыщенного пара. Ухудшение качества пара и другие нарушения водно-химического режима необходимо сопоставлять с тепловым режимом работы котла, нагрузкой, давлением и их отклонениями

от расчетных значений, с уровнем котловой воды, а также с качеством воды по всем отсекам и промывочным устройствам. Под тепловым режимом понимают наличие или отсутствие тепловых перекосов в топке, динамику изменения нагрузки, изменение вида топлива, работу горелок, размещение факела в топке, колебания температуры уходящих газов и количества их и т. п.

Качество пара должно удовлетворять следующим требованиям: содержание Na^+ 10—15 мкг/кг (по пламяфотометру) или 25—40 мкг/кг в пересчете в NaCl; электропроводность $\varkappa$ 0,06—0,09 мкСм/см.

В связи с тем, что при определении электропроводности с дегазацией проб путем упаривания или Н-катионирования с кипячением полностью удалить из пробы летучие примеси (CO_2, NH_3^+) не удается, можно считать, что электропроводность дегазированной пробы пара, равная 0,1—0,2 мкСм/см, свидетельствует о его удовлетворительном качестве.

Электропроводность воды при 18 (25) °С равна 0,03 (0,04) мкСм/см; электропроводность растворов, содержащих по 1 мг/л солей или щелочей при 18 (25) °С, составляет:

NaCl	1,85 (2,14)	Na_2SO_4 . . .	1,6 (1,86)
$(NH_4)_2CO_3$ . . .	3,0 (~3,5)	NH_3	5,3 (6,3)
Na_2CO_3	2,0 (2,37)	NaOH . . .	4,1 (4,6)

При нормируемом содержании в питательной воде 1 мг/кг NH_3 или 2,8 мг/кг $(NH_4)_2CO_3$ электропроводность недегазированной пробы может достигать 7—8 мкСм/см. Поэтому определять качество пара (его электропроводность и по ней солесодержание) как во время эксплуатации, так и (особенно) при наладке и испытаниях следует периодически при помощи автоматического солемера-кондуктометра с дегазацией без разрыва струи или при помощи пламяфотометра с чувствительностью 1—2 мкг/кг Na^+.

Снижение температуры перегрева пара происходит только при очень больших забросах котловой воды. Так, например, снижение температуры на 40 °С может произойти только при влажности пара около 6,5% (при давлении 11,0 МПа). Ухудшение качества пара может быть следствием чрезмерно высокого уровня котловой воды, плохой работы сепарационных устройств, наличия местных высоких напряжений парового объема или зеркала испарения, неправильного подвода питательной воды (особенно после кипящего экономайзера), когда

брызги воды могут уноситься паром, несоблюдением норм качества котловой воды (ее вспениваемости) и резких изменений нагрузки и давления в котле. Наличие тепловых перекосов в топке, слишком большая подача на паропромывочные устройства питательной воды с повышенным солесодержанием, впрыск в пар такой воды и попадание ее в пар через неплотности поверхностных пароохладителей также могут привести к ухудшению качества пара. Химический перекос качества котловой воды происходит в результате неравномерного питания или неодинаковой продувки по сторонам котла или в результате неравномерных тепловых нагрузок. При кипящем водяном экономайзере и различных тепловых нагрузках его по ширине (разность температур 10—25 °С) происходит большее запаривание экономайзера с одной стороны, влекущее за собой увеличение сопротивления и уменьшение подачи воды. Последнее приводит к увеличению солесодержания котловой воды в этой стороне котла, однако ухудшение пара за счет увеличения содержания CO_2 и NH_3 происходит, наоборот, с другой его стороны, где больше подача питательной воды.

При конденсатно-дистиллятном питании, наличии организованного возврата котловой воды солевых отсеков в чистый и перекрестной циркуляции воды между отсеками и половинами экономайзера возможность возникновения химических перекосов по сторонам котла при появлении тепловых перекосов очень невелика. Еще меньше возможность возникновения таких перекосов качества котловой воды, при которых может начаться ухудшение качества пара.

Для обнаружения химических перекосов при питании с добавкой необессоленной воды более 25—30%, возникших в результате перебросов-перетоков котловой воды из внутрибарабанных солевых отсеков в чистый, перед водоперепускными трубами должны быть установлены специальные отборные устройства с холодильниками (точки *15а* и *16б* на рис. 11.13).

11.9. Испытания водно-химического режима работы паровых котлов на качество пара

Испытания водно-химического режима вводимого в работу парового котла необходимы для установления допустимых норм качества котловой воды, выявления качества вырабатываемого пара, эффективности работы внутрикотловых устройств и ступенчатого испарения, размера продувки и т. д.

К определяемым при испытаниях параметрам относятся: допустимая паропроизводительность котла, уровень котловой воды в барабане, солесодержание, pH, щелочность и кремнесодержание котловой воды и пара. В котлах ТЭЦ, работающих с добавкой необессоленной воды, следует определять, кроме того, наличие и размер переброса котловой воды из внутрибарабанных солевых отсеков в чистый, уровни по отсекам и паропроизводительность их.

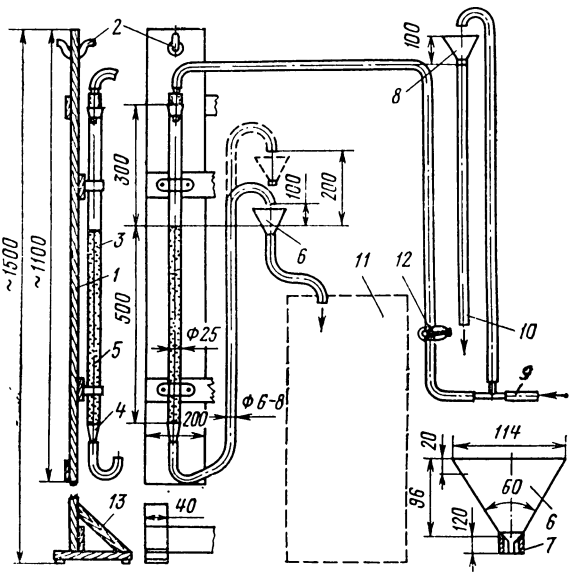


Рис. 11.27. Схема установки для ионитного контроля качества паро-конденсата:

1 — штатив; *2* — крючок; *3* — стеклянная или плексигласовая трубка; *4* — пористая стеклянная или дырчатая плексигласовая пластинка-дренаж; *5* — ионит; *6* — слив воды после фильтра в мерный бак; *7* — сменный ниппель с тарированным отверстием; *8* — сливная воронка для поддержания постоянного уровня-напора; *9* — подвод пробы; *10* — слив избытка; *11* — мерный бак; *12* — винтовой зажим; *13* — опора (вариант)

Наибольший объем измерений осуществляется при испытаниях головных образцов серийных паровых котлов, вводимых в эксплуатацию на ТЭЦ при питании их с добавкой необессоленной воды. Менее подробные испытания проводятся на головных образцах котлов КЭС, вводимых в эксплуатацию, и еще менее подробные — на вторых и третьих однотипных котлах этих же станций. Подробные испытания проводятся силами наладочных организаций или химических служб, а сокращенные — силами персонала самих станций.

Испытания паровых котлов КЭС, работающих на конденсатно-дистиллятном режиме, проводятся нередко также по сокращенной программе без определения предельно допустимых величин соле- и крем-

несодержания котловой и продувочной воды, поскольку последние в нормальных условиях трудно достижимы, а снижение размера продувки ниже 0,5 % запрещается ПТЭ. Не рекомендуется достигать чрезмерно высоких соле- и кремнесодержания, а следовательно, и высоких концентраций окислов железа, меди и взвеси в котловой и продувочной воде еще и из опасений образования железоокисных и медных отложений. Достаточно лишь довести соле- и кремнесодержание продувочной воды до значений, обеспечивающих допустимый размер продувки 0,5—1 %.

Включаемые вторыми и третьими паровые котлы ТЭЦ, питаемые с добавкой химически обработанной, необессоленной воды или боль-

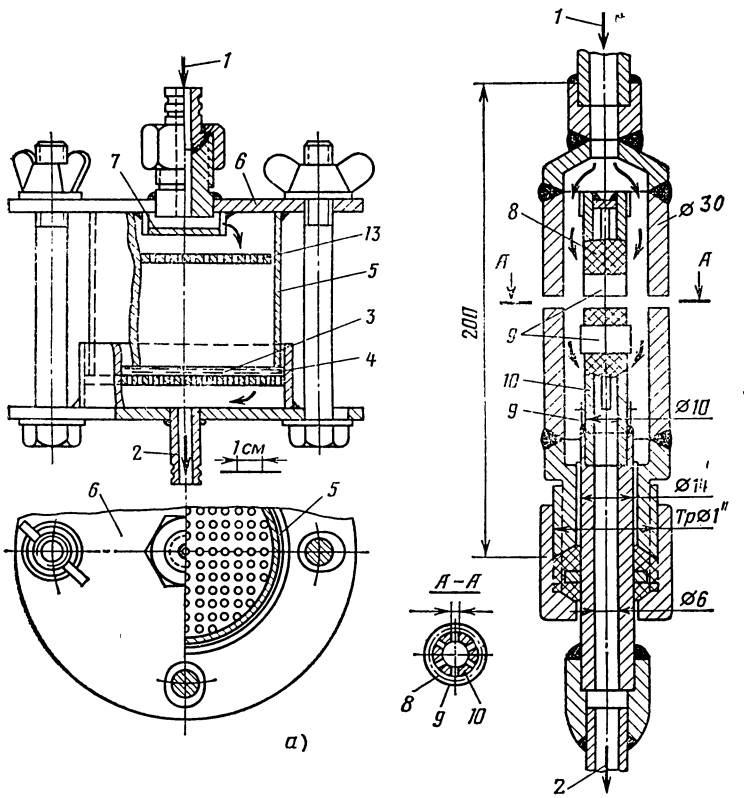
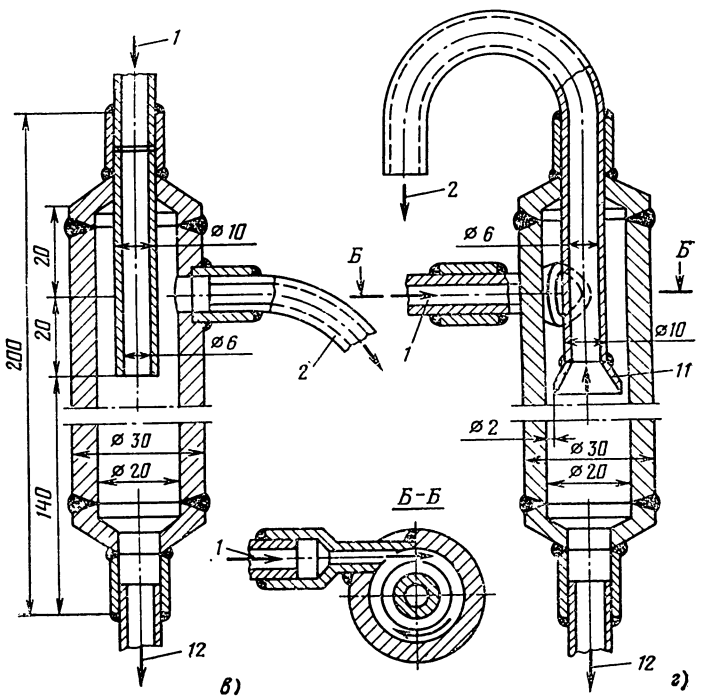


Рис. 11.28. Напорные фильтры для удаления из анализируемой пробы *а* — низкого давления (Центроэнергочермет); *б*, *в*, *г* — высокого давления $cd_{пор}$=0,3 мкм или три слоя беззольной фильтровалной бумаги (синяя лента) на 0,2×0,2 мм в слоев; *9* — фиксирующее кольцо; *10* — внутреняя трубка со щеля- диск для

ших количеств производственного конденсата, должны испытываться почти так же подробно, как и первые, так как при значительном содержании примесей в котловой воде часто даже незаметные различия в устройстве и условиях работы котла вызывают необходимость существенного изменения водно-химического режима и качества котловой воды.

Помимо основных, проводимых при пуске, испытания водно-химического режима должны проводиться также при переделках внутрибарабанных устройств, изменениях теплового режима работы котла, вида топлива, качества питательной воды, а также в случаях солевых заносов проточной части турбин или пароперегревателей, не вызванных явными нарушениями установленного режима (перепитка котла, сбросы давления с повышением уровня, набросы нагрузок и т. д.).



взвешенных веществ (окислов железа):

(Союзтехэнерго); *1, 2* — подвод и отвод пробы; *3* — целлюлозная мембрана подслойке из ткани *4*; *5* — прижимное кольцо; *6* — крышки; *7* — щиток; *8* — сетками; *11* — козырек; *12* — выпуск задержанного шлама; *13* — прижимной дырчатый ватного фильтра

Перед началом испытаний проверяют или составляют схему контроля, оборудуют котел всеми необходимыми устройствами для отбора, концентрирования, охлаждения и анализа проб пара, питательной и котловой воды, устанавливают мерные баки для измерения количества воды, пропущенной через лабораторные фильтры (рис. 11.27 и 11.28). Проверяют правильность работы приборов и устраняют их неисправности, удаляют накипь из холодильников, промывают и налаживают солеконцентраторы.

Подбирают необходимые материалы по водно-тепловому режиму работы и циркуляции котла, по характеристике внутрибарабанных сепарационных и продувочных устройств, данные о поверхностях нагрева отдельных элементов парового котла и их расчетных теплонапряжениях, о виде и качестве топлива, о расчетных температурах уходящих газов. Подготавливают, тарируют и проверяют необходимые при испытаниях приборы контроля: фотоколориметры, пламяфотометры, кондуктометры с дегазаторами, ионитные и ватно-целлюлозные фильтры, pH-метры, а также переносные солемеры-кондуктометры с комплектом датчиков и переключателем (рис. 11.29) и другие приборы. Готовят необходимое лабораторное оборудование, растворы реактивов и посуду, в том числе полиэтиленовую для отбора и анализа проб воды и пара на содержание кремнекислоты. Подбирают имеющиеся на электростанции данные о качестве всех видов воды, а также по объему контроля водного режима, ведущегося на станции. При монтаже и перед пуском котла проверяют правильность изготовления и монтажа внутрибарабанных устройств, плотность перегородок между отсеками, исправность продувочных устройств. Перед испытаниями проверяют плотность конденсаторов турбин, подогревателей и другого оборудования, определяют эффективность проведенных водно-химических промывок, составляют и утверждают рабочую программу испытаний с учетом характера работы котла (базисный, пиковый и т. д.), инструктируют персонал, участвующий в испытаниях, разрабатывают формы журналов и ведомостей наблюдений и т. д.

Наличие надежно работающих регистрирующих приборов, контролирующих основные параметры работы котлов, позволяет вести испытания с минимальным количеством персонала, а также сократить общую их продолжительность или исключить некоторые сложные и трудоемкие анализы, например определение сульфатного остатка пара.

Рабочее место лаборантов должно находиться возможно ближе к испытываемому котлу; к этому месту к так называемому «водному щиту» нужно подвести возможно большее число отборных точек (см. рис. 11.26). «Водный щит» должен быть защищен от пыли и дымовых газов во избежание искажения результатов анализов.

В некоторых случаях для возможности частого контроля солесодержания котловой, промывочной и питательной воды, а также пара целесообразно все пробы от холодильников подвести к укрепленным

на штативе датчикам солемера с мегомметром (см. рис. 11.29). Подключение постоянно работающих датчиков к мегомметру производится поочередно при помощи многоточечного переключателя *12*, а поправки на температуру вводятся по показаниям термометра *5* путем изменения расстояния между электродами *6* вручную.

Характер, этапы, количество опытов и режимы испытаний водно-химического режима работы барабанных котлов могут быть рекомендованы следующие: (ниже использованные обозначения: G — нагрузка; $G_{макс} = G_{ном}$; $G_{ном} < G_{пред}$; $G_{мин} \approx 0{,}5\,G_{ном}$; H — уровень; S — солесодержание; SiO_3^{2-} — кремнесодержание котловой воды):

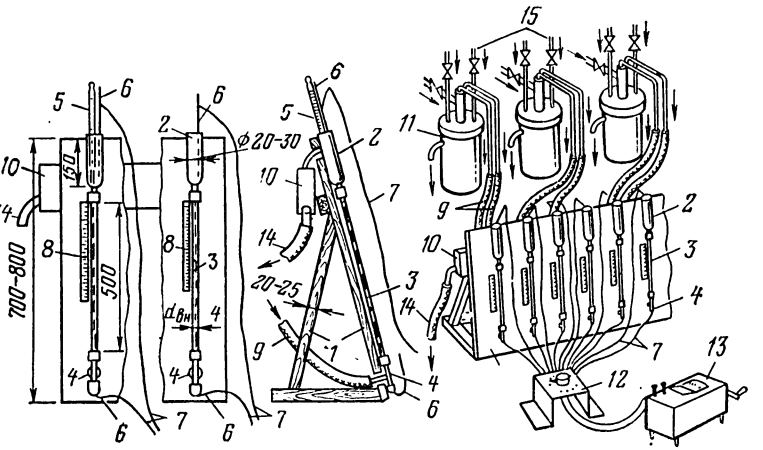


Рис. 11.29. Схема штатива с комплектом датчиков для измерения электропроводности — солесодержания воды и пара при теплохимических испытаниях паровых котлов:

1 — деревянный штатив; *2* — головка; *3* — рабочая часть датчика — стеклянная трубка; *4* — стеклянный тройник; *5* — термометр; *6* — электроды; *7* — изолированные провода; *8* — температурные шкалы; *9* — подводящие резиновые трубки; *10* — сливной желобок; *11* — двухточечные холодильники ЦЭЧМ; *12* — переключатель; *13* — мегомметр; *14* — слив; *15* — подвод проб

1-й этап. Ознакомление с водно-тепловым режимом работы котла (ведется при фактическом режиме) 1—2 опыта общей продолжительностью 10—15 ч.

2-й этап. Определение предельных нагрузок и уровней (сепарационной характеристики) котла. Ведется при подъеме нагрузки от 50—70 % до предельной при минимальных уровне и солесодержании котловой воды (1—2 опыта).

3-й этап. Определение предельного соле- и кремнесодержания. При питании котла с добавкой необессоленной воды опыты ведутся при $G_{макс}$ и фактическом pH с плавным подъемом соле- и кремнесодержания котловой воды от минимальных значений, поддерживавших-

ся в опытах 2-го этапа, до максимальных. При $H_{ср}$ и $H_{макс}$ проводится по 3 опыта. Опыты проводятся при $pH_{макс}$ с плавным повышением соле- и кремнесодержания до ухудшения качества пара. Прирост солесодержания в чистых отсеках и в котлах без ступенчатого испарения доводится до 10—20 мг/л в час и в солевых отсеках до 50—100 мг/л в час.

4-й этап. Определяется качество пара при неустойчивой нагрузке котла (по 2 опыта) при $H_{ср}$, нормальных S, SiO_3^{2-} и pH; при быстром росте нагрузки от $G_{мин}$ до $G_{макс}$ производится по 2—3 сброса и наброса за опыт. Эти опыты ведутся после установления норм водно-химического режима по данным предыдущих опытов.

В зависимости от конструкции котла, его производительности, давления, качества питательной и котловой воды и требований к качеству вырабатываемого пара количество и содержание опытов могут меняться. Например, при чисто конденсатном питании могут быть меньше число опытов и часовой прирост солесодержания котловой воды.

Во время испытаний рекомендуется осуществлять следующий ориентировочный объем контроля за тепловым режимом работы котла: расход воды и пара определяют по диаграммам регистрирующих расходомеров, уровни котловой воды — по диаграмме сниженного указателя и водоуказательным колонкам, давление в барабане и после пароперегревателя — по регистрирующим или указывающим приборам. Запись показаний с указывающих приборов проводят через 5—15 мин. Записывают температуру питательной воды до и после экономайзера, газов за котлом (слева и справа) и перегретого пара. Используют имеющиеся регистрирующие или указывающие приборы.

Кроме того, ведут учет работы горелок — записывают номера работающих горелок и данные об интенсивности их работы (расходы топлива и воздуха).

По водно-химическому режиму контролируются следующие объекты и показатели:

1. Добавочная (обескремненная-обессоленная) вода, турбинный конденсат, конденсат бойлеров, дистиллят, внешние конденсаты. Солесодержание по солемеру, щелочность по фенолфталеину и общая жесткость, содержание NH_3 и кремнесодержание по ФЭК определяются 2—3 раза за период испытаний; сухой остаток (выпариванием); хлориды, сульфаты, нитриты, нитраты и окисляемость определяют 1 раз за период испытаний в каждом виде добавочной воды и конденсата.

2. Питательная вода ТЭЦ. Солесодержание по солемеру, щелочность общая и по фенолфталеину, pH, кремнесодержание по ФЭК определяют через 1—2 ч. Сухой остаток определяют выпариванием, если он значителен, жесткость, щелочность общую, хлориды, сульфаты и окисляемость определяют 1 раз за опыт в средней пробе, кислород 1 раз за опыт.

3. Питательная вода КЭС и вода, подаваемая во впрыскивающий пароохладитель. Солесодержание по солемеру с обогащением или дегазацией пробы, pH, кремнесодержание по ФЭК определяют 2—3 раза за опыт, сульфатный остаток* (ионитным способом) — 1 раз за опыт (в средней пробе). Воду (конденсат), подаваемую во впрыскивающий пароохладитель, контролируют отдельно только в случае, если для этой цели используют не общую питательную воду, а специально выделенный конденсат.

4. Промывочная и котловая вода чистого отсека котлов ТЭЦ и КЭС. Солесодержание по солемеру, кремнесодержание по ФЭК, щелочность по фенолфталеину и общую, pH, фосфаты определяют через 1—2 ч, сухой остаток выпариванием — 1 раз за опыт в средней пробе (для ТЭЦ).

5. Котловая вода солевых отсеков паровых котлов ТЭЦ (не продувочная). Солесодержание по солемеру и кремнесодержание по ФЭК определяют через 2 ч (только при испытаниях головных образцов).

6. Продувочная вода паровых котлов ТЭЦ (солевых отсеков). Солесодержание по солемеру определяют через 30 мин (лучше непрерывно), фосфаты, кремнесодержание по ФЭК, щелочность по фенолфталеину и общую, pH — через 1—2 ч, сухой остаток выпариванием, хлориды, сульфаты, нитриты, нитраты, окисляемость — 1 раз за опыт в средней пробе.

7. Продувочная вода паровых котлов КЭС. Солесодержание по солемеру определяют через 30—60 мин. Фосфаты, кремнесодержание по ФЭК, щелочность по фенолфталеину и общая, pH — через 2 ч, сухой остаток выпариванием, хлориды, сульфаты — 1 раз за опыт в средней пробе.

8. Насыщенный и перегретый пар. Солесодержание по солемеру с солеконцентратором по важнейшим точкам определяют непрерывно (регистрируют), а по второстепенным точкам — по лабораторному солемеру с предварительными упариванием или H-катионированием и кипячением пробы — периодически через 1 ч для котлов ТЭЦ и через 1—2 ч для котлов КЭС. Кремнесодержание пара паровых котлов ВД и СВД по ФЭК по всем точкам следует определять возможно чаще, но не реже, чем через 20—30 мин для котлов ТЭЦ и 30—60 мин для котлов КЭС.

Содержание Na^+ в паре определяют пламяфотометром при его наличии (вместо определения солесодержания пара) по всем точкам контроля качества пара котлов через 20—30 мин для ТЭЦ и через 30—60 мин для КЭС. Сульфатные остатки пара (ионитным способом) по важнейшим точкам определяют 1 раз за опыт для паровых котлов ТЭЦ и 3—5 раз за все испытания для паровых котлов КЭС и только при отсутствии солемеров-кондуктометров с автоматизиро-

---

* При отсутствии солемеров-кондуктометров, а также для определения среднего за опыт солесодержания.

ванной установкой для подготовки дегазации и охлаждения проб без разрыва струи.

При частых изменениях водно-теплового режима работы котла запись показаний указывающих приборов, отбор проб пара и котловой воды и анализ их учащают в 1,5—2 раза, а в периоды ухудшения качества пара — до возможного предела (через 1—2 мин). Наоборот, при спокойном режиме [изменения не более ± (10—15) % за 1 ч или ±5 % за 3—5 мин] запись показаний и отбор проб проводятся реже.

Параметры водного режима парового котла, регистрируемые аналитическими приборами, контролируются ручным способом в лаборатории только для проверки правильности показаний приборов. Проверка выполняется несколько раз за опыт или испытание. При получении устойчивых результатов количество опытов может быть сокращено, а при неустойчивых — увеличено, пока результаты измерений и определений не станут достаточно постоянными.

Опыты с повышением нагрузки, уровня, соле- и кремнесодержания котловой воды ведут до момента достижения заданного предела их или до небольшого устойчивого ухудшения качества пара либо до появления незначительных бросков. После работы парового котла с ухудшенным по сравнению с нормативным ($S_{\text{п}}+0{,}2\div0{,}5$ мг/кг и $SiO_3^{2-}+0{,}1\div0{,}2$ мг/кг) качеством пара в течение не более 30 мин или после фиксации 3—5 бросков котел переводят на безопасный режим работы, снижают нагрузку, уровень воды, солесодержание (увеличивают непрерывную продувку, производят продувку нижних точек). В случае очень большого ухудшения качества пара необходимо в кратчайший срок остановить котел и промыть пароперегреватель, а иногда и турбину, если имеются признаки заноса ее солями.

Во время ухудшения качества пара должны быть отобраны пробы котловой воды и пара для полных или уточненных анализов в лаборатории.

Во время испытаний должен вестись сводный рабочий журнал по следующей примерной форме (табл. 11.3).

Таблица 11.3. **Примерная форма журнала**

Номер опыта и дата	Время начала и конца опыта, ч, мин	Нагрузка, т/ч, минимальная, максимальная и средняя	Уровень, мм, от среднего или от оси (минимальный, максимальный и средний)	Содержание S, SiO_3^{2-}, $Щ_{\text{фф}}$, $Щ_{\text{общ}}$			Результаты и оценка опыта, примечания
				минимальные	максимальные	средние	
				котловой воды чистого отсека	продувочной воды	пара	
1	2	3	4	5	6	7	8

В журнал должны записываться все важнейшие итоговые показатели опытов, отклонения от заданного режима, важнейшие результаты. По результатам каждого опыта, при котором соблюдался заданный режим и получены нужные результаты (ухудшения качества пара), строят график, подобный изображенному на рис. 11.30.

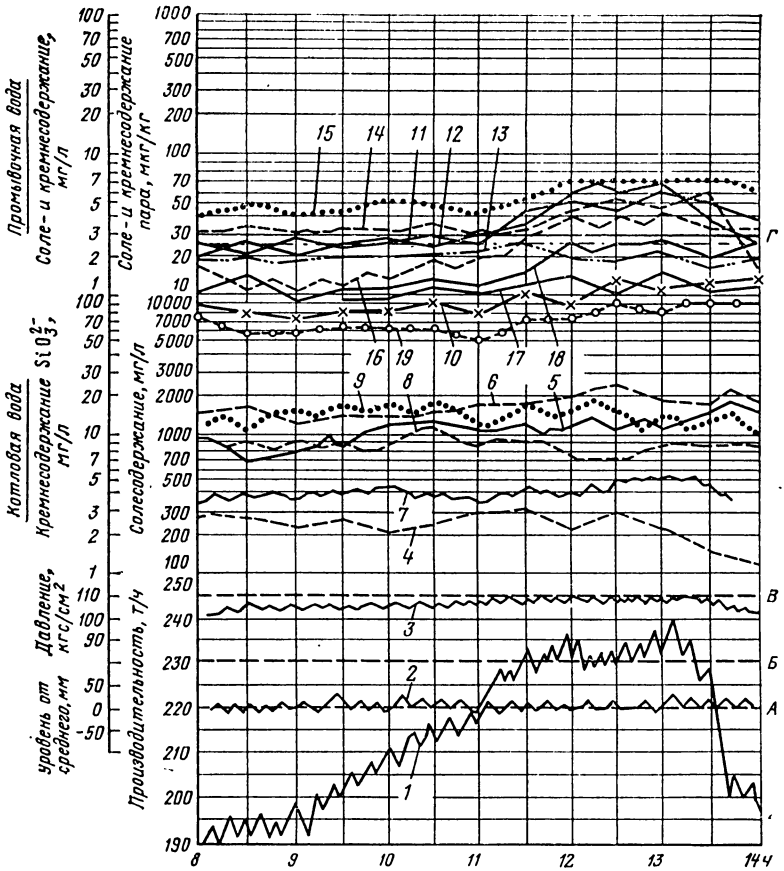


Рис. 11.30. Результаты теплохимических испытаний парового котла за один опыт:

А — средний уровень; *Б* — нормальная паропроизводительность; *В* — нормальное давление; *Г* — нормальное кремнесодержание пара; *1* — паропроизводительность; *2* — уровень; *3* — давление; *4* — кремнесодержание котловой воды чистого отсека; *5* — то же левого солевого отсека; *6* — то же правого солевого отсека; *7* — солесодержание котловой воды чистого отсека; *8* — то же левого солевого отсека; *9* — то же правого солевого отсека; *10* — солесодержание промывочной воды; *11* — кремнесодержание промывочной воды; *12* — кремнесодержание насыщенного пара левой стороны барабана; *13* — то же посередине; *14* — то же справа; *15* — кремнесодержание перегретого пара; *16* — солесодержание насыщенного пара левой стороны барабана; *17* — то же посередине; *18* — то же справа; *19* — солесодержание перегретого пара

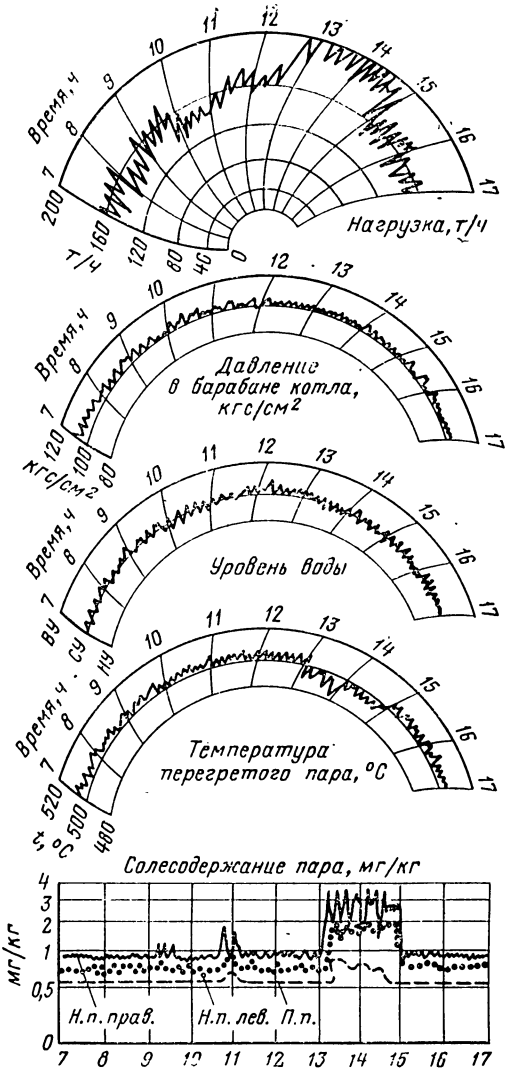


Рис. 11.31. Упрощенный график испытаний парового котла за один опыт

Необходимо так подбирать масштабы графика, чтобы на нем разместились все важнейшие показатели водного режима по всем точкам, по возможности не перекрещиваясь, чтобы колебания показателей были соразмерны и хорошо заметны и в то же время, как правило, не выходили за пределы отведенной площади и тем более за пределы графика *.

График, изображенный на рис. 11.31, менее трудоемок, но и менее показателен. Составление его заключается в том, что участки всех диаграмм регистрирующих приборов за время опыта (и по 1—2 ч до и после опыта) копируются через стекло в зеркальном изображении (время слева направо) и наклеиваются на бумагу, под ними помещают график результатов химических анализов воды и пара и таблица качества питательной воды.

По записям в журнале и графикам каждого опыта строят суммирующие графики (рис 11.32), по которым уже и определяют допустимые нормы водно-химического режима работы котла. Обычно нормы качества котловой воды даются с занижением на 20—30 %

* Значения солесодержания, кремнесодержания щелочности пара, котловой и питательной воды целесообразно откладывать на логарифмической шкале, остальные — на арифметической, как это показано на рис. 11.30.

против тех значений, при которых во время испытаний начинало ухудшаться качество пара. Допустимый уровень по водоуказательным приборам должен быть на 30—50 мм ниже того, при котором отмечено ухудшение качества пара.

Ограничения по нагрузке, как правило, не должны вводиться. В крайнем случае их вводят только временно, впредь до устранения недостатков или до усовершенствования внутрикотловых или топочных устройств.

Следует иметь в виду, что продувкой можно изменять качество котловой воды только парового котла без ступенчатого испарения или воды продувочных отсеков. Регулировать же качество котловой воды чистых отсеков можно только изменением качества питательной воды

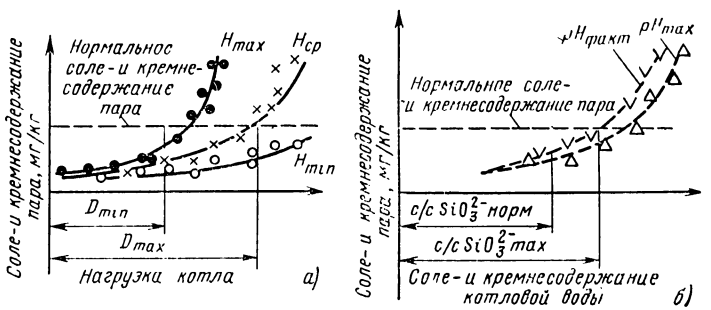


Рис. 11.32. Сводные графики теплохимических испытаний паровых котлов:

а — определение максимальной нагрузки котла при различных уровнях H и солесодержании S (опыты в период наладки котла после монтажа); *б* — определение влияния pH и кремнесодержания котловой воды на вынос кремниевой кислоты паром и солесодержание последнего

или паропроизводительности солевых отсеков. Последнее в свою очередь достигается отключением одного из солевых отсеков включения его в схему циркуляции чистого отсека при питании паровых котлов конденсатом-дистиллятом, а также путем включения или выключения рециркуляции — возврата котловой воды солевых отсеков в чистый.

5-й этап. После установления норм водно-химического режима и проверки их при колебаниях нагрузки котла (±30 % за 3—5 мин) в течение 1—3 мес ведутся эксплуатационные наблюдения за водным режимом работы котла, заключающиеся в том, что, помимо обычного объема контроля, несколько учащаются определения солесодержания пара ионитным способом * и кремнесодержания по ФЭК.

В этот же период ведется усиленное наблюдение за содержанием в питательной воде и ее составляющих, в котловой воде и паре окис-

* При отсутствии автоматических приборов.

лов железа, меди и цинка, аммиака, углекислоты, нитритов, значения pH и других показателей; выявляются и по возможности устраняются источники попадания примесей в пароводяной тракт.

11.10. Поддержание водно-химического режима работы паровых котлов

Для ведения водного режима котлов руководством химического цеха должна быть составлена рабочая инструкция, состоящая из следующих разделов:

1. Описание и характеристика котла, включая продувочные, отборные и контрольные устройства.

2. Нормы качества котловой воды, установленные при испытаниях, а также нормы качества пара и питательной воды согласно ПТЭ и другим нормативным документам (см. гл. 1).

3. Режим непрерывной и периодической продувок, установленный во время наладки и испытаний.

4. Режим фосфатирования котловой воды, ввода гидразина, аммиака и других корректирующих реагентов в котловую или питательную воду.

5. Ведение водно-химического режима при отклонениях от нормы (если возможны указанные ниже неполадки).

6. Периодичность отбора проб пара и котловой воды, объем контроля и методики определений.

Ниже перечислены важнейшие неполадки в работе парового котла, влияющие на водно-химический режим, и указаны условия временной его эксплуатации.

1. Превышение нагрузки сверх допустимой. Необходимо путем увеличения продувки снизить солесодержание котловой воды на 30—50 % ниже норм или обычных значений и по возможности понизить уровень воды в барабане.

Учитывая рост местных тепловых напряжений поверхности нагрева, следует по возможности улучшить качество питательной воды, уменьшить содержание в ней Fe, Cu, Ca, Mg. Одновременно необходимо участить контроль качества котловой воды и пара.

Работа в таких условиях при выдаче котлом пара хорошего качества допустима в течение неопределенно долгого времени. При ухудшенном же качестве пара работа парового котла допустима лишь кратковременно, до включения резервного котла, снижения нагрузки работающего или получения разрешения на его остановку. После такой остановки следует произвести промывку змеевиков пароперегревателя.

2. Перевод парового котла на работу с колебаниями нагрузки от 60 до 100 %. При частых и резких колебаниях нагрузки необходимо предварительно, при помощи продувок, снизить солесодержание котловой воды ниже нормы на 20—30 % и более. Уровень следует поддерживать средний. Усиливают контроль за уровнем котловой воды, нагрузкой и качеством воды и пара. Длительность работы парового котла при таком режиме зависит от качества пара. Ухудшений качества пара в моменты набросов нагрузки быть не должно.

3. Увеличение солесодержания питательной воды при увеличении потерь конденсата. Увеличивают продувку для поддержания нормального качества котловой воды. Если это не удается, снижают нагрузку. При этом на каждые 10 % превышения норм качества котловой воды нагрузка также должна снижаться на 10 %. Обеспечивают работу парового котла с постоянной нагрузкой. Снижают уровень котловой воды. Усиливают контроль за качеством пара и котловой воды. При длительном ухудшении качества питательной воды проводят эксплуатационные наблюдения и устанавливают новый режим.

4. Невозможность или недостаточность непрерывной продувки. Учащают периодическую продувку нижних точек, увеличивают отбор котловой продувочной воды, не считаясь с температурой сливаемых проб, с тем, чтобы хоть частично заменить непрерывную продувку. В отдельных случаях производят непрерывную продувку котла через одну-две нижние точки солевых отсеков с двумя надежно работающими вентилями малого диаметра. Желательна быстрая установка ограничительных вентилей или шайб диаметром 3—8 мм на нижней продувочной линии, используемой для непрерывной продувки или, что еще лучше, на обводной линии у второго продувочного вентиля.

Для парового котла со ступенчатым испарением непрерывную продувку через нижние точки солевых отсеков организуют при обязательной установке ограничительной шайбы.

Усиливают наблюдение за уровнем воды в котле и качеством ее, так как в ней в этих условиях может скопиться большое количество шлама и пены.

В случае превышения норм качества котловой воды по указанным выше причинам снижают нагрузку. Если возможно, организуют раздельное от других паровых котлов питание аварийного парового котла чистым конденсатом. После проверки надежности нижней непрерывной продувки в случае повышенного солесодержания котловой воды

можно понизить ее уровень. Обеспечивают работу парового котла с постоянной нагрузкой.

5. Невозможность верхней непрерывной и нижней периодической продувки. Снижают и обеспечивают постоянную нагрузку; если можно, снижают уровень, переводят паровой котел на питание чистым конденсатом. Предельно увеличивают отбор проб котловой воды, не считаясь с температурой сливаемой воды. После нарастания солесодержания до 120—130 % нормы котел необходимо остановить.

6. Самопродувка котла через неисправные вентили нижних продувочных точек. Если в результате самопродувки приходится только отказаться от непрерывной продувки, а качество котловой воды поддерживается в пределах нормы, то работу на таком паровом котле можно продолжать неопределенно долгое время, рассчитывая, что неисправный вентиль «закипит», засорится шламом и самопродувка уменьшится или прекратится. Нагрузку при этом целесообразно поддерживать максимально допустимую. Контроль качества котловой воды и пара следует усилить из опасения, что в поверхностных слоях котловой воды из-за отсутствия верхней продувки может скопиться большое количество шлама и пены, ухудшающих качество пара.

Если же самопродувка настолько велика, что питательной воды не хватает, а солесодержание котловой воды и уровень ее непрерывно падают, необходимо понизить нагрузку парового котла, а если и это не поможет, то остановить его.

7. Повышение уровня. Если для обеспечения циркуляции воды в котле необходимо поддерживать повышенный уровень, следует увеличить продувку и снизить солесодержание котловой воды. Желательно также понизить нагрузку.

8. Повышение жесткости питательной воды в результате подсосов в конденсаторах или ухудшения качества очищенной воды. Увеличивают продувку, снижают солесодержание котловой воды против нормы в два раза и увеличивают ввод фосфата (или трилона Б), стараясь поддержать концентрацию свободного PO^{3-}_4 в котловой воде чистого отсека не ниже 7 мг/л. Продувку следует увеличить как верхнюю (непрерывную), так и нижнюю (периодическую), участив последнюю в 2—3 раза. Усиливают контроль за качеством пара и котловой воды. В случае ухудшения качества пара нагрузку снижают.

9. Повышение содержания кислорода в питательной воде. До устранения причин, вызвавших ухудшение деаэра-

ции, увеличивают ввод в питательную воду гидразина, если содержание кислорода хотя и повышенное, но стабильное.

Необходимо контролировать питательную и котловую воду на содержание железа (в случае мути и появления окраски). Если котловая вода прозрачна и не окрашена, то можно предположить, что коррозия металла в паровом котле отсутствует или слабая или что продукты коррозии с водой в больших количествах в котел не заносятся или остаются в экономайзере.

Если в котловой воде резко возрастает содержание взвешенных веществ и она приобретает красную или бурочерную окраску, что означает присутствие железа, необходимо усилить контроль качества котловой воды и пара и принять меры к снижению попадания в котел окислов железа и других продуктов коррозии.

Повышение содержания в питательной воде углекислоты, аммиака или аммонийных солей, не оказывающих влияния на отложение накипи и шлама, на вспенивание и унос воды, резко отражается на видимом солесодержании питательной воды и пара, отмечаемом по солемерам, что осложняет или даже делает невозможным определение качества пара. Борьба с вредным влиянием CO_2 и NH_3 описана в гл. 8 и 10. Свободная углекислота повышает солесодержание пара в меньшей степени, чем аммиак, и вместо повышения понижает щелочность пара, делая пар иногда даже кислым по обычным индикаторам.

Глава двенадцатая

УДАЛЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ ИЗ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

12.1. Общие положения

Отложения на внутренней поверхности нагрева паровых котлов или теплообменных аппаратов ухудшают теплопередачу, вызывают перегрев металла и потерю им прочности, вплоть до разрыва стенок труб, уменьшают сечение для прохода воды, увеличивают потери напора, могут нарушать циркуляцию. Куски отложений, отвалившиеся от стенок, могут закупорить одну или несколько парогенерирующих труб, прекратить в них циркуляцию воды и вызвать пережог.

Отложения растворимых солей, а также кремнекислоты, окислов железа и меди в проточной части турбин уве-

личивают ее сопротивление проходу пара, повышают давление на упорный подшипник, могут вызвать сдвиг ротора, разрушение лопаточного аппарата и подшипника, снижают мощность и экономичность работы турбины, повышают удельные расходы пара.

Отложения (илисто-глинистые и низкотемпературной карбонатной накипи) и биологические обрастания ухудшают теплопередачу в конденсаторах-теплообменниках, уменьшают глубину вакуума, увеличивают удельные расходы пара на выработку электроэнергии.

Отложения в экранных трубах паровых котлов возникают или вследствие несовершенства водно-химического режима котловой воды, или из-за неудовлетворительного качества питательной воды. Большое, иногда решающее значение в образовании отложений имеет тепловая нагрузка поверхности нагрева котла.

В эксплуатируемых водогрейных котлах и паровых водонагревателях (бойлерах) отложения образуются при повышенной жесткости подпиточной воды в результате попадания сырой, жесткой воды в сетевую воду, а также при глубоком упаривании сетевой воды в отдельных змеевиках котлов, преимущественно в трех-четырех нижних рядах конвективных пакетов, работающих с малыми скоростями прохода воды вследствие большого сопротивления (засорения) отдельных змеевиков и затягивания факела в пакеты.

Для удаления отложений приходится прибегать к химическим очисткам оборудования, так как механические очистки обычно невозможны, а полностью предотвратить образование отложений при эксплуатации также не удается, можно только замедлить их рост.

Различают два вида химических промывок: предпусковые и эксплуатационные. При предпусковых промывках удаляют с внутренней поверхности котла сравнительно тонкий (около 0,1 мм) слой прокатной окалины (Fe_3O_4) и ржавчины ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$), образовавшейся при хранении и монтаже. Количество отложений обычно составляет 100—300 г/м^2. Предпусковые промывки необходимы также для удаления монтажной грязи, песка, масел и других загрязнений как из самих котлов, так и из водопитательного тракта, включая деаэраторы и регенеративные подогреватели [1].

[1] Проводятся первые опытные пароокислительные предпусковые продувки новых, преимущественно прямоточных котлов и разрабатываются методики их проведения.

Эксплуатационные химические промывки необходимые для удаления образовавшихся при эксплуатации отложений (Ca, Mg, SiO_2; Fe_2O_3, Fe_3O_4, CuO, Cu, (ZnO), P_2O_5), количество которых может достигать на обращенной в топку стороне труб 1000—2000 г/м², а иногда и более, проводят во время капитальных или профилактических ремонтов котлов.

Промывки проточной части турбин, конденсаторов, сетевых подогревателей бывают только эксплуатационными.

Удаление отложений из эксплуатируемых котлов необходимо при толщине отложений более 0,2 мм, т. е. более 400 г/м².

При работе котлов на угле допустимое количество отложений на обогреваемой стороне экранных труб составляет 600 г/м², а при работе на торфе или доменном газе — даже 800 г/м².

Количество отложений в трубах с конвективным обогревом, в том числе и экономайзерных, может быть в 1,5—2 раза больше, чем в экранных трубах с радиационным обогревом.

Толщина отложений в опускных трубах паровых котлов с точки зрения повышения сопротивления проходу воды не должна превышать 3—5 мм.

12.2. Водно-химические промывки паровых котлов

Послемонтажные или предпусковые промывки новых или реконструированных паровых котлов проводятся в обязательном порядке согласно § 17.2 ПТЭ.

Эксплуатационные промывки барабанных котлов ВД и СВД должны, как правило, проводиться в следующие сроки: ежегодно — «щадящие» или «мягкие» промывки как соляной или серной кислотой, так и менее активными органическими кислотами, комплексонами и композициями их при pH=2÷4, при этом возможна локальная промывка отдельных участков поверхности нагрева (травление); один раз в три года энергичные промывки соляной кислотой всего котла при капитальных ремонтах при pH=1÷2.

Необходимость промывок, их характер (интенсивность, локальность, продолжительность, реагенты, температуры и др.) наиболее точно устанавливаются путем вырезки контрольных образцов из наиболее теплонапряженных и предположительно наиболее загрязненных труб поверхности нагрева (обычно солевых отсеков), разрезания их для оп-

ределения состава и количества отложений на обогреваемой и необогреваемой сторонах, а также для определения растворимости их в различных моющих растворах.

Контрольные образцы следует вырезать в первую оче-

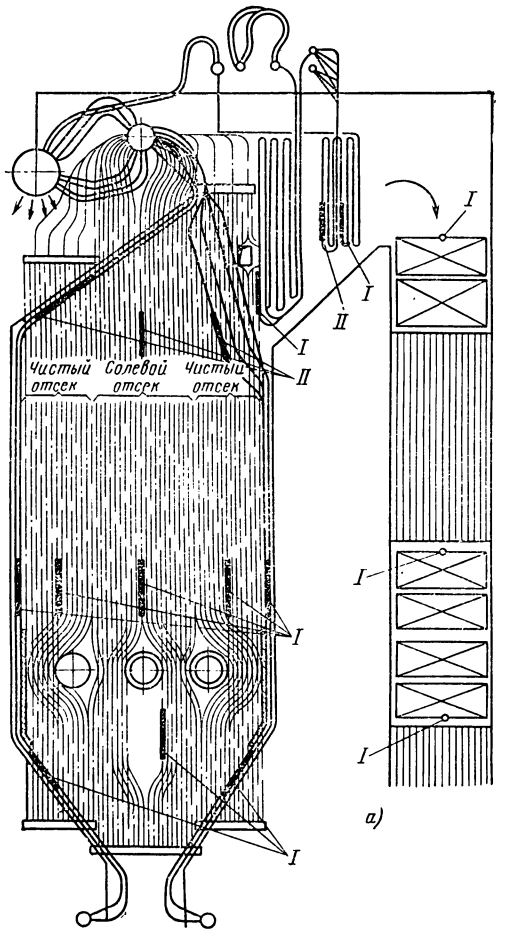
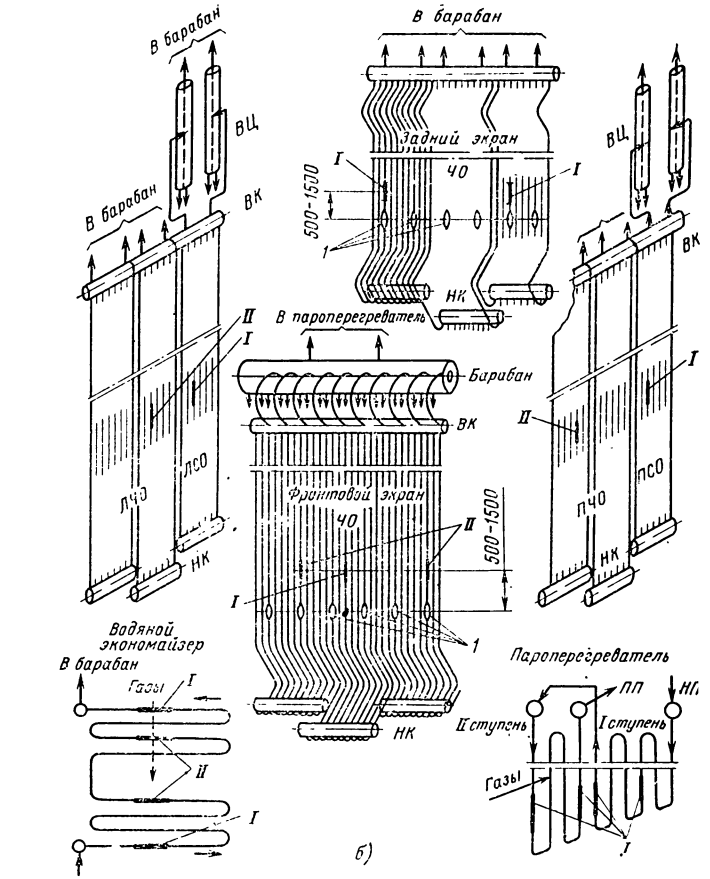
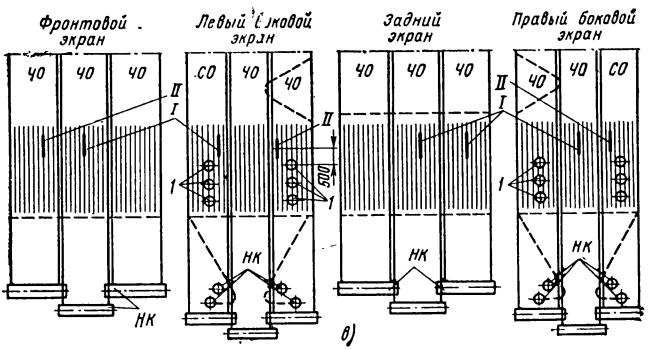


Рис. 12.1. Схемы вырезки контрольных образцов труб поверхностей нагрева котлов ВД и СВД:

а — из котла ТП-230; *б* — из котла ТП-81; *в* — из котла ТП-10 (развертка экранов); *I* — основные образцы, *II* — второстепенные образцы; *1* — горелки; *ЧО* — чистые отсеки; *СО* — солевые отсеки; *ВЦ* — выносные циклоны; *НК* — нижние коллекторы; *ВК* — верхние коллекторы; *Л* — левый; *П* — правый; *НП* — насыщенный пар; *ПП* — перегретый пар


В барабан
ВЦ
ВК
Задний экран
ЧО
500-1500
I
II
1
НК
В пароперегреватель
Барабан
Фронтовой экран
ЛЧО
ЛСО
ПЧО
ПСО
Водяной экономайзер
Газы
Пароперегреватель
ПП
II ступень
I ступень
б)


Фронтовой экран
Левый боковой экран
Задний экран
Правый боковой экран
ЧО
СО
НК
500
в)

редь из мест поверхности нагрева, где наиболее высоки теплонапряжение поверхности и концентрация примесей в котловой воде и опасность пережога от образовавшихся накипей наиболее велика (рис. 12.1). Такими участками являются части экранов как чистого, так и (особенно) солевого продувочного отсека, расположенные на уровне ядра факела, близко к нему.

Отложения накипи и шлама в котлах на разных частях поверхности нагрева имеют различный состав и свойства, их количества неодинаковы.

Наиболее типичен следующий состав образующихся отложений: в барабанах, на внутрибарабанных устройствах и в опускных трубах отлагается мягкий, рыхлый, легко удаляемый шлам, содержащий преимущественно наносные окислы железа, а также фосфаты Ca, Mg. В меньших количествах могут содержаться SiO_2, CuO, ZnO. Цвет этих отложений обычно колеблется от светло-серого до черного в зависимости от содержания Fe+Cu.

В экранных (подъемных парогенерирующих) трубах чистого отсека образуется накипь примерно такого же состава, что и шлам в опускных трубах, но плотная, хорошо сцепленная с металлом. На обогреваемой стороне труб под слоем накипи нередко имеется слой магнетита Fe_3O_4 черного цвета с металлическим блеском, весьма прочно связанной с металлом и являющийся продуктом пароводяной подшламовой коррозии металла труб. Количество отложений на обогреваемой стороне труб обычно в 2—4 раза больше, чем на необогреваемой.

В экранных трубах солевых продувочных отсеков отложения содержат меньше Ca, Mg, P_2O_5, SiO_2, больше Fe_3O_4 и CuO+Cu, могут содержать и соединения цинка. Удельное количество отложений иногда в 2—4 раза больше, чем в трубах чистого отсека, вследствие большой концентрации примесей в котловой воде солевых отсеков, даже если панели солевых отсеков находятся в углах топки, где тепловые напряжения меньше, чем в средней ее части.

В экранных трубах как чистых, так и солевых отсеков отложения расположены преимущественно в зоне ядра факела (пояс высотой 3—5 м) и в холодной воронке. В верхней части экранов отложения менее значительны и менее опасны.

Отложения на необогреваемых поверхностях (в барабанах, опускных трубах), составляющих до 20—30% обогреваемых поверхностей, представляют собой легко растворимый в кислотах шлам.

Таким образом, как уже было указано выше, отложения в котлах неодинаковы по толщине, количеству, составу и свойствам (растворимости отложений в моющих растворах). Поэтому, даже имея все эти данные для конкретного котла, очень трудно правильно выбрать состав и температуру моющего раствора, этапы и продолжительность промывки и избежать как неполного удаления отложений на некоторых участках, так и местного обнажения (растворения) металла, так называемого «перетрава», в тех местах, где отложений было меньше или они были легко растворимы в моющем растворе.

При проведении эксплуатационных химических промывок необходимо соблюдать следующий порядок: после остановки котла, спуска из него воды и охлаждения осмотреть и отобрать пробы отложений с внутрибарабанных устройств и из устьев опускных и подъемных труб; вырезать контрольные участки длиной 600—1000 мм из экранов чистого и солевых отсеков, наиболее близко расположенных к ядру факела. При извлечении вырезанные участки оберегать от ударов. Удалить все отложения с наружной поверхности участков, разрезать их на станках на несколько образцов длиной 200—300 мм и каждый образец разрезать на станке вдоль на обогреваемую и необогреваемую стороны (см. рис. 14.1). Осмотреть и описать отложения с обогреваемой и с необогреваемой стороны (цвет, толщину, слоистость, твердость, сцепляемость с металлом). Отобрать пробы отложений для анализа: мягкие при помощи шабера или ножа, твердые (после удаления мягких) путем сминания в тисках разрезанного вдоль оси образца трубы (образец обернуть в бумагу). Определить массу удаленных отложений (в г), площадь, с которой они были удалены (в $см^2$), и вычислить в $г/м^2$ загрязненность поверхности отдельно обогреваемой и необогреваемой сторон трубы.

Катодным травлением при наличии прибора можно определить только общее количество отложений, но не состав и свойства их. Катодное травление менее трудоемко, чем ручной способ удаления отложений и определения их количества.

После выполнения этих операций другой образец трубок следует обработать следующим образом: окрасить кислотоупорным лаком наружную, очищенную от золовых отложений поверхность разрезанного вдоль образца и поверхность разрезов, не затрагивая отложений накипи, и высушить. Окрашенный снаружи образец с отложениями на внутренней обогреваемой стороне поместить в стеклян-

ный или фарфоровый стакан и на половину высоты образца налить в стакан моющий раствор, подогретый до нужной (60—70 °С) температуры или холодный (25 °С). Каждые 30—60 мин в течение 6—8 ч образец вынимают из раствора на 5—10 мин и снова опускают в стакан; в это же время определяют свободную кислотность раствора — содержание в нем основного моющего вещества; при снижении кислотности, повышении pH моющего раствора в него добавляют дополнительные количества основного моющего реагента (кислоты, трилона и др.) до восстановления начальной величины pH. Контрольную промывку в стакане ведут до практически полного удаления отложений (не менее чем на 80—85 %), сравнивая визуально состояние нижней обрабатываемой части образца с верхней необрабатываемой; когда промывка будет закончена, образец промывают водой, затем 1 %-ным раствором щелочи, быстро высушивают при 100 °С и определяют количество оставшихся на обработанной части отложений или образовавшейся ржавчины, удаляя их механическим путем.

По растворению в кислоте можно определить наличие тех или иных составных частей в отложениях: бурый и черный цвет — наличие окислов железа и, возможно, меди; красные блестки в черно-бурых отложениях — наличие металлической меди и, по-видимому, больших количеств

Таблица 12.1. **Предельно-допустимая загрязненность труб эксплуатируемых котлов ВД и СВД**

Вид топлива	Загрязненность труб, г/м²		
	Экраны с обогреваемой стороны*	Трубы конвективных пучков**	Отдельные необогреваемые трубы
Торф или доменный газ	800***	1000	Толщина отложений не более 3—5 мм
Твердое топливо при пылевом сжигании	600***	800	
Угольная пыль с газом или мазутом	400***	600	
Природный или коксовый газ, мазут или смесь их	400***	600	

* Экранные трубы, первый—третий ряды конвективного пучка или фестона, обращенные в топку в зоне факела.

** Четвертый и пятый ряды 1-го и все трубы остальных конвективных пучков, трубы экономайзера.

*** Количество черных, плотных, с металлическим блеском отложений магнетита (Fe_3O_4) вследствие его большей плотности и теплопроводности может быть в 2—2,5 раза больше.

окислов меди; желтый цвет солянокислого раствора — наличие окислов железа; зеленоватый или зеленый цвет раствора, а также синий цвет того же раствора при добавке NH_3 до щелочной реакции—наличие больших количеств меди; отсутствие пузырьков газа — отсутствие CO_2; наличие пузырьков газа — наличие $CaCO_3$ — CO_2.

Следует заметить, что эффективность опытной промывки образцов в стакане всегда существенно ниже эффективности эксплуатационной промывки. Это объясняется интенсивной циркуляцией промывочного раствора при эксплуатационной промывке, обычно отсутствующей при лабораторных опытах в стакане.

В табл. 12.1 даны предельно допустимые величины загрязнений поверхности нагрева.

12.3. Выбор моющего раствора и технологии промывки

При выборе состава моющего раствора, условий и последовательности этапов промывки необходимо учитывать, что при предпусковой промывке за общей или индивидуальной водной промывкой с возможно большими скоростями для удаления механических загрязнений может следовать щелочение при нагреве до 100—175 °С и давлении 0,5—1,0 МПа для удаления масел и частичного растворения силикатных загрязнений. Однако в последнее время в связи с заменой вальцовочных соединений труб сварными масла внутри котла практически отсутствуют. Благодаря изготовлению поверхностей нагрева экранов крупными блоками на заводе-изготовителе и принимаемым мерам против попадания в трубы песка, цемента, бетона щелочение перед кислотной промывкой в большинстве случаев не является необходимым. Кроме того, в состав моющих растворов часто входят моющие средства — обезжириватели ОП-7 или ОП-10, делающие щелочение ненужным.

Для послемонтажного удаления отложений из всего комплекса деаэратор — насосы — ПВД — котел — пароперегреватель — паропровод перегретого пара — деаэратор, где пароперегреватель и паропровод выполнены из легированных аустенитных сталей, применять соляную кислоту и едкий натр нельзя вследствие их специфичной высокой агрессивности именно к аустенитным сталям.

Соляную кислоту можно применять только для кислотной промывки парогенерирующих поверхностей котла, выполненных из стали 10 и стали 20, не допуская попадания газообразного HCl в пароперегреватель (он должен быть заполнен конденсатом с добавкой 1—1,5 г/л NH_3).

В случаях промывки всего комплекса необходимо применять другие кислоты: серную, азотную, органические кислоты, комплексоны, не содержащие хлоридов, и NH_3 вместо NaOH.

Часто с целью уменьшить необходимость противокоррозионной защиты оборудования, избежать необходимости применения высокопроизводительных и высоконапорных кислотоупорных насосов применяют органические реагенты и кислоты (трилон Б, лимонную, адипиновую, винную, фталевую, малеиновую, а также уксусную и муравьиную кислоты), смеси низкомолекулярных органических кислот (НМК). Применения уксусной и муравьиной кислот в чистом виде следует избегать вследствие их летучести. Промывки органическими кислотами ведут при $pH = 2{,}5 \div 3{,}5$.

Растворы комплексообразующих реагентов (трилона Б, цитрата аммония и др.) могут иметь и слабощелочную реакцию, что облегчает их применение, так как требуется менее надежная противокоррозионная защита. Однако активность растворения отложений этими реагентами ниже, чем у соляной кислоты.

В случаях, когда в отложениях присутствует кальций в количествах не более 1—2 %, можно применять более дешевые, удобные в обращении и менее дефицитные серную и сульфаминовую кислоты или сульфат аммония.

Последний приобретает способность растворять отложения только при распаде $(NH_4)_2SO_4$ на H_2SO_4 и NH_3 и улетучивании аммиака при температуре выше 100 °С. При этой температуре большинство применяемых ингибиторов теряет или ослабляет свои защитные свойства.

Наиболее активным и дешевым растворителем отложений является соляная кислота. При ее применении следует иметь в виду, что техническую соляную кислоту доставляют в бутылях или в гуммированных железнодорожных цистернах грузоподъемностью 25—30 т, а ингибированную соляную кислоту доставляют в гуммированных или в обычных стальных цистернах той же грузоподъемности.

Для уменьшения разъедания обычной стали в ингибированную на заводе кислоту при сливе ее из железнодорожных цистерн следует добавлять на ТЭС еще 10—15 кг/м³ уротропина.

Для хранения крепкой серной кислоты (76—92 %-ной) применяются обычные сварные стальные резервуары, так как концентрированная H_2SO_4 сталь не растворяет. Азотная кислота для химических промывок практически не применяется из-за ее высокой стоимости и дефицитности, необходимости защиты оборудования от коррозии, а также из-за выделения из нее токсичных окислов азота.

При химических промывках, особенно серной кислотой, в раствор переходит всего лишь 40—60 % отложений, остальная часть только разрушается и отваливается от внутренней поверхности труб в виде как сравнительно крупных, так и мелких кусочков, скапливающихся

в нижних коллекторах, откуда эти загрязнения обязательно во избежание забивания подъемных труб и продувочных вентилей должны быть удалены.

Учитывая все вышесказанное, а также высокую стоимость и дефицитность трилона Б, лимонной кислоты, некоторых ингибиторов, объем работ по сооружению в котельных ТЭЦ установок для химических промывок и консервации паровых котлов, трудности изготовления и получения кислотоупорных насосов большой мощности, можно рекомендовать приводимые ниже способы проведения химических промывок котлов и вспомогательного оборудования.

12.3.1. ПРЕДПУСКОВЫЕ—ПОСЛЕМОНТАЖНЫЕ ПРОМЫВКИ

При комплексонной промывке котлов совместно с пароперегревателями и паропроводами из аустенитных сталей, деаэраторов, питательных трактов и ПВД из углеродистых сталей организуется циркуляция промывочного раствора (серной кислоты, органических кислот, трилона Б и их композиций). Обязательно отсутствие в моющих растворах хлоридов. Нейтрализующая промывка осуществляется раствором аммиака.

Промывка только экономайзерных и парогенерирующих труб из углеродистых сталей (Ст10, сталь 20) производится или теми же моющими растворами, или соляной кислотой при нейтрализации едким натром с предосторожностями, чтобы HCl и NaOH не попали в пароперегреватели и паропроводы.

12.3.2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПРОМЫВКИ ТОЛЬКО ЭКОНОМАЙЗЕРНОЙ И ПАРОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ С КОЛЛЕКТОРАМИ И БАРАБАНОМ

Ежегодные промывки только экранных поверхностей проводятся методом травления соляной, серной или сульфаминовой кислотой нижней части экранов, особенно солевых отсеков; ежегодные «локальные», «щадящие» («мягкие») циркуляционные промывки проводятся с использованием трилона Б, органических кислот или их композиций.

Во время капитальных ремонтов один раз в 2—4 года с вырезкой контрольных участков до и после химических промывок проводятся энергичные «жесткие» циркуляционные промывки экономайзеров и экранов, преимущественно соляной кислотой, для полного удаления отложений. При промывках принимаются меры против попадания паров кислоты и едкого натра в пароперегреватели.

В зависимости от состава и растворимости накипи с обогреваемой стороны теплонапряженных участков внутренней поверхности труб вносятся следующие дополнения и изменения в состав моющего раствора и порядок проведения этапов промывки.

При содержании SiO_2 в отложениях более 10 % проводят предварительное щелочение; при содержании SiO_2 более 15—20 %, кроме предварительного щелочения, в моющий раствор вводят фториды натрия или аммония для перевода SiO_2 в H_2SiF_6 — легко растворимую кремнефтористоводородную кислоту и ее соли.

При большом содержании металлической меди в солянокислотный моющий раствор вводят комплексообразователи: трилон Б, винную или лимонную кислоту (иногда в виде цитрата аммония) или смесь бифторида аммония, поваренной соли и тиомочевины, а также проводят (после кислотного этапа промывки) удаление с промытой поверхности выделившейся металлической меди раствором персульфата аммония или соды с аммиаком.

При очень большом количестве отложений промывку проводят в два этапа: первый 6—7 % HCl и второй 3—5 % HCl. В ингибированную соляную кислоту обязательно дополнительно добавляют 0,5 % уротропина и 0,1—0,3 % моющего средства ОП-7 или ОП-10.

Применение органических кислот вызвано в основном необходимостью защиты оборудования промывочных установок от воздействия соляной или серной кислоты и трудностью получения кислотоупорных насосов нужных производительности и давления, а также недопустимостью применения соляной кислоты для промывки труб из аустенитных сталей.

12.3.3. ПРОМЫВКИ ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЕЙ

Ежегодные промывки без вырезки контрольных участков и промывки во время капитальных ремонтов с вырезкой контрольных участков с петлями из мест, наиболее близких к барабану, и мест с наибольшей температурой стенок проводят питательной водой-конденсатом от двух питательных насосов через барабан при максимуме расхода (скорость в змеевиках 2—3 м/с) со сбросом в деаэратор и циркуляцией с целью экономии конденсата. Следят за приростом солесодержания циркулирующей промывочной воды и заканчивают промывку при прекращении прироста. При большом приросте солесодержания возможна повторная промывка.

О промывках конденсаторов, теплообменных аппаратов и проточной части турбин — см. § 12.5 –12.7.

12.3.4. МОЮЩИЕ РАСТВОРЫ

Составы рекомендуемых ниже моющих растворов уточняются организацией, проводящей промывку, с учетом местных условий.

1. Солянокислотный. Состав: HCl 3—7 % (при предпусковых промывках 2—3 %); ингибиторы: ПБ-5 0,5 % (за счет ингибированной соляной кислоты), уротропин 0,5 % и моющее средство ОП-7 (или ОП-10) 0,1—0,3 %; pH<1; температура 50—70 °С. Вместо ОП-7 при

температуре 80—90 °С может применяться катапин (К) 0,3—0,5 %. При содержании в отложениях SiO_2 более 10—15 % в раствор добавляют NH_4HF в количестве 1—2 %. Подогрев при травлении или разомкнутой схеме паровой (в баке), при замкнутой циркуляционной промывке — огневой. Продолжительность обработки при температуре 50—70 °С 6—8 ч, при температуре 10—25 °С 10—12 ч.

Желательна противокислотная защита арматуры. Азотированные детали арматуры сильно корродируют.

2. **Сернокислотный** пригоден при предпусковой промывке и при незначительном содержании Са в отложениях.

Состав: H_2SO_4 3—7 % (при предпусковых промывках 3—4 %): ингибиторы: ПБ-5 0,5 % (вводится специально), уротропин 0,5 % и ОП-7 0,1—0,3 %; pH<1; температура 80—90 °С. Остальные условия такие же, как и при солянокислотной промывке. Количество отложений, удаляемое в нерастворенном виде, больше, чем при солянокислотной промывке, поэтому сернокислотная промывка более целесообразна при полностью дренируемых поверхностях нагрева.

3. **Кислотно-гидразинный** применяется в основном при предпусковых промывках сравнительно чистых поверхностей (и при отсутствии специальных кислотоупорных насосов), пригоден при серной кислоте для промывки котлов с поверхностями из аустенитных сталей.

Состав: N_2H_4 200—300 мг/л (по другим данным 30—80 мг/л), HCl или H_2SO_4 до снижения значения pH до 2,5—3,5. (Максимальное значение pH, при котором нужно снова добавлять кислоту, равно 4,5). Ингибиторы не вводятся. Кислота вводится непрерывно и равномерно. Температура до 100 °С. Продолжительность 6—8, максимум 18—20 ч.

4. **Сульфаминово-кислотный** для предпусковых промывок, рекомендуется для промывки аустенитных сталей (только при отсутствии Cl^-), а также для промывки сетевых подогревателей.

Состав: NH_2HSO_3 2—4%; ингибиторы: ОП—7 0,1% и каптакс 0,03 %. Температура 60—70 °С. Продолжительность до 3 ч.

5. **Сульфат-аммониевый** используется для предпусковых и эксплуатационных промывок при отсутствии в отложениях Ca^{2+} и только для парогенерирующих труб (имеет примесь Cl).

Состав: $(NH_4)_2SO_4$ 3—5 %; ингибиторы: уротропин 0,2 %, возможно применение ОП-7 0,1—0,3 %. Температура 100—120 °С. Давление 0,1—0,2 МПа. Продолжительность 2—3 ч. Вместо сульфат-аммония может применяться бисульфат натрия $NaHSO_4$.

6. **Лимонно-кислотный** применяется для предпусковых промывок пароперегревателей из аустенитных сталей. Состав: $C_6H_8O_7$ 3%; ингибиторы: катапин (К) или ОП-7 0,1 % + каптакс 0,01—0,05 %. Температура 80—100 °С. Продолжительность 7—10 ч (в настоящее время этот способ выходит из употребления).

7. **Моноцитратно-аммонийный** пригоден для предпусковых промывок пароперегревателей из аустенитных сталей при отсутствии кислотоупорного оборудования (насосов). Состав: $NH_4C_6H_7O_7$ — на первом этапе промывки 1,5—2,0 %, на втором 0,5—1,0 %; ингибиторы: ОП-7 0,1 % + каптакс 0,025 %. Температура 100—120 °С. Продолжительность от 3—6 до 6—8 ч. Скорость 1—1,5 м/с. Готовится из лимонной кислоты и водного аммиака или доставляется на станцию в готовом виде.

8. **Моющие растворы из других органических кислот.** Используются: фталевая, малеиновая (ангидриды), адипиновая кислоты. Состав: ангидрид или кислота 1—3 %; ингибиторы: ОП-7 или ОП-10 0,1 % + каптакс 0,015 %. Температура 90—95 °С. Продолжительность 6—10 ч. Скорость 1—1,5 м/с, pH=2,5÷3,5.

С целью восстановления Fe^{3+} в Fe^{2+} из-за лучшего растворения соединений Fe^{2+} в органических кислотах при pH=2÷4 перед промывкой ими котла проводится предварительная обработка поверхности котла раствором гидразина 0,01—0,015 % (100—150 мг/л N_2H_4) при температуре 130—200 °С в течение от 2—3 до 4—6 ч.

9. **Моющие растворы из смеси низкомолекулярных органических кислот (НМК).** Содержание НМК продукты (отходы) — «водный конденсат» (ВК) или «черная кислота» (ЧК), а также очищенный концентрат НМК, не содержащий нерастворимых в воде плавающих жирных кислот, пригодны для предпусковых и эксплуатационных промывок любых поверхностей: стальных из углеродистой и аустенитной стали, латунных и т. д., для удаления карбонатно-кальциевых и железоокисных отложений.

Состав моющего раствора: ВК 20—30 % или ЧК 10—12 %, или НМК 6—10 %. Кислотность раствора 1—1,5 н. (в пересчете на HCl 3,5—5,0 %); ингибиторы: ОП-7 0,1—0,2 %, каптакс 0,017—0,022. Температура 70—80 °С. Продолжительность от 4—6 до 6—8 ч.

10. **Композиционные растворы на основе комплексонов.** Используются для промывки поверхности нагрева из различных металлов, в том числе и аустенитных сталей. Их состав приведен в табл. 12.2.

Перед обработкой композициями поверхность нагрева необходимо обработать гидразином при концентрации N_2H_4 200 мг/л в течение 4—6 ч при температуре 130—150 °С для восстановления окислов Fe^{3+} в более легко растворимые окислы Fe^{2+}. Температура при промывке композициями 100—150 °С. Скорость 0,5—1,0 м/с. Продолжительность 4—8 ч до насыщения раствора Fe, Cu, Ca.

11. **Персульфатный раствор.** Используется для удаления металлической меди. Состав: $(NH_4)_2S_2O_8$ 0,5—0,7 %, NH_3 0,5 %. Температура 20—25 и 50—60 °С. Продолжительность 12 и 6 ч, лучше с циркуляцией.

Таблица 12.2. **Композиционные растворы на основе комплексонов**

Компоненты	Содержание компонента, %, в композиции[1]				
	А	Б	В	Г	Д
Трилон Б	0,3—0,5	—	0,2—0,5	—	0,3—0,5
Этилендиаминтетрауксусная кислота	—	0,3—0,5	—	0,2—0,3	—
Лимонная кислота[2]	0,3—0,5	0,3—0,5	—	0,2—0,3	—
Серная кислота	—	—	—	—	0,4—0,6
Гидроксиламин сернокислый	0,03—0,05	0,03—0,05	—	—	—
Аммоний углекислый[3]	—	0,2—0,4	—	—	—
Каптакс	—	—	—	—	0,02
Моющее средство ОП-7 или ОП-10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Триэтаноламин (желательно)	—	—	0,02—0,05	—	—
Едкий натр	—	—	0,022—0,055	—	—
Аммиак[4]	—	—	До pH=8÷10	До pH=5÷6	—
Персульфат аммония	—	—	—	0,01—0,02	3—4
Реакция pH	3—5	3—5	До 10	5—6	3—4

Примечания: 1. Марки композиций: А, Б и Д—для железоокисных отложений, В—для кальцием-магниевых отложений, Г—для медистых отложений.

2. Лимонная кислота может быть заменена другими органическими кислотами, в том числе и НМК, в количествах, обеспечивающих снижение pH до 3,0—5,0.

3. Углекислый аммоний может быть заменен аммиаком.

4. Обязателен для аустенитных сталей.

5. Перед обработкой композициями поверхность обрабатывается гидразином (стр. 311).

12. Бикарбонатный раствор. Пригоден для удаления металлической меди из котлов и окислов меди из остановленных паровых турбин. Состав: $NaHCO_3$ 2—3 %, NH_3 0,5—1,0 %.

13. Щелочной раствор для предварительного щелочения поверхностей из углеродистых сталей Состав: NaOH 0,5—1,0 % $Na_3PO_4 \times \times 12H_2O$ 0,3 %. Температура 150—200 °С (p=0,4÷1,5 МПа), продолжительность 10—12 ч. Обогрев огневой. Циркуляция естественная. При аустенитных сталях применяется аммиачный раствор с концентрацией NH_3 1500—2000 мг/л.

14. Щелочной раствор для нейтрализации после кислотной промывки поверхностей из углеродистых сталей. Состав: NaOH 0,1—0,2 %. Температура 90—95 °С, продолжительность 4—6 ч. При нейтрализации поверхностей нагрева из аустенитных сталей применяется раствор NH_3 с pH=9,5÷10,0. Температура 60—90 °С.

15. Пассивирующие растворы:

а) нитритный: $NaNO_2$ 0,5—1,0 %, NH_3 до pH=9,5÷10,0; температура 40—50 °С, продолжительность 6 ч.

б) *гидразинный:* NH_3 0,3 %, гидразингидрат N_2H_4 500 мг/л; температура 120—150 °С. Продолжительность 12 ч, скорость 1 м/с.

Обычные концентрации реагентов в сбрасываемых отработавших моющих растворах (без разбавления их отмывочной водой) приведены ниже

Компонент	Концентрация, г/л
После щелочения	
Едкий натр	До 10—15
После кислотной промывки	
Соляная кислота	20—25
Серная кислота	20—25
Уротропин	До 5
ОП-7—ОП-10	1—2
Каптакс	0,01—0,05
Фтористые соли	0,5—0,7
Железо	До 3—5
Адипиновая кислота	До 1—1,5
Трилон Б, трилонат железа	3—5
Ингибитор ПБ-5	До 5
После нейтрализации-пассивации	
Аммиак	0,6—1,0
Соли аммония	1,6—7,0
Гидразин	0,004—0,04
Нитрит натрия	До 10

В смеси отработавших моющих растворов и отмывочных вод концентрация компонентов в 3—10 раз меньше.

12.3.5. ЭТАПЫ ПРОМЫВОК

Основные этапы предпусковых и эксплуатационных промывок наглядно представлены в табл. 12.3.

Таблица 12.3. **Этапы промывок**

Этап	Предпусковые промывки	Эксплуатационные промывки
Продувка труб и змеевиков воздухом	+	—
Прокатка шарами	+	—
Промывка технической водой	+	+
Удаление скоплений шлама	+	+
Щелочение	±	±
Дренирование и промывка водой	±	±
Основная химическая (кислотная) промывка	+	+
Дренирование и вытеснение водой	+	+
Промывка водой	+	+
Нейтрализация щелочью	+	+
Пассивация	+	+
Консервация	(±)	(±)

Примечание. + — проводится; — — не проводится; ± — проводится по необходимости.

Условия и продолжительность каждого этапа в зависимости от загрязненности поверхности, свойств отложений и состава моющих растворов были описаны выше.

12.4. Оборудование установок для водно-химических промывок и консервации теплосилового оборудования

Для проведения водно-химических промывок и консервации теплосилового оборудования ТЭС и котельных необходимы различное оборудование и устройства:

1. Прирельсовый (при ВПУ или котельной) склад, состоящий из стальных резервуаров для приемки и хранения жидких реагентов: крепкой (75—92%) серной кислоты, растворов низкомолекулярных органических кислот (НМК) — «водного конденсата» или «черной кислоты», водного аммиака, едкого натра, поступающих на ТЭС в железнодорожных цистернах.

Эти не защищенные от воздействия реагентов резервуары пригодны и для кратковременного (до 1 мес) хранения ингибированной соляной кислоты при условии дополнительного ввода в нее при сливе 10—15 кг уротропина на 1 м³ кислоты. Вместимость каждого резервуара должна быть равна вместимости железнодорожной цистерны, т. е. 25 или 50 м³. Резервуары для длительного хранения ингибированной или технической соляной кислоты необходимо гуммировать.

Общую вместимость резервуаров следует рассчитывать на хранение реагентов в течение не более 1 года.

2. Прирельсовый склад для хранения реагентов, прибывающих в таре: кислот, прибывающих и хранящихся в стеклянных бутылях, других жидких реагентов, прибывающих в бутылях, баллонах и стальных бочках и хранящихся в них же (водного и сжиженного аммиака, гидразингидрата, хлорной извести), органических кислот, комплексонов, ингибиторов, прибывающих в деревянных бочках, ящиках, фанерных барабанах, бидонах, мешках. Для гидразина, аммиака, соляной кислоты, хлорной извести и особенно хлора должны иметься изолированные помещения с отдельным выходом.

3. Установка (обычно в прирельсовом складе или возле него) для приготовления основных крепких моющих растворов, растворов ингибиторов, а также щелочных, нейтрализующих и пассивирующих растворов и для перекачки их к местам потребления — к установкам, размещенным возле котлов, конденсаторов, нейтрализаторов и т. п.

На этих установках для перекачки растворов ингибиторов могут применяться обычные, а лучше — горячеводные насосы; для перекачки кислот и щелочей используются кислотоупорные насоты марки Х, например ЗХ-9Д, $Q=45$ м³/ч, $H=31$ м вод. ст. и насосы других марок. Предусматриваются один рабочий и один резервный насосы.

4. Собственно установка для промывки оборудования — циркуляции и подогрева моющего раствора как при циркуляционных промывках, так и при промывках травлением. Установка должна состоять из одного-двух баков, защищенных от коррозии, вместимостью от 2 до 15 м³ каждый. При промывке травлением вместимость баков должна быть равна вместимости промываемого аппарата или одновременно промываемой его части с запасом 25%. В установку входят также циркуляционные кислотоупорные насосы для создания в промываемом контуре (в экранных трубах) скорости 0,5—1,0 м/с и трубопроводы для

подвода-отвода моющих, нейтрализующих, промывочных и консервирующих растворов в нижние коллекторы паровых котлов. В баки должны быть подведены все растворы, вода, пар, сжатый воздух.

При промывках растворами с pH выше 2,5 допускается применять для циркуляции моющего раствора существующие питательные, сетевые, подпиточные или циркуляционные насосы.

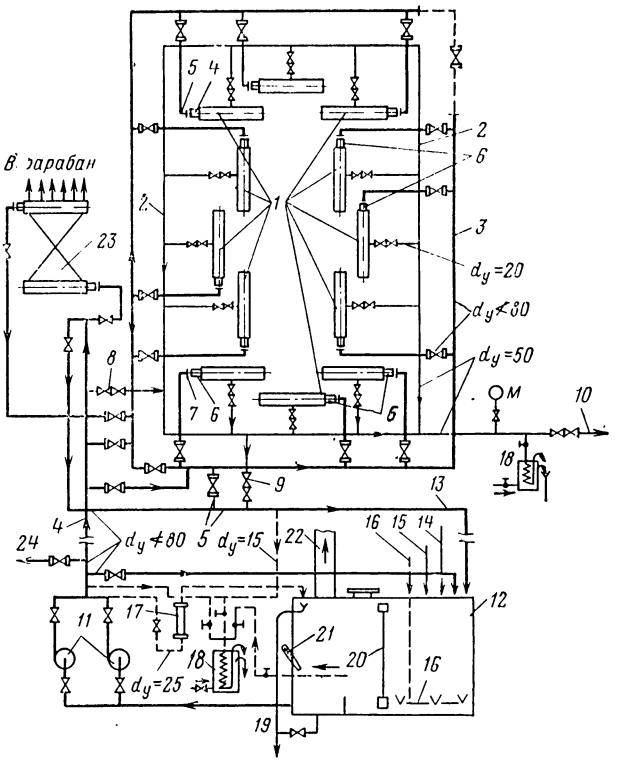


Рис. 12.2. Схема продувочного коллектора и промывочного «кольца» у нижних коллекторов парового котла и промывочной установки:

1 — нижние коллекторы экранов; *2* — продувочный коллектор; *3* — промывочное «кольцо»; *4* — подвод моющего раствора в «кольцо»; *5* — отвод моющего раствора из «кольца» в бак; *6* — приварные стаканы нижних коллекторов; *7* — приварные отводы к стаканам от промывочного кольца; *8* — подача моющего раствора в продувочный коллектор; *9* — отвод моющего раствора от продувочного коллектора; *10* — продувка нижних коллекторов в барботер; *11* — циркуляционно-промывочные насосы; *12* — бак моющего раствора; *13* — слив моющего раствора из котла; *14* — подвод крепких растворов реагентов в бак *12*; *15* — подвод воды; *16* — подвод пара; *17* — контрольный патрон (см. рис. 12.5); *18* — холодильник для отбора проб; *19* — перелив и опорожнение бака; *20* — водомерное стекло; *21* — термометр; *22* — выход газов; *23* — водяной экономайзер; *24* — откачка отработанного моющего раствора на нейтрализационную установку, в систему ГЗУ или в котлован-накопитель

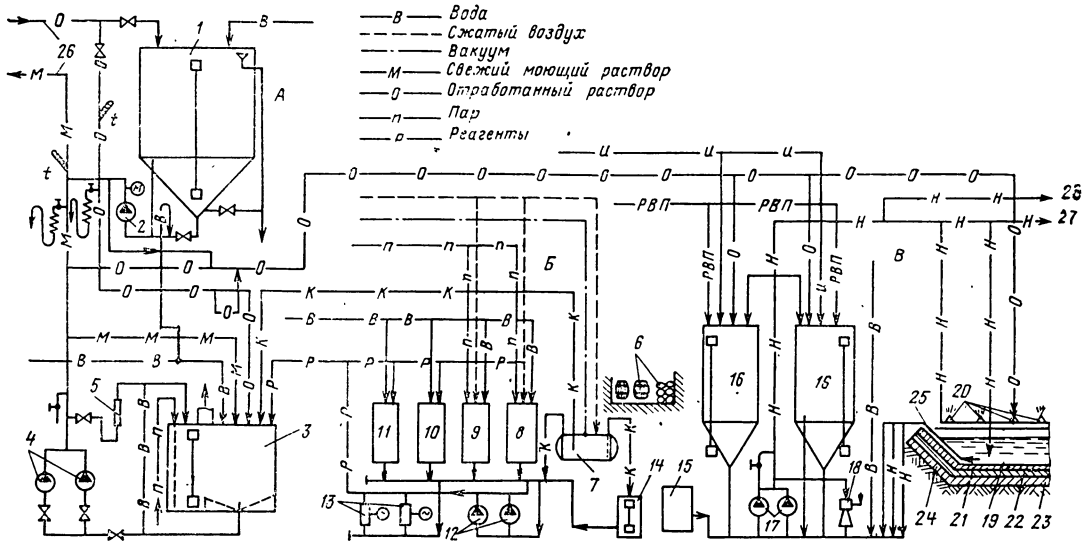


Рис. 12.3. Полная схема промывки парового котла:

А — оборудование, находящееся в котельной; *Б* — реагентное хозяйство; *В* — нейтрализационная обезвреживающая установка; *1* — бак для приемки воды из котла, $V=1{,}2V_к$; *2* — насос для подачи воды в котел; *3* — бак для приготовления рабочих растворов моющих реагентов, $V=20\div25$ м³; ***4* — циркуляционные промывочные** насосы; *5* — патрон (см. рис. 12.5); *6* — склад реагентов (NH_3, NaOH, Na_2CO_3, Na_3PO_4, N_2H_4, $NaNO_2$, трилон Б, органические кислоты, ингибиторы); *7*—цистерна для кислоты (H_2SO_4, HCl); *8—11* — баки-растворители для приготовления крепких растворов моющих реагентов; *12* — насосы для крепких растворов; *13* — дозирующие кислотоупорные насосы НД-2500/10; *14* — мерник для кислоты; *15* — хлораторная установка; *16* — бак-нейтрализатор, $V=150\div300$ м³; *17* — циркуляционные насосы; *18* — эжектор для подсоса воздуха; *19* — котлован; *20* — коллектор с разбрызгивающими насадками; *21* — слой крупного гравия или щебня толщиной 200—300 мм; *22* — слой песка толщиной 200—300 мм; *23* — слой водоупорной (жирной) глины; *24* — грунт; *25* — водозабор; *26* — вход и выход моющих растворов к котлу; *27* — сброс в ГЗУ; *28* — сброс очищенной воды в водоем, на градирни или на ВПУ; *и* — известь или известковый шлам; *К* — кислота; *РВП* — обмывочные воды *РВП*; *Н* — нейтрализованный отработавший моющий раствор

Возле каждого парового котла в зольном помещении должно быть проложено «кольцо» для подвода-отвода в котел через нижние коллекторы моющих растворов. Кольцо должно быть секционировано на две половины задвижками и иметь отводы к каждому коллектору (рис. 12.2) для возможности подвода растворов через одну половину «кольца» и сброса через другую. Полная схема установки для водно-химических промывок паровых котлов и теплообменников показана на рис. 12.3.

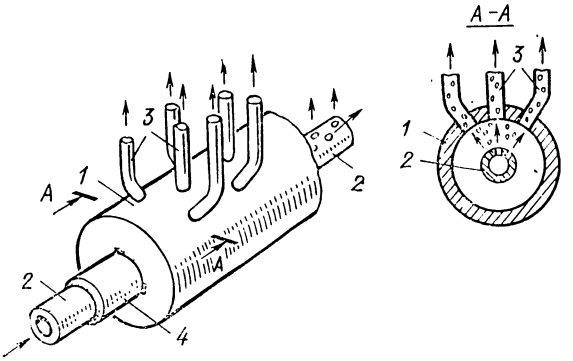


Рис. 12.4. Схема подвода воздуха в нижние коллекторы для создания барботажной циркуляции в экранных панелях:
1 — коллектор; *2* — дырчатая труба; *3* — экранные трубы; *4* — стакан

В связи с трудностями получения кислотоупорных насосов с подачей, необходимой для создания в трубах при циркуляционных промывках скорости 0,6—1,0 м/с, рекомендуется вводить в каждый коллектор перфорированную по всей длине трубку из нержавеющей стали для ввода через нее в промываемую панель моющего раствора и воздуха для циркуляции раствора по принципу эрлифта. Труба приваривается к торцевому штуцеру коллектора и присоединяется на фланце к задвижке и отводу от кольца.

Расположение отверстий на перфорированной трубе, количество и диаметр их должны обеспечить попадание воздуха во все присоединяемые к коллектору подъемные (экранные) трубы (рис. 12.4).

При pH моющих растворов ниже 2,5 следует применять специальные кислотоупорные насосы, например: МСК-1000/350, $Q=1000$ м³/ч, $H=350$ м вод. ст.; 14-М-12×4, $Q=700\div1200$ м³/ч, $H=350\div240$ м вод. ст., 10НМК-2, АЯП-300, $Q=300$ м³/ч, H от 100 до 500 м вод. ст. Обычные некислотоупорные насосы могут выдержать лишь одну-две промывки.

При промывках травлением могут применяться различные кислотоупорные насосы марки Х с напором не менее 30—40 м вод. ст.

Для промывки теплообменных аппаратов-конденсаторов, а также малых паровых и водогрейных котлов установки могут быть передвижными, на раме, в составе одного-двух баков, циркуляционного и подкачивающего насосов (рис. 12.5).

5. Баки для приемки сливаемых из котлов и других аппаратов отработавших моющих (кислых и щелочных) растворов и отмывочных вод и дальнейшей перекачки их на нейтрализующие установки и в котлованы.

Вместимость баков должна быть равна полной вместимости промываемого аппарата с 25%-ным запасом, подачи

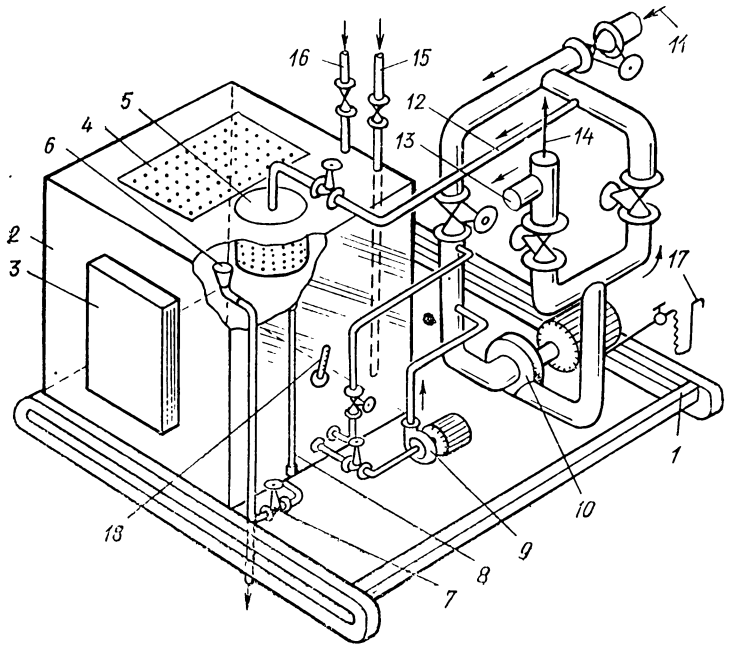


Рис. 12.5. Схема передвижной установки для промывки от накипи теплообменных аппаратов:

1 — рама-салазки; *2* — бак, $V=5\div6$ м³; *3* — электрощиток; *4* — крышка с отверстиями для выпуска газов; *5* — корзинка с отверстиями; *6* — передняя; *7* — выпуск раствора из бака $d_у$ 80 мм; *8* — водомерные стекла; *9* — малый кислотоупорный насос (3-Х12к-1, $Q=45$ м³/ч, $H=21$ м вод. ст., $d_у$ 75 мм); *10* — циркуляционный насос; *11* — подача моющего раствора из промываемого аппарата к насосу; *12* — слив части раствора в бак; *13, 14* — подача раствора в промываемый аппарат; *15* — подвод пара в бак $d_у$ 50 мм; *16* — подвод воды в бак $d_у$ 50 мм; *17* — отбор проб; *18* — термометр

откачивающего кислотоупорного насоса должна быть достаточна для откачки раствора из бака в течение 1—2 ч (рис. 12.3).

6. Нейтрализующая установка в составе двух баков с вместимостью каждого, превышающей вместимость парового котла в 2—3 раза, с подводом к ним сжатого воздуха, воды, щелочных растворов и суспензий (известкового молока, шлама из осветлителей и т. д.), с насосом для перемешивания жидкости в баках и откачки ее в котлован (рис. 12.3).

7. Земляной котлован вместимостью 2—10 тыс. м^3 для хранения, осветления и окисления нейтрализованных моющих растворов. Дно и откосы котлована должны быть выложены жирной глиной [1] для обеспечения водонепроницаемости и закрыты гравием и песком. Котлован оборудуется системой брызгал для аэрации направляемых в него нейтрализованных моющих растворов.

Дно котлована должно иметь уклон и в одной стороне приямок для смыва шлама в сторону откачивающего насоса. Глубина котлована 2—3 м.

Целесообразно разделять объем котлована на две части: одну 25 % общей вместимости для крепких нейтрализованных моющих растворов, вторую — 75 % для отмывочных разбавленных вод (см. рис. 12.3).

Нейтрализационная установка размещается возле котлованов в легком помещении, поскольку химические промывки проводятся, как правило, в теплое время года. Насосы при нейтрализаторах должны откачивать как шлам из котлована в систему гидрозолоудаления, так и осветленный, окислившийся раствор в оборотную систему или в сбросную воду после конденсаторов при прямоточном их охлаждении, а также в случае необходимости на сооружения для очистки городских, хозяйственно-бытовых сточных вод. Эти же насосы должны подавать воду в котлованы для ее аэрации через брызгальные насадки.

12.5. Проведение водных и химических промывок

12.5.1. ПОДГОТОВКА К ПРОМЫВКЕ

Наличие и количество отложений на наиболее теплонапряженных участках поверхностей нагрева котлов явля-

[1] Для повышения водонепроницаемости котлованов рекомендуется выстилать дно и стенки (откосы) их свариваемой полиэтиленовой пленкой, засыпаемой сверху глиной или другим грунтом, песком и гравием.

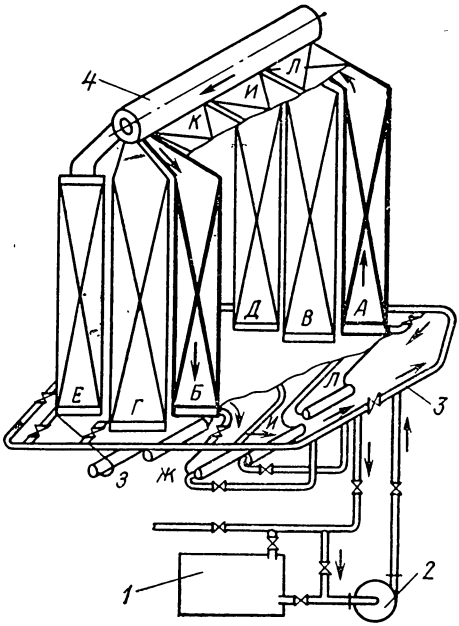


Рис. 12.6. Схема циркуляции моющего раствора по панелям при химической промывке барабанного парового котла (ОРГРЭС):

1 — бак; *2* — циркуляционный насос; *3* — промывочное кольцо; *4* — барабан, *А* — *Л* — отдельные панели с коллекторами

ется основным показателем необходимости проведения эксплуатационных химических промывок. Предпусковые промывки проводятся независимо от количества отложений. При проведении промывок необходимо во всех подробностях знать циркуляционную схему парового котла, его сепарационные устройства, возможность последовательной промывки панелей (рис. 12.6).

Для определения продолжительности обработки, требуемой концентрации и температуры моющего раствора и необходимости его циркуляции делается анализ отложений, отобранных из контрольных участков труб, вырезанных из наиболее теплонапряженных участков поверхности нагрева. Определяется количество отложений, их толщина, слоистость, сцепляемость с металлом на обогреваемой стороне труб. Производится пробная кислотная очистка в лабораторных условиях вырезанных контрольных образцов труб (см. выше). Полученные данные позволяют наметить способ очистки.

Потребность в кислоте и других реагентах принимается с запасом примерно 20—25 % и рассчитывается по принятым концентрациям реагентов в моющих растворах и водяному объему котла (см. выше).

Места вырезки контрольных участков (четыре — восемь на котел) показаны на рис. 12.1.

Взамен вырезанных участков ввариваются новые. По окончании химической промывки желательно вновь вырезать контрольные образцы из тех же или соседних труб

для определения эффективности промывки. Число этих образцов составляет примерно 2—4 на котел. Необходимо, чтобы все контрольные образцы были вырезаны из наиболее загрязненных участков поверхности нагрева.

Как до, так и после проведения всего комплекса водохимической промывки паровых котлов по результатам осмотра барабанов коллекторов устьев труб и вырезанных образцов составляется акт о загрязненности котла до и после промывки и об эффективности промывки.

Параллельно с вышеупомянутыми подготовительными работами собирается схема промывки (см. рис. 12.2, 12.3, 12.6, 12.11), устанавливаются насосы, проверяются состояние оборудования и работа насосов на воде, опрессовываются линии и напорные резервуары, открытые резервуары проверяются наливом воды. Промывочное кольцо присоединяется к нижним коллекторам котла на место срезанных торцевых колпаков-стаканов с установкой у каждого коллектора задвижки.

Перед промывкой с циркуляцией через барабан трубы аварийного слива поднимают на 500—700 мм выше среднего уровня. Монтируемая сливная труба отводится в дренажный бак (поз. *10* на рис. 12.2) или рабочий бак кисло-

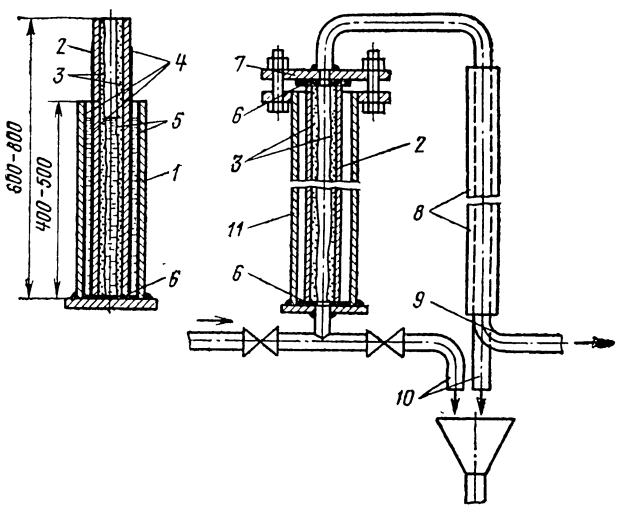


Рис. 12.7. Стакан и патрон для контроля за ходом кислотной промывки:

1 — стакан; *2* — кусок трубы с отложениями, вырезанный из котла; *3* — слой отложений; *4* — слой лака; *5* — уровень кислоты; *6* — резиновая прокладка; *7* — прижимной фланец; *8* — резиновый шланг; *9* — отвод кислоты в бак; *10* — слив кислоты; *11* — патрон

ты (поз. *3* на рис. 12.3). Трубы для отвода образовавшихся газов выводят через штуцера паропровода собственных нужд или предохранительных клапанов. Газы также отводят через трубу аварийного слива в дренажные баки или в баки циркуляции.

В нижней части недренируемых коробов внутрибарабанных устройств прорезаются отверстия диаметром 10—15 мм. Промывочное кольцо подключается к нижним коллекторам экранов котла так, чтобы одновременно в одном направлении могло промываться не более трех панелей.

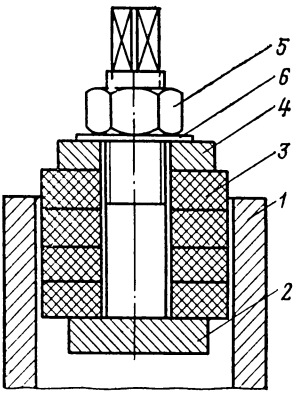


Рис. 12.8. Резиновая пробка для закупорки труб при химических промывках;
1 — заглушаемая труба; *2* — болт; *3* — резина; *4* — прижимное кольцо; *5* — гайка; *6* — шайба

На промываемом котле устанавливают: манометры и расходомеры на напорном патрубке циркуляционного насоса (приборы присоединяют через разделительные сосуды), гильзы с ртутными термометрами, пробоотборные трубки с холодильниками из нержавеющей стали на напорном и сливном трубопроводах, а также патрон (рис. 12.7) для установки контрольного образца трубы из промываемого котла. Все остальные точки эксплуатационного контроля отглушают при помощи вентилей или резиновых пробок (рис. 12.8). Все непромываемые трубопроводы, в том числе и змеевики пароперегревателя, отключают при помощи специальных резиновых пробок. При заполнении непромываемых трубопроводов раствором NH_3 (1000—1500 мг/л) применение резиновых пробок желательно, но не так необходимо. Можно также заполнять пароперегреватель через дренажную линию коллектора перегретого пара водой с созданием небольшого протока ее в барабан.

12.5.2. ВОДНАЯ ПРОМЫВКА

Водная промывка для удаления механических загрязнений, сварочного грата, обломков электродов, гаек и т. п. производится технической холодной водой: индивидуальная — при помощи шланга, общая — при помощи двух-трех питательных насосов со скоростью не менее 3 м/с.

Интенсивная водная промывка необходима для питательных линий, паропроводов и особенно для радиационных (ширмовых и настенных) пароперегревателей, работающих в наиболее тяжелых температурных условиях и недренируемых. Оставшуюся в змеевиках техническую воду необходимо вытеснять конденсатом, питательной водой или, в случае возможности, воздухом.

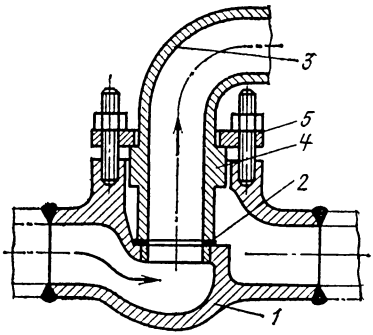


Рис. 12.9. Схема установки колена в вентиле высокого давления для отвода агрессивных растворов из трубопроводов (ОРГРЭС):
1 — корпус; *2* — прокладка; *3* — колено; *4* — выступ; *5* — прижимной фланец

В барабанных котлах водой сначала интенсивно промывается экономайзер (по половинам) и только после его отмывки — пароперегреватель, по возможности также по половинам.

Техническую воду после промывки экономайзера сбрасывают в барабан и затем через продувочные точки в канализацию, котлован или в оборотную систему. После пароперегревателей или других элементов воду сбрасывают туда же через разъединенные фланцевые соединения или через специальные от-

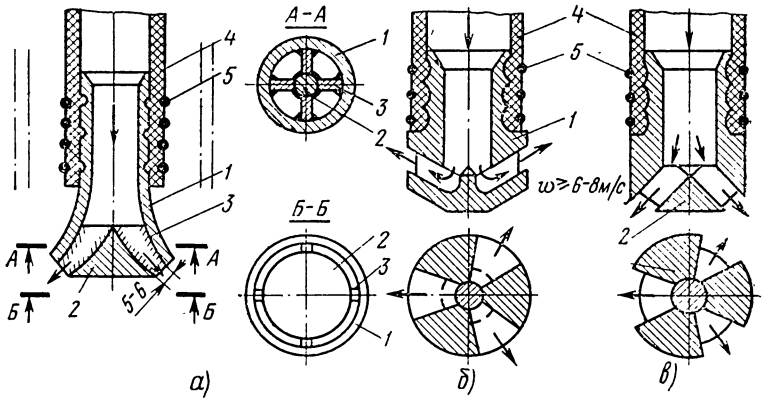


Рис. 12.10. Наконечники для промывки труб водой из шланга:
а—в — различные варианты; *1* — наконечник; *2* — конус-рассекатель; *3* — ребра жесткости; *4* — шланг; *5* — проволока

водные устройства, встраиваемые в корпуса вентилей (рис. 12.9).

Для проведения интенсивной водной промывки экранов и опускных труб необходимо снять внутрибарабанные устройства и произвести индивидуальную водную промывку всех опускных и подъемных труб водой из шланга со специальным наконечником (рис. 12.10). Давление промывочной воды на отметке барабана должно быть не менее 0,5—0,6 МПа.

Если водная промывка недренируемых змеевиков со скоростью 3 м/с невозможна, то во избежание завалов отвалившейся при химических промывках окалины в нижних недренируемых петлях змеевиков их следует промыть только водой (конденсатом), не прибегая к химическим промывкам (рекомендации Мосэнерго).

12.5.3. ЩЕЛОЧЕНИЕ

Щелочение смонтированных паровых котлов ВД и СВД проводится перед химической (кислотной) промывкой их.

Взамен промывки холодной технической водой перед щелочением возможно кипячение воды в паровом котле в течение 10—12 ч при давлении 0,4—0,5 МПа и производительности 10—12 % номинальной с последующей продувкой и заменой 1,5—2 объемов воды, если последняя очень грязная. Если же вода сравнительно чиста, то ее оставляют в котле и вводят в него щелочь.

При температуре воды ниже 100 °С циркуляционное щелочение производят при помощи насосов по панелям для увеличения скорости в трубах. При огневом обогреве в чистый отсек заполненного водой котла при помощи насоса через нижние продувочные вентили и коллекторы вводят крепкий (20—40 %-ный) раствор щелочи. После подачи нужного количества щелочи и промывки дренажного кольца водой нижние продувочные вентили закрывают и растапливают котел для сушки обмуровки.

Производительность котла во время кипячения в нем воды или щелочения для обеспечения минимально необходимой циркуляции и требуемого охлаждения пароперегревателя должна составлять 10—12 % номинальной при давлении 0,4—0,5 МПа. Пар отводится обязательно через продувку пароперегревателя или поднятые предохранительные клапаны на коллекторе перегретого пара; пар может также частично отводиться в линию хозяйственных нужд.

Уровень воды в барабане во время кипячения воды или щелочения поддерживается средним. Водоуказательные

колонки, кроме одной, должны быть отключены во избежание забивания их грязью. Линия рециркуляции между барабаном и экономайзером во время щелочения должна быть открыта; при отсутствии ее прокладывается временная линия.

Пробоотборные линии для пара и котловой воды должны быть исправными; через них во время щелочения ведется отбор проб котловой воды и пара для контроля за ходом щелочения и определения качества пара во время продувки паропроводов (в конце щелочения). Пробы котловой воды отбирают из всех точек отбора вначале через 30—60 мин, затем, когда щелочность достигнет 75—125 мг-экв/л, а содержание фосфатов не менее 300 мг/л PO_4^{3-}, через 3—4 ч.

Таблица 12.4. **Расход реагентов для предпускового щелочения**

Реагент	Котлы без слоя ржавчины (I группа)	Котлы со значительным слоем ржавчины (II группа)
NaOH 100 %	5,0	8,0
NaOH 40 %	12,5	20,0
$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ (технический)	3,0	5,0

Если щелочность котловой воды не достигнет 75 мг-экв/л, щелочение приостанавливают, снижают давление и добавляют раствор щелочи через нижние коллекторы. Можно также добавлять раствор щелочи не снижая давления, через линию фосфатирования при помощи насоса-дозатора.

Расход реагентов при щелочении, кг/м^3, и продолжительность операции в часах определяется по данным табл. 12.4 и 12.5.

Щелочность котловой воды перед началом смены воды должна быть не ниже 75 мг-экв/л, при более низкой щелочности необходимо ввести дополнительное количество щелочи. Крепость раствора щелочи, вводимой в котел, 20 %. Продувку нижних точек после первого и второго щелочения ведут по 30—60 с при полностью открытом вентиле.

Температура топочных газов перед пароперегревателем во время щелочения должна быть не выше 500 °С во избежание пережога змеевиков.

Таблица 12.5. **Ориентировочная продолжительность (±10 %) и последовательность операций щелочения (по инструкции Центроэнергомонтаж)**

Наименование операций	Котлы	
	I группы	II группы
Водная промывка с циркуляцией, со сбросом грязной и набором чистой воды	4	4
Ввод реагентов (по табл. 12.4) до щелочности котловой воды 75—125 мг-экв/л	4	4
Растопка, подъем давления до 0,3—0,4 МПа и первое щелочение при нагрузке 5—10 % номинальной, обтяжка фланцев	12	12
Снижение давления до атмосферного и продувка нижних точек котла	1	1
Подпитка, вторичный подъем давления до 1,0—1,5 МПа и второе щелочение при нагрузке 5—10 % номинальной	8	12
Снижение давления до 0,2—0,3 МПа и продувка нижних точек при погашенной топке	1	1
Подпитка и третий подъем давления до 2,0—2,5 МПа и щелочение при нагрузке 5—10 % номинальной	6	12
Смена котловой воды при давлении 2,0—2,5 МПа и производительности 5—10 % при полностью открытой непрерывной продувке и многократной поочередной продувке всех нижних точек с подпиткой котла деаэрированной питательной водой и доведением щелочности котловой воды до эксплуатационных (расчетных) норм	6	16
Итого часов	42	62

При необходимости съемные части сепарационных устройств, мешающие механической и кислотной очисткам котла, перед щелочением должны быть удалены.

Растворы щелочи и фосфата готовят и вводят в котел раздельно. Фосфат растворяют в горячей воде. По окончании щелочения и очистки все снятые части внутрибарабанных устройств должны быть установлены на место и составлен акт о результатах щелочения.

Водную промывку водогрейных котлов ведут при циркуляции в них воды сетевыми насосами при расходе больше расчетного (2 насоса) с целью лучшего удаления механических загрязнений, задерживаемых в специальном грязевике на всасе насосов. Для создания циркуляции прямая линия до главной выходной задвижки соединяется перемычкой с обратной через грязевик. 20 %-ный раствор щелочи

вводят в линию до котла в количестве, необходимом для создания концентрации NaOH в контуре 0,5—1,0 % (рис. 12.11).

Щелочение водогрейных котлов ведут при помощи сетевых насосов с расходом не ниже номинального, при огневом или паровом разогреве до 50—110 °С в течение 8—12 ч. Через 4—6 ч начинают продувать нижние точки котла и дренажи трубопроводов и повторяют продувки их через 2 ч. По окончании щелочения вытесняют раствор щелочи деаэрированной подпиточной водой и промывают котел от

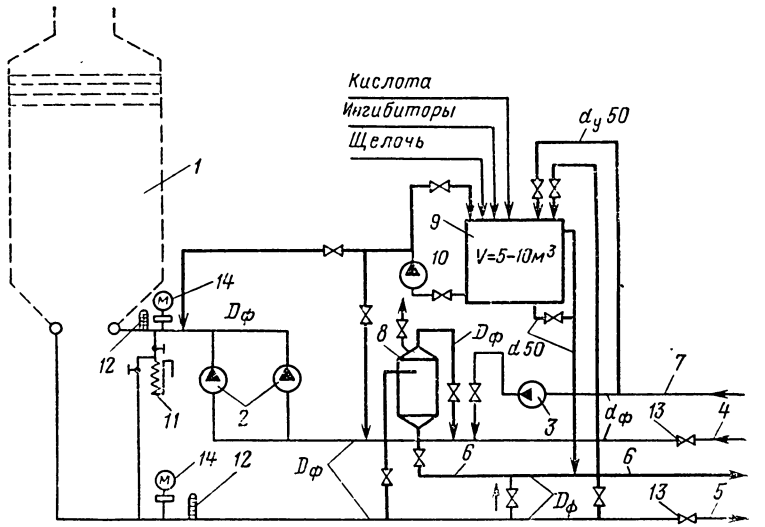


Рис. 12.11. Схема химической промывки водогрейного котла:

1 — котел; *2* — сетевые насосы; *3* — подпиточный насос; *4* — обратная сетевая вода; *5* — прямая сетевая вода; *6* — сброс моющих растворов и промывочной воды; *7* — подпиточная вода; *8* — грязевик-циклон; *9* — бак для приготовления концентрированного моющего раствора; *10* — насос для подачи моющего раствора на всас и нагнетание сетевых насосов; *11* — холодильник из нержавеющей стали для отбора проб моющего раствора; *12* — термометры; *13* — главные задвижки (заглушки); $D_ф$ и $d_ф$ — фактические диаметры труб; *14* — манометр с разделительной мембраной

грязи с максимальной интенсивностью (два насоса), сбрасывая раствор щелочи и промывочную воду через все дренажи и нижние продувочные точки котла в специальный сбросной трубопровод.

Эксплуатационное щелочение барабанных котлов перед кислотной промывкой с циркуляцией при помощи насоса производят для частичного растворения силикатов и разрыхления отложений. Котел заполняют горячей водой, взятой из теплосети, подогретой в баке или (что хуже) холод-

ной химически обработанной водой и включают циркуляционный насос с подачей 150—200 м³/ч по схеме насос — котел — бак — насос или насос — котел — насос. Температура воды путем подогрева ее свежим паром в баке или при помощи огневого обогрева доводится до 100 °С. Затем на всас циркуляционного насоса или в бак подают крепкие растворы щелочи и фосфата до создания концентрации NaOH в растворе после котла 125 мг-экв/л и PO_4^{3-} 300 мг/л (максимально возможны щелочность 140 мг-экв/л и содержание PO_4^{3-} 700—750 мг/л).

Циркуляцию осуществляют одновременно только через две панели: *А* и *Б* или *В* и *Г* (см. рис. 12.6) для создания больших скоростей жидкости в трубах. После 30 мин циркуляции через первые две панели переходят на две другие и т. д.

Циркуляцию щелочного раствора поочередно по панелям ведут в течение 10—12 ч, поддерживая нужные концентрации реагентов и температуру жидкости. При огневом обогреве температуру можно доводить до 120—130 °С, если циркуляционный насос в состоянии работать на горячей воде. Затем циркуляцию прекращают и после снижения температуры до 70—80 °С спускают щелочной раствор в резервуар (поз. *1* на рис. 12.3) с целью использования его после отстоя для вторичного щелочения с добавкой свежих реагентов или для нейтрализации кислых сбросных вод. Вытеснение щелочного раствора водой приводит к его разбавлению и увеличению расхода воды. После спуска щелочного раствора паровой котел заполняют сначала горячей, а затем холодной химически обработанной водой при помощи циркуляционного насоса и промывают от остатков щелочи.

В конце промывки температура сбрасываемой воды не должна превышать 50—60 °С, а щелочность 0,5—4 мг-экв/л, т. е. должна быть равна щелочности химически обработанной воды.

12.5.4. КИСЛОТНАЯ ПРОМЫВКА С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

По окончании отмывки от щелочи при заполненном водой котле и содержании воды в баках промывочной установки в количестве 20 % их вместимости в баки при циркуляции воды через две панели котла вводят в нужных количествах сначала ингибиторы (ПБ-5, уротропин, ОП-7 или ОП-10 и др.) и после этого подают основной моющий реагент — серную или соляную кислоту, трилон Б, органи-

ческие кислоты и т. д. Постепенно, в течение 30—60 мин, доводят концентрацию их в циркулирующем моющем растворе до расчетной (см. п. 12.3.4) или до установленной при лабораторных опытах. Баки должны быть при этом заполнены не более чем на 80 % их вместимости. При высоком содержании в накипи силикатов (свыше 15 % SiO_2) в раствор вводят еще 0,5—1 % NaF, NH_4F, NH_4HF_2. Температуру моющего раствора поддерживают в интервале 60—70 °С или, при промывке на холоду, 25—30 °С. При снижении концентрации основного моющего реагента ниже 0,5—1 % и при переводе циркуляции с первой пары панелей на вторую, со второй на третью и т. д. в раствор добавляют свежий реагент (кислоту) до нужной концентрации.

Контрольный образец трубы с наибольшими отложениями, вырезанный перед промывкой из котла, помещают в патрон (см. рис. 12.7). Через него должен протекать моющий раствор с той же скоростью, что и по промываемым трубам. Периодически осматривают образец и через 1—1,5 ч после того, как с него будут удалены все отложения или состав моющего раствора станет постоянным, прекращают циркуляцию и начинают вытеснение отработавшего моющего раствора водой в нейтрализатор и промывку котла или дренируют весь моющий раствор сначала в бак (поз. *1* на рис. 12.3), а затем в нейтрализатор либо в котлован. Циркуляцию моющего раствора ведут по схеме, показанной на рис. 12.6, т. е. одновременно только по двум панелям, чтобы создать необходимую скорость движения раствора по трубам. После получасовой циркуляции через первую группу панелей (*А* и *Б*) их отключают и ведут циркуляцию через вторую группу (*В* и *Г*) и т. д. Затем циркуляцию ведут в обратном направлении — *Б* и *А*, потом *Г* и *В* и т. д.

В тех случаях, когда значительная часть поверхности нагрева мало загрязнена отложениями и лишь некоторые ее элементы, например панели солевых отсеков экранов, загрязнены сильно, циркуляцию раствора осуществляют через загрязненные элементы и панели более длительно, чем через чистые. Такой способ циркуляции пригоден и при гидразинно-кислотной промывке.

При предпусковых гидразинно-кислотных промывках котлов в циркулирующую воду, нагретую до 80—100 °С, вводят сначала гидразин до концентрации 150—200 мг/л, а затем соляную или серную кислоту, снижая pH раство-

ра перед котлом до 3—3,5. Кислоту подают непрерывно при помощи кислотоупорных насосов-дозаторов до тех пор, пока pH воды после котла не снизится примерно до 4—5. При понижении концентрации гидразина в циркуляционном растворе ниже 100 мг/л дополнительно вводят гидразин.

При циркуляционной химической промывке экономайзеров соблюдаются все перечисленные выше требования; циркуляция может вестись со сбросом моющего раствора в барабан или со сбросом его через отвод из выходного коллектора (см. рис. 12.2).

Вытеснение моющего раствора и водная промывка парового котла после циркуляционной промывки ведутся без его опорожнения, так как обнаженная после кислотной промывки поверхность металла при соприкосновении с воздухом сильно корродирует. Количество вновь образовавшейся на промытой поверхности ржавчины может достигать 50—60 г/м^2 (после промывки водой и щелочения).

Отработавший моющий раствор, вытесненный из котла водой, подаваемой питательными насосами через экономайзер или циркуляционным насосом, или сдренированный в бак (поз. *1* или *3*, см. рис. 12.3), направляется в баки-нейтрализаторы при земляном котловане, где он обрабатывается известью, магнезитом, шламом из осветлителей или щелочным раствором, сохранившимся после предварительного щелочения. При нейтрализации кислых растворов, содержащих гидразин и органические кислоты, необходимо перемешивать их воздухом или вводить раствор хлорной извести для их разрушения и лишь затем направлять в котлован. Применение жидкого хлора более сложно. Нейтрализованные, окисленные и осветленные моющие растворы можно направлять из котлована в систему гидрозолоудаления ТЭС, подавать в оборотную систему или в сбросную воду после конденсаторов при прямоточном охлаждении.

Не допускается снижение щелочности сбросной воды ниже 0,5—1,0 мг-экв/л. Шлам сбрасывают только в систему ГЗУ или на отвал.

Кислотную промывку водогрейных котлов лучше проводить с использованием НМК и других органических кислот, а также соляной кислотой при pH=2÷3 при помощи сетевых насосов по той же схеме, по которой ведется предварительное и последующее щелочение. Для водной промывки включаются два насоса (рис. 12.11).

12.5.5. ПРОМЫВКА БЕЗ ЦИРКУЛЯЦИИ

Промывка паровых котлов этим способом (травление*) рекомендуется в первую очередь как эксплуатационная для загрязненных участков поверхности нагрева, но может производиться и как предпусковая. Травление можно производить как с подогревом до 60—70 °С, так и без подогрева и промывать отдельные загрязненные панели экранов, ниж-

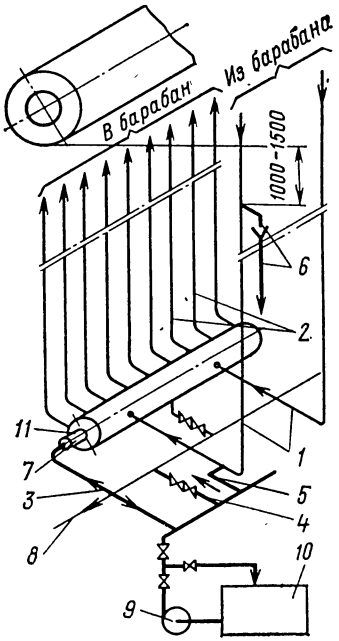


Рис. 12.13.

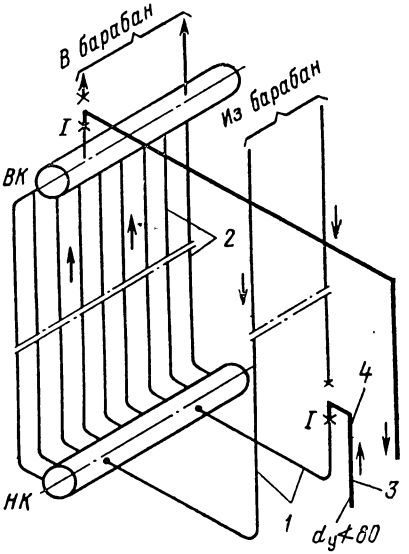


Рис. 12.12.

Рис. 12.12. Схема промывки экранов травлением:

1 — опускные трубы; *2* —подъемные трубы; *3* — подвод-отвод моющего раствора в коллектор через стакан; *4* — подвод-отвод моющего раствора в продувочный коллектор; *5* — то же в опускную трубу; *6* — контрольная труба со сливной воронкой; *7* — стакан; *8* — продувочный коллектор; *9* —циркуляционный насос; *10* — бак; *11*— нижний коллектор

Рис. 12.13. Схема циркуляции моющего раствора в экранной панели барабанного парового котла при отключенном барабане:

НК — нижний коллектор; *ВК* — верхний коллектор; *1* — опускные трубы; *2* — подъемные трубы; *3* — подвод моющего раствора от циркуляционного насоса; *4* — сброс моющего раствора в бак промывочной установки

---

* При травлении расходуются меньшие количества реагентов, чем при циркуляционных промывках, меньше опасность «перетрава»— растворения обнажившегося металла, требуется оборудование меньших размеров, в том числе кислотоупорные насосы меньшей подачи, более доступные и дешевые.

чие части их, экономайзер и т. д., применяя моющие растворы разной концентрации и состава.

Обязательным условием для проведения таких промывок являются установка в зольном помещении бака для приготовления моющего раствора вместимостью не менее, чем суммарная вместимость двух панелей. Необходима также вварка одной контрольной трубки (на все заполняемые одновременно панели). Трубка вваривается в опускную трубу (рис. 12.12) на 1—1,5 м ниже нижней образующей барабана *. Если бак для приготовления моющего раствора невелик, то панели экранов заполняют поочередно. Бак необходим для подогрева раствора, если промывка ведется с подогревом, и для обратного спуска моющего раствора при так называемых «качаниях», если раствор из котла или отдельных панелей его спускают в бак и затем подают обратно в ту же панель. Такие «качания» в какой-то степени заменяют циркуляцию, улучшая перемешивание моющего раствора и активизируя растворение. Насос для подачи моющего раствора при промывках без циркуляции может быть меньшей подачи, чем циркуляционный ($Q \approx \approx 50$ м³/ч).

Порядок проведения химических промывок без циркуляции примерно следующий: после заполнения бака водой в нее вводят при перемешивании насосом ингибиторы и основной реагент (ингибированную соляную кислоту) до необходимой концентрации, а при большом содержании силикатов — еще и фтористый натрий или аммоний до концентрации 0,5—1%.

После перемешивания и подогрева паром до 70—75 °С раствор кислоты подают насосом в котел или только в промываемые панели на необходимую высоту. Контроль заполнения при этом ведут по трубке *6* (рис. 12.12).

Во избежание попадания паров кислоты в пароперегреватель его необходимо предварительно заполнить водой, содержащей 1000—1500 мг/л аммиака. В течение всей промывки барабаны должны продуваться воздухом через открытые лазы для удаления CO_2, H_2 и паров HCl. Это особенно важно при промывках подогретой до 60—70 °С соляной кислотой. При этом к лазам нельзя подходить с огнем

---

* Взамен вварки контрольной трубки можно применить электрический уровнемер из двух электродов, опускаемых в одну из опускных или подъемных труб на нужную глубину. Можно также при помощи электродов измерить объем раствора, необходимый для заполнения панели до нужной высоты, а затем, удалив электрод, вести заполнение панели моющим раствором по уровню в баке.

и электролампами и производить сварку во избежание вспышки и взрыва смеси водорода с воздухом.

Через 0,5—1 ч после начала подачи в панель или котел моющего раствора его спускают в бак, проверяют концентрацию основного реагента и температуру. В случае необходимости раствор подогревают, добавляют в него концентрированную серную или ингибированную соляную кислоту или другой основной реагент до необходимой крепости и снова подают в котел или в промываемые панели. Это повторяют 3—4 раза при промывках с подогревом до 60—70 °С и 5—6 раз при промывках без подогрева при 25—30 °С при общей продолжительности промывки 6—8 ч с подогревом и 10—12 ч без подогрева.

Наблюдения за ходом промывки ведут по вырезанному из экрана образцу трубы, разрезанному вдоль (огневая сторона) и опущенному в стакан (рис. 12.7) с моющим раствором в течение всего времени пребывания раствора в котле. При спуске моющего раствора образец вынимают из стакана, но водой не обмывают. В начале следующей подачи в котел моющего раствора в стакан вливают свежий моющий раствор из бака или насоса и снова опускают в него тот же образец на все время пребывания моющего раствора в котле и т. д. Раствор в стакане не перемешивают. Образец, опускаемый в стакан, необходимо снаружи, с торцов и со стороны продольных разрезов покрыть кислотостойкими лаком, кузбасслаком и т. п. (см. рис. 12.7). После полного удаления отложений с образца производят еще одну дополнительную подачу моющего раствора в котел (панель).

Экономайзер следует промывать под давлением и с циркуляцией ввиду возможности образования в горизонтальных змеевиках воздушно-газовых пробок, приводящих к плохой, неравномерной промывке.

По окончании промывки, во избежание усиленной коррозии отмытой от отложений поверхности труб при соприкосновении ее с воздухом, следует, не спуская кислоты, закрыть резиновой пробкой контрольную трубку, закрыть барабан и заполнить котел через пароперегреватель или экономайзер водой до верхней образующей барабана, после чего начать сброс использованного моющего раствора через нижние точки. Можно также подавать насосом из бака в одну из панелей промывочную воду снизу вверх, заполнять водой экраны и барабан до верхней образующей и сбрасывать моющий раствор и промывочную воду через продувочные вентили остальных промытых панелей до исчезновения

у сбрасываемой воды кислой реакции по метилоранжу. После этого воду прокачивают снизу вверх через остальные панели поочередно в течение 5—10 мин, сливая ее через другие панели. Через пароперегреватель в это время должна подаваться вода во избежание попадания в него моющего раствора.

На рис. 12.13 приведена схема циркуляционной промывки одной экранной панели, при которой моющий раствор сливается в бак, не достигая барабана. Моющий раствор

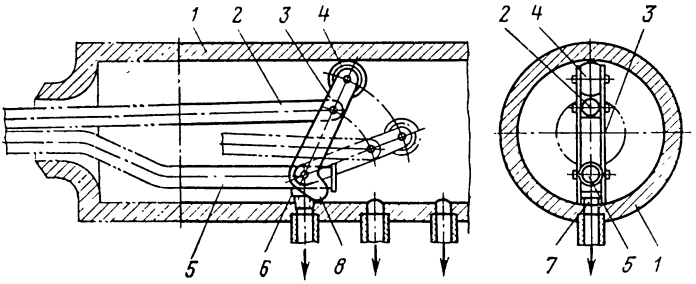


Рис. 12.14. Установка наконечника для индивидуальной промывки змеевиков пароперегревателя с торцевыми лючками или колпаками (стаканами):

1 — коллектор; *2* — тяга; *3* — рычаг; *4* — прижимной ролик; *5* — труба; *6* — резиновая прокладка; *7* — наконечник; *8* — отжимной участок рычага

подается насосом в нижний коллектор панели. Врезка вставок для подачи и отвода раствора производится в опускные и пароотводящие трубы, находящиеся вне топки, где облегчаются все монтажно-сварочные работы.

12.5.6. ВТОРИЧНОЕ ЩЕЛОЧЕНИЕ

Воду из котла после отмывки от моющего раствора не спускают, при отсутствии меди в отложениях вводят в котел щелочь и проводят вторичное щелочение. В случае наличия меди в отложениях и омеднения поверхности контрольного образца проводится промывка котла раствором персульфата аммония (0,5—0,7 %) с аммиаком (0,5 %) при pH = 9,5÷10,0 в течение 6—12 ч с циркуляцией раствора со скоростью 0,5—1 м/с и при температуре не выше 50—60°С. Затем проводят водную отмывку до полного удаления персульфата и аммиака одним из указанных выше способов. Контроль ведут по содержанию NH_3 в промывочной воде.

Промывка 0,5—2 %-ным раствором гексаметафосфата натрия сразу же после спуска кислоты из котла, по дан-

ным завода «Котлоочистка», также удаляет медь с поверхности нагрева. Можно применять также раствор $NaHCO_3$ с NH_3 (см. выше).

Вторичное щелочение необходимо для нейтрализации кислоты, задержавшейся в застойных местах котла, и пассивации поверхностей нагрева. Если предусмотрена специальная пассивация поверхностей гидразинным, нитритно-фосфатным или нитритно-аммиачным раствором, то вторичное щелочение проводится так же, как и предварительное перед кислотной промывкой, т. е. с циркуляцией и огневым или паровым нагревом щелочного раствора. Если же специальная пассивация не предусмотрена, то вторичное щелочение, в какой-то степени заменяющее пассивацию, проводится точно так же, как самостоятельное, т. е. с огневым обогревом и под давлением 0,4—0,5 МПа. С целью экономии щелочи вторичное щелочение следует вести использованным и отстоенным щелочным раствором после предварительного щелочения с добавкой, если нужно, свежих реагентов.

После вторичного щелочения и промывки парового котла водой со скоростью в трубах 3,0 м/с для создания на металле защитной пленки в котел вводят раствор гидразина с аммиаком или едким натром. Концентрация гидразина в котловой воде доводится до 200—300 мг/л, а NH_3 или NaOH — до достижения pH=9,5÷10. Эти растворы вводят через бак или непосредственно на всас циркуляционных промывочных насосов.

При пассивации гидразином производится огневой обогрев и циркуляция воды при помощи насоса при температуре до 200 °С и давлении до 3,5 МПа. Выпускать пар в атмосферу или подавать его потребителям нежелательно из-за высокой концентрации в нем гидразина и аммиака. Продолжительность циркуляции составляет 24—72 ч. При этой операции окислы железа восстанавливаются до магнетита или до металлического железа: магнетит покрывает пленкой внутреннюю поверхность, а железо выпадает в виде шлама и удаляется при продувках. Сведения о гидразинной и комплексонной пассивации отмытой от отложений поверхности металла даны также в гл. 10.

При пассивации нитритно-фосфатным или нитритно-аммиачным раствором поверхность обрабатывают при циркуляции в течение 6—12 ч и температуре 100 °С. Пассивация нитритами пригодна только для экономайзерной и испарительной поверхностей нагрева котла.

Удаление из котла пассивирующего нитритного раствора (раствор гидразина следует удалять только перед растопкой котла) и отвалившихся от стенок отложений осуществляют при помощи завершающей интенсивной промывки с использованием специального наконечника (см. рис. 12.10). После остановки и опорожнения котла надо вскрыть нижние коллекторы (отрезать трубы или колпаки) и удалить отложения вручную.

При проведении водной промывки целесообразно обстукивать экранные и кипятильные трубы из топки молотком массой 1 кг, что улучшает отделение оставшихся отложений от стенок.

12.5.7. КОНТРОЛЬ ЗА ХОДОМ ХИМИЧЕСКИХ ПРОМЫВОК

В промывочных растворах определяют:

при щелочении — щелочность по фенолфталеину и метилоранжу и содержание фосфатов титрованием, при аммиачном щелочении — pH раствора pH-метром и щелочность титрованием;

при основной (кислотной) промывке — общую кислотность титрованием едким натром по фенолфталеину или pH. Содержание Fe определяют комплексометрически. Свободную кислотность находят по разности между общей кислотностью и содержанием железа. Концентрацию гидразина находят йодометрически, а содержание взвешенных веществ и кремнекислоты — обычными методами;

при промывках композициями — содержание свободного трилона Б титрованием 0,1 н. раствором $MgSO_4$;

при водных отмывках — щелочность или кислотность отмывочных вод, содержание в них железа находят с помощью комплексометрического или колориметрического способа, а содержание гидразина — иодометрически;

в средней за всю промывку пробе отработавшего моющего раствора, отбираемой во время его слива, — pH, кислотность или щелочность и нерастворимый остаток. В связи с тем, что органические кислоты, трилон Б и ингибиторы мешают определению растворенных компонентов накипи, профильтрованную пробу отработавшего моющего раствора упаривают досуха и затем или прокаливают, или озоляют мокрым способом (выпаривают с крепкой HNO_3) и в полученном из осадка растворе определяют содержание Fe, Al, Cu, Zn, Ca, Mg, P_2O_5, SiO_2. Таким образом, находят количество удаленных отложений. Концентрации лимонной кислоты и цитрата аммония не определяют, их рассчитывают по количеству введенного реагента.

Контроль за водной промывкой котла после нитритно-аммиачной пассивации перед его пуском ведется по общему солесодержанию, а отмывка — до выравнивания солесодержания промывочной воды перед котлом и после него и до исчезновения нитритов (определение реактивом Грисса).

Оценка эффективности проведенной химической промывки ведется по состоянию образцов, вырезанных из промытых труб. При удалении отложений с наиболее загрязненных мест более чем на 90 % промывка считается хорошей, при удалении их на 80—90 % — удовлетворительной. Остаточное содержание отложений, в том числе свежей ржавчины не должно превышать 70 г/м^2.

Водно-химические промывки котлов и другого оборудования, находящегося в котельном или турбинном цехе, производятся персоналом этих цехов по программе, составленной руководством котельного или турбинного и химического цехов и под наблюдением и контролем персонала химического цеха.

12.6. Промывка пароперегревателей

Как правило, промывка пароперегревателей в условиях эксплуатации требуется только при систематически плохом качестве пара или в случаях солевых заносов змеевиков, что случается обычно только у котлов ТЭЦ, работающих с добавкой необессоленной, химически, очищенной воды. Занос растворимыми солями пароперегревателей котлов при питании их чистым конденсатом с добавкой обессоленной воды или дистиллятом наблюдается очень редко.

Отложения (слой магнетита Fe_3O_4 черного цвета), образовавшиеся при эксплуатации в результате перегрева всех или отдельных змеевиков пароперегревателя и внутренней пароводяной коррозии, химическим путем удалить обычно не удается из-за медленного растворения Fe_3O_4 даже в соляной кислоте, а также из-за трудности создания необходимой для равномерного прохода через все змеевики скорости циркуляции моющего раствора.

Основным способом удаления растворимых солей из пароперегревателей котлов ВД и СВД является общая интенсивная водная промывка со скоростью 3 м/с и более, что необходимо для прохода воды по всем змеевикам. Индивидуальные промывки змеевиков обычно невозможны из-за плотного расположения коллекторов, отсутствия лючков (даже торцевых) и перекрестного расположения змеевиков.

Схема и последовательность промывок должны быть такими, чтобы в пароперегреватель не могли попасть загрязнения, вымытые с экономайзерной и испарительной поверхностей нагрева. Эти поверхности должны быть отмыты до начала промывки пароперегревателя.

Общие профилактические промывки пароперегревателей котлов,

особенно при питании их с добавкой необессоленной воды, должны производиться по возможности при каждой остановке и обязательно при капитальных ремонтах путем заполнения пароперегревателя горячей питательной водой (конденсатом) через выходной коллектор пароперегревателя или, что хуже, через экономайзер и опорожненный барабан с последующей (после 2—3 ч настаивания) контролируемой циркуляционной промывкой змеевиков конденсатом или питательной водой до выравнивания солесодержания промывочной воды до и после пароперегревателя. Настаивание и промывку следует вести под давлением 1,0—2,0 МПа.

Перед заполнением змеевиков или промывкой их питательной водой через экономайзер из барабана спускают котловую воду на 100—150 мм ниже нижней образующей барабана и, закрыв лаз, заполняют барабан питательной водой. Однако, даже несмотря на эту меру предосторожности, вследствие разности температур и плотностей питательной и котловой воды возможно перемешивание их в барабане и попадание разбавленной котловой воды в пароперегреватель. Поэтому лучше перед промывкой пароперегревателя опорожнить котел и заполнить его свежей питательной водой. Показателями необходимости проведения индивидуальных или интенсивных общих промывок пароперегревателей являются:

а) наличие солевых отложений в образцах труб, вырезанных из первых по ходу пара змеевиков (калачей) пароперегревателя, в промежуточных или выходных коллекторах пароперегревателя;

б) пережоги змеевиков пароперегревателя, вызванные механическими загрязнениями или солевыми заносами; солевые заносы в змеевиках обычно располагаются во входной части, механические загрязнения — в нижних петлях, перегорают же обычно выходные участки, где выше температура пара, стенок змеевиков и омывающих змеевики газов; часто возникают пережоги и в радиационной части пароперегревателей;

в) периодическое или постоянное увеличение против норм ПТЭ истинного солесодержания пара;

г) течь в поверхностном пароохладителе при охлаждении пара водой с повышенным солесодержанием (более 5 мг/л), обнаруживаемая по ухудшению качества перегретого пара;

д) повышенное солесодержание воды, подаваемой во впрыскивающий пароохладитель (более 0,2—0,3 мг/л).

В двух последних случаях следует промывать только змеевики, расположенные по ходу пара после пароохладителя.

Эксплуатационные промывки пароперегревателей следует проводить конденсатом или обессоленной водой, можно (что хуже) использовать также питательную или химически обработанную, умягченную воду с температурой не выше 60 °С. В случае применения во-

ды с солесодержанием более 100 мг/л последние стадии промывки следует обязательно проводить конденсатом.

При наличии у коллекторов пароперегревателя торцевых лючков индивидуальную промывку змеевиков можно осуществлять при помощи вводимых в коллекторы наконечников, изображенных на рис. 12.14.

Контроль за промывкой пароперегревателей должен вестись только по солесодержанию, при помощи переносных солемеров-кондуктометров, мегомметров, вольтметров, но не по щелочности или хлоридам, так как из отложившихся в пароперегревателе солей наиболее трудно удаляется Na_2SO_4, не определяемый быстрыми химическими способами.

12.7. Промывка паровых турбин

Отложения солей в проточной части паровых турбин влекут за собой снижение их КПД, увеличение удельного расхода пара, увеличение перепада давлений по отдельным ступеням, рост нагрузки на упорный подшипник и повышение его температуры, что может привести к его подплавлению и сдвигу ротора.

Согласно ПТЭ (§ 18.22) повышение давления в контрольных ступенях турбин (Δp) не должно превышать 10 % при давлении пара перед турбиной выше 3,5 МПа и не должно быть выше разрешенного заводом-изготовителем.

Величина Δp определяется по формуле

$$\Delta p = \frac{p_к^{загр} - p_к^{чист}}{p_к^{чист}} \cdot 100\%,$$

где $p_к^{загр}$ и $p_к^{чист}$ — давление пара в контрольной ступени соответственно при загрязненных и чистых лопатках турбины и при одном и том же расходе пара (не менее 50 % номинального), превышение этих величин не допускается даже в том случае, если турбина работает с пропуском пара, меньшим максимально допустимого. Контроль степени заноса турбин состоит в наблюдении за приростом давления в регулирующей ступени. Реле осевого сдвига турбин срабатывает обычно только тогда, когда нагрузка на упорный подшипник уже превысила допустимые значения и подшипник начинает подплавляться.

Необходимо отметить, что в турбине отлагается относительно небольшое количество солей, содержащихся в паре, основное же их количество уносится паром в конденсатор. Растворимые соли в какой-то мере удаляются из турбин во время их пусков и остановов (ночные «провалы»), когда загрязненные лопатки омываются влажным паром. Загрязненный солями конденсат удаляется через продувочные линии ступеней или через конденсатор.

Промывка турбин влажным паром ведется путем впрыска в пар перед турбиной конденсата или (что хуже) питательной воды с солесодержанием не более 2 мг/л при нагрузке турбины менее 30—35 % со скоростью снижения или подъема температуры пара 1—1,5 °С в минуту. Контроль солесодержания конденсата должен быть непрерывным и не реже чем через 1—2 мин.

При предполагаемом наличии в отложениях кремнекислоты в воду (конденсат), впрыскиваемую в пар перед турбиной, вводят раствор едкого натра для частичного растворения SiO_2. Однако полное удаление SiO_2 с лопаток турбин при промывках «на ходу» обычно не происходит.

Очистка или промывка турбин от отложений как «на ходу», так и при остановке выполняется персоналом турбинного цеха. Химический цех осуществляет наблюдение за промывкой, контролирует качество конденсата и отложений и совместно с турбинным цехом определяет эффективность промывки по снижению перепада давления в контрольной ступени и путем осмотра проточной части турбины.

В последние годы благодаря совершенствованию водоподготовки, водного режима, внутрикотловых и сепарационно-паропромывочных устройств отложения солей и кремнекислоты в проточных частях турбин ВД и СВД резко сократились.

Наблюдающиеся же иногда незначительные отложения состоят в основном из окислов железа и меди и удаляются только механически или раствором $NaHCO_3$ и NH_3 после останова турбин.

12.8. Удаление отложений из конденсаторов, подогревателей и других теплообменных аппаратов

Удаление отложений (обрастаний) из конденсаторных трубок ПТЭ должно проводиться при ухудшении вакуума на 0,5 % по сравнению с номинальным.

Илисто-глинистые отложения и биологические обрастания вполне удовлетворительно удаляются из конденсаторов турбин «на ходу» резиновыми (или пластмассовыми) шариками диаметром, на 1—2 мм меньшим внутреннего диаметра трубок. Плотность резины должна быть 0,98—1,0 г/см^3. Число циркулирующих шариков составляет около 20 % числа трубок в конденсаторе. Схема установки для непрерывной очистки конденсаторных трубок шариками показана на рис. 3.1.

Резиновые шарики, хорошо удаляя илисто-глинистые и органические обрастания, частично снимают и карбонатные отложения, но в то же время полируя, делают их более плотными и трудноподдающимися удалению кислотой.

На некоторых станциях илисто-глинистые отложения из конденсаторных трубок удаляют высушивая их нагретым воздухом, исполь-

зуя теплоту, аккумулированную в остановленном котле, или созданием в водяном объеме вакуума. Высушивание ведется по половинам конденсатора при снижении нагрузки турбоагрегата до 30—50 %. Высушенные отложения отваливаются с трубок и вымываются водой при включении очищаемой половины конденсатора.

Биологические обрастания в конденсаторных трубках удаляются, как правило, путем периодического хлорирования циркуляционной воды (содержание Cl_2 в воде после конденсатора не более 1 мг/л), а также путем отключения конденсатора по воде (по половинам) при пониженной нагрузке с повышением температуры стенок до 45—50 °С, при которой микроорганизмы отмирают и уносятся водой при включении в работу очищаемой половины конденсатора.

Промывка конденсаторов с латунными трубками от отложений карбонатной накипи ($CaCO_3$) может проводиться соляной кислотой (1—2 %) с ингибиторами: тиосульфатом натрия $Na_2S_2O_3 \cdot 5\,H_2O$ (6—7 г на 1 г $Fe^{3+}+Cu^{2+}$ в растворе) или И-1-В 0,3—0,5 %, или смесью тиомочевины CH_4N_2S 0,2 % с гидроксиламином NH_2OH, или гидразином $N_2H_4 \cdot H_2O$ по 2 г каждой из составных частей на 1 г $Fe^{3+}+Cu^{2+}$ в растворе (максимум по 4—5 г).

Промывка должна вестись под давлением около 0,1 МПа при 25—30 °С с отводом газов. Скорость движения в трубах 0,3 м/с, продолжительность промывки 3—4 ч.

Солянокислотные промывки допустимы только в случае, если глубина обесцинкования не превышает 0,3 мм (при локальном, «пробочном» обесцинковании — 0,2 мм).

Промывка заканчивается при прекращении снижения концентрации HCl в моющем растворе или прекращении прироста в нем жесткости и концентрации железа, меди, цинка.

Более эффективна и безопасна для металла промывка конденсаторов и теплообменных аппаратов растворами низкомолекулярных органических монодикарбоновых кислот (НМК и ДКК).

Для промывки конденсаторов и теплообменных аппаратов эти исходные реагенты — «водный конденсат» (ВК) и «черная кислота» (ЧК) — разбавляются водой до концентрации НМК 5—7 %. В качестве ингибиторов применяются ОП-7 0,1 %+каптакс 0,015—0,02 % или ОП-7 0,1 % + тиомочевина 0,03 %. Низкомолекулярные кислоты НМК являются как растворителями отложений, так и ингибиторами и пеногасителями и могут применяться в смеси с соляной кислотой. Начальная реакция моющего раствора pH = 2÷2,5. Температура при чисто карбонатных накипях должна составлять —20÷40 °С, при железокарбонатных 70—75 °С. Продолжительность промывки 3—8 ч.

Промывку теплообменных аппаратов НМК также желательно вести под избыточным давлением для уменьшения образования пены.

Присутствующую обычно в ВК плавающую маслянистую пленку, состоящую из высокомолекулярных жирных кислот, необходимо уда-

лять, иначе она замаслит поверхность отложений и прекратит их растворение в моющем растворе.

Для промывки конденсаторов и теплообменных аппаратов на ТЭС в машзале должна быть предусмотрена передвижная установка, состоящая из бака вместимостью 5—15 м³ и циркуляционного кислотоупорного насоса производительностью 20—50 м³/ч при напоре 20—30 м вод. ст. Схема установки приведена на рис. 12.5.

Для промывки теплообменных аппаратов турбинного цеха можно также использовать установку, находящуюся в котельном цехе, если необходимые коммуникации не будут очень протяженными или если эту установку можно передвинуть в турбинный цех.

Глава тринадцатая

СТОЧНЫЕ ВОДЫ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ. ОЧИСТКА И ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ

13.1. Общие положения

Загрязненные сточные воды ТЭС и их водоподготовительных установок состоят из различных по количеству и качеству потоков. В их состав входят (в порядке убывания количества):

а) сточные воды как оборотных, так и прямоточных (разомкнутых) систем гидрозолошлакоудаления (ГЗУ) электростанций, работающих на твердом топливе;

б) продувочные воды оборотных систем водоснабжения ТЭС, сбрасываемые постоянно;

в) сточные воды водоподготовительных (ВПУ) и конденсатоочистительных (КОУ) установок, сбрасываемые периодически, в том числе: пресные, зашламленные, засоленные, кислые, щелочные, замасленные и замазученные воды главного корпуса, мазутного и трансформаторного хозяйства ТЭС;

г) продувочные воды паровых котлов, испарителей и паропреобразователей, сбрасываемые постоянно;

д) замасленные и зашламленные снеговые и дождевые стоки с территории ТЭС;

е) обмывочные воды РВП и поверхностей нагрева котлов (стоки от РВП котлов, работающих на мазуте, сбрасываются 1—2 раза в месяц и реже, а от других поверхностей и при сжигании твердых топлив — чаще);

ж) замасленные, загрязненные внешние конденсаты, пригодные после их очистки для питания паровых котлов-испарителей;

з) сбросные, отработанные, концентрированные, моющие кислые и щелочные растворы и отмывочные воды после химических промывок и консервации паровых котлов, конденсаторов, подогревателей и другого оборудования (сбрасываются несколько раз в год, обычно летом);

и) воды после гидроуборки топливных цехов и других помещений ТЭС (сбрасываются обычно 1 раз в сутки в смену, чаще днем).

13.2. Взаимосвязь между свежими и сточными водами ТЭС

На ТЭС должны существовать единая система водоснабжения — водоотведения, при которой сбросные воды одного типа непосредственно или после некоторой обработки могли бы быть исходными для других потребителей той же ТЭС (или внешних) (см. рис. 0.1). Например, сбросные воды прямоточных систем водоснабжения после конденсаторов, а также продувочные воды оборотных систем при небольшом (в 1,3—1,5 раза) их упаривании, а также загрязненным нефтью сточные воды ТЭЦ могут являться исходной водой ВПУ, равно как и последние порции отмывочной воды обессоливающих фильтров при $S_{отм} \leqslant S_{исх}$.

Все возвращаемые в «голову» процесса сбросные воды не должны нуждаться в обработке реагентами на предочистке, в случае же необходимости обработки известью, содой и коагулянтом они должны перемешиваться (усредняться) в сборном баке. Вместимость этого бака должна быть рассчитана на сбор 50 % всех сточных вод ВПУ за сутки, в том числе 30 % сточных вод ионитной части. Нежелательно смешивать прозрачные мягкие ($Ж_{отм} < Ж_{исх}$) и шламовые сбросные воды. Следует учитывать, что не менее 50 % всех сбросных вод ВПУ, в том числе все сточные воды предочисток всех типов, включая сбросные воды после взрыхления ионитных фильтров пресной водой, последние порции отмывочной воды ионитных фильтров обессоливающих установок, а также воды, сбрасываемые при опорожнении осветлительных и ионитных фильтров, имеют солесодержание, жесткость, щелочность и другие показатели такие же или даже лучшие, чем предочищенная и тем более исходная вода, и поэтому могут быть без дополнительной обработки реагентами возвращены в «голову» про-

цесса, в осветлители или, что еще лучше, на осветлительные, H- или Na-катионитные фильтры.

Кроме единой общей канализации для всех видов пресных вод ВПУ должны иметься и отдельные сбросные каналы для засоленных и кислых вод (щелочные должны полностью использоваться в цикле, в том числе для нейтрализации). Эти воды нужно собирать в специальные баки-котлованы.

Ввиду периодической работы земляных котлованов (преимущественно в летнее время) для моющих растворов и отмывочных вод котлов после химических промывок, после установок для нейтрализации этих вод и обмывочных вод РВП следует предусматривать возможность подачи на эти сооружения различных сбрасываемых кислых, щелочных и засоленных вод ВПУ для совместной или попеременной нейтрализации, отстаивания, окисления и передачи их в систему ГЗУ или другим потребителям. При получении из обмывочных вод РВП окиси ванадия эти воды до выделения ванадия с другими не смешивают. При этом нейтрализованная установка или, по крайней мере, ее насосы и арматура должны размещаться в утепленном помещении (см. рис. 12.3).

Засоленные воды после Na-катионитных фильтров делят на три части по их качеству и используют по-разному. Концентрированный отработавший раствор соли, содержащий 60—80 % удаленной жесткости при 50—100 %-ном избытке соли и составляющий 20—30 % общего объема засоленных вод, должен направляться в систему ГЗУ или на умягчение с возвратом на ВПУ, или на выпаривание с получением твердых солей Ca, Mg, Na, Cl, SO_4, или в земляные котлованы, откуда после смешения с другими стоками, разбавления и совместной нейтрализации его можно направлять в канализацию, на нужды ТЭС или внешним потребителям. Вторая часть отработавшего раствора, содержащая 20—30 % всей удаляемой жесткости при 200—1000 %-ном избытке соли, должна собираться в бак для повторного использования. Третья, последняя часть — отмывочная вода — собирается в другой бак для использования при взрыхлении, если ее еще нельзя направить в «голову» процесса или для первой стадии отмывки (см. § 5.8).

Концентрированные засоленные воды после Na-катионитных фильтров и нейтрализованные воды H-катионитных и анионитных фильтров (первые порции) можно подавать в системы ГЗУ для транспортировки золы и шлака. Накопление в воде ГЗУ $Ca(OH)_2$, $CaSO_4$ приводит к насыщению

и пересыщению воды этими соединениями с выделением их в твердом виде на стенках труб и оборудования.

Масла и нефтепродукты из сточных вод, оставшиеся в них после нефтеловушек, при сбросе их в систему ГЗУ сорбируются золой и шлаком. Однако при большом содержании нефтепродуктов они могут сорбироваться не полностью и находиться на золоотвалах в виде плавающих пленок. Для предотвращения попадания их с сбрасываемой водой в водоемы общего пользования на золоотвалах сооружаются приемные колодцы для сбросных вод с затворами («запанями») для задержки плавающих нефтепродуктов.

Мягкие щелочные, иногда горячие продувочные воды паровых котлов, испарителей, паропреобразователей после использования их выпара и теплоты, а также мягкие щелочные отмывочные воды анионитных фильтров могут служить питательной водой менее требовательных паровых котлов, а также (при отсутствии в теплофикационной системе теплообменников с латунными трубами) подпиточной водой закрытых систем теплоснабжения. При содержании в них фосфатов Na_3PO_4 в количестве более 50 % общего солесодержания их можно использовать для стабилизационной обработки оборотной воды, а также для растворения соли с целью умягчения ее раствора содержащимися в продувочной воде щелочами и фосфатами.

При выборе способа обработки засоленных, кислых или щелочных вод после регенерации ионитных фильтров следует учитывать резкие колебания концентраций растворимых веществ в этих водах: максимальные концентрации в первых 10—20 % общего объема сбрасываемой воды (собственно отработанные растворы) и минимальные концентрации в последних 60—80 % (отмывочные воды). Такие же колебания концентрации отмечаются и в отработанных растворах и отмывочных водах после химических промывок паровых и водогрейных котлов и других аппаратов.

В то время как отмывочные воды с небольшой концентрацией растворимых веществ сравнительно легко могут быть нейтрализованы (взаимно), окислены и вообще очищены от удаляемых загрязнений, очистка большого объема более концентрированной смеси отработанных растворов и отмывочных вод требует больших объемов оборудования, значительных затрат труда, средств и времени.

Отработанные щелочные растворы и отмывочные воды после регенерации анионитных фильтров (кроме первой порции раствора после фильтров 1-й степени) должны быть

повторно использованы внутри ВПУ. Первая же порция направляется на нейтрализацию кислых сбросных вод ВПУ и ТЭС (см. ниже).

Рекомендуются раздельные сбор, нейтрализация и использование концентрированных моющих и консервационных растворов и разбавленных отмывочных вод после химических промывок и консервации паровых котлов. Кислые обмывочные воды регенеративных воздухоподогревателей (РВП) мазутных паровых котлов собираются или в тех же нейтрализаторах, которые предназначены для нейтрализации моющих растворов, или в специальных. Если осаждение ванадия V_2O_5 производится в одну стадию, то достаточно иметь один нейтрализатор, если в две, то два.

Смешивать и совместно обрабатывать моющие растворы, обмывочные воды и консервационные растворы запрещается.

13.3. Применение доочищенных городских сточных вод

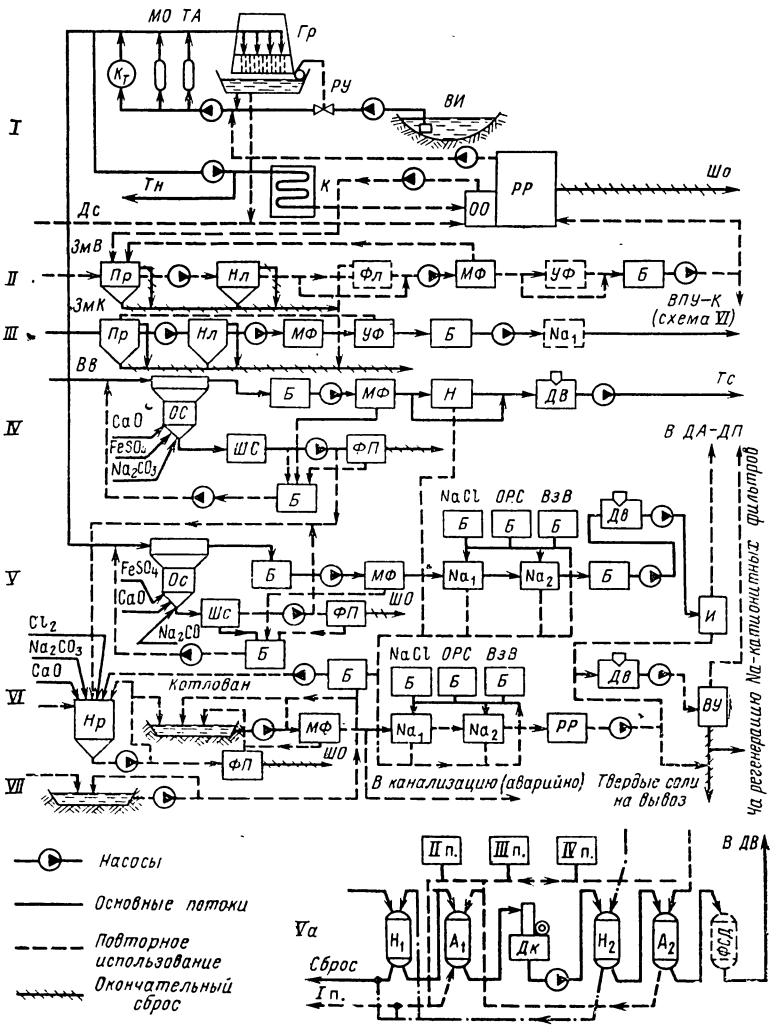
Разрешается применять доочищенные городские сточные воды (ДОСВ) на ТЭС при соблюдении следующих условий: соответствия качества ДОСВ нормам, приведенным в табл. 3.1; отсутствия разрыва струи в процессе применения ДОСВ; отсутствия непосредственного контакта работающих с водой; отсутствия у воды интенсивных окраски и запаха.

Рис. 13.1. Схема бессточной ТЭС (проект) (вариант с ионитным обессоливанием вместо дистилляции):

I — техническое оборотное водоснабжение; *II* — обезмасливание производственных сточных вод главного корпуса, мазутного хозяйства и т. д.; *III* — обезмасливание производственного конденсата; *IV* — подготовка подпиточной воды открытой теплосети; *V* — подготовка питательной воды испарителей или воды перед ионитной обессоливающей установкой; *Va* — ионитная обессоливающая установка; *VI* — обработка жестких, засоленных сточных вод с выпарной установкой; *VII* — схема накапливания и смешения различных сточных вод; *ВИ* — водоисточник; *РУ* — регулятор уровня подпитки оборотной системы; *Гр* — градирня; *ТА* — теплообменные аппараты; *МО* — маслоохладители; *Кт* — конденсаторы турбин; *К* — котлы; *Дс* — дождевой сток: *Тн* — на технические нужды; *ОО* — отстойник; *РР* — регулирующий резервуар; *ШО* — на шламоотвал; *ЗмВ* — замасленные сточные воды; *Пр*—приемный резервуар; *Нл*— нефтеловушка; *Фл* — флотатор; *МФ* — механические (осветлительные) фильтры; *УФ* — угольные фильтры; *Б* — баки; *ЗмК* — замасленный конденсат; Na_1, Na_2 — Na-катионитные фильтры; *ВПУ — К* — водоподготовительная установка котлов; *Вв* — водопроводная вода; *ВзВ* — взрыхляющая вода; *Ос* — осветлитель, Н — Н-катионитный фильтр с «голодной» регенерацией; *ДВ* — деаэратор вакуумный; *Тс* — открытая теплосеть; CaO, Na_2CO_3, $FeSO_4$ Cl_2 — реагенты; *Шс* — шламосборник; *ФП*— фильтр-пресс; *И* — испарительная установка; *Нр* — нейтрализатор (смеситель-усреднитель); *ВУ* — выпарная установка; H_1, H_2 — Н-катионитные фильтры I и II ступеней; A_1, A_2 — анионитные фильтры I и II ступеней; *Дк* — декарбонизатор; *ДА*, *ДП* — деаэраторы атмосферного и повышенного давления; *ОРС* — отработанный раствор соли; *In — IVn* — соответственно первая и последующие порции отработавшего раствора и отмывочной воды

Использование ДОСВ для полива или мытья оборудования не допускается. Должна быть исключена возможность соединения технического водопровода с хозяйственно-питьевым. Трубопроводы ДОСВ должны иметь особую окраску.

У градирен должна быть увеличена зона санитарной охраны по согласованию с органами Госсанинспекции (не



менее 50 м). На ТЭС должно быть увеличено число автоматов газированной воды и питьевых фонтанчиков, чтобы исключить возможность использования ДОСВ для питья.

13.4. Схемы ТЭС с пониженным количеством сточных вод

На рис. 13.1 приведена проектная схема бессточной мазутной ТЭС, работающей на высокоминерализованной исходной речной воде с солесодержанием около 1000 мг/л.

Система водоснабжения и водообработки ТЭС состоит из ряда основных звеньев.

I. Техническое оборотное водоснабжение ТЭС. Исходная вода забирается из природного источника *ВИ* и в качестве добавочной поступает в оборотную систему *РУ — Гр*, откуда она забирается в качестве продувочной на технические нужды ТЭС *Тн*, а также для приготовления питательной воды испарителей *V* и *Va* и обмывки поверхности нагрева котлов *К* или РВП.

Кроме воды природного водоисточника, в качестве добавочной может использоваться вода из регулирующего резервуара (земляного котлована *РР*), где могут накапливаться и осветляться в отстойнике *ОО* маломинерализованные сбросные воды, в том числе и дождевые воды *Дс* с территории ТЭС при их солесодержании не выше 1000 мг/л.

II. Очистка замасленных сбросных технических вод (ЗМВ). Очистка ЗМВ производится по схеме: приемный резервуар *ПР* — нефтеловушка *Нл* (флотатор *Фл*) — механические фильтры *МФ* (угольные фильтры *УФ*) — бак *Б* — регулирующий резервуар *РР*. Флотатор *Фл* и угольные фильтры *УФ* не являются обязательными элементами схемы, поскольку при возврате полуочищенных сточных вод с содержанием нефтепродуктов 5—7 мг/л в оборотную систему или на известково-коагуляционную предочистку ВПУ достаточно нефтеловушек и механических фильтров, особенно загруженных пековым коксом.

III. Очистка замасленного производственного конденсата (ЗМК). Очистка ЗМК производится по схеме: приемный резервуар *Пр* — нефтеловушка *Нл* — механические фильтры *МФ* — угольные фильтры *УФ* — Na-катионитные фильтры — ВПУ — *К* (схемы *V* и *Va*).

При высокой дисперсности масел и нефтепродуктов дополнительно к нефтеловушкам устанавливают флотаторы (флотаторы можно устанавливать и вместо нефтеловушек). Na-катионирование (обессоливание) конденсата может осуществляться как в специально выделенных фильтрах, так и вместе с исходной умягчаемой (обессоливаемой) водой в фильтрах основной схемы ВПУ.

IV. Подготовка подпиточной воды открытой теплосети. Она осуществляется по схеме: водопроводная вода *Вв* — известкование (содоизвесткование) в осветлителе *ОС* — механические фильтры *МФ* —

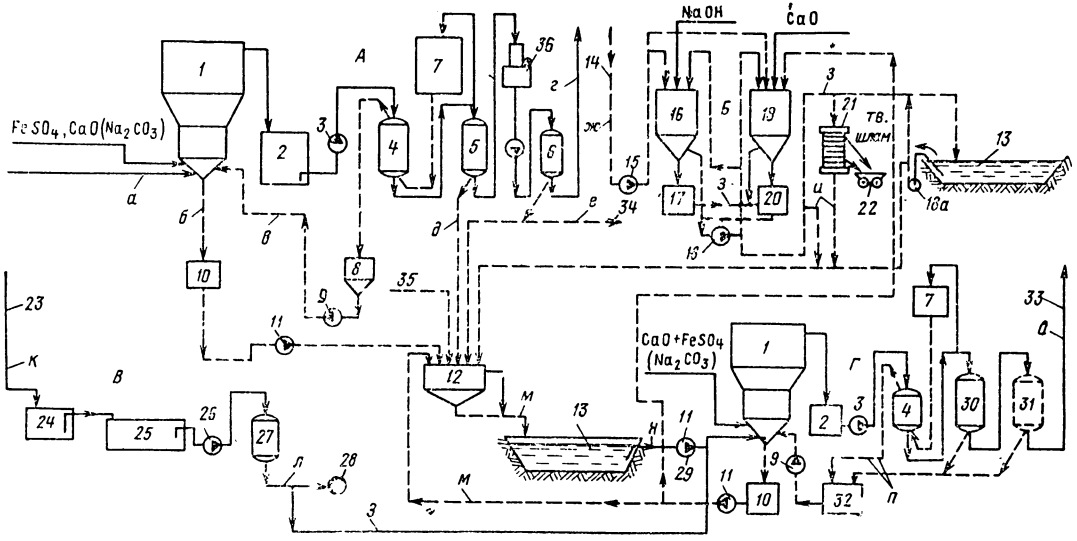


Рис. 13.2. Схема обработки исходной и сточных вод ТЭС (действующая):

А — схема обессоливания; *Б* —схема нейтрализации обмывочных вод РВП и отработанных моющих растворов; *В* — схема обезмасливания сточных вод; *Г* — схема подготовки подпиточной воды теплосети или питательной воды испарителей; *1* — осветлитель; *2* — сборник отстоенной воды; *3* — насосы; *4* — осветлительный фильтр; *5* — Н-катионитный фильтр; *6* — анионитный фильтр; *7* — бак промывочной воды; *8* — сборник шламовой промывочной воды; *9* — насос шламовой воды; *10* — сборник шлама; *11* — шламовый насос; *12* — усреднитель-нейтрализатор всех сточных вод; *13* — котлован-накопитель; *14* — обмывочные воды РВП и отработанные моющие растворы; *15* — насос; *16* — нейтрализатор I ступени; *17* — сборник ванадиевого шлама; *18* — шламовый насос; *19* — нейтрализатор II ступени; *20* — сборник кальциево-железистого шлама [$CaCO_3$+$CaSO_4$+$Fe(OH)_3$]; *21* — фильтр-пресс ФПАКМ; *22* — тележка для твердого шлама; *25* — замасленные сточные воды; *24* — сборный бак-усреднитель; *25* — нефтеловушка (флотатор); *26* — насос; *27* — осветлительный фильтр; *28* — линия подпитки оборотной системы; *29* — насос; *30* — Na-катионитный фильтр I ступени; *31* — то же II ступени; *32* — сборник сточных вод схемы *Г*; *33* — умягченная вода для подпитки теплосети или питания испарителей (в деаэратор); *34*— щелочные сточные воды анионитных фильтров для повторного использования; *35* — продувочные воды котлов и испарителей; *36* — декарбонизатор

Показатели качества воды в схеме на рис. 13.2

Точки на рис. 13.2	Вид воды	Солесодержание, мг/л	Содержание взвеси, мг/л
а	Исходная и продувочная оборотной системы	100—110	—
б	Шлам, продуваемый из осветлителя	—	2—3 % сухой
в	Шламовые воды, возвращаемые в осветлитель	—	500—1000
г	Обессоленная вода	<0,1	0
д	Кислые стоки Н-катионитных фильтров	До 10—15 тыс.	—
е	Щелочные стоки анионитных фильтров	До 20—25 тыс.	—
ж	Обмывочные воды РВП и котлов	10—20 тыс.	Много
з	Нейтрализованные сточные воды РВП после осаждения ванадия (I ступень)	10—20 тыс.	„
и	Нейтрализованные сточные воды РВП после полной нейтрализации (II ступень)	10—20 тыс.	„
к	Замасленные сточные воды	—	„
л	Обезмасленные сточные воды	—	0
м	Шлам из осветлителя	—	2—3 % сухой
н	Отстоенные сточные воды	—	10—100
о	Подпиточная вода теплосети	—	<5
п	Сточные воды, возвращаемые в осветлитель	—	500—1000

Н-катионирование или подкисление — вакуумные деаэраторы *ДВ*. Сбросные воды предочисток возвращаются в осветлители, шлам из осветлителей обезвоживается на фильтр-прессах (ФПАКМ) *ФП*, отжатые воды возвращаются в осветлители *ОС*. Все сбросные воды после Н-катионирования сбрасываются в бак-нейтрализатор концентрированных стоков *Нр* (схема *VI*).

V. Подготовка питательной воды испарителей. Эта подготовка необходима при $S_{исх} > 300 \div 500$ мг/л. Оборотная вода после конденсаторов турбин (если нужно, дополнительно подогретая), обрабатывается на предочистке реагентами $FeSO_4$, CaO, Na_2CO_3, ПАА в осветлителях *ОС*, фильтруется через механические фильтры *МФ* и Na-катионитные фильтры I и II ступеней Na_I и Na_{II} и подается в вакуумные деаэраторы *ДВ* основной группы испарителей *И*.

Жесткость, мг-экв/л	Щелочность, мг-экв/л	Кислотность	Содержание масел, мг/л	Примечание
1,8—2,0	1,6—1,8	—	2	—
0,8—1,0	1,0—1,5	—	—	—
0,8—1,0	1,0—1,5	—	—	—
0	pH=7	—	—	*<0,1 мкСм/см
60—100	—	До 0,5%	—	—
Следы	300—500	—	—	—
До 50—60	—	100—200 мг-экв/л	—	—
50—60	—	pH=3÷4	—	—
—	pH=9,5	—	—	—
2—3	1,5—2,5	—	20—100	—
2—3	1,0—1,5	—	4—5	—
1,0—2,0	1,0—1,5	—	—	—
—	pH=6,5÷8,5	—	—	—
0,05	1—1,5	pH=7÷8,5	—	—
—	1,0—1,5	0	—	—

Вторичный пар-дистиллят испарителей направляется на питание основных паровых котлов ВД и СВД.

Пресные шламовые сбросные воды предочистки возвращаются в осветлители *ОС*, шлам из осветлителей *ОС* обезвоживается на фильтр-прессе (ФПАКМ) *ФП* и удаляется в твердом виде, а отжатая вода возвращается в осветлитель *ОС*.

Сбросные воды Na-катионитных фильтров после повторного использования поступают в нейтрализаторы *Нр* при котлованах, где обрабатываются известью и содой (схема *VI*).

Va. Подготовка обессоленной воды. В случае невысокой минерализованности и жесткости исходной воды ($S<300\div500$ мг/л) взамен Na-катионитных фильтров и испарителей устанавливаются H-катионитные и анионитные фильтры с декарбонизатором (см. гл. 5 и 6),

работающие по обычной схеме. Сбросные воды после Н-катионитных фильтров и первые порции щелочных сбросных растворов после анионитных фильтров I ступени сбрасываются в нейтрализатор, а вторые, третьи и четвертые порции используются внутри обессоливающей установки для предварительной отмывки (регенерации), возвращаются в «голову» процесса (при $S_{отм} < S_{исх}$), направляются на подпитку закрытой теплосети или для питания испарителей *И*.

VI. Сбор концентрированных кислых, щелочных и засоленных вод. Воды с концентрацией солей более 0,5 % ($S > 5000$ мг/л) — отработанные моющие растворы, обмывочные воды РВП, отработанные регенерационные растворы — собираются в баке-нейтрализаторе *Нр*, где частично взаимно нейтрализуются, обрабатываются дополнительно известью (известковым шламом из осветлителей) и содой и отстаиваются.

Обработанные воды-растворы накапливаются и дополнительно осветляются в земляных котлованах и подаются через механические *МФ* и Na-катионитные фильтры Na_I, Na_{II} в регулирующую емкость *РР* или сбрасываются в канализацию. Образовавшийся в баке-нейтрализаторе *Нр* и осадившийся шлам обезвоживается на фильтр-прессе *ФП* и удаляется в твердом виде на шламовые отвалы *ШО*.

VII. Разбавление. Отмывочные воды после различных промывок оборудования собираются сначала в котловане, где они взаимно нейтрализуются, окисляются воздухом или хлором и затем после осветления вместе с обработанными концентрированными растворами направляются на умягчение и после умягчения подаются в регулирующую емкость *РР*.

После умягчения все эти сточные воды могут быть направлены или на питание основной группы испарителей, или на выпарную установку *ВУ* для получения твердых солей ($CaCl_2$, NaCl и др.) и насыщенного раствора NaCl, используемого для регенерации Na-катионитных фильтров.

На рис. 13.2 приведена схема почти бессточной ТЭС, работающей на исходной маломинерализованной воде. Показатели качества воды, получаемые при использовании этой схемы, приведены в таблице к рис. 13.2.

13.5. Технические показатели сбора, хранения, очистки и повторного использования сбросных вод ТЭС и ВПУ

13.5.1. СБРОСНЫЕ ВОДЫ ВПУ

Оборудование для обработки сбросных вод включает в себя следующие элементы:

1. Сборник пресных шламовых вод предочистки ВПУ, рассчитанный на 300 % объема воды, расходуемой на одну промывку осветлительного одно- или двухкамерного фильтра.

2. Насос для возврата шламовых вод в осветлители или на осветлительные фильтры, рассчитанный на подачу, равную 10 % суточного количества пресных зашламленных вод. Давление 25—30 м вод. ст.

3. Шламосборник-уплотнитель, рассчитанный на 150 % объема шлама, удаляемого в сутки из осветлителя (1—3 % производительности ВПУ). Он состоит из двух-трех отделений, каждое из которых должно принять весь шлам, продуваемый из осветлителя за смену. Концентрация сухого вещества в продуваемом шламе из осветлителя 2—3 %, в уплотненном 5—10 %.

4. Насос для подачи шлама на фильтр-пресс (входит в поставку фильтр-пресса ФПАКМ или вакуум-фильтра).

5. Фильтр-пресс автоматический ФПАКМ, рассчитанный на выдачу твердого шлама с содержанием 40—70 % сухого вещества. Производительность фильтра 4 кг/(м²·ч).

6. Бак для отработанного раствора соли вместимостью, равной 150 % объема свежего раствора. При размещении бака на отметке ниже 6—8 м необходим насос для подачи раствора в фильтр (Q = =3,5—4,0 м³ на 1 м² площади фильтра при подаче снизу и 5—7 м³ на 1 м² при подаче сверху).

7. Бак отмывочной взрыхляющей воды вместимостью 2 $V_{кат}$ или $3{,}5\,F\cdot 20\cdot 60+0{,}001$ м³ $=4{,}2\,F$, м², где F — площадь сечения фильтра, м². Насос для подачи взрыхляющей воды из нижнего бака должен иметь $Q=10\div 12$ м³ на 1 м² площади фильтра.

Все нейтральные и кислые отработанные воды после Н-катионитных фильтров направляются в бак-нейтрализатор для нейтрализации и умягчения. Щелочные сбросные воды после анионитных фильтров (за исключением первой порции отработанного раствора щелочи после фильтров 1-й ступени) должны быть использованы повторно.

Первая порция, составляющая до 100 % объема исходного свежего (неразбавленного в процессе регенерации) раствора, после фильтров 2-й и 3-й ступеней подается в бак для использования при следующей регенерации фильтра 1-й ступени. Целесообразна одновременная регенерация фильтров 2-й и 1-й ступеней. После фильтра 1-й ступени первая порция сбрасывается и направляется на нейтрализацию кислых стоков.

Вторая порция, также составляющая до 100 % объема исходного раствора, подается в бак для следующей регенерации фильтров 1-й или 2-й ступени или для растворения (разбавления) новых порций щелочи.

Третья порция объемом примерно 2 м³ на 1 м³ анионита в фильтрах 2-й и 1-й ступеней направляется в бак для применения при отмывке анионитных фильтров при следующих регенерациях или для растворения (разбавления) новых порций щелочи. Возможно ее последовательное применение в фильтрах 2-й и 1-й ступеней.

Четвертая порция объемом 5—7 м³ на 1 м³ анионита в фильтрах 2-й и 1-й ступеней подается в бак для последующего использования при отмывках анионитных фильтров, для подпитки закрытой теплосети и испарителей и для подачи в «голову» процесса, начиная с $S_{отм} \leqslant S_{исх}$.

Вместимость баков (3—4 бака на обессоливающую установку) зависит от принятой схемы работы Н-катионитных и анионитных фильтров и уточняется как при проектных расчетах, так и по данным эксплуатации. Важно, чтобы кроме первой порции отработанного раствора после фильтров 1-й ступени ни 1 м³ раствора щелочи (отмывочной воды) не сбрасывался в канализацию без повторного использования, а первая порция после фильтров 1-й ступени, содержащая много $SiO_2 + SiO_3^{2-}$, SO_4^{2-} и Cl^- и мало $NaOH + Na_2CO_3$, использовалась для нейтрализации кислых вод Н-катионитных фильтров.

Повторное использование отработанных засоленных сточных вод после Na-катионитных фильтров было описано в § 5.8.

13.5.2. ЗАМАСЛЕННЫЕ ВОДЫ И КОНДЕНСАТЫ

Для очистки загрязненного замасленного конденсата (воды) применяется следующее основное оборудование:

1. Приемный резервуар, рассчитанный на двухчасовой объем возвращаемого конденсата. Остаточное содержание масел в конденсате после резервуара 80—100 мг/л.

2. Нефтеловушки с глубиной проточной части 2 м, шириной секции 3—6 м, отношением длины к глубине 15—20 и числом секций не менее 2. При температуре 25—30 °С скорость в проточной части 4—6 мм/с. Гидравлическая крупность частиц (скорость всплывания капель масла) 0,4—0,6 мм/с, количество задерживаемых частиц масла 60—70 %; толщина слоя всплывшего масла до 0,1 м, толщина слоя осадка до 0,1 м. Количество задерживаемого осадка (сухого) равно 80—120 г/м³, влажность свежевыпавшего осадка при плотности 1,1 г/см² 95 %, влажность слежавшегося осадка при плотности 1,5 г/см² 70 %. Исходное содержание масел в конденсате (воде) до нефтеловушки 80—100 мг/л, конечное 20—30 мг/л.

3. Напорные флотаторы с общей продолжительностью флотации 20 мин, в том числе в зоне флотации 5 мин, в зоне отстаивания 15 мин. Уровень пены-эмульсии в зонах флотации, отстаивания на 10 % выше уровня воды. Продолжительность насыщения воды воздухом (пребывания ее в напорном резервуаре) составляет 1—3 мин, давление в напорном резервуаре 0,3—0,5 МПа, количество воздуха равно 3—5 % объема обрабатываемой воды.

Прямоугольные флотаторы глубиной 1—1,5 м применяются при производительности до 100 м³/ч, круглые глубиной не менее 3 м при производительности 100—1000 м³/ч. Могут быть использованы флотаторы ЦНИИ-5 и ЦНИИ-10 производительностью по 5 и 10 м³/ч.

4. Механические осветлительные фильтры, заполненные кварцем, антрацитом, пековым коксом, коксом, полукоксом, керамзитом. Размер зерен 0,5—1,5 мм, высота слоя 1—1,5 м, скорость фильтрования 5—10 м/ч, потеря напора 5—6 м вод. ст. (максимум 10 м). Исходное содержание масел 20—30, конечное 4—5 мг/л. Промывка снизу производится горячей водой (80—90 °С) при скорости воды 15—20 м/ч; кипячение с горячим щелочным раствором 0,5 % NaOH; продувка паром (1 т/м³ загрузки) в течение 24 ч. Промывочные воды (кроме щелочных) возвращаются в нефтеловушки.

5. Угольные сорбционные фильтры, заполненные активированным углем БАУ с размером зерен 1—3,5 мм. Высота слоя 2—3 м, скорость фильтрования до 7 м/ч. Промывка производится горячей водой (80—90 °С) при скорости подачи воды снизу 10—12 м/ч, продувка — паром в количестве 1 т/м³ загрузки. Исходное содержание масел 4—5 мг/л, конечное: после фильтра 1-й ступени 1 мг/л, после фильтра 2-й ступени 0,1—0,5 мг/л. Маслоемкость верхних слоев угля 25 % по массе. Вместо активированного угля могут применяться несколько менее активные пековый кокс и полукокс. Приемный бак для обезмасленной воды (конденсата) должен быть рассчитан на двухчасовой расход.

6. Перекачивающий насос для обезмасливаемых конденсата и воды (перед осветлительными фильтрами), рассчитан на подачу до 200 % среднечасового расхода конденсата (воды). Напор выбирается исходя из местных условий; один насос рабочий, другой резервный.

13.5.3. КИСЛЫЕ СБРОСНЫЕ РАСТВОРЫ И ОБМЫВОЧНЫЕ ВОДЫ

Для обработки отработанных кислых моющих растворов, обмывочных вод РВП и конвективных поверхностей нагрева котлов применяется следующее оборудование:

1. Приемные баки вместимостью до 300 м³ или 150×2 м³.

2. Насосы кислых вод с подачей 50—100 м³/ч, шламовых и нейтрализованных вод с подачей 50—60 м³/ч.

3. Нейтрализатор для приемки моющих растворов после химпромывок вместимостью, в 4—5 раз превышающей вместимость промывочного контура котлов (не более 500 м³). Нейтрализаторы для моющих растворов используются и для нейтрализации обмывочных вод РВП ввиду разновременности проведения этих операций. Обязательны подвод сжатого воздуха для перемешивания, подвод известкового шлама из осветлителей или известкового молока, циркуляция нейтрализуемой жидкости насосом.

4. Котлован для отстоя и окисления нейтрализованных моющих растворов и обмывочных вод после осаждения и отделения осадка с V_2O_5 вместимостью, в 7—10 раз превышающей вместимость промываемого контура. Глубина 1,5—2 м, дно и откосы выкладываются

слоем уплотненной жирной глины толщиной 200—300 мм и сверху закрываются слоями песка и гравия (щебня) толщиной 200—300 мм каждый. Целесообразно применение полиэтиленовой пленки для уплотнения дна и откосов котлована (см. также рис. 12.3).

5. Насосы для перемешивания жидкости в нейтрализаторе и котловане, аэрации и откачки ее с подачей 100—150 м³/ч.

6. Котлован для слабокислых и слабощелочных взаимно нейтрализующихся вод (pH=6÷9), имеющих после смешения pH= =6,5÷8,5, вместимостью в 10 раз большей вместимости промываемого контура (котла).

7. Насос для постоянной откачки из котлованов отстоенных нейтральных, засоленных, жестких вод в систему прямоточного водоснабжения. Подачу насоса определяют, исходя из количества и качества воды, сбрасываемой после конденсаторов и мощности водоисточника, учитывая ПДК примесей в воде последнего. При сбросе нейтрализованных вод в оборотную систему должны учитываться фактическое и допустимое качество оборотной воды, концентрация загрязнений в продуваемой оборотной воде и скорость окисления их кислородом воздуха.

Скорость окисления гидразина, нитритов, а также органических веществ (органических кислот и их солей, трилона Б, комплексонатов, ингибиторов) может быть определена только в условиях эксплуатации путем систематического определения или самих ингредиентов или, что хуже, перманганатной окисляемости. Более надежно, но много сложней и дольше определение бихроматной окисляемости (химического потребления кислорода ХПК). Скорость окисления позволяет устанавливать количество загрязненной воды, которую можно подавать в оборотную систему.

Глава четырнадцатая

КОНТРОЛЬ И ОЦЕНКА РАБОТЫ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ И ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

14.1. Задачи и виды контроля

Контроль водоподготовки и водного режима состоит из отдельных видов, дополняющих друг друга и в своей совокупности дающих правильную оценку работы ВПУ и водно-химического режима. Сюда относятся:

а) текущий, или оперативный контроль, осуществляемый обычно круглосуточно и позволяющий своевременно

заметить и устранить отклонения. Он осуществляется по показаниям приборов или по результатам ручных анализов сменным персоналом лабораторий и ВПУ. Методики текущего контроля должны быть быстрыми и простыми, даже если это несколько снижает их точность. Иногда применяются и косвенные методики;

б) углубленный периодический контроль, включающий в себя «полные» анализы разовых или средних проб;

в) углубленный и учащенный контроль при пуске, наладке и испытаниях водоподготовительного оборудования и паровых котлов;

г) контроль во время очисток и промывок от отложений (накипи, солей, шлама и т. д.) котлов, турбин, теплообменных аппаратов;

д) внутренние осмотры остановленного оборудования: деаэраторов, паровых котлов, турбин, конденсаторов с определением наличия и степени развития коррозии, количества отложений и их типа; осмотр контрольных участков, вырезанных из труб поверхностей нагрева водно-парового тракта котла и теплообменников; анализ накипи, шлама, продуктов коррозии и растворимых солей, отложившихся в агрегатах и трубопроводах; применение индикаторов;

е) контроль во время консервации агрегатов;

ж) контроль качества реагентов и фильтрующих материалов;

з) контроль сточных вод станций и процессов их очистки.

Вопросы организации и осуществления контроля работы водоподготовительных установок и водно-химического режима работы ТЭС вследствие их большого объема (организация и оснащение лабораторий, отбор и подготовка проб, приборный и ручной контроль, автоматические приборы-регуляторы, объем и периодичность контроля, методики ручного контроля качества воды, отложений, реагентов, точность определений и т. д.) не могут быть изложены не только в одной главе, но и в одной специальной книге, даже при сравнительно поверхностном изложении.

В настоящей главе даются лишь указания по осмотру эксплуатируемых котлов и турбин и оценке их состояния с точки зрения коррозии, отложений продуктов коррозии, кальциево-магниевых и силикатно-фосфатных шлама и накипи, а также растворимых солей, по вставке и вырезке контрольных участков труб поверхностей нагрева, по установке и осмотру индикаторов коррозии и накипеобразования.

Вопросы оснащения паровых котлов — устройствами для отбора подготовки проб, а также указания по осмотру новых паровых котлов были изложены в гл. 11.

14.2. Оценка водного режима энергообъектов по состоянию паровых котлов и турбин

Правильность водного режима, осуществляемого на станции, на ее отдельных блоках или агрегатах, определяется в конечном счете их состоянием, т. е. отсутствием или наличием явлений коррозии, отложений накипи, продуктов коррозии и растворимых солей на тех или иных участках пароводяного тракта и, конечно, в первую очередь отсутствием аварий или неполадок в работе агрегатов, вызванных этими нежелательными явлениями.

Оценка водного режима может быть дана и по результатам оперативного его контроля, по количеству, размерам и продолжительности отклонений качества воды и пара от установленных норм (см. табл. 14.3).

Однако наиболее достоверно состояние агрегатов, в первую очередь паровых котлов, может быть оценено по результатам их внутреннего осмотра в доступных для этого местах, по результатам осмотра контрольных участков, устанавливаемых и вырезаемых из наиболее теплонапряженных или других характерных мест поверхности нагрева (см. рис. 12.1). Осмотры котлов и других теплосиловых агрегатов и вырезка контрольных участков должны производиться при каждом капитальном ремонте и не реже одного раза в 2—4 года.

14.3. Краткие указания по осмотру эксплуатируемых турбин и паровых котлов

Постоянно выделенные для этой цели работники химического цеха или лаборатории вместе с работниками турбинного и котельного цехов осматривают проточную часть турбин, внутрибарабанные устройства и внутренние поверхности паровых котлов, чтобы обнаружить отложения шлама, накипи, растворимых солей, продуктов коррозии, следы коррозионных повреждений, определяют места установки и вырезки контрольных вставок (участков) в трубах паровых котлов, осматривают их, участвуют в установке, выемке и осмотре контрольных труб и индикаторов коррозии

и накипеотложения в водно-паровом тракте, определяют ход дальнейших исследований.

При осмотре наружной стороны поверхностей нагрева обращают внимание на наличие или отсутствие отдулин, трещин и свищей на обогреваемой стороне труб. Обращают внимание также на наличие коррозионных повреждений и отложений, а также солевых натеков из вальцовочных соединений и золового износа труб экранов, конвективных пучков, пароперегревателей, экономайзеров и воздухоподогревателей.

При осмотре бывших в эксплуатации паровых котлов основное внимание должно быть обращено на следующие основные узлы и участки поверхности нагрева и водопарового тракта.

Питательный тракт, коллекторы и змеевики водяных экономайзеров. Здесь возможны отложения окислов железа и язвы кислородной коррозии, вызванные неудовлетворительной деаэрацией. Средние и выходные части змеевиков экономайзеров поражаются кислородной коррозией реже, поскольку кислород расходуется в основном во входной части. Однако иногда, при наличии в питательной воде веществ, разлагающихся при повышении температуры с выделением кислорода, язвенной коррозии подвергаются почти исключительно выходные части змеевиков. Возможна также пароводяная коррозия выходных концов тех змеевиков кипящего экономайзера, где недостаточен или отсутствует проток воды. Иногда при слабом или пульсирующем потоке пароводяная смесь расслаивается и пар при 450—500 °С корродирует только верхнюю часть труб горизонтальных выходных участков змеевиков экономайзера. При периодическом расслоении пароводяной смеси и колебаниях температуры стенок змеевиков по верхней образующей возможно появление трещин температурной усталости. При повышенной жесткости питательной воды в экономайзерах возможны отложения, состоящие в основном из соединений кальция, магния и наносных окислов железа.

Барабаны. Здесь следует обращать внимание на наличие и толщину отложений шлама на питательных устройствах, в устьях опускных труб, на стенках барабана, на перегородках и устройствах, расположенных в водяном объеме, а также на наличие и толщину накипи в устьях подъемных труб. В паровом объеме барабанов обращают внимание на наличие и количество шлама на стенках барабана и особенно на пароприемных устройствах, а

также на шламовые следы колебаний уровня воды на стенках.

Внутренняя поверхность экранных труб. При осмотре образцов, вырезанных из экранных труб, расположенных в зоне факела и на скатах холодных воронок в топках с жидким шлакоудалением, основное внимание обращается на наличие, толщину и свойства отложений. Они состоят обычно из окислов железа, меди, цинка, реже кальция, магния, кремнекислоты, фосфатов железа или феррофосфата натрия (последние возникают при недостатке щелочи).

Особенно часты, значительны и опасны эти отложения на обогреваемой стороне экранных труб солевых отсеков в зоне факела. Для выявления этих отложений при каждом капитальном ремонте необходимо вырезать и исследовать контрольные участки из панелей солевых отсеков.

Нижние коллекторы экранов. Если есть возможность их осмотреть, то обращают внимание как на наличие отложений на внутренней поверхности коллекторов и в устьях опускных и подъемных труб, так и на скопления шлама, чешуек отпавшей накипи или продуктов коррозии.

Светло-бурые язвы и сплошные поражения кислородной стояночной коррозией чаще всего можно обнаружить на нижней части внутренней поверхности барабанов, коллекторов и труб, где застаивается вода, возле зеркала воды и ближе к лазам и лючкам. Темные бугорки кислородной коррозии, обнаруживаемые сразу же после вскрытия барабанов и коллекторов еще теплого котла (потом они могут посветлеть в результате окисления Fe_3O_4 в Fe_2O_3), свидетельствуют о коррозии во время работы или о стояночной коррозии во время предыдущей остановки. Язвы кислородной (стояночной) коррозии располагаются обычно ближе к концам труб, вблизи от барабанов. Язвы ракушечной подшламовой коррозии наблюдаются возле выступающих внутрь сварных швов, где скапливаются окислы железа.

Неплотности в сепарационных устройствах обнаруживаются или по следам шлама, начинающимся у неплотностей, или, наоборот, по чистой поверхности, если через неплотность бьет струя пара.

Пароперегреватели. В них следы солевого заноса скорее всего могут быть обнаружены в змеевиках первой ступени и в промежуточных (перекидных) коллекторах. В коллекторах перегретого пара и выходных концах змеевиков обычно наблюдается черный налет или твердая, прочно сцепленная с металлом пленка окислов железа черного цве-

та (магнетита), свидетельствующая о протекании пароводяной коррозии.

Во всех случаях определение глубины язв, толщины или количества отложений проводится путем снятия отпечатков, измерения толщины глубиномерами, линейками или полного снятия и взвешивания отложений, снятых с измеренной площади (25—100 см^2) внутренней поверхности вырезанных и разрезанных вдоль контрольных участков труб.

Количество и свойства отложений определяют отдельно как на стороне трубы, обращенной в топку (огневой, обогреваемой стороне), так и на стороне, обращенной к кладке (тыльной, необогреваемой).

Взамен вырезанных при капитальном ремонте контрольных участков вваривают новые куски труб, вырезаемые при следующем капитальном ремонте или после химической промывки котла.

Все замеченные при осмотре котла отклонения от нормы должны быть подробно отмечены в акте осмотра или специальном журнале. Пробы отложений, накипи, шлама, продуктов коррозии должны быть отобраны или из одного места, или из мест, находящихся в одинаковых условиях работы, и проанализированы.

14.4. Указания по вырезке и вставке контрольных участков в трубах паровых котлов

Контрольные участки должны вырезаться из тех мест, которые наиболее показательны для целей исследования, т. е. из мест, где тот или иной процесс протекает с наибольшей активностью и является наиболее опасным. Приходится также учитывать и доступность мест для вырезки и вставки участка (наличие каркаса, обшивки, обмуровки). Могут быть рекомендованы следующие места расположения вставок и вырезок:

а) на входном участке змеевика экономайзера на расстоянии 500—1000 мм от входного коллектора. Здесь наиболее вероятны процессы кислородной коррозии металла, особенно во время простоев парового котла, отлагаются окислы железа и фосфатно-кальциевые соединения при централизованном фосфатировании;

б) в среднем участке того же змеевика кипящего экономайзера, а также на выходном участке (на расстоянии 500—1000 мм от выходного коллектора) некипящего эко-

номайзера. Вырезки делаются для сравнения с входным участком;

в) в выходном участке змеевика кипящего экономайзера на расстоянии 500—1000 мм от выходного коллектора. На этом участке по верхней образующей горизонтального участка змеевика иногда наблюдаются трещины или сливающаяся язвенная коррозия;

г) в опускных трубах чистых отсеков. Вырезки целесообразны в случаях, когда желают убедиться, насколько интенсивно эти трубы заносятся отложениями. В опускных трубах чистых отсеков и котлов без ступенчатого испарения отлагаются преимущественно фосфатно-кальциевый шлам и окислы железа. Иногда окислы железа отлагаются возле сварных стыков в виде лепешек с находящимися под ними язвами подшламовой коррозии. Отложения эти обычно мягки и легко удаляются шарошкой;

д) в участках труб экранов, расположенных на уровне ядра факела и немного выше его. Эти участки, имеющие большие теплонапряжения, наиболее важны для определения загрязненности поверхностей нагрева. Здесь, а также в первых трех рядах труб конвективного пучка и в фестонах, находящихся в зоне радиационного обогрева и нередко омываемых факелом, наиболее интенсивно отлагаются железоокисные, железофосфатные, цинкофосфатные, силикатные и медьсодержащие отложения.

В паровом котле со ступенчатым испарением загрязнения концентрируются в котловой воде солевых отсеков, и потому образование отложений наиболее интенсивно в экранных трубах этих отсеков, особенно если панель, включенная в эту ступень испарения, расположена посередине бокового экрана, т. е. наиболее близко к ядру факела. При этом отложения возникают на наиболее теплонапряженной стороне трубы, обращенной в топку. Отложения особенно велики в экранных трубах, расположенных напротив горелок при их одностороннем расположении. В некоторых случаях вырезки делают также из труб, расположенных на скатах холодных воронок топок. Эти вырезки особенно важны для паровых котлов с жидким шлакоудалением, в топках которых ядро факела снижено. Здесь, помимо благоприятных условий для образования железоокисных отложений, возможно (в нижних частях ската) еще и расслаивание пароводяной смеси, что может привести и к пароводяной коррозии на стороне труб, обращенной в топку. Все эти соображения нужно учитывать при вырезке контрольных участков.

Вырезки из верхней части экранов производятся сравнительно редко для сравнения с состоянием вырезок из тех же труб в районе ядра факела.

Вырезки из змеевиков пароперегревателя производятся из двух мест по ходу пара: первое — на втором-третьем витке от входа пара, где происходит полное выпаривание внесенной влаги и отложение солей, а второе — в местах с наибольшей температурой пара.

В паровых котлах с высокой температурой перегрева (выше 450 °С), имеющих две секции пароперегревателя (первую из углеродистой и вторую из легированной аустенитной стали), вырезки делают из выходной части змеевиков как первой, так и второй секции. В отдельных случаях, когда факел может затягиваться в зону пароперегревателя, следует вырезать контрольные участки и из витков змеевиков, наиболее близких к топке, куда достигает факел.

При вырезке контрольных участков труб газовыми горелками необходимо предотвращать попадание капель металла и шлака в нижние участки труб. Для этого следует, помимо «сдувания» металла с поверхности трубы в месте разреза, отрезать контрольные участки сначала снизу, а затем, предварительно отогнув трубу в сторону или засунув в разрез кусок кровельного железа — сверху*.

При обычных капитальных ремонтах делаются вырезки на уровне ядра факела: по одной из фронтового и заднего экранов, по одной из панелей чистых отсеков боковых экранов и по одной из панелей каждого солевого отсека.

В паровых котлах без ступенчатого испарения вырезают по одному участку из средней части каждого экрана на уровне ядра факела. При специальных обследованиях вырезки делают из большего числа мест — по две-три вырезки из каждого экрана.

Места вырезок уточняют в зависимости от конструкции котла, устройства топки, размещения каркаса, обшивки, наружных труб и условий эксплуатации. Ориентировочно эти места показаны на рис. 12.1.

Взамен вырезанных вставляют новые участки из не бывших в работе труб. Перед вваркой должна быть определена загрязненность вновь ввариваемых труб в г/м^2. Эти участки вырезаются при следующем капитальном ремонте, причем в отдельных случаях вырезаются и соседний с кон-

---

* ОРГРЭС рекомендует применять наждачный диск с пневмо- или электроприводом. См. Информационное сообщение БТИ ОРГРЭС № Т-30/67.

трольным участок трубы длиной 200—250 мм, работающий с момента пуска котла в эксплуатацию.

Вырезки контрольных участков делают при каждом капитальном ремонте, а также при аварийных остановах. В отдельном случае, помимо участка поврежденной трубы (с отдулиной, свищом), вырезают также и участок соседней, неповрежденной трубы. Эта вырезка необходима, так как из аварийной трубы струей пара (пароводяной смеси) удаляются бывшие в ней отложения, которые сохраняются в неповрежденной трубе, находящейся примерно в тех же тепловых и гидравлических условиях работы, что и аварийная. Участки труб еще до вырезки очищают снаружи и маркируют мелом или краской, наносят пометки на сторонах трубы, обращенных в топку и к обмуровке, а также указывают место вырезки, название экрана, номер трубы и т. д. Эти данные могут быть записаны на листе бумаги, приклеиваемом к трубе.

Вырезанные участки предохраняют от ударов, доставляют в механическую мастерскую, где на токарном станке или ножовкой от них отрезают оплавленные при газовой резке концы, а из средней части вырезают контрольные куски длиной 200—300 мм, разрезаемые затем всухую на фрезерном или строгальном станке или ножовкой вдоль оси на две половины: одну — обращенную в топку, и другую — к обмуровке (рис. 14.1). При вырезке контрольных участков ножовкой длина их должна быть не менее 300 мм, при вырезке газовой горелкой — не менее 500 мм.

К приготовленным таким образом образцам привязывают бирки или наклеивают на них этикетки и доставляют образцы в лабораторию. Все образцы должны быть тщательно осмотрены и описаны. Должно быть зафиксировано наличие отложений, равномерность их распределения, цвет, однородность, толщина, твердость, прочность сцепления отложений с металлом, а также их магнитные свойства. Отобранные отложения должны быть подвергнуты химическому анализу. Отложения из пароперегревателей проверяются на растворимость в горячей воде. Навеска отложений переводится в водный раствор, в котором определяют щелочность по фенолфталеину и метилоранжу и ионы Cl^-, SO_4^{2-}, CO_3^{2-}, PO_4^{3-}, OH^-. Определяют также количество нерастворимого остатка.

Отложения из парогенерирующих (экранных) и опускных труб проверяют на растворимость в горячей соляной кислоте 1 : 1 и определяют в них привес или потерю при прокаливании, а также содержание SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3,

CaO, MgO, P_2O_5, CuO, (Cu), ZnO, CO_2, SO_3 и нерастворимый в кислоте остаток.

Кроме состава отложений, определяют также их количество, для чего с выбранного участка внутренней поверхности трубы, обращенной как в топку, так и к обмуровке, полностью удаляют все отложения (с каждой стороны отдельно).

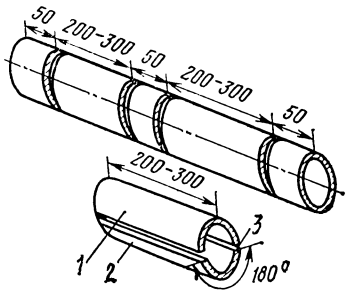


Рис. 14.1. Схема разрезки контрольного участка:
1—огневая обогреваемая сторона; *2* — тыльная необогреваемая сторона; *3* — линия разреза

Наружную поверхность труб перед удалением внутренних отложений зачищают шабером или напильником до металла, чтобы наружные отложения не загрязняли внутренние. Применять наждачную бумагу, напильники, наждачные круги при определении удельной зашламленности внутренней поверхности нельзя, так как это ведет к увеличению количества отложений за счет попадания в них опилок металла, наждачного порошка и т. д. При определении числа язв для удаления отложений (без взвешивания) наждачную бумагу, напильники и т. д. применять можно.

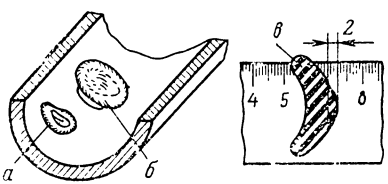


Рис. 14.2. Снятие воскового отпечатка для определения глубины язв:
а — язва; *б* — слепок; *в* — разрез слепка

Удельную загрязненность поверхности нагрева, г/м², определяют по формуле

$$П = \frac{G \cdot 10\,000}{f},$$

где G — масса отложений; f — площадь, с которой были собраны отложения, см².

Толщину отложения и глубину язв определяют глубиномером или восковыми отпечатками (рис. 14.2), а также специальной лупой с масштабной шкалой. Восковой отпечаток разрезают лезвием бритвы по центру и определяют высоту бугорка, т. е. глубину язвы.

Толщину отложений можно определить также по удельной загрязненности, условно принимая плотность отложе-

ний равной двум. Так, при загрязненности 2540 г/м² и плотности 2 г/см³ средняя толщина отложений составит

$$\frac{2540 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^6} = 1{,}27 \text{ мм}.$$

Если отложения состоят из нескольких слоев, различных по цвету и твердости, то необходимы послойное их удаление и раздельный анализ. Мягкие отложения снимают ножом, скальпелем, маленьким шабером. Они должны быть собраны и взвешены отдельно. Плотный слой отложений (магнетита) снимают при помощи разработанного ВТИ катодного способа[1] или путем смятия (разгибания) половинки трубы в тисках, при котором отложения отскакивают от металла.

Плотные отложения также собирают и взвешивают отдельно. Определяют площадь внутренней поверхности трубы, с которой отскочили отложения. При помещении половинки трубы в тиски ее завертывают в плотную бумагу.

При осмотре отмечают также характер поверхности отложений: ровная, бугристая, вспученная и т. д.

При осмотре образцов труб из экономайзера необходимо обращать внимание на наличие, высоту (глубину), диаметр и количество бугорков или язв, расположенных на площади 100 см², на плотность этих бугорков и их форму (ориентированность по потоку воды), на наличие, глубину и диаметр язв под бугорками, а также на форму язв. Необходимо обращать внимание и на наличие под бугорками черной жидкости (свежие язвы) или покрытие дна язв (без бугорков) сухими отложениями такого же типа, что и на остальной поверхности трубы, что служит признаком затухшей коррозии. Язвы могут сливаться друг с другом или быть мелкими, одиночными, рассеянными, но глубокими. Иногда язвы могут иметь форму пузыря в металле с узким отверстием у поверхности.

Форма записи результатов осмотра показана в табл. 14.1.

Суммирование результатов осмотра. Все результаты осмотров, измерений и анализов должны быть записаны в акте или журнале осмотра и состояния оборудования. Один образец с наклеенной на него этикеткой или привязанной биркой должен храниться в специальном шкафу в химическом или котельном цехе или в комнате технической уче-

---

* Катодный способ снятия отложений пригоден только для определения их количества, но не состава.

Таблица 14.1. Примерный образец записи

Объект исследования	Характеристика объекта
Образец № 1	
Место вырезки	Входная петля водяного экономайзера, змеевик № 15 (считая от фронта на расстоянии 1000 мм от входного коллектора)
Состояние поверхности	Внутренняя поверхность трубы покрыта тонким буроватым налетом, имеются отдельные бугорки (3—5 шт. на 100 см^2) темно-бурого цвета, плотные, ориентированные по потоку воды, $d=5\div8$ мм, $h=3$ мм. Под бугорками незначительные язвочки, $d=1$ мм, $h=0{,}3$ мм. Отложения и бугорки легко удаляются. В бугорках и налете содержатся PO_4^{3-}, Ca, Fe. Масса отложений 130 г/м^2
Выводы	Язвы и бугорки стояночного происхождения с последующим наносом продуктов коррозии из питательной воды. Фосфатные отложения являются результатом центрального фосфатирования и повышенной жесткости питательной воды. Состояние образца — удовлетворительное
Образец № 2	
Место вырезки	Правый боковой экран, панель солевого отсека, труба № 38 (счет с фронта) на высоте 1000 мм над пылевыми горелками. Труба с отдулиной, $d=100$ мм, $h=5$ мм, но без свища
Наличие и равномерность отложений	Имеются равномерные отложения по поверхности, но неравномерные по толщине
Толщина отложений	На огневой стороне 1—3 мм, на тыльной стороне 0,1—1,0 мм
Цвет отложений	Черно-бурый с фиолетовым оттенком
Однородность отложений по толщине и цвету	Неоднородные, имеются красноватые блестки (металлическая медь)
Твердость, сцепляемость	Твердые, прочно сцепленные с металлом
Магнитность	Притягиваются магнитом
Количество отложений	На огневой стороне 2540 г/м^2, на тыльной стороне 300 г/м^2
Выводы	Отложения содержат Fe_3O_4 и Cu, что свидетельствует о коррозии пароводяного тракта, конденсаторных и бойлерных трубок из-за наличия CO_2, NH_3, O_2 и о высоких местных тепловых напряжениях поверхности экранов. Количество загрязнений недопустимо велико, имеется отдулина, аварийно требуется очистка от отложений панелей солевых отсеков, проверка других труб на наличие отдулин и замена всех поврежденных участков

Продолжение табл. 14.1

Объект исследования	Характеристика объекта
Образец № 3	
Место вырезки	Выходная петля змеевика пароперегревателя на расстоянии 1000 мм от выходного коллектора. Материал — сталь 20, змеевик № 38, счет слева
Отложения	Черные, прочно сцепленные с металлом, толщиной 0,5 мм, притягиваются магнитом
Выводы	Наличие черных отложений Fe_3O_4 свидетельствует о пароводяной коррозии и высокой температуре пара, выходящего из данного змеевика (>500 °С), в результате плохой вентиляции змеевика (засорения механическими примесями или солями во входных петлях) или неравномерного обогрева змеевика. Нужно вырезать для контроля входные петли этого змеевика
Образец № 4	
Место вырезки	Вторая петля от входного коллектора змеевиков пароперегревателя № 37 и 38, счет слева
Отложения	Поверхность чистая, черных окислов железа, солевых отложений и язв нет в обоих змеевиках
Выводы	Змеевик № 38 (а также № 37) находится в газовом коридоре и подвергается более сильному нагреву, чем остальные. Необходимо закрыть газовый коридор

бы для сравнения с состоянием образцов, вырезанных при других капитальных ремонтах.

Если вырезки контрольных участков после трех-четырех кампаний работы парового котла, т. е. после трех-четырех капитальных ремонтов, а также вырезки из однотипных паровых котлов, работающих в одинаковых тепловых и гидравлических условиях, будут свидетельствовать об их хорошем состоянии и покажут отсутствие разницы в их состоянии, то можно увеличить периоды между вырезками до 4—5 лет (две межремонтные кампании) или делать вырезки из однотипных паровых котлов поочередно — в один год (кампанию) из одного котла, на следующий год (кампанию) — из другого.

14.5. Таблицы для оценки состояния паровых котлов и турбин

Сравнительная оценка состояния паровых котлов и турбин с точки зрения водно-химического режима делается по табл. 14.2—14.6.

Таблица 14.2. **Сравнительная оценка состояния паровых котлов и турбин**

Оценка состояния	Описание состояния поверхности
Отличное	Отсутствие каких-либо замечаний по состоянию поверхности нагрева (наличию накипи, коррозии, отложений солей)
Хорошее	Незначительные явления коррозии только стояночного происхождения, незначительные отложения накипи или продуктов коррозии, незначительные солевые наносы, позволяющие агрегату проработать 2—3 года без капитального ремонта и удаления отложений
Допустимое (удовлетворительное)	Более значительные явления коррозии, более существенные отложения продуктов коррозии, накипи растворимых солей, не препятствующие, однако, работе агрегата и не вызывающие необходимости в капитальных ремонтах чаще чем 1 раз в 2 года и удаления отложений чаще чем 1 раз в год (8—10 тыс. ч)
Неудовлетворительное	Значительные явления коррозии, опасные по размерам отложения продуктов коррозии, накипи, солей, требующие остановки агрегата и устранения отложений в течение 1—3 ближайших месяцев.
Аварийное	Состояние, требующее немедленной остановки для очистки, принятия мер по борьбе с коррозией

Для оценки зашламленности поверхностей нагрева новых, не бывших в работе паровых котлов можно использовать рекомендации П. А. Акользина:

Оценка зашламленности	Количество отложений, г/м²
Незначительная	До 50
Допустимая (не требующая удаления отложений)	До 200
Недопустимая (удаление требуется)	Более 200

Таблица 14.3. Оценка водного режима по данным химического

Оценка	Питательная вода		Котловая
	Реакция pH	Жесткость, железо, медь, кремниевая кислота SiO_3^{2-}, кислород O_2, свободная углекислота CO_2, свободный аммиак NH_3	Сухой остаток, солеили кремнесодержание
Отлично	9,0—9,2	Без отклонения в сторону превышения	От 90 до 100 % нормы
Хорошо	8,8—9,5	Превышение норм не более чем на 25 % в течение не более 3 % времени (25 ч в месяц)	80—100 % нормы
Удовлетворительно	Не ниже 8,5	Превышение норм не более чем на 50 % в течение не более 7 % времени (50 ч в месяц)	70—100 % нормы
Плохо	Ниже 8,5	Превышение норм более чем на 100 % в течение не более 15 % времени	60—110 % нормы
Очень плохо	Ниже 8,5	Превышение норм более чем на 100 % в течение более 15 % времени (более 100 ч в месяц)	50—120 % нормы

*При составлении таблицы учитывалось, что нормы качества даются с запасом 25—
**Для солевых отсеков 100 мг/л, для чистых—более 50 мг/л.

Предельная загрязненность поверхности нагрева экранных труб с огневой (обогреваемой) стороны эксплуатируемых барабанных паровых котлов давлением 100—140 МПа характеризуется следующими значениями:

Вид топлива	Количество отложений, г/м²
Торф, коксовый газ	800
Уголь	600
Смесь твердого с жидким и жидкого топлива с газообразным	400

Средняя скорость прироста отложений в барабанных паровых котлах с давлением 10,0—14,0 МПа, работающих на мазуте, при нормальном качестве питательной воды составляет 0,03—0,04 г/(м²·ч), или 200—250 г/(м²·год), пе-

контроля (отклонения от установленных норм) *

Вода		Пар
Фосфат-ион PO_4^{3-}	Щелочность по фенолфталеину $Щ_{фф}$ или pH	Солесодержание в пересчете на NaCl—Na_2SO_4, кремнесодержание SiO_3^{2-}, свободная углекислота CO_2, электропроводность
От 100 до 120% минимума	Не ниже установленных норм; pH=9,5÷10,7	Без превышений
От 100 до 150 % минимально допустимого	Не ниже установленных норм	Превышение не более чем на 25 % в течение не более 3 % времени (25 ч в месяц)
От 100 до 170% минимально допустимого	Наличие окраски по фенолфталеину; pH=9÷9,5	Превышение норм не более чем на 50 % в течение не более чем 7 % времени (50 ч в месяц)
75—200 % минимально допустимого	Отсутствие окраски не более чем в 20% анализов; pH<8,5	Превышение норм более чем на 100 % в течение не более 15 % времени (более 100 ч в месяц)
Ниже 2 мг/л и более 100 мг/л**	Отсутствие окраски более чем в 20 % анализов; pH <8,5	Превышение норм более чем на 100 % в течение более 15 % времени (более 100 ч в месяц)

50 %.

Таблица 14.5. **Оценка интенсивности коррозии паровых котлов высокого давления (по данным А. П. Мамета и Т. Х. Маргуловой)**

Характеристика коррозионного процесса	Скорость язвенной коррозии, мм/год	Скорость равномерной коррозии, мм/год	Содержание железа в питательной воде (в результате коррозии тракта питательной воды), мг/л	Наличие коррозионных межкристаллитных трещин*
Коррозия практически отсутствует	0,00—0,05	0,00—0,02	0,00—0,01	Отсутствует
Слабая коррозия	0,05—0,2	0,02—0,08	0,01—0,02	»
Допустимая коррозия	0,2—0,25	0,08—0,1	0,02—0,035	»
Сильная коррозия	0,25—1,2	0,1—0,4	0,035—0,1	Обнаруживается
Аварийная коррозия	Более 1,2	Более 0,4	Более 0,1	То же

*Трещины температурной усталости на внутренней поверхности днищ барабанов и стали ГНМ-16, на гибах труб, а также возле трубных очков, вызванные дефектами металла и изготовления, частыми и резкими падениями температуры металла стенок барабана при аварийных остановках, от качества воды не зависят.

Таблица 14.4. **Состояние отдельных элементов парового котла по коррозии и межкристаллитным повреждениям**

Оценка состояния	Экономайзеры	Барабаны, испарительная поверхность	Пароперегреватель
Отличное	Отсутствие язв во входной части	Отсутствие язв в барабанах и трубах. Отсутствие межкристаллитных трещин. Отсутствие течей и солевых наростов снаружи котла	Отсутствие язв и черного налета в выходной части
Хорошее	Затянувшиеся сухим налетом язвы прекратившейся коррозии глубиной не более 0,5 мм	Язвы прекратившейся коррозии глубиной до 1—2 мм; отсутствие межкристаллитных трещин, течей, наружных солевых наростов	Отсутствие черного налета в выходной части. Язвы прекратившейся коррозии
Удовлетворительное	Отдельные свежие язвы стояночного происхождения числом 1—2 на 100 см² внутренней поверхности входного коллектора и в устьях глубиной не более 0,2—0,3 мм	Отдельные свежие язвы стояночного происхождения только в барабане или в устьях труб числом до 1 на 100 см², глубиной до 0,5—0,7 мм; отсутствие трещин, течей и наружных солевых наростов	Тонкий черный налет. Отдельные язвы стояночного происхождения только в коллекторах насыщенного и перегретого пара числом не более 1 на 100 см²
Плохое	Свежие язвы на внутренней поверхности коллектора и в устьях труб числом до 20 на 100 см², глубиной до 1 мм	Свежие язвы числом до 5 на 100 см², глубиной до 2 мм. Наличие наростов солей на наружной поверхности нагрева, возле заклепочных швов и вальцовочных соединений. Отсутствие межкристаллитных трещин	Черные отложения в выходной части толщиной до 0,2 мм, отдельные свежие язвы в коллекторах числом до 5 на 100 см², глубиной до 1 мм
Аварийное	Свежие язвы с черной жидкостью под бугорками, начинающие сливаться в сплошную корку	Отдельные язвы числом не более 5 на 100 см², глубиной более 2 мм. Наличие межкристаллитных трещин	Черные отложения в выходной части толщиной более 0,2 мм. Свежие язвы числом более 5 на 100 см², глубиной более 1 мм
	Наличие трещин, свищей, отдулин, разрывов, вызванных коррозией или отложениями ее продуктов		

Таблица 14.6. **Оценка состояния оборудования по заносу его растворимыми солями (из расчета годовой работы оборудования)**

Оценка состояния	Барабан	Максимальный прирост солесодержания при общей промывке пароперегревателя, мг/л	Турбина	
			Входная часть ЦВД	Средняя часть ЦВД
Отличное	Шламовые «языки»* в паровом объеме отсутствуют	До 10	Солевых налетов и отложений кремнекислоты нет	
Хорошее	Шламовые «языки» над уровнем воды на высоте до 100—150 мм	10—50	Солевых налетов и отложений кремнекислоты нет	Незначительное припудривание проточной части
Удовлетворительное	Шламовые «языки» не достигают пароприемного устройства (потолка)	50—100	Солевых налетов нет	Солевые налеты толщиной до 0,1 мм, не вызывающие прироста давления в контрольной ступени
Плохое	Вся поверхность парового объема, включая пароприемные (несепарирующие) устройства, покрыта тонким слоем налета; уровень воды по шламу заметен	100—500	Налет солей	После года эксплуатации солевые отложения толщиной 0,1—0,3 мм, вызывающие прирост давления в контрольной ступени, но не выше установленного уровня. Отложения кремнекислоты, нерастворимые в воде
Аварийное	Весь паровой объем барабана покрыт шламом, уровень воды в барабане не заметен	Более 500	Солевые и кремнекислотные отложения, приводящие к повышению давления в контрольной ступени турбины выше установленного предела, к снижению мощности турбины и повышению удельного расхода пара	

*Шламовые „языки" (натеки) свидетельствуют о местных фонтанах—забросах котловой воды в паровой объем и о плохом состоянии сепарации.

риод между химическими промывками 1,5—3 года, остаточное количество отложений после химической промывки менее 70 м².

14.6. Применение индикаторов коррозии

Для систематического контроля за процессами коррозии питательного тракта рекомендуется установка индикаторов ОРГРЭС — СТЭ для трубопроводов высокого (рис. 14.3) и низкого давления (рис. 14.4). Полированную

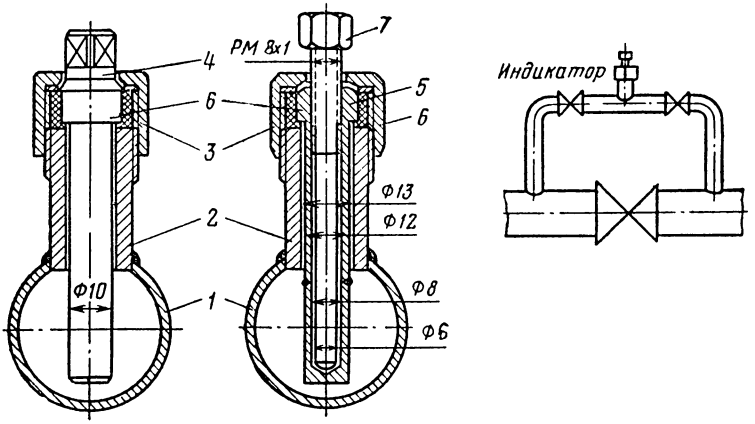


Рис. 14.3. Индикатор коррозии ОРГРЭС — Союзтехэнерго для водяного тракта высокого давления:

1 — труба; *2* — штуцер; *3* — накидная гайка; *4* — индикатор монолитный полированный; *5* — индикатор пустотелый, работающий под растяжением, полированный, материал тот же; *6* — приварное уплотняющее кольцо к деталям *4* и *5*; *7* — натяжной болт, d=8×1

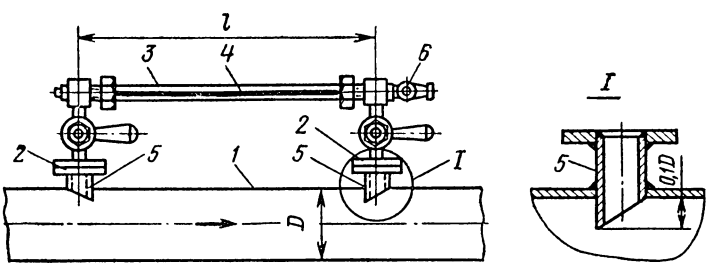


Рис. 14.4. Индикатор коррозии стали в деаэрированной воде при низком давлении:

1 — трубопровод; *2* — водомерные краны; *3* — водоуказательное стекло; *4* — полированный стальной стержень; *5* — штуцер с косым срезом; *6* — продувочный кран. Длина стержня 300—500 мм

поверхность индикаторов постоянно осматривают. Малейшее помутнение поверхности индикатора служит признаком наличия коррозионных примесей в воде (O_2, CO_2, H^+).

Глава пятнадцатая

АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ВОДОПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК И ВЕДЕНИЯ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПАРОВЫХ КОТЛОВ

По данным [25], автоматизация производственных процессов водоподготовки уменьшает стоимость обработки воды на 20—50 % за счет стабилизации качества обработанной воды, сокращения обслуживающего персонала, интенсификации процессов обработки воды, снижения числа единиц, габаритов оборудования и затрат на сооружение ВПУ. Например, автоматизация ВПУ $Q=150\div200$ м³/ч позволяет уменьшить затраты на эксплуатацию на 120—150 тыс. руб. в год, а автоматизация предочистки с осветлителем $Q=200$ м³/ч снижает затраты на эксплуатацию на 15 тыс. руб. Автоматизация коррекционной обработки воды на один блок (300 МВт) дает экономический эффект 15 тыс. руб. в год.

Известны системы автоматизации «Парус», которыми оснащены обессоливающие установки преимущественно новых, блочных станций СКД. На станциях с барабанными паровыми котлами системы автоматизации ВПУ встречаются реже, так как эти станции сооружались 10—20 лет назад, когда контрольно-измерительные аналитические приборы и средства автоматизации еще не выпускались. Автоматизация на этих станциях часто осуществлялась позднее сооружения станций и ВПУ и нередко частями. Системы автоматизации довольно разнообразны и зависят большей частью от выпуска приборов промышленностью или производственными предприятиями энергосистем (ОЗАП). Все это не позволяет дать каких-либо конкретных рекомендаций по эксплуатации или рекомендовать типы приборов и систем автоматизации и заставляет ограничиться лишь основными положениями по оснащению ВПУ автоматическими приборами и регуляторами.

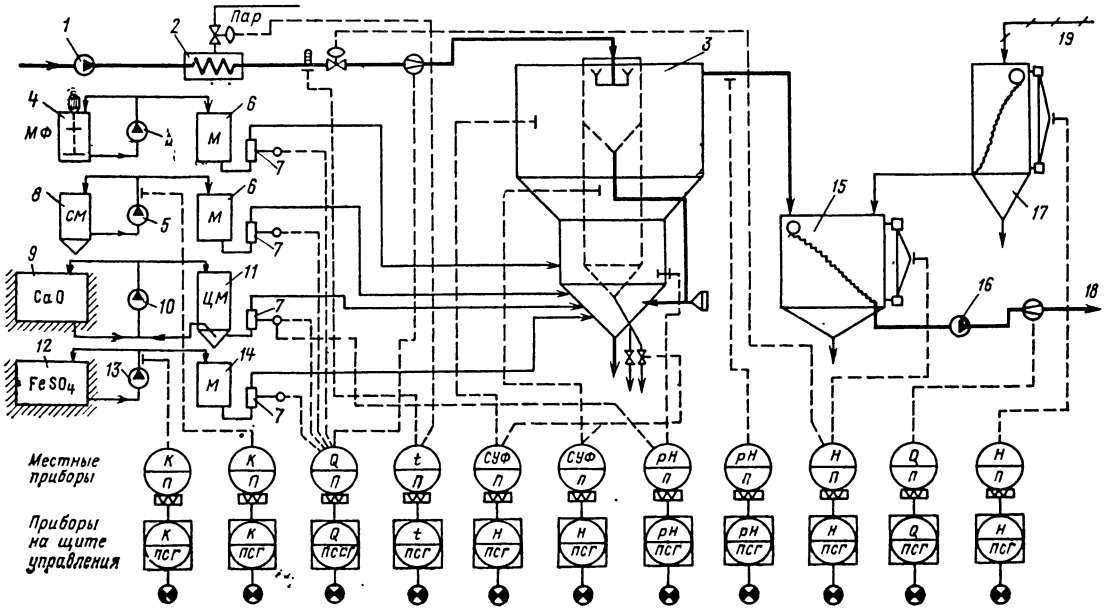


Рис. 15.1. Схема контроля и автоматизации предочистки:

1 — насос исходной воды; *2* — подогреватель; *3* — осветлитель; *4* — мешалка флокулянтов; *5* — насосы для растворов; *6* — мерники растворов; *7* — дозирующие насосы; *8* — растворитель соды; *9* — известковая ячейка; *10* — насос известкового молока; *11* — циркуляционная мешалка известкового молока; *12* — ячейка коагулянта; *13* — насос раствора коагулянта; *14* — мерник раствора коагулянта; *15* — сборник отстоенной воды; *16* — насосы отстоенной воды; *17* — бак-отстойник шламовой воды; *18* — на механические фильтры; *19* — шламовые воды; *К* — концентратомеры для $FeSO_4$ и Na_2CO_3; *ж* — солемер для воды; *Q* — расходомер; *t* — термометр; *СУФ* — сигнализатор уровня шлама фотоэлектрический; pH — pH-метр; *Н* — уровнемер; *П* — показывающий; *ПСГ* — показывающий, самопишущий; *ПССГ* — показывающий самопишущий суммирующий

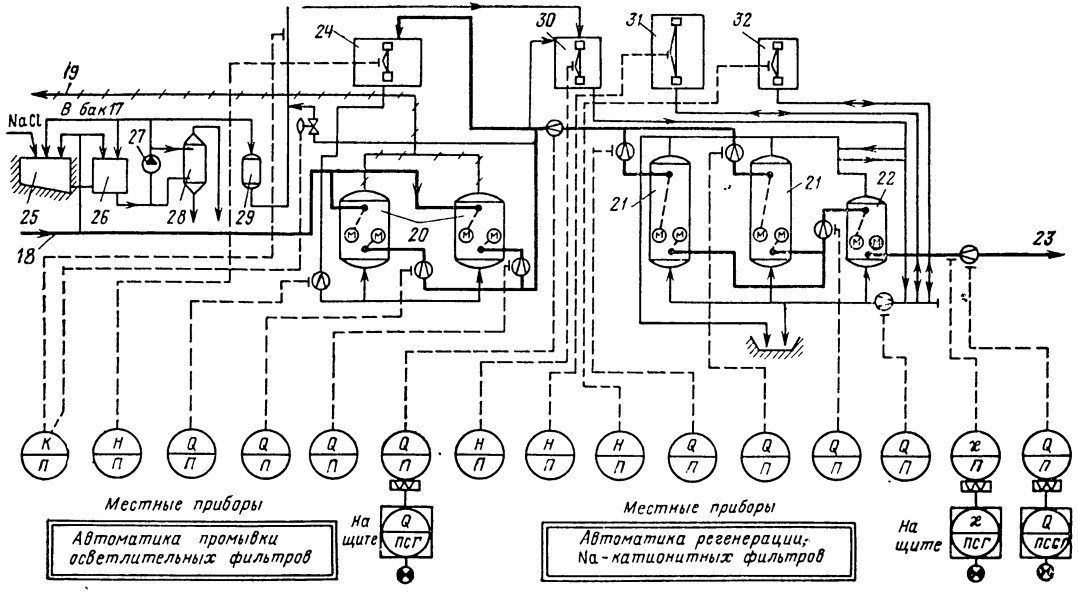


Рис. 15.2. Схема контроля и автоматизации осветлительных и Na-катионитных фильтров:

20 — осветлительные фильтры; *21* — Na-катионитные фильтры 1-й ступени, *22* — то же 2-й ступени; *23* — вода в деаэратор ДНД (ДВ-ДА); *24* — бак промывочной воды; *25* — площадка-ячейка для разгрузки, хранения и растворения соли; *26—29* — бак, насос, отстойник и фильтр для насыщенного раствора соли; *30* — бак для рабочего (разбавленного) раствора соли; *31* — бак отработавшего раствора соли; *32* — бак взрыхляющей (отмывочной) воды; остальные обозначения те же, что и на рис. 15.1

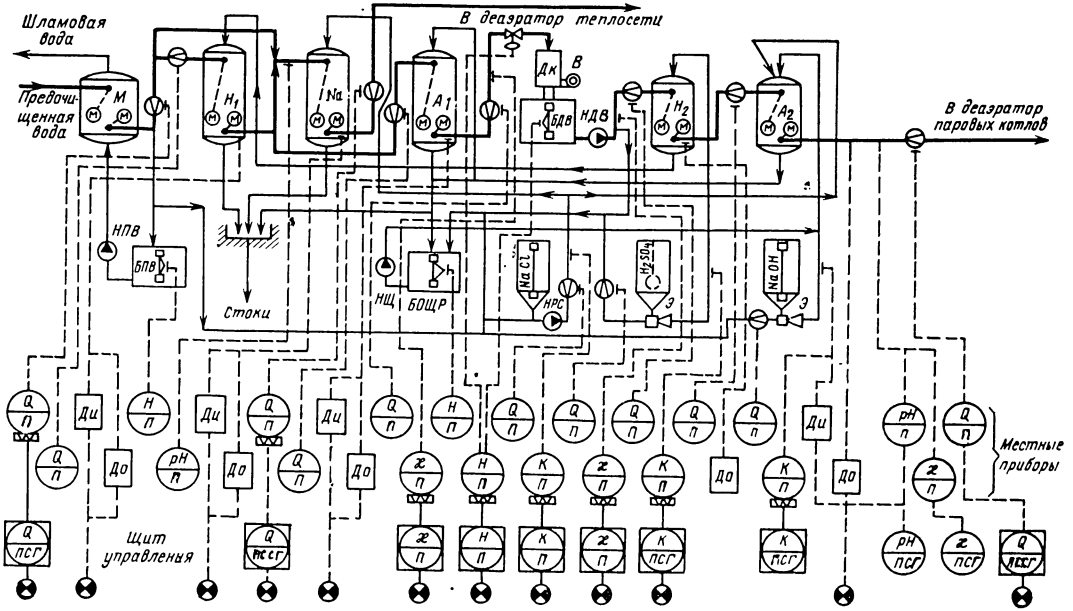


Рис. 15.3. Схема приборного контроля и автоматизации работы обессоливающей установки с параллельным включением фильтров при последовательной регенерации ионитных фильтров и выработке умягченной воды для теплосети:

М — механический (осветлительный) фильтр; H_1 — Н-катионитный фильтр 1-й ступени; H_2 — то же 2-й ступени; Na — Na-катионитный фильтр; A_1 — анионитный фильтр 1-й ступени; A_2 — то же 2-й ступени; *Дк* — декарбонизатор; *БДВ* — бак декарбонизованной воды; *БПВ* — бак промывочной воды осветлительных фильтров; *НПВ* — промывочный насос; NaCl, H_2SO_4, NaOH — мерники крепких растворов соответствующих реагентов; *Э* — эжектор; остальные обозначения те же, что и на рис. 15.1, 15.2

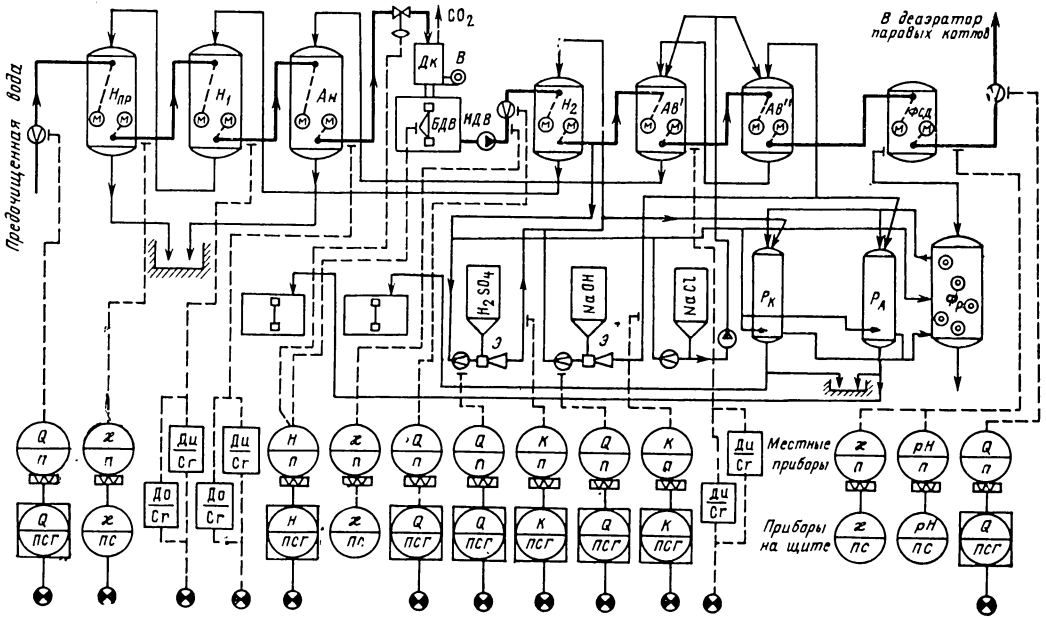


Рис. 15.4. Схема приборного контроля и автоматизации блочной обессоливающей установки:

Нпр — Н-катионитный предвключенный фильтр (иногда с «голодной» регенерацией); *Ан* — низкоосновный анионитный фильтр; *АВ'* и *АВ''* — анионитные фильтры 2-й ступени, предвключенный и основной; *ФСД* — ионитный фильтр смешанного действия (катионитно-анионитный); *Ф-р* — фильтр-разделитель для шихты ФСД; $p_К$ и $p_А$ — фильтры-регенераторы для катионита и анионита; остальные обозначения те же, то и на рис. 15.1—15.3

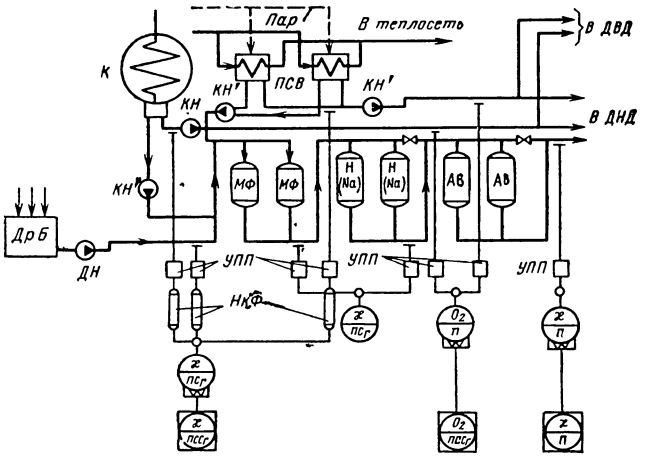


Рис. 15.5. Схема приборного контроля автономной установки (АОУ) для обезжелезивания, умягчения (обессоливания) турбинного, дренажного и других, не содержащих нефтепродуктов конденсатов:

ДрБ — дренажный бак; *ДН* — дренажный насос; *К* — конденсатор турбины; *КН* и *КН'* — конденсатные насосы; *ПСВ* — подогреватели сетевой воды (бойлеры); *МФ* — механический осветлительный фильтр; Н или Na-катионитный фильтр, работающий как Н- или Na-катионитный; *АВ* — анионитный фильтр с высокоосновным анионитом; *УПП* — установка для подготовки проб (см. рис. 11.25); $Н_{к.ф}$ — Н-катионитный фильтр, включаемый перед кондуктометрическим солемером; *ДВД* — деаэраторы высокого давления (*ДП*); *ДНД* — деаэраторы низкого давления, вакуумные или атмосферного давления (*ДВ*, *ДА*); $О_2$ — кислородомер

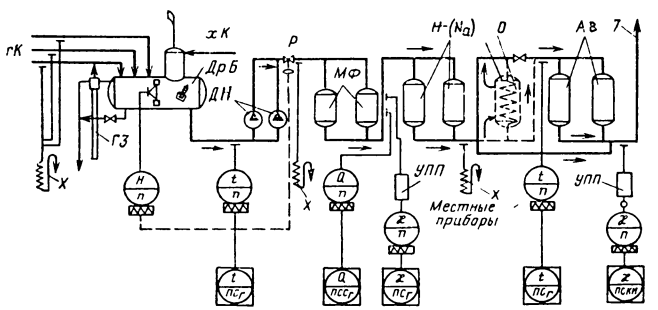


Рис. 15.6. Схема приборного контроля и автоматизации установки умягчения и обессоливания горячих производственных (обезмасленных) конденсатов (КОУ):

ГК — горячий конденсат; *ХК* — холодный конденсат (вода); *ГЗ* — гидрозатвор; *Х* — холодильник для отбора проб; *Р* — регулятор производительности; *О* — охладитель конденсата; остальные обозначения те же, что и на рис. 15.5

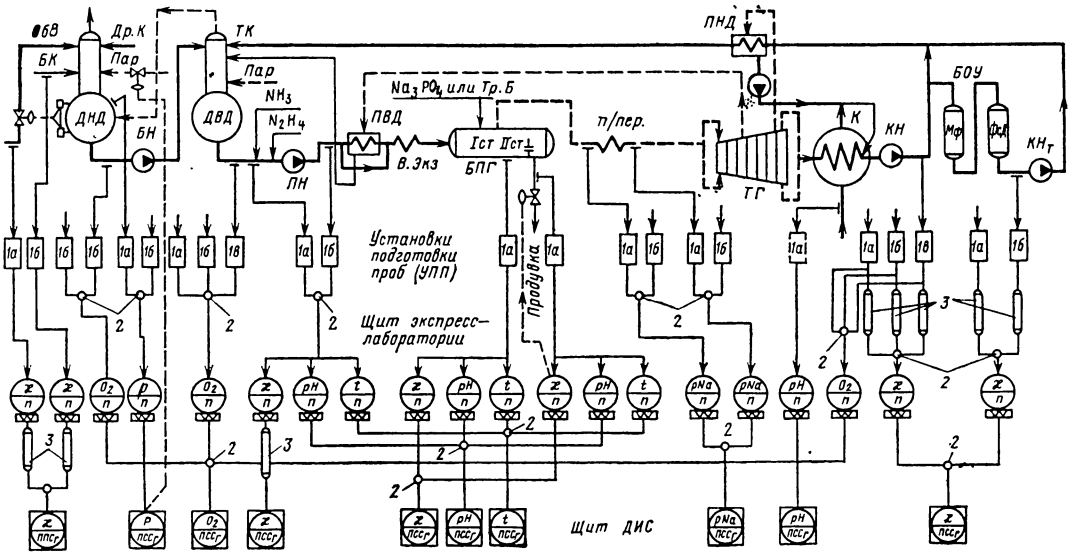


Рис. 15.7. Схема приборного контроля и автоматизации водно-химического режима ТЭС с барабанными паровыми котлами:

БН — бустерный насос; *ПН* — питательный насос; *ПВД* — подогреватель высокого давления; *ТК* — турбинный конденсат; *ПНД* — подогреватель низкого давления; $B_{экз}$ — экономайзер; *БПГ* — барабанный паровой котел; I ст. — 2 ст. — первая и вторая ступень испарения; п/пер. — пароперегреватель; *ТГ* — турбогенератор; $КН_1$ и $КН_т$ —конденсатные насосы; *БОУ*—блочная обессоливающая установка; *ФСД* — ионитный фильтр смешанного действия; *1а*; *1б*; *1в* — установки подготовки проб (*УПП*); *2* — переключатели точек контроля; *3* — Н-катионитные фильтры, включенные перед кондуктометрическими солемерами; *ОБВ* — обессоленная вода; *ДрК* — дренажный конденсат; *БК* — бойлерный конденсат

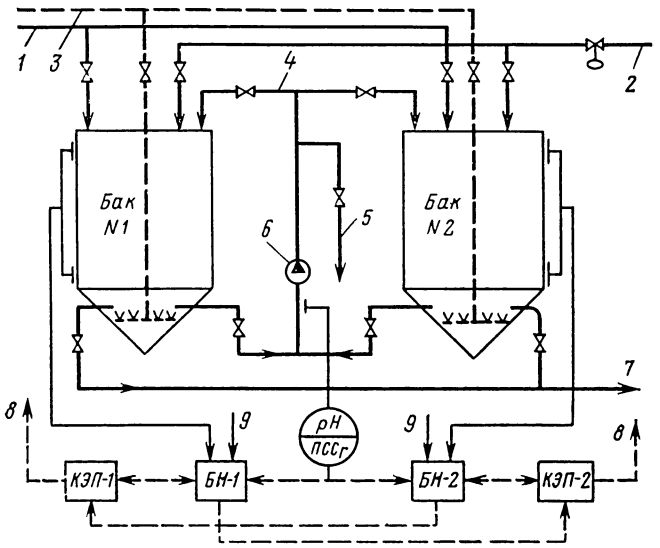


Рис. 15.8. Схема приборного контроля установки для нейтрализации стоков ВПУ и ТЭС:

1 — кислые стоки; *2* — известковое молоко, известковый шлам или отработавшая щелочь; *3* — сжатый воздух; *4* — циркуляционный трубопровод; *5* — нейтрализованные стоки в котлован, ГЗУ и т. д.; *6* — циркуляционный и откачивающий насос; *7* — выпуск шлама; *8* — к автоматическому запорному органу; *9* — импульсы от уровня БН-1 и БН-2 в блоки регулировки командных электронных приборов КЭП-1 и КЭП-2

В настоящее время возможна автоматизация контроля и регулирования работы в основном лишь на базе уже освоенных и выпускаемых в достаточном количестве приборов общего назначения: манометров-вакуумметров, термометров, уровнемеров, расходомеров, а также аналитических приборов: кондуктометров, солемеров, концентратомеров, pH-метров, фотоколориметров (ФЭК) и пламяфотометров.

Кислородомеры, жесткомеры, фосфатомеры, кремнемеры, pNa-метры расходуют большие количества реактивов, материалов и сменных элементов. Запасные части к ним выпускаются в недостаточном количестве. Поэтому возможность применения этих приборов на ВПУ и ТЭЦ, особенно ВД или СВД, мала.

В табл. 15.1 помещены сведения об основных точках автоматизированного контроля и регулирования работы ВПУ и ведения водного режима.

Таблица 15.1. **Основные данные по автоматическому контролю и регулированию работы ВПУ и ведению водно-химического режима ТЭС**

Контролируемая среда, место контроля и регулирования	Контролируемый параметр	Вид приборного контроля	Полученный импульс, вид регулирования
Исходная вода При входе на ВПУ	Производительность	Постоянный, указывающий, суммирующий, регистрирующий	Импульс от уровня в баке предочищенной (или готовой) воды. Допустимые колебания уровня ±0,5 м. Прирост производительности не более 5 % в 1 мин
То же перед каждым осветлителем	То же	Постоянный, указывающий	—
То же до подогревателя	Температура	То же	—
То же после подогревателя	То же	Постоянный, указывающий, регистрирующий	Импульс от температуры воды после подогревателя. Колебания температуры не более ±1 °С
Дозирование осадительных реагентов Коагулянт Известь Сода Флокулянт	Расход (доза реагента)	—	Регулируется по производительности осветлителя при помощи пропорционального дозатора с точностью ±5% с корректировкой по pH=×. Насосы НД; система „Струя", дозирующий кран и др.

Продолжение табл. 15.1

Контролируемая среда, место контроля и регулирования	Контролируемый параметр	Вид приборного контроля	Полученный импульс, вид регулирования
Обрабатываемая вода из зоны смешения в каждом осветлителе	Реакция pH	Постоянный	Служит импульсом для корректировки дозы реагентов, вводимых насосами НД
Продувка шлама из каждого осветлителя	Уровень шлама	—	Импульс по прозрачности прибором СУФ с фотоэлементом. Пульсирующее включение продувки
То же из шламонакопителя	То же	—	
Фильтруемая вода			
По каждому осветлительному или ионитному фильтру	Производительность	Постоянный, указывающий	—
То же	Давление до и после фильтра (перепад)	Постоянный, указывающий манометр	—
По всем группам фильтров	Групповая производительность и общая ВПУ	Постоянный указывающий, по ВПУ суммирующий	Регулируется по уровню в деаэраторе или по уровню в баке готовой воды
Декарбонизованная вода			
После декарбонизатора или вакуум-деаэратора	Реакция pH (CO_2)	Постоянный, указывающий (регистрирующий)	—
На выходе из ВПУ	Электропроводность, солесодержание	Указывающий и регистрирующий кондуктометр со светозвуковой сигнализацией	—

Продолжение табл. 15.1

Контролируемая среда, место контроля и регулирования	Контролируемый параметр	Вид приборного контроля	Полученный импульс, вид регулирования
Вспомогательные растворы и воды по магистралям:	Давление	Указывающий	—
Воздух для взрыхления	Давление	Указывающий манометр	—
То же	Расход	Указывающий	—
Промывочная вода осветлительных фильтров	»	»	Ограничитель расхода
Взрыхляющая вода (отработанный раствор) ионитных фильтров	»	»	То же
Регенерационный раствор	Концентрация	Указывающий кондуктометр, точность ±0,1 %	Регулируется вручную
То же	Расход	Указывающий	Ручное ограничение расхода
Кислые и щелочные сбросные воды ВПУ, после химических промывок оборудования, обмывок РВП, из нейтрализационной установки	Реакция pH	То же	—
Программная автоматизация промывок осветлительных фильтров и регенераций ионитных фильтров	Время, концентрация и расход растворов, расходы взрыхляющей и отмывочной воды	Указывающие приборы: расходомеры и концентратомеры	Применяется при большом числе промывок регенераций (более 3—4 в смену).

Продолжение табл. 15.1

Контролируемая среда, место контроля и регулирования	Контролируемый параметр	Вид приборного контроля	Полученный импульс, вид регулирования
Конденсат турбин: до БОУ после БОУ	Электропроводность, солесодержание	Кондуктометр АК-310 или другие равноценные приборы	—
Конденсат бойлеров	То же	То же	—
Конденсат станционный и производственный: до АОУ (КОУ) после АОУ (КОУ)	То же « «	То же « «	— —
Деаэрированная питательная или химически обработанная вода:	Давление в паровом объеме деаэраторного бака	Регистрирующий на щите	Регулирование поддержания давления
в деаэраторном баке	Уровень в деаэраторном баке	Указывающий уровнемер на щите	Регулирование поддержания уровня в пределах 0,65—0,85 общей высоты деаэраторного бака
после деаэратора	Температура Содержание кислорода	Указывающий местный Указывающий кислородомер	—

Продолжение табл. 15.1

Контролируемая среда, место контроля и регулирования	Контролируемый параметр	Вид приборного контроля	Полученный импульс, вид регулирования
Ввод корректирующих реагентов в питательную воду: аммиак	Реакция pH или электропроводность	Регистрирующий или указывающий pH-метр или кондуктометр	Регулирование по электропроводности или pH насосами НД
гидразин	Расход	—	Пропорционально расходу воды после деаэратора, насосами НД
фосфат, щелочь, комплексон	«	—	
Перегретый пар после парового котла	Электропроводность	Регистрирующий и указывающий кондуктометр на щите	—
Продувочная вода котла из продувочной линии	То же	Указывающий кондуктометр на щите	Импульс на автоматическое регулирование продувки при добавке необессоленной воды и производительности котла более 35 т/ч (расход продувки более 1 т/ч)
То же	Расход	Указывающий местный	—

Таблица 15.2. **Характеристики основных автоматических приборов для контроля и регулирования работы водоподготовки и водно-химического режима ТЭС**

Прибор	Диапазон измерения	Основная погрешность, %	Время переходного процесса, мин	Проба		Принцип действия датчика
				л/ч	°С	
Кондуктометр АНК-309	0,1—1 и 0,3—3,0 мкСм/см или 0,02—0,2 и 0,06—6 мкг/л Na	±5	8	До 30	До 50	Кондуктометрический
Кондуктометр (с предвключенными Н-катионитными фильтрами для удаления аммиака) АК-310. Вторичный прибор КСП-2—032	0,1—1,0; 0—10,0; 0—100,0 мкСм/см или 0,02—0,2; 0—2,0; 0—20 мкг/л Na^+	±9	8	20±3	До 50	То же
Солемер СЭ-0,2 с датчиком ДСВ1-0,2 (0,1)	0—10 мкСм/см; 0—5 мг/л NaCl	±5	—	Около 100	—	То же
Дифференциальный индикатор присосов ДК-68	Сигнал при электропроводности от 0,3 мкСм/см и более (более 0,15 мг/л NaCl)	—	—	15	—	То же
Сигнализатор истощения; Н-катионитных фильтров 1-й ступени анионитных фильтров 1-й ступени КС-211	Сигнал при 10^{-4}—10^{-3} См/см (50—500 мг/л NaCl)	Индикатор ±10	—	До 30	—	То же
	Сигнал 0—100 мкСм/см (0—50 мкг/л NaCl)		—		—	То же

Продолжение табл. 15.2

Прибор	Условия работы	Контролируемая среда	Назначение и применение прибора	Примечание, завод-изготовитель
Кондуктометр АНК-309	Непрерывно или дискретно	Конденсат, обессоленная вода, дистиллят	Показание, регистрация, контроль электропроводности и солесодержания в отсутствие аммиака	НПО Аналитприбор
Кондуктометр (с предвключенными Н-катионитными фильтрами для удаления аммиака) АК-310. Вторичный прибор КСП-2—032	Непрерывно	То же	Показание, регистрация, сигнализация, контроль электропроводности и солесодержания при наличии аммиака	То же
Солемер СЭ-0,2 с датчиком ДСВ1-02(0,1)	То же	Питательная вода, конденсат	Показание, регистрация, сигнализация, регулирование, контроль за дозированием аммиака	—
Дифференциальный индикатор присосов ДК-68	То же	Конденсат турбин, бойлеров (производственный)	Сигнализация, контроль присосов	ОЗАП Тулэнерго
Сигнализатор истощения: Н-катионитных фильтров	То же	Н-катионированная вода	Сигнализация, контроль за истощением фильтров I ступени	—
1-й ступени анионитных фильтров 1-й ступени КС-211	То же	Частично обессоленная вода		

Продолжение табл. 15.2

Прибор	Диапазон измерения	Основная погрешность, %	Время переходного процесса, мин	Проба		Принцип действия датчика
				л/ч	°С	
Кондуктометр - концентратомер КК-8,9	$10^{-2} \div 1$ См/см с разбивкой на два поддиапазона 10^{-2}—10^{-1} и $10^{-1} \div 1$ (0,5—5 % в пересчете на NaCl и 5—50 % в пересчете на NaCl)	$\pm 2{,}5$	—	20	—	Кондуктометрический безэлектродный
Измеритель концентрации водородных ионов (pH-метр): pH-261	От 0 до 14 pH (любой поддиапазон в 1; 2,5; 5; 10 pH 4—14 (любой поддиапазон в 1; 2,5; 5; 10 ед. pH)	$\pm 0{,}02$ pH для поддиапазона в 1,0 и $\pm 0{,}05$ для поддиапазона 2,5	Не более 10 с	До 30	25	Потенциометрический
Измеритель натрия pNa-201 (анализатор АВ-201)	8,36—5,36 pNa; 0,1—100 мкг/кг Na^+	$\pm 5\%$ от 3 pNa	15	До 30	25	Потенциометрический
Хлоридомер ЛТИ-АКХ	0—250; 0—450; 0—300 мкг/л	± 7; ± 4; ± 5	—	1,5; 1,5; 3	20 $\pm 0{,}2$	Химико-электрометрический потенциометрический
Жесткомер ВТИ	0—30 мкг-экв/л; верхний предел может быть повышен до 1—2 мг-экв/л	± 8	Цикл 3 мин	До 30	—	Химико-фотоэлектрометрический

Продолжение табл. 15.2

Прибор	Условия работы	Контролируемая среда	Назначение и применение прибора	Примечание, завод-изготовитель
Кондуктометр-концентратомер КК-8,9	Непрерывно	Кислые, щелочные, нейтральные, чистые и загрязненные взвесью растворы	Показание, регистрация, контроль за концентрацией растворов H_2SO_4, NaOH, NaCl, $FeSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$ и др.	НПО Аналитприбор
Измеритель концентрации водородных ионов (pH-метр): pH-261	То же	Питательная вода и ее составляющие, воды химводоочистки, обрабатываемые и сточные	Показания, регистрация, регулирование, контроль за величиной pH при химической обработке исходной воды, конденсата, питательной воды и нейтрализации сточных вод	Датчики КСП2-0,05 при pH=8,8÷9,2, КСП2-031 при pH=7—9 Гомельского завода аналитических приборов
Измеритель натрия pNa-201 (анализатор АВ-201)	Непрерывно или дискретно	Пар, питательная вода, конденсат, обессоленная вода	Показание, регистрация, сигнализация, контроль за содержанием Na^+	Вторичный прибор КСП2-032 Гомельского завода
Хлоридомер ЛТИ-АКХ	То же	Конденсат, обессоленная вода	Показание, регистрация, контроль за содержанием Cl^-	Ленинградский технологический институт
Жесткомер ВТИ	Дискретно (цикл не менее 5 мин)	Умягченная вода, производственный и дренажный конденсат	Показания, регистрация, контроль жесткости и работы Na-катионитных фильтров 2-й ступени	ОЗАП Мосэнерго

Продолжение табл. 15.2

Прибор	Диапазон измерения	Основная погрешность, %	Время переходного процесса, мин	Проба		Принцип действия датчика
				л/ч	°С	
Жесткомер АВ-210	0—30 мкг-экв/л	±7	—	—	—	То же
Кремнемер АВ-211 Датчик КСП2—005	0—60; 0—500 мкг/л SiO_2	±7	Цикл 12 мин	До 30	—	То же
Сигнализатор уровня шлама в осветлителях СУШ (СУФ)	Сигнал наличия или отсутствия шлама в протекающей через прибор пробе	Индикатор	—	100—200	—	Фотоэлектрический
Кислородомер АК-300 (таллиевый)	0—30 мкг/л O_2	±6	3	До 30	<50	Химико-кондуктометрический
Водородомер АВ-201	0—200 мкг/л H_2	±6	10	До 30	<40	Термокондуктометрический

Продолжение табл. 15.2

Прибор	Условия работы	Контролируемая среда	Назначение и применение прибора	Примечание, завод-изготовитель
Жесткомер АВ-210	Дискретно (цикл не менее 5 мин)	Умягченная вода, производственный и дренажный конденсат	Показания, регистрация, сигнализация	НПО Аналитприбор
Кремнемер АВ-211 Датчик КСП2—005	Дискретно (цикл не менее 15 мин)	Пар, питательная и обессоленная вода, конденсат	Контроль за содержанием растворенной SiO_2 (SiO^2_3) в воде	Вторичный прибор КСП2-005; НПО Аналитприбор
Сигнализатор уровня шлама в осветлителях СУШ (СУФ)	Непрерывно	Зашламленная вода (зона) в осветлителе предочистки	Регулирование продувки шлама и поддержание его уровня	—
Кислородомер АК-300 (таллиевый)	Дискретно	Питательная вода, конденсат турбин (бойлеров)	Контроль за содержанием O_2	Вторичный прибор КСП-031; НПО Аналитприбор Датчик ИКАР
Водородомер АВ-201	—	Перегретый пар	Контроль за протеканием пароводяной коррозии	НПО Аналитприбор

Примечание. Дополнительные приборы: холодильник 1-й ступени, пара, питательной и котловой воды $p_{исх}$, 100—310 кгс/см²; $t_{исх}$ 500÷545°С; $t_{кон}$ 70°С; то же 2-й ступени для сконденсированной и охлажденной пробы $p_{исх}$ 240 кгс/см²; $p_{кон}$=1 кгс/см²; $t_{исх}$ 70°С; $t_{кон}$ 35°С

Таблица 15.3. **Лабораторные аналитические приборы для контроля работы водоподготовки и водного режима ТЭС**

Прибор	Характеристика
pH-метр-милливольтметр типа РН-340	Пределы измерения: pH=1÷14 (погрешность ±0,05); pNa=1÷3 (погрешность ±0,04); ЭДС-100÷1400 мВ (погрешность ±5)
Спектропламяфотометр для определения микроколичеств Na, K, Li, Ca типа ПАЖ-2	Нижний предел измерения для Na^+, K^+, Li^+ 0,01 мг/кг; для Ca 0,5 мг/кг; верхний предел измерения для Na^+, K^+, Li^+, Ca^{2+} 50 мг/кг
Кондуктометр ММ-34-55	t=10÷35°С; пределы измерения от 0,01 Ом до 10 мОм; погрешность ±1%
Переносный электродный кондуктометр, тип ПЭК	Пределы измерения: $1 \cdot 10^{-5}$—2 См/см; 10—2 000 000 мкСм/см. Погрешность ±2,5 % каждого диапазона.
Многопредельный pH-метр ЛПЦ-01 с датчиком ДЛ-01	Пределы измерений 2—14 pH; точность ±0,04 ед.
pH-метр pH-262	Диапазон 0—14 ед. pH; поддиапазоны 0—1, 1—2, 3—4; 4—5, 5—6, 7—8, 8—9, 9—10, 10—11, 0—10, 1—11, 2—12, 3—13, 4—14; погрешность ±1 %
Фотоэлектрический колориметр (нефелометр) ФЭК-Н-54 (ФЭК-56, ФЭК-М)	T=10—30°С; оптическая плотность О—1,3 (светопропускание от 100 до 25%); погрешность ±1%; кюветы и светофильтры; длина волн 313—577 ммк
То же ФЭК-60, КФК-2М	То же, длина волн 360—1000 ммк
Кондуктометр ЛС-5 переносной	Температурная компенсация 15—40°С; диапазон показаний, мкСм/см: 0—1, 0—3, 0—10, 0—100, 0—300, 0—1000, 0—3 000, 0—10 000
Мегомметр М-1101, М50-31	Пределы измерений от 0 до ∞; погрешность ±(3—5)%
Лабораторные иономеры И-115 и И-120	С набором ионселективных электродов, в том числе и для определения pH, но без проточной измерительной ячейки
Лабораторные кондуктометры ЛК-563М	Предел измерений 10^{-7}—10^{-3} См/см с набором датчиков
То же КЭЛ-1М	Выше классом, чем ЛК-563М
То же ПК-67	Высокой точности, ЦЛЭМ, Тулэнерго

На рис. 15.1—15.8 приведены схемы автоматического контроля и регулирования работы, разработанные ВТИ [28, 29].

В табл. 15.2 и 15.3 приведены характеристики наиболее известных промышленных и лабораторных аналитических приборов для контроля водоподготовки и водного режима ТЭС.

Список литературы

1. **Шкроб М. С. и Прохоров Ф. Г.** Водоподготовка и водный режим паротурбинных электростанций.—М.: Госэнергоиздат, 1961.— 472 с.

2. **Вихрев В. Ф. и Шкроб М. С.** Водоподготовка.—М.: Энергия, 1973.—416 с.

3. **Обработка** воды на тепловых электростанциях/ Под ред. В. А. Голубцова и С. М. Гурвича — М.: Энергия, 1966. — 488 с.

4. **Водоподготовка.** Процессы и аппараты/Под ред. О. И. Мартыновой. — М.: Атомиздат, 1978.—352 с.

5. **Водный** режим тепловых электростанций/Под ред. Т. Х. Маргуловой. — М.: Энергия, 1965.

6. **Химические** очистки теплоэнергетического оборудования/Под ред. Т. Х. Маргуловой. — М.: Энергия, 1978, вып. 2.—176 с.

7. **Мещерский Н. А.** Эксплуатация водоподготовительного оборудования электростанций высокого давления. — М.: Энергия, 1965. — 464 с.

8. **Мещерский Н. А.** Контроль водного режима на тепловых электростанциях и в котельных. — М.: Энергия, 1970. — 272 с.

9. **Мещерский Н. А.** Эксплуатация водоподготовок в металлургии. — М.: Металлургия, 1974.—358 с.

10. **Лифшиц О. В.** Справочник по водоподготовке котельных установок. — М.: Энергия, 1976.—286 с.

11. **Кот А. А. и Деева З. Л.** Водно-химический режим мощных энергоблоков ТЭС. — М.: Энергия, 1978.—168 с.

12. **Оликер И. И. и Пермяков В. А.** Термическая деаэрация воды на тепловых электростанциях. — М.: Энергия, 1971.—186 с.

13. **Лапотышкина Н. П., Сазонов Р. П.** Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей. — М.: Энергоиздат, 1982. — 201 с.

14. **Акользин П. А., Маргулова Т. Х., Мартынова О. Н.** Водный режим паротурбинных блоков сверхкритических параметров. — М.: Энергия, 1972. — 74 с.

15. **Акользин П. А.** Коррозия и защита металла теплоэнергетического оборудования. — М.: Энергоатомиздат, 1982.—304 с.

16. **Маргулова Т. Х.** Применение комплексонов в теплоэнергетике. — М.: Энергия, 1973.—264 с.

17. **Субботина Н. П.** Водный режим и химический контроль на тепловых электростанциях. — М.: Энергия, 1974.—328 с.

18. **Водоподготовка,** водный режим и химконтроль на паросиловых установках/Под ред. М. С. Шкроба и В. И. Вульфсона. — М.: Энергия, 1964—1978, вып. 1—6.—200 с.

19. **Справочник** химика-энергетика. Водоподготовка и водный режим парогенераторов/Под ред. С. М. Гурвича. — М.: Энергия, 1972. — 456 с.

20. **Справочник** по свойствам, методам анализа и очистке воды/Под ред. Л. А. Кульского. — Киев: Наукова думка, 1980.—1206 с.

21. **Справочник** по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей/В. И. Манюк и др. — М.: Стройиздат, 1982.—216 с.

22. **Вайнман А. Б., Филимонов О. В.** Водородное охрупчивание парогенерирующих труб котлов. — М.: Энергия, 1980.—144 с.

23. **Живилова Л. М., Ефимов Г. В., Максимов В. В.** Автоматизация водоподготовительных установок тепловых электростанций. — М.: Энергия, 1976.—216 с.

24. **Живилова Л. М., Назаренко П. Н., Маркин Г. П.** Автоматический контроль водно-химического режима ТЭС. — М.: Энергия, 1979. — 224 с.

25. **Водно-химические** режимы и надежность металла энергоблоков мощностью 500 и 800 МВт/Под общей ред. В. Е. Дорощука и В. Б. Рубина. — М.: Энергоиздат, 1981.—296 с.

26. **Гурвич С. М., Кострикин Ю. М.** Оператор водоподготовки. — М.: Энергоиздат, 1981.—304 с.

27. **Блянкман Л. М.** Очистка фильтрующих материалов — М.: Энергоиздат, 1981.—112 с.

28. **Маргулова Т. Х., Мартынова О. И.** Водные режимы тепловых и атомных электростанций. — М.: Высшая школа, 1981.—320 с.

29. **Химический** контроль на тепловых и атомных электростанциях/Под ред. О. И. Мартыновой. — М.: Энергия, 1980.—320 с.

30. **Стерман Л. С., Покровский В. Н.** Химические и термические методы обработки воды на ТЭС. — М.: Энергия, 1981.—232 с.

31. **Рихтер Л. А., Волков Э. П., Покровский В. Н.** Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов тепловых электростанций. — М.: Энергоиздат, 1981.—296 с.

32. **Указатель** действующих, отраслевых, директивных и инструктивных материалов Минэнерго, изданных за период с 1962 по 1976 г. (теплотехническая часть). — М.: СПО Союзтехэнерго, 1978.—28 с.

33. **Нормы** технологического проектирования тепловых электрических станций. Утверждены Минэнерго 8-го октября 1981 г.

34. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей. — М.: Энергия, 1977. 288 с.

35. **Пособие** для изучения 13-го издания «Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей». Теплотехническая часть. — М.: Энергия, 1980.—464 с.

36. **Сборник** правил и руководящих материалов по котлонадзору. — М.: Недра, 1974.—140 с.

37. **Сборник** директивных материалов по эксплуатации энергосистем. Теплотехническая часть. — М.: Энергоиздат, 1981.—320 с.

38. **Правила** охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами. Минздрав, Минводхоз, Минрыбхоз СССР, утв. 16.05.75 (с дополнениями). М.—40 с.

39. **Правила** технической эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест. — М.: Стройиздат, 1979.—192 с.

40. **Правила** техники безопасности при эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения населенных мест. — М.: Стройиздат, 1979.—136 с.

41. **Правила** технической эксплуатации водных хозяйств предприятий черной металлургии. М.: Металлургия, 1981.—333 с.

42. **Основные** правила безопасной работы в химической лаборатории. — М.—Л.: Химия, 1964.—120 с.

43. **Правила** техники безопасности при обслуживании оборудования химических цехов электростанций и сетей. — М.: Атомиздат, 1973.—61 с.

44. **Санитарные** правила проектирования и эксплуатации систем централизованного горячего водоснабжения. Минздрав СССР, 1980.—16 с.

45. **ОСТ** 24.030.47-75 (Минэнергомаш ЦКТИ). Котлы водогрейные: качество сетевой и подпиточной воды. — Л.: РИО ЦКТИ, 1975.—6 с.

46. **РТМ** 108.131.101.76. (Минэнергомаш ЦКТИ). Котлы водогрейные. Организация водно-химического режима. ЦКТИ, 1976.—9 с.

47. **РТМ** 108.030.111.76 (Минэнергомаш ЦКТИ). Котлы водогрейные. Организация и методы химконтроля за водно-химическим режимом водогрейных котлов. ЦКТИ, Минэнергомаш, 1976.—36 с.

48. **Водоподготовительное** оборудование. Каталог-справочник.—М.: НИИЭинформэнергомаш, 1979.—60 карт.

49. **Теплообменное** оборудование. Каталог. НИИЭинформэнергомаш, ч.1, 1977—ч.1, 1977 — 101 карта, ч.2, 1979—92 карты.

50. **Типовое** положение о химическом цехе тепловой электростанции.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1972. 24 с.

51. **Типовой** проект организации труда в химцехе блочной ТЭС.—М.: СПО Союзтехэнерго, 1978.—100 с.

52. **Белоусов Н. П., Браудо М. М., Зачинский Г. А.** Типовая инструкция по обслуживанию водоподготовительных установок, работающих по схеме химического обессоливания.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1975.—150 с.

53. **Квятковский В. М., Баулина А. И.** Руководящие указания по коагуляции воды на электростанциях.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1973.—45 с.

54. **Квятковский В. М., Баулина А. И.** Руководящие указания по известкованию воды на электростанциях. — М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1973.—96 с.

55. **Мещерский Н. А. и Кабанова А. И.** Инструкция по эксплуатации механических фильтров на электростанциях. — М.: Госэнергоиздат, 1952. — 80 с.

56. **Руководящие** указания по загрузке дробленым антрацитом механических фильтров и поддерживающих слоев ионитных фильтров.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1970.—12 с.

57. **Технологические** показатели импортных ионитов. Эксплуатационный циркуляр № Т-1/81.—М.: СПО Союзтехэнерго, 1981.—8 с.

58. **Временные** расчетные нормы удельных расходов кислоты и щелочи на подготовку добавочной воды котлов тепловых электростанций. Минэнерго СССР, СПО ОРГРЭС, 1975.—16 с.

59. **Инструкция** по расчету потребности тепловых электростанций в гидразине/Е. Н. Иванов и др. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1977.

60. **Ходырев Б. Н., Прохорова А. М.** Нормы на досыпку и замену ионообменных материалов при эксплуатации водоподготовительных установок тепловых электростанций. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1977.—6 с.

61. **Системы** противокоррозионных покрытий внутренней поверхности оборудования, трубопроводов и строительных конструкций тепловых электростанций. Главниипроект — ВНИПИэнергопром ВПСМО — Союзэнергозащита. М.: 1981.—38 с.

62. **Руководящие** указания по эксплуатации испарительных установок тепловых электростанций. — М.: СПО ОРГРЭС, 1976.—82 с.

63. **Методические** указания по наладке и эксплуатации вакуумных деаэраторов/В. И. Бова и др. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1980. —29 с.

64. **Инструкция** по обслуживанию деаэрационных установок блоков мощностью 150 и 200 МВт. БТИ ОРГРЭС, 1965.—18 с.

65. **Типовая** инструкция по обслуживанию деаэрационных установок энергоблоков 150, 200 и 300 МВт. СЦНТИ ОРГРЭС, 1972.—20 с.

66. **Методика** эксплуатационных теплохимических испытаний барабанных котлов/Н. В. Белов и др. — М.: Энергия, 1964.—128 с.

67. **Ноев В. Н.** Руководящие указания по осмотру и приемке внутрикотловых устройств.—М.: Госэнергоиздат, 1955. 54 с.

68. **Лапотышкина Н. П., Синицын В. С.** Руководящие указания по проектированию и эксплуатации электромагнитных установок обезжелезивания конденсата тепловых электростанций. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1981.—52 с.

69. **Янковский К. А.** Руководящие указания по очистке производственного конденсата. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1978.—16 с.

70. **Иванов Е. Н.** Инструкция по фосфатированию котловой воды с использованием триполифосфата натрия при опытно-промышленных испытаниях. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1979. — 6 с.

71. **Инструкция** по фосфатированию котловой воды. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1978.—18 с.

72. **Руководящие** указания по применению гидразина на теплоэнергетических установках электростанций. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1980.—56 с.

73. **Руководящие** указания по автоматическому дозированию гидразина и аммиака на ТЭС с прямоточными котлами. СЦНТИ ОРГРЭС, 1972. — 26 с.

74. **Руководящие** указания по трилонной обработке воды барабанных котлов давлением 3,9—11 МПа (39—110 кгс/см)/Т. Х. Маргулова и др. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1982.—16 с.

75. **Руководящие** указания по организации комплексного водного режима на газомазутных котлах СКД/А. Я. Ялова и др. — М.: СПО ОРГРЭС, 1977.—38 с.

76. **Инструкция** по щелочению паровых и водогрейных котлов. Центроэнергомонтаж. — М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1970. — 10 с.

77. **Типовая** инструкция по эксплуатационным химическим очисткам водогрейных котлов/Г. И. Плисскин и др. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1980.—28 с.

78. **Балабан-Irменин Ю. В.** Предпусковые химические очистки теплоэнергетического оборудования. Экспресс-информация 5 (216). — М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1975.—54 с.

79. **Руководящие** указания по консервации теплоэнергетического оборудования. — М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1972.—52 с.

80. **Иванов Е. И., Апхазава М. В.** Консервация оборудования систем теплоснабжения с помощью силикатов. Рекомендации к внедрению. — М.: Информэнерго, 1971. — 18 с.

81. **Рекомендации** по предотвращению загрязнения водных объектов производственными сточными водами тепловых электростанций. Белоусов Н. П. и др. — М.: СПО, Союзтехэнерго, 1979. — 31 с.

82. **Фоменко С. В., Старцев В. И.** Рекомендации по приемке, пуску и наладке установок очистки производственных сточных вод тепловых электростанций.—М.: СПО Союзтехэнерго, 1980.—40 с.

83. **Фоменко С. В. и Старцев В. И.** Типовая инструкция по обслуживанию установок очистки производственных сточных вод тепловых электростанций. — М.: СПО СТЭ, 1979. — 54 с.

84. **Покровский В. И., Аракчеев Е. П.** Очистка от нефтепродуктов сточных вод и конденсатов тепловых электростанций. Экспресс-информация № 9 (220).—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1975.—64 с.

85. **Наталюк Н. Т., Лазаренко Н. Н., Шиманский В. А.** Руководящие указания по предотвращению образования минеральных и органических отложений в конденсаторах турбин и их очистке.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1975.—44 с.

86. **ОСТ** 108.030.04-80 Минэнергомаш. Котлы паровые, стационарные: устройства для отбора проб пара и воды. Л.: РИО ЦКТИ, 1980. — 37 с.

87. **Кострикин Ю. М.** Инструкция по эксплуатационному анализу воды и пара на тепловых электростанциях. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1979. — 120 с.

88. **Кострикин Ю. М.** Инструкция по анализу воды, пара и отложений в теплосиловом хозяйстве с илл. — М.: Энергия, 1967. — 296 с.

89. **Инструкция** по объему эксплуатационного химического контроля пароводяного хозяйства на тепловых электростанциях/Кострикин Ю. М. и др.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1967(1970).—38 с.

90. **Инструкция** по анализу сточных вод электростанций/А. Ф. Авдеев и др.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1969.—40 с.

91. **Четвериков А. В., Лившиц С. В.** Схемы и устройства химического контроля водного режима барабанных котлов 110 и 155 ат. — М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1971. — 43 с.

92. **Кострикин Ю. М., Калинина Н. М.** Методика контроля состояния оборудования. Определение количества и химического состава отложений. Главтехуправление по эксплуатации энергетических систем.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1976.—36 с.

93. **Временное** положение по магнитному контролю накипеобразования и коррозии парогенерирующих труб котлов тепловых электростанций. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1980.—12 с.

94. **Инструкция** по аналитическому контролю при химической очистке теплоэнергетического оборудования. М.: СПО Союзтехэнерго, 1981.—76 с.

95. **Методика** химического контроля при очистках теплообменников с трубками из латуни и медноникелевых сплавов смесью низкомолекулярных предельных одноосновных карбоновых кислот и смесью их с соляной кислотой/Р. Н. Аксельруд и др. — М.: СПО Союзтехэнерго, 1980.—48 с.

96. **Руководящие** указания по объему оснащения тепловых электрических станций контрольно-измерительными приборами, средствами автоматизации, технологической защиты, блокировки и сигнализации.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1969.—66 с.

97. **Извещение** № 1, изменение № 1 к руководящим указаниям по объему оснащения ТЭС контрольно-измерительными приборами.—М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1971.—2 с.

98. **Рекомендации** по автоматизации действующих водоподготовительных установок с параллельным включением фильтров/Худяков В. А. и др.—М.: СПО Союзтехэнерго, 1978.—89 с.

99. **Смирнов А. Д., Антипов К. М.** Справочная книжка энергетика. М.: Энергоатомиздат, 1984, 440 с.

Оглавление

Предисловие 3

Глава первая. **Общие сведения о ВПУ и водно-химическом режиме ТЭС с барабанными паровыми котлами ВД и СВД с естественной циркуляцией** 8

1.1. Качество основных видов воды ТЭС 8
1.2. Основные схемы обработки добавочной воды для питания паровых котлов ВД и СВД испарителей, паропреобразователей и для подпитки тепловых сетей 15
1.3. Способы улучшения обработки воды на ТЭС ВД и СВД 20
1.4. Применение железобетона при сооружении водоподготовительных установок 22
1.5. Механизация трудоемких работ 23
1.6. Штаты химических цехов 24
1.7. Порядок приемки, пуска и наладки работы вновь сооруженной ВПУ, составления режимных карт, технологических, аналитических и должностных инструкций и инструкций по технике безопасности . . 25

Глава вторая. **Реагентное и складское хозяйство водоподготовительных установок** 27
Сведения о важнейших реагентах, применяемых при обработке воды, и условиях их хранения 38

Глава третья. **Обработка охлаждающей воды** . . . 46

3.1. Общие сведения 46
3.2. Предотвращение биологических обрастаний . . 52
3.3. Предотвращение карбонатных отложений . . . 55
3.4. Показатели обработки и нормы качества охлаждающей, циркуляционной воды и виды ее обработки . 65

Глава четвертая. **Эксплуатация предочистки** . . . 66

4.1. Основные схемы предварительной обработки воды методами осаждения и отфильтровывания механических остаточных (взвешенных) примесей воды . . 66

4.2. Потребность в реагентах 72
4.3. Условия обработки 74
4.4. Работа осветлителей 75
4.5. Коагулирование на фильтрах 79
4.6. Фильтрование предочищенной воды 79
4.7. Оборудование предочисток 84
4.8. Приемка из монтажа и пуск осветлителей . . . 89
4.9. Пуск и наладка коагулирования 93
4.10. Приемка из монтажа, пуск и эксплуатация осветлительных фильтров 94

Глава пятая. **Эксплуатация ионитных установок** . . 103

5.1. Общие данные 103
5.2. Условия обработки воды 105
5.3. Схемы умягчения, обессоливания и регенераций 110
5.4. Оборудование ионитных установок 115
5.5. Пуск и эксплуатация ионитных установок . . . 126
5.6. Некоторые указания по эксплуатации обессоливающих установок 141
5.7. Мероприятия по обеспечению нормальной эксплуатации, устранению недостатков и улучшению работы ионитных установок 143
5.8. Новые режимы регенераций 147
5.9. Некоторые расчетные показатели работы ионитных установок по данным каталога «Водоподготовительное оборудование» НИИЭинформэнергомаш, 1979 155

Глава шестая. **Сокращение потерь, предотвращение загрязнения, сбор, очистка и возврат конденсата** 160

6.1. Общие положения 160
6.2. Турбинные конденсаты 163
6.3. Конденсаты пароводяных подогревателей . . . 167
6.4. Загрязненные, замасленные конденсаты . . . 173
6.5. Пуск и наладка работы установок для очистки конденсата 177
6.6. Важнейшие условия и показатели работы конденсатоочистительных установок 179

Глава седьмая. **Эксплуатация испарительных и пароперобразовательных установок** 181

7.1. Общие вопросы, схемы и оборудование испарительных и пароперобразовательных установок. Подготовка питательной воды. Водный режим . . . 189

7.2. Пуск, наладка и испытания испарительных установок 189
7.3. Эксплуатация испарителей и паропреобразователей 192
7.4. Важнейшие показатели работы испарителей и паропреобразователей 194

Глава восьмая. **Подготовка подпиточной воды и водно-химический режим тепловых сетей** 195

Глава девятая. **Эксплуатация деаэрационно-дегазационных установок** 202
9.1. Основы термической деаэрации 203
9.2. Деаэрация добавочной воды в конденсаторах . . 205
9.3. Вакуумная деаэрация в специальных деаэраторах 206
9.4. Деаэрация в деаэраторах атмосферного и повышенного давления 210
9.5. Основные требования, предъявляемые к конструкции деаэраторов 215
9.6. Пуск и испытания деаэраторов 218
9.7. Улучшение работы деаэраторов 222
9.8. Важнейшие условия и технологические показатели термической деаэрации 225
9.9. Обработка воды гидразином 225
9.10. Основные показатели обработки воды гидразином 227
9.11. Обработка воды сульфитом 229
9.12. Важнейшие показатели обработки питательной воды сульфитом 230
9.13. Аминирование питательной воды 230

Глава десятая. **Защита от коррозии водоподготовительного и основного энергетического оборудования** . . . 231

10.1. Общие положения 231
10.2. Борьба с коррозией паровых котлов во время работы 233
10.3. Борьба со «стояночной» (кислородной) коррозией паровых котлов и другого энергетического оборудования, находящегося в резерве или ремонте . . 234
10.4. Борьба с коррозией обратных конденсатопроводов 238
10.5. Борьба с коррозией трубок из медных сплавов поверхностей нагрева теплообменных аппаратов (конденсаторов, паровых подогревателей и др.) . . . 239
10.6. Защита от коррозии водоподготовительного оборудования 241
10.7. Борьба с коррозией тепловых сетей 243

10.8. Борьба с коррозией оборотных охлаждающих систем и охлаждаемого оборудования 244

Глава одиннадцатая. **Водно-химический режим барабанных паровых котлов высокого и сверхвысокого давления** 246

11.1. Общие вопросы 246
11.2. Химические режимы котловой воды 250
11.3. Внутрибарабанные устройства 257
11.4. Продувка паровых котлов 260
11.5. Оснащение паровых котлов устройствами для отбора проб воды и пара 269
11.6. Внутренние осмотры паровых котлов 278
11.7. Пуск паровых котлов 280
11.8. Наладка водно-химического режима работы паровых котлов 282
11.9. Испытания водно-химического режима работы паровых котлов на качество пара 284
11.10. Поддерживание водно-химического режима работы паровых котлов 296

Глава двенадцатая. **Удаление отложений из теплоэнергетического оборудования** 299

12.1. Общие положения 299
12.2. Водно-химические промывки паровых котлов . . 301
12.3. Выбор моющего раствора и технологии промывки 307
12.4. Оборудование установок для водно-химических промывок и консервации теплосилового оборудования 315
12.5. Проведение водных и химических промывок . . 321
12.6. Промывка пароперегревателей 339
12.7. Промывка паровых турбин 341
12.8. Удаление отложений из конденсаторов, подогревателей и других теплообменных аппаратов . . . 342

Глава тринадцатая. **Сточные воды тепловых электрических станций. Очистка и повторное использование их** . 344

13.1. Общие положения 344
13.2. Взаимосвязь между свежими и сточными водами ТЭС 345
13.3. Применение доочищенных городских сточных вод 348
13.4. Схемы ТЭС с пониженным количеством сточных вод 350
13.5 Технические показатели сбора, хранения, очистки и повторного использования сбросных вод ТЭС и ВПУ 354

Глава четырнадцатая. **Контроль и оценка работы водоподготовительной установки и водно-химического режима энергообъекта** 358
14.1. Задачи и виды контроля 358
14.2. Оценка водного режима энергообъектов по состоянию паровых котлов и турбин 360
14.3. Краткие указания по осмотру эксплуатируемых турбин и паровых котлов 360
14.4. Указания по вырезке и вставке контрольных участков в трубах паровых котлов 363
14.5. Таблицы для оценки состояния паровых котлов и турбин 371
14.6. Применение индикаторов коррозии 376
Глава пятнадцатая. **Автоматизация контроля и регулирования работы водоподготовительных установок и ведения водно-химического режима паровых котлов** . . . 377
Список литературы 397

НИКИТА АЛЕКСЕЕВИЧ МЕЩЕРСКИЙ

Эксплуатация водоподготовительных установок электростанций высокого давления

Редактор Ю. М. Кострикин
Редактор издательства Т. И. Мушинска
Художественные редакторы В. А. Гозак-Хозак,
Ю. В. Сазанская
Технический редактор О. Д. Кузнецова
Корректор Н. А. Смирнова
ИБ № 1627

Сдано в набор 03.05.84 Подписано в печать 13.09.84 Т-12814
Формат 84 × 108¹/₃₂ Бумага типографская № 3 Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 21,42 Усл. кр.-отт. 21,42 Уч.-изд. л. 25,68
Тираж 6000 экз. Заказ 3479 Цена 1 р. 60 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 113054, Москва, М-54, Валовая, 28