Библиотека СОК

П. П. ЛАПОТЫШКИНА
Р. П. САЗОНОВ

Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей

592415

МОСКВА ЭНЕРГОИЗДАТ 1982

централизованного хозяйственно-питьевого водоснабже ния».

В отличие от прежнего ГОСТ 2761-57, существовав шего 20 лет, стандарт 1977 г. учитывает все еще не пре кращающиеся в современных условиях бытовые и про мышленные загрязнения водных ресурсов и предписыва ет использовать в первую очередь воду подземных источ ников, качество которой соответствует ГОСТ 2874-73 Если же ограниченный дебит или специфический соста и свойства подземных вод вынуждают выбирать поверх ностные водоисточники, то согласно стандарту 1977 г должны предусматриваться соответствующая очистка и обеззараживание воды с тем, чтобы качество выдавае мой водопроводными станциями воды соответствовало нормативным требованиям стандарта на питьевую воду

Следует отметить также, что в ГОСТ 17.1.3.03-77 по казатели качества воды источников водоснабжения, а также программа обязательных анализов для определе ния этих показателей находятся в органической связи с «Правилами по охране поверхностных вод от загрязне ния сточными водами» (1974 г.). В ГОСТ 2874-73 ука заны предельно допустимые концентрации (ПДК) в питьевой воде ряда вредных веществ, которые могут по пасть в водоемы с производственными стоками. Кроме того, органами Государственного санитарного надзора утверждены ПДК также некоторых веществ, наиболее часто содержащихся в сточных водах промышленных предприятий.

Разработка и обоснование новых тесно увязанных между собой стандартов на питьевую воду и правил вы бора и оценки качества источников централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также «Пра вил по охране поверхностных вод от загрязнения сточ ными водами» стали возможными в результате успеш ного обновления и развития в СССР научно обоснован ного водного законодательства и санитарных норм Таким образом, использование для нужд теплофикации централизованного хозяйственно-питьевого водоснаб жения должно гарантировать поступление на теплофи кационные водоприготовительные установки воды, отве чающей нормам ГОСТ 2874-73 «Вода питьевая». В слу чае использования в теплосети воды из нецентрализо ванных местных водоисточников остается правомерным критерий подачи потребителям горячей воды, по каче

ству соответствующей питьевой. Способ доведения воды до требуемой кондиции должен быть предусмотрен при проектировании, сооружении и эксплуатации теплофикационных водоочистных установок отдельно для каждого конкретного случая при обязательном согласовании с органами санитарно-эпидемиологической службы.

Природные воды, расходуемые для нужд тепло- и горячего водоснабжения, могут содержать вещества, вызывающие нарушение нормальной работы оборудования и тепловых сетей. Знание примесей, содержащихся в исходной воде, их природы и источника появления необходимое для выбора рациональной технологической схемы обработки воды, а также для установления показателей контроля за качеством как исходной, так и очищенной воды.

Большинство примесей, присутствующих в исходной воде для тепловых систем, содержится в водах природного источника водоснабжения. На водопроводных станциях обработка поверхностной природной воды включает, как правило, стадию коагуляции с последующим осветлением. При этом вода освобождается от грубых взвесей, снижаются ее цветность и мутность. Потом вода подвергается обеззараживанию, улучшающему ее санитарно-гигиенические свойства. Состав растворенных минеральных примесей практически остается без изменения. В случаях, когда артезианские воды имеют повышенное содержание бикарбоната железа, на водопроводных станциях предусматривают обезжелезивание воды, благодаря чему снижается концентрация соединений железа.

Поверхностные воды рек, озер и водохранилищ всегда содержат грубодисперсные примеси. Это обычно частицы почвы, смываемой с берегов дождями и весенними паводками. Растворенными веществами природная вода обогащается в процессе контакта с породами, слагающими земную кору. Особенно интенсивно происходит обогащение при протекании воды через осадочные породы (известняки, доломиты, мергели, гипс, каменную соль). Из них в воду переходят также легкорастворимые соли, как NaCl, Na_2SO_4 $MgSO_4$. При наличии в воде свободной углекислоты карбонаты кальция, магния и железа переходят в двууглекислые соединения — бикарбонаты кальция, магния, железа, диссоциирующие на ионы Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+} и HCO_3^-. Поскольку породы, содержащие

карбонаты кальция и магния, встречаются часто, бикарбонаты кальция и магния неизменно присутствуют почти во всех природных водах.

Подземные (грунтовые) воды, фильтрующиеся через почву и подпочвенные породы, почти всегда прозрачны и содержат мало грубодисперсных и коллоидных примесей. Содержание минеральных растворимых примесей в них обычно бывает повышенным.

Существенное изменение в химический состав поверхностных природных вод вносят паводковые воды. Из-за малой минерализованности талых вод происходит снижение концентраций растворенных солей, одновременно повышается содержание взвесей и органических веществ, вымываемых из почвы, что приводит к увеличению цветности и мутности воды.

Работа водопроводных очистных станций, которые призваны устранять мутность и цветность воды, в паводковый период усложняется. Если водоочистки не справляются, то доводить воду до нужной кондиции приходится на установках водоподготовки для тепловых сетей. Естественно, такое положение должно быть исключением, а не правилом в практике эксплуатации теплофикационных водоподготовительных установок.

На состав поверхностной воды существенное влияние оказывает спуск сточных вод и различных отходов промышленных предприятий, в результате чего происходит загрязнение воды разнообразными химическими соединениями неорганического и органического характера. Многолетняя практика эксплуатации водопроводных станций и установок водоподготовки тепловых сетей показывает, что загрязнения, поступающие со сточными и сбросными водами, затрудняют и удорожают очистку воды. Во избежание прогрессирующего загрязнения вод поверхностных источников все большее число промышленных предприятий сооружает специальные установки по очистке и обезвреживанию сточных вод.

Во всех природных водах, имеющих pH ниже 8,3—8,4, присутствует свободная углекислота. Она поступает в воду главным образом как конечный продукт биохимических процессов окисления органических веществ, содержащихся в водоемах и почве. Для артезианских вод обычно характерно повышенное содержание углекислоты. В природных водах, кроме свободной углекислоты, находящейся в виде растворенного в воде газа CO_2 и недиссоциированных молекул H_2CO_3, содержится «полусвязанная» углекислота (ионы HCO_3^-), а иногда и «связанная» углекислота в виде ионов CO_3^{2-} (табл. 1.1).

Наряду со свободной углекислотой во всех поверхностных водах благодаря их контакту с воздухом присутствует растворенный кислород. Растворимость его в воде, как и всякого другого газа, зависит от ее температуры и парциального давления кислорода над ней.

Таблица 1.1. **Зависимость форм угольной кислоты в воде от значения pH, при 25 °С, %**

pH	$CO_2 + H_2CO_3$	HCO_3^-	CO_3^{2-}
4	100	—	—
5	95	5	—
6	70	30	—
7	20	80	—
8	2	98	—
9	—	95	5
10	—	70	30
11	—	17	83
12	—	2	98

Сероводород содержится в некоторых грунтовых водах, а иногда и в речных в случае их загрязнения сточными водами.

Цветность поверхностным водам чаще всего придают органические вещества, поступающие из почвы (гуминовые кислоты, фульвокислоты), а также комплексные соединения различных органических веществ с железом. Удалить последние в процессе коагуляции на водопроводных станциях чаще всего не удается.

Органические вещества, попадающие в воду тепловых сетей, могут быть весьма «коварными». Доведение их содержания до нормы по показателю цветности, предусмотренному стандартом на питьевую воду, не гарантирует в отдельных случаях от неприятностей, вызванных их присутствием. В практике эксплуатации тепловых систем, особенно систем теплоснабжения с непосредственным водоразбором, зафиксированы случаи появления в нагретой воде неприятных запахов, привкусов и даже взвешенных частиц, хотя перед нагреванием вода отвечала всем трбованиям ГОСТ «Вода питьвая».

Примером может служить имевшее место ухудшение органолептических свойств, появление значительных количеств взвешенных черных частиц сернистого железа и существенное возрастание содержания железа в горячей воде теплосети городов Перми и Чайковского. Исходиая водопроводиая вода перед нагреванием проходила обработку в Na-катиоиитных фильтрах, затем в термическом деаэраторе атмосферного типа и по всем показателям соответствовала качеству питьевой воды. Прнчиной ухудшения качества нагретой воды явилось массовое развитие в радиаторах и обратных

трубопроводах систем отопления сульфатовосстанавливающих анаэробных микроорганизмов. Для их жизнедеятельности оказалось достаточным небольшое количество органических веществ, присутствующих в воде, и сульфат-ионов SO_4^{2-} которые бактерии восстанавливали до сероводорода; последний вызывал коррозию трубопроводов с образованием сернистого железа. Невысокая температура воды и сравнительно низкие скорости движения жидкости в обратных трубопроводах создавали благоприятные условия для развития анаэробных микроорганизмов. После термической обработки систем отопления и обратных трубопроводов тепловой сети с повышением температуры воды до 105—110 °С в течение 1,5—2 ч развитие микроорганизмов прекратилось, загрязнения, запахи и привкусы воды исчезли.

Таким образом, процесс нагревания воды может служить своеобразным индикатором степени загрязнения исходной воды органическими веществами и глубины удаления их из воды на водопроводных очистных установках.

В природных водах могут находиться соединения двухвалентного (закисного) и трехвалентного (окисного) железа. В грунтовых водах часто содержится бикарбонат закиси железа $Fe(HCO_3)_2$. В поверхностных водах железо находится главным образом в виде органических комплексных соединений (например, гуминовокислое железо в речных водах болотного питания) или в виде труднорастворимого гидрата окиси железа $Fe(OH)_3$, частицы которого могут иметь различную степень дисперсности. Производственные сточные воды обычно повышают концентрацию соединений железа в природных водоемах. Продукты коррозии стальных труб, по которым транспортируется вода, являются еще одним источником загрязнения исходной воды железом.

Таблица 1.2. Зависимость форм кремниевой кислоты от значения pH при 25 °С, %

pH	H_2SiO_3	$HSiO_3^-$	SiO_3^{2-}
5	100	—	—
6	99,9	0,1	—
7	99,9	1,0	—
8	90,9	9,1	—
9	50,0	50,0	—
10	8,9	91,0	0,1
11	0,8	98,2	1,0

Поликремниевые кислоты в природных водах находятся в основном в виде коллоидов и частично в истинно растворенном состоянии; при большой концентрации кальция и магния в воде присутствуют также суспензии силикатов кальция и магния (табл. 1.2).

Концентрация соединений кремния в природных водах составляет обычно 1—30 мг/л (в пересчете на SiO_3^{2-})

В теплофикационных водах содержание соединений кремния может изменяться по сравнению с исходной водой в ходе противокоррозионной силикатной обработки (см. гл. 7).

Показателем загрязнения поверхностных природных вод стоками фекального характера может быть присутствие в них ионов аммония NH_4^+ нитритов NO_2^- нитратов NO_3^-.

1.2. Основные показатели качества воды

Показатели качества воды обычно подразделяют на физические, химические и бактериологические. К физическим относятся температура, а также цветность, мутность, привкусы и запахи воды. Последние называют также органолептическими показателями; они важны при оценке питьевых качеств воды, но имеют определенное значение и для вод тепловых сетей.

К химическим показателям относятся наличие катионов и анионов, содержащихся в воде; растворенных газов, а также водородный показатель воды pH. Группируя по определенному признаку отдельные химические показатели, получают технологические показатели качества воды. К ним относятся: жесткость общая, карбонатная и некарбонатная; щелочность общая и отдельные ее формы, например бикарбонатная, карбонатная, гидратная, гуматная; окисляемость; сухой остаток, прокаленный остаток, общее солесодержание (сумма катионов и анионов) и др.

Бактериологические показатели воды характеризуют эпидемиологическую безопасность ее, которая определяется степенью общего бактериального загрязнения и содержанием бактерий группы кишечной палочки.

Единичные анализы недостаточно надежно характеризуют качество воды источника водоснабжения, поэтому необходимо изучить его гидрохимический режим, т. е. получить данные о сезонном изменении состава воды за ряд лет, а также информацию о периодических сбросах в водоем промышленных сточных вод. Как минимум нужно иметь результаты анализов воды во время весеннего и осеннего паводков, летом и в середине зимы, а

также располагать данными о количестве и составе сточных вод, если сброс таковых происходит. Из напорных подземных водоисточников, для вод которых характерно постоянство состава можно ограничиться анализами двух проб, взятых в разное (любое) время года. Если используются грунтовые воды из безнапорных источников (инфильтрационные, подрусловые и др.), рекомендуется анализировать не менее четырех проб.

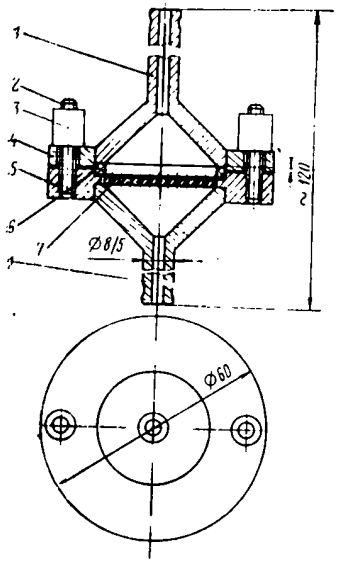


Рис. 1.1. Фильтровальный прибор (общий вид).
1 — корпус прибора из плексигласа; *2* — латунная шпилька; *3* — круглая гайка; *4* — верхнее крепежное кольцо; *5* — нижнее кольцо с решеткой для фильтра; *6* — резиновая прокладка; *7* — мембранный фильтр.

Содержание взвешенных веществ характеризует количество нерастворимых примесей в 1 л воды. Этот технологический показатель определяется по приращению массы бумажного или мембранного фильтра, высушенного до и после фильтрования при 105 °С. При небольшом содержании взвешенных веществ, особенно когда они представлены тонкодисперсными частицами, следует использовать для анализа мембранные фильтры. Мытищинская фабрика экспериментальных мембранных ультрафильтров выпускает их в следующем ассортименте:

Номер фильтра	1	2	3	4	5	6
Размеры пор фильтра, мкм	0,3	0,5	0,7	0,9	1,2	3,5

Для отбора проб воды на содержание взвешенных веществ можно использовать фильтровальный прибор из плексигласа (рис. 1.1).

Общее солесодержание природных вод определяется катионами Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+} и анионами HCO^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}. Эти ионы в гидрохимии называют главными и по их содержанию в воде осуществляют классификацию природных вод. Остальные ионы содержатся в значительно меньших концентрациях.

Солевой состав воды можно характеризовать количеством сухого и прокаленного остатка в миллиграммах на литр (мг/л) либо минерального остатка, который получается суммированием концентрации всех содержащихся в воде катионов и анионов.

Общей жесткостью воды $Ж_о$ называется суммарная концентрация ионов кальция и магния, выраженная в миллиграмм-эквивалентах на литр (мг-экв/л) или микрограмм-эквивалентах на литр (мкг-экв/л).

Общая жесткость воды подразделяется на карбонатную $Ж_к$ и некарбонатную $Ж_{нк}$. Карбонатная жесткость обусловлена совместным присутствием ионов Ca^{2+}, Mg^{2+} и HCO_3^-. В случае, когда в воде соотношение концентраций ионов выражается неравенством $HCO_3^- < Ca^{2+} + Mg^{2+}$, карбонатная жесткость определяется концентрацией иона HCO_3^-. В природных водах, где имеется соотношение концентраций $HCO_3^- > Ca^{2+} + Mg^{2+}$, карбонатную жесткость условно принимают равной общей жесткости, а некарбонатную — равной нулю. Разность между общей щелочностью HCO_3^- и общей жесткостью $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ говорит о наличии в воде бикарбонатов натрия и калия. Некарбонатная жесткость $Ж_{нк}$ обусловлена присутствием в воде хлоридов, сульфатов и других некарбонатных солей кальция и магния.

Для определения общей жесткости воды применяется комплексонометрический (трилонометрический) метод.

Общей щелочностью воды $Щ_о$ называется суммарная концентрация содержащихся в воде анионов OH^-, HCO_3^-, CO_3^{2-} $HSiO_3^-$, SiO_3^{2-} и других анионов слабых кислот, например гуматов. Значение $Щ_о$ определяется количеством кислоты, пошедшим на титрование пробы воды первоначально в присутствии индикатора—фенолфталеина, а затем метилового оранжевого. Использование двух индикаторов позволяет получить данные для расчета отдельных форм щелочности, например гидратной щелочности $Щ_г$, которая обусловлена ионами OH^-; бикарбонатной щелочности $Щ_б$, которая обусловлена ионами HCO_3^-; карбонатной щелочности $Щ_к$, которая обусловлена ионами CO_3^{2-}. Как общая щелочность, так и ее отдельные формы выражаются в миллиграмм-эквивалентах на литр.

Форму гуматной щелочности $Щ_{гум}$, определяемую присутствием анионов гуминовой и фульвокислот, обна-

руживают обычно в водах повышенной цветност (>20 °). Такие воды в тепловых сетях, как правило, н используются.

Отдельные органические вещества, содержащиеся в тех или иных количествах в коллоидном или истинно растворенном состоянии, ввиду их большого разнообразия непосредственно не определяются. Обычно оценивают их суммарное содержание, определяя перманганатную окисляемость воды (чаще окисление перманганатом калия ведут в кислой среде). Результаты определения окисляемости выражают в миллиграммах на литр в пересчете на кислород O либо указывают расход окислителя $KMnO_4$, необходимого для окисления органических веществ, содержащихся в 1 л воды.

Названный метод оценки содержания органических веществ является приближенным, поскольку в принятых для анализа условиях окисления могут прореагировать не все органические примеси, находящиеся в воде, и вместе с тем в этих условиях могут вступить в реакцию некоторые легко окисляющиеся минеральные вещества. Несмотря на условность характеристики степени загрязненности воды органическими веществами по перманганатной окисляемости, этот метод широко используется в водоподготовке.

Подземные природные воды, как правило, имеют небольшую окисляемость (0,5—2,0 мг O/л). В водах поверхностных источников окисляемость достигает 10—12 мг O/л. Воды рек, имеющих болотное питание, отличаются повышенной окисляемостью (до 30 мг O/л). В сточных водах окисляемость может быть еще выше.

Содержание органических веществ, придающих окраску природным водам, оценивают по цветности воды, которую определяют колориметрически по платиново-кобальтовой шкале.

Водородный показатель pH является одним из важнейших при характеристике качества природной и очищенной воды. Этот показатель характеризует реакцию воды (кислая, щелочная, нейтральная).

Молекулы воды диссоциируют на ионы H^+ и OH^- согласно уравнению $H_2O = H^+ + OH^-$.

По закону действующих масс можно записать:

$$\frac{f_{H^+}[H^+]\, f_{OH^-}[OH^-]}{[H_2O]} = K. \qquad (1.1)$$

Поскольку диссоциирует лишь ничтожная часть молекул воды, то $[H_2O]$ можно считать величиной постоянной. Тогда уравнение (1.1) примет вид:

$$f_{H^+}[H^+]\, f_{OH^-}[OH^-] = K[H_2O] = K_w$$

или

$$a_{H^+}\, a_{OH^-} = K[H_2O] = K_w. \qquad (1.2)$$

Константа K_w носит название ионного произведения воды. Числовые ее значения, а также значения обратного логарифма pK_w для различных температур приводятся в справочниках, например [1].

В химически чистой воде одна молекула, диссоциируя, дает по одному иону H^+ и OH^-, и активность каждого из них согласно уравнению (1.2) будет

$$a_{H^+} = a_{OH^-} = \sqrt{K_w}.$$

Иначе говоря, в химически чистой воде активные концентрации водородных и гидроксильных ионов равны и составляют при 22°C 10^{-7} мол/л (при этой температуре $K_w = 10^{-14}$). Поскольку активная концентрация водородных ионов a_{H^+} имеет широкий диапазон изменений и может достигать различных значений, удобнее выражать ее через отрицательный логарифм:

$$a_{H^+} = 10^{-pH}; \quad pH = -\lg a_{H^+}.$$

При 22 °C pH=7,0 соответствует нейтральной реакции водного раствора; с понижением этой величины реакция становится кислой, а с повышением—щелочной.

От значения pH водных растворов зависит степень диссоциации содержащихся в них слабых кислот и оснований. С повышением в растворе активности (или концентрации) ионов H^+ (понижение pH) содержание недиссоциированных молекул слабых кислот повышается, а их анионов понижается; для катионов слабых оснований наблюдается обратная картина. В природных водах pH колеблется в пределах 6—8 и зависит в основном от соотношения в воде концентраций HCO_3^- и H_2CO_3.

Индекс стабильности или насыщения воды карбонатом кальция (он также известен как индекс Ланжелье [8]) J используется для характеристики накипеобразующих и коррозионных свойств как природных, так и теплофикационных вод.

Этот индекс рассчитывается для данной температуры воды по формуле

$$J = pH - pH_s, \qquad (1.3)$$

где pH —измеренное значение pH воды с поправкой на температуру ее нагрева; pH_s—pH равновесного насыще-

ния воды карбонатом кальция при данной температуре

$$pH_s = f_1(t) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(Щ_o) + f_4(P); \qquad (1.4$$

$f_1(t)$, $f_2(Ca^{2+})$, $f_3(Щ_o)$, $f_4(P)$ — величины зависящие соответственно от температуры воды, содержания в ней ионов кальция, щелочности и общего содержания солей. Они определяются по графику на рис. 1.2.

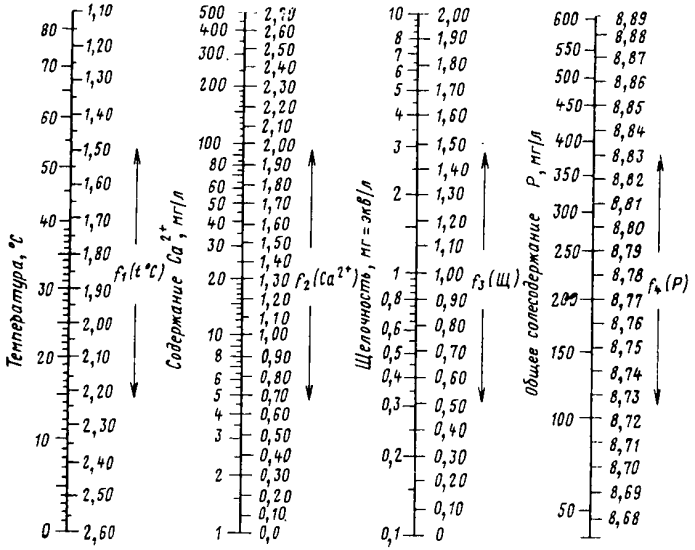


Рис. 1.2. График для определения pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция.

Значение pH_s можно найти по номограмме (рис. 1.3), которая создана на основе той же формулы (1.4) [2].

Для определения индекса насыщения J по формуле (1.3) нужно знать не только pH_s, но и pH исследуемой воды.

Если индекс насыщения нужно рассчитать для нагретой воды, то в измеренное значение $pH_{изм}$ должна вноситься поправка в соответствии с формулой $pH \approx pH_{изм} - a$. Поправки a для температуры 50—60 °С приведены в табл. 1.3 [3].

Таблица 1.3. **Температурные поправки a для определения pH воды после ее нагрева**

$pH_{изм}$ при 18—20° С	Температура нагретой воды, °С	Щелочность воды, мг-экв/л				
		0,5	1	2	4	8
8,0	50	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
8,2		0,2	0,15	0,15	0,15	0,1
8,4		0,3	0,2	0,2	0,15	0,15
7,6	60	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7,8		0,15	0,15	0,1	0,1	0,1
8,0		0,3	0,2	0,15	0,15	0,1
8,2		0,4	0,3	0,2	0,2	0,15
8,4		0,5	0,4	0,3	0,25	0,2

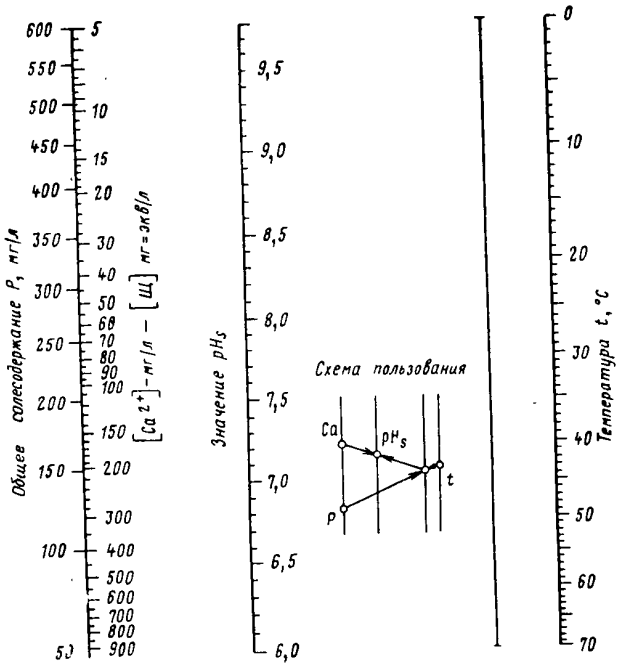


Рис. 1.3. Номограммы для определения pH_s, соответствующего равновесному насыщению воды карбонатом кальция.

592415
Экспериментальная библиотека им. А. М. Горького

Лапшникина Н.П. Водоподготовка и ВХР тепл. сетей

оборудования, элементах трассы сетевой воды, включая отопительные приборы, при одновременном соблюдении санитарно-гигиенических показателей качества воды, поступающей на горячее водоснабжение, с учетом требований надежности и экономичности тепловых сетей.

Принцип комплексного подхода к названным проблемам авторы использовали и при написании настоящей книги. В ней изложены теоретические основы физико-химических процессов, вызывающих образование отложений в водогрейном оборудовании. Рассмотрены современные способы очистки воды перед ее нагреванием. Освещены особенности водно-химического режима мощных водогрейных котлов. Даны теоретические основы термической деаэрации воды и других методов противокоррозионной защиты оборудования. Показаны свойства природных вод, применяемых в теплофикации, а также санитарно-гигиенические требования к воде, поступающей в теплосеть.

В книге обобщены результаты научных исследований ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского, а также данные многолетней эксплуатации установок, работающих на ТЭЦ, крупных районных котельных и на центральных тепловых пунктах многих городов страны.

Авторами сделана первая попытка обобщенного изложения основных проблем использования воды в тепловых сетях с учетом вопросов, возникающих у инженеров-теплотехников и химиков-водников, проектирующих и эксплуатирующих водное хозяйство теплосетей.

Книга написана: предисловие и гл. 1, 2 (§ 2.1—2.3), 4, 5 (§ 5.1 и 5.3), 9 (§ 9.1) канд. техн. наук Н. П. Лапшкиной, гл. 5 (§ 5.2), 6, 7 (§ 7.2 и 7.5), 9 (§ 9.2)—Р. П. Сазоновым. В создании книги участвовали канд. техн. наук А. Ф. Богачев (гл. 3 и § 7.3 и 7.4), А. А. Пшеменский (§ 2.4, 2.5 и гл. 8), Б. М. Столяров (§ 7.1).

Авторы выражают глубокую благодарность рецензенту доктору техн. наук, проф. О. И. Мартыновой за ценные советы и замечания, которые содействовали улучшению книги, а также доценту, канд. техн. наук. Н. П. Субботиной за большой труд по ее редактированию.

Авторы будут также признательны читателям за замечания и пожелания, которые следует направлять в Энергоиздат по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., д. 10.

Авторы

Глава первая

ПРИРОДНЫЕ ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

1.1. Характеристика природных вод, применяемых в тепловых сетях

В водяных тепловых системах, предназначенных для обеспечения населения теплом и горячей водой, в настоящее время применяются поверхностные речные и подземные (артезианские) воды. Использование для бытовых и технических целей атмосферной воды, выпадающей в виде осадков, ограничивается трудностью сбора ее в значительных количествах. Для морской воды характерна большая минерализованность, что практически исключает ее употребление для бытовых нужд.

В СССР для тепло- и горячего водоснабжения населения и промышленных объектов через тепловые сети, как правило, используется вода хозяйственно-питьевого назначения, качество которой регламентирует общесоюзный ГОСТ 2874-73 «Вода питьевая». При соответствии воды требованиям ГОСТ обеспечиваются ее безопасность в эпидемическом отношении, безвредность по химическому составу и благоприятные органолептические свойства. В ГОСТ «Вода питьевая» указываются допустимые концентрации в воде химических веществ, встречающихся в природных водах, добавляемых к воде в процессе ее обработки в виде реагентов и появляющихся в результате бытового, промышленного и сельскохозяйственного загрязнения водоисточников. Эти концентрации не должны превышать норм, установленных Министерством здравоохранения СССР для источников централизованного водоснабжения. Таким образом, установлена непосредственная органическая связь требований ГОСТ «Вода питьевая» и ГОСТ 17.1.03-77 «Охрана природы. Гидросфера. Правила выбора и оценка качества источников

1.3. Требования к качеству воды, добавляемой в теплосети, и сетевой воды, циркулирующей в них

Важным моментом при проектировании тепловы сетей является выбор источника водоснабжения. Качес во воды в нем будет существенно влиять на надежност водно-химического режима теплосети, а также на эко номические показатели теплофикации, определяя затра ты на сооружение и эксплуатацию водоподготвительно установки.

Как уже говорилось выше, исходная вода, пригод ная для нужд теплофикации, должна отвечать прежд всего требованиям стандарта «Вода питьевая».

Исходная водопроводная вода, соответствующа ГОСТ 2874-73, в зависимости от конкретного водоисточ ника может иметь очень разнообразный химический со став. Задача теплофикационной водоподготовки заклю чается в приведении качества исходной воды в соответ ствии с теми требованиями, которые обеспечивают на дежную и экономичную работу водогрейного оборудова ния и теплосети в целом.

Допустимые концентрации в питьевой воде химичес ких веществ согласно ГОСТ 2874-73 указаны ниже:

Сухой остаток, мг/л	1000
Хлориды Cl^-, мг/л	350
Сульфаты SO_4^{2-}, мг/л	500
Железо $Fe^{2+;\ 3+}$, мг/л	0,3
Марганец Mn^{2+}, мг/л	0,1
Медь Cu^{2+}, мг/л	1,0
Цинк Zn^{2+}, мг/л	5,0
Остаточный алюминий Al^{3+}, мг/л	0,5
Гексаметафосфат PO_4, мг/л	3,5
Триполифосфат PO_4, мг/л	3,5
Общая жесткость, мг-экв/л	7,0

Примечания: 1. По согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы содержание сухого остатка допускается до 1500 мг/л; общая жесткость должна быть не более 10 мг-экв/л.

2. При использовании подземных вод без установок по обезжелезиванию воды по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы содержание железа в воде, поступающая в водопроводную сеть, допускается до 1,0 мг/л.

Являясь энергетическим объектом, теплофикационные сети должны работать совместно и слаженно с другими звеньями энергетических систем (ТЭЦ, котельными, водоподготовительными установками и др.). Основные организационные и технические требования к эксплуатации энергетических объектов изложены в «Правилах технической эксплуатации электрических станций и сетей» (ПТЭ). Эти правила действительны для всех энергетических систем, тепловых электростанций на органическом топливе, электрических и тепловых сетей министерств и ведомств, а также для атомных элекростанций Министерства энергетики и электрификации СССР. Правила обязательны независимо от ведомственной подчиненности для научно-исследовательских, проектных, конструкторских, строительно-монтажных, ремонтных и наладочных организаций, выполняющих работы для электростанций и сетей. Выполнение требований, изложенных в ПТЭ, должно гарантировать надежную и экономичную работу всех энергетических объектов, в том числе и тепловых сетей.

Правила технической эксплуатации нормируют основные показатели качества подпиточной и сетевой воды, которые должны обеспечивать безнакипное и бескоррозионное состояние поверхностей нагрева основного водогрейного оборудования, работающего в системе тепловых сетей с непосредственным водоразбором и в сетях закрытого типа. К таким показателям относятся: карбонатная и общая жесткость, содержание растворенного кислорода, свободной углекислоты, взвешенных веществ и масел (табл. 1.4).

Таблица 1.4. **Качество воды для подпитки тепловых сетей и сетевой воды по ПТЭ**

Нормируемый показатель	Максимальная температура подогрева сетевой воды в установках источника тепла, °С		
	75 и ниже	76—150	151—200
Растворенный кислород, мг/л, не более	0,1	0,05	0,03
Взвешенные вещества, мг/л, не более	5	5	5
Карбонатная жесткость (при кальциевой жесткости не более 3,5 мг-экв/л), мг-экв/л, не более	1,5	0,7	0,4
Остаточная общая жесткость при использовании воды продувки котлов (допускается в закрытых системах теплоснабжения), мг-экв/л	—	0,05	0,05
Свободная углекислота, мг/л	0,0	0,0	0,0
Масла и тяжелые нефтепродукты, мг/л, не более	1	1	1

Антонычкина Н.П. Водоподготовка и ВХР тех. семей

В ПТЭ предусмотрены также показатели качеств подпиточной воды при ее противокоррозионной силика ной обработке. Силикат натрия должен вводиться в по питочную воду в таком количестве, чтобы содержан его в пересчете на SiO_2 не превышало 40 мг/л; произв дение кальциевой жесткости и общей щелочност (мг-экв/л), а также значение pH при этом должны соста лять: при температуре 101—150 °С $Ж_{ca}Щ_o=1,5$; pH= $=8,4\div8,5$; при 151—200 °С $Ж_{ca}$ $Щ_o=1,2$; pH$=8,4\div8,$

Правила запрещают использовать в теплосетях то сичный гидразин. (Известно, что на электростанция этот реагент широко применяется в качестве веществ корректирующего водно-химический режим основно контура).

В подпиточной и сетевой воде открытых систем те лоснабжения pH не должен превышать 8,5 согласно тр бованиям к питьевой воде. В закрытых системах тепл снабжения pH может быть больше 8,5.

Допуская в закрытых системах повышение pH, сл дует одновременно снижать общую жесткость, чтоб предупредить возможность выпадения карбоната каль ция. Последний будет выделяться из раствора, есл окажется превышенным произведение растворимост $CaCO_3$ при данной температуре. Опытом эксплуатаци установлена и подтверждена целесообразность умен шения общей жесткости воды, добавляемой в теплосет до 0,05 мг-экв/л и менее (см. табл. 1.4). Это требова ние должно выдерживаться при Na-катионирован добавочной воды в случае подачи в теплосеть отмывоч ных вод анионитных фильтров, а также в случае подпи ки теплосети продувочной водой паровых котлов, соде жащей гидраты и фосфаты.

Соблюдение норм ПТЭ по количеству растворенны газов (O_2 и CO_2) позволяет выдерживать нормы соде жания окислов железа в сетевой воде в соответствии ГОСТ на питьевую воду.

Глава вторая

ОБРАЗОВАНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ В ВОДОГРЕЙНОМ ОБОРУДОВАНИИ

2.1. Основные сведения о низкотемпературных отложениях

В теплофикационной практике используется различное по тепловым характеристикам водогрейное оборудование. В мощных водогрейных котлах при сжигании мазута или газа местные удельные нагрузки (особенно в конвективной и экранной частях котла) могут достигать 520—580 кВт/м² [45—50 тыс. ккал/(м²·ч)], а температура поверхности нагрева—250—300 °С. Образование слоя отложений ухудшает коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой воде и способствует тому, что температура стенки трубы становится выше температуры кипения воды при данном давлении. Интенсивное образование отложений на внутренней поверхности труб при неблагоприятных условиях эксплуатации агрегата может вызвать их пережог; особенно в конвективных пучках котла.

Пароводяные поверхностные и водо-водяные секционные подогреватели работают с меньшей теплонапряженностью поверхностей нагрева, равной соответственно 3,5—4,5 кВт/м² [3—4 тыс. ккал/(м²·ч)] и 1,7—2,3 кВт/м² [1,5—2 тыс. ккал/(м²·ч)]. Образующиеся отложения в этом случае снижают теплопроизводительность теплообменников.

Загрязненность отложениями основных магистралей теплотрассы и трубопроводов местных систем может привести к ухудшению гидродинамического режима тепловых сетей.

В зависимости от технологии изготовления трубопроводов абсолютная шероховатость их внутренней поверхности, под которой понимают высоту выступа шероховатостей, для большинства работающих стальных трубопроводов колеблется в пределах 0,05—2 мм. Увеличение этого показателя из-за накопления продуктов коррозии в результате подпитки теплосети недеаэрированной водой обусловливает возрастание сопротивления тепловой сети, что в конечном итоге приводит к дополнительному расходу электроэнергии на прокачку сетевой воды. Такой случай в 60-е годы имел место в Астра-

ханской городской сети, где одновременно отмечалось ухудшение органолептических показателей воды и появление сквозных свищей в трубопроводах, особенно местных систем.

Образование в водогрейных котлах и теплообменниках отложений, нарушающих их нормальную работу, приводит к необходимости периодической очистки поверхностей нагрева. Это сопряжено с простоями оборудования, значительными трудозатратами и повышенным износом труб. Еще больших затрат человеческого труда и материальных ресурсов требует устранение неполадок в магистральных теплотрассах и трубопроводах местных систем, вызванных нарушением водно-химического режима.

Отложения, образующиеся на поверхностях нагрева водогрейного оборудования, относятся к классу так называемых низкотемпературных. Основным компонентом таких отложений является карбонат кальция. В зависимости от химического состава исходной воды и конкретных условий работы теплообменника в отложениях могут присутствовать окислы железа, сульфат кальция, силикаты и др.

В табл. 2.1 приведены примеры химического состава отложений, наиболее часто встречающиеся в практике работы водогрейного оборудования.

Образец 1 является примером типичной карбонатной накипи. При использовании артезианской воды без соответствующего обезжелезивания (образцы 2 и 3) в отложениях кроме карбоната кальция присутствуют окислы железа.

В водогрейном оборудовании, особенно в водогрейных котлах ПТВМ и ТВГМ, а также в разводящих трубах горячего водоснабжения встречаются отложения, состоящие из продуктов коррозии конструкционных материалов. Количество таких отложений и вероятность их появления существенно увеличиваются, если не налажено удаление из нагреваемой воды коррозионно-активных газов—кислорода и свободной углекислоты (образец 4).

При нагревании вод с повышенным содержанием сульфатов и кальция, особенно при возникновении такого нарушения в работе водогрейного котла, как появление поверхностного кипения, образуются сульфатно-железоокисные отложения (образец 5) или карбонатно-

Таблица 2.1. Химический состав образцов низкотемпературных отложений

Место отбора отложений	Потери при прокаливании, %	Химический состав (в пересчете на окислы), %						Сумма окислов, %
		CaO	MgO	Fe_2O_3	SiO_2	SO_3	P_2O_5	
1. Подогреватель горячего водоснабжения теплосети Мосэнерго	44,98	49,63	3,02	1,37	0,36	1,43	—	100,79
2. Трубки подогревателя горячего водоснабжения, г. Клин	36,00	25,96	3,81	23,46	6,20	0,42	—	95,85
3. То же, г. Рязань	43,5	46,7	1,97	6,08	0,70	0,20	—	99,15
4. Труба местной абонентской системы теплосети, г. Саратов	8,4	4,68	0,38	82,89	1,95	0,28	0,07	98,65
5. Трубы конвективного пучка котла ПТВМ-100	3,7	45,6	—	26,1	6,1	16,4	—	97,90
6. Трубы фронтового экрана котла ТВГМ-30	18,0	56,08	2,51	6,43	4,6	9,4	0,04	97,06
7. Трубки охладителя подстанции Мосэнерго	42,43	23,92	3,62	1,40	19,23	3,38	1,31	95,29
8. Трубки конденсатора Заинской ГРЭС	37,45	43,46	0,96	2,80	13,06	3,06	0,81	101,1

сульфатные накипи (образец 6). Если в теплообменнике нагревается вода непосредственно из природного источника, то в составе образующихся отложений кроме карбоната кальция находят обычно органические вещества (образец 7) и кремнекислые отложения (образец 8).

Низкотемпературные отложения, имеющие достаточно разнообразный химический состав, различаются по внешнему виду и структуре. Карбонатные отложения могут быть в виде плотно приставшего к металлу слоя темно-серого, коричневого или темно-коричневого цвета иногда слоистого строения, где вместе с кристаллическими веществами соседствуют и аморфные. Карбонатные отложения могут также быть в виде рыхлой массы, слабо скрепленной с поверхностью металла. В ней наряду с карбонатом кальция содержатся принесенные водой продукты коррозии и механические взвеси. Иногда кристаллы карбоната кальция выделяются в объеме жидкости и затем оседают на теплопередающую поверхность металла. Это так называемые отложения вторичного происхождения или вторичные накипи. Отложения, содержащие сульфат кальция и силикат кальция, характеризуются большой твердостью и плотностью и крепко пристают к стенкам поверхности нагрева. В латунных трубках подогревателей, металл которых подвергается обесцинкованию, отложения имеют вид групповых наростов, располагающихся на обесцинкованных участках.

В отложениях, содержащих гидрат окиси железа, обычно имеются два слоя: нижний, плотно прилегающий к трубке, состоит из смеси кристаллов карбоната кальция с аморфной гидроокисью железа $Fe(OH)_3$; рыхлый верхний слой бывает «припудрен» порошком гидрата окиси железа, еще не связанного в плотную массу карбонатом кальция.

2.2. Условия выделения карбоната кальция из раствора

В зависимости от конкретных физико-химических условий природные воды могут содержать растворенные вещества в различной форме: в виде свободных ионов (обычно гидратированных), в виде недиссоциированных молекул, а также ионных пар.

Воды большинства рек и озер представляют собой сильно разбавленные водные растворы, характеризующиеся значением ионной силы $\mu \leqslant 0{,}05$. Они содержат

главные растворенные компоненты в виде свободных ионов. Поэтому данные химического анализа таких вод, выраженные в концентрациях Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, CO_3^{2-} и т. д., дают вполне удовлетворительный баланс компонентов.

В природных водах, ионная сила которых приближается к 0,1 или выше (например, морская вода), усиливается взаимодействие между тесно сближенными ионами, приводящее к образованию ионных пар. Они существуют в результате электростатического взаимодействия противоположно заряженных ионов. Могут образовываться незаряженные ионные пары (ассоциаты), например $Ca^{2+}+CO_3^{2-} \rightleftarrows CaCO_3^0$, а также заряженные комплексные пары типа

$$Ca^{2+} + HCO_3^- \rightleftarrows CaHCO_3^+; \quad Ca^{2+} + OH^- \rightleftarrows CaOH^+.$$

Присутствие в минерализованной воде ионных пар или других комплексов, находящихся в равновесии с ионами, оставшимися свободными, существенно изменяет свойства раствора. Последнее нельзя игнорировать при расчете условий термодинамического равновесия веществ, растворенных в воде с повышенным солесодержанием. В частности, это обстоятельство учитывается при разработке метода расчетного определения равновесных ионных концентраций, состава и количества твердой фазы, выделяющейся при упаривании вод типа морской в испарительных и опреснительных установках [4 и 5].

Углекислота в растворах может находиться как в виде ионов HCO_3^- и CO_3^{2-}, так и наряду с ними в виде молекул CO_2 и H_2CO_3.

Для природных вод открытых водоемов и питьевых грунтовых вод углекислотно-кальциевые равновесия с достаточной точностью можно определить без учета образования ионных ассоциатов, поскольку в этих водах образование ассоциированных ионов незначительно [6] из-за их низкой и средней минерализованности. О таких водах и пойдет речь при последующем изложении условий углекислотно-кальциевого равновесия. Поверхностные природные воды идентичны системе, в которой растворы карбонатов находятся в контакте с атмосферой с определенным парциальным давлением свободной углекислоты, при этом pH растворов определяется углекислотным равновесием.

Количественное соотношение между присутствующ
ми в воде углекислыми соединениями определяется ура
нениями первой и второй ступеней диссоциации угольн
кислоты:

$$H_2CO_3 \rightleftarrows H^+ + HCO_3^-;$$

$$HCO_3^- \rightleftarrows H^+ + CO_3^{2-};$$

$$\frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = \frac{K^I_{H_2CO_3}}{f_I^2};$$

$$\frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]} = \frac{K^{II}_{H_2CO_3}}{f_{II}},$$

где $K^I_{H_2CO_3}$ и $K^{II}_{H_2CO_3}$ —константы диссоциации угольно
кислоты по I и II ступеням; их численные значения пр
различных температурах приведены в табл. 2.2; $[H^+]$
$[HCO_3^-]$, $[CO_3^{2-}]$ $[H_2CO_3]$—концентрации в воде соответст
венно ионов H^+, HCO_3^-, CO_3^{2-} и молекул H_2CO_3, моль/к
f_I и f_{II}—коэффициенты активности одно-и двухвалентны
ионов.

Таблица 2.2. Константы диссоциации угольной кислоты по I и II ступеням

Температура воды, °С	$10^{-7} K^I$	pK^I	$10^{-11} K^{II}$	pK^{II}
0	2,65	6,579	2,36	10,625
5	3,04	6,517	2,77	10,557
10	3,43	6,464	3,24	10,420
15	3,89	6,419	3,71	10,430
20	4,15	6,381	4,20	10,377
25	4,45	7,352	4,69	10,329
30	4,71	6,327	5,13	10,290
40	5,06	6,298	6,03	10,220
50	5,16	6,287	6,73	10,172
60	5,02	6,299	7,20	10,143
70	4,69	6,329	7,52	10,124
80	4,21	6,376	7,55	10,122

Примечание. pK — отрицательный десятичный логарифм константы диссоциации.

Значения коэффициентов активности зависят от ион
ной силы раствора μ, т. е. от концентрации и валентно
сти всех находящихся в воде ионов.

Количественно μ выражается как полусумма произ
ведений молярных концентраций всех содержащихся в
растворе ионов m_i на квадрат заряда каждого из них z_i

$$\mu = 0{,}5 \sum_{i=1}^{n} m_i z_i^2.$$

Для определения коэффициента активности индиви
(2.
дуального иона в природных водах питьевого качества
может быть использовано уравнение Дебая-Хюккеля [6].
Однако в практических расчетах чаще пользуются сле
(2.
дующим уравнением упрощенного вида:

$$\lg f_i = -0{,}5 z_i^2 \frac{\sqrt{\mu}}{1+\sqrt{\mu}}.$$

Таблица 2.3. Коэффициенты активности некоторых ионов в пресных природных водах

Заряд иона	Ионная сила раствора μ					
	0,001	0,002	0,005	0,01	0,02	0,05
1	0,97	0,95	0,95	0,90	0,87	0,81
2	0,87	0,82	0,74	0,66	0,57	0,44
3	0,73	0,64	0,51	0,39	0,28	0,15

Можно также воспользоваться значениями коэффи
циентов активности ионов, приведенными в табл. 2.3.

Из уравнений (2.1) и (2.2) следует, что соотношение
между различными формами соединений угольной кис
лоты при неизменной температуре зависит от концент
рации ионов водорода, т. е. от значения pH. Контакт
природных вод в открытых водоемах с атмосферным
воздухом способствует обмену свободной углекислотой
между водой и воздухом. Изменение концентрации уг
лекислоты в жидкости влечет за собой изменение pH, а
следовательно, и концентрации карбонат-ионов.

Существующее углекислотное равновесие может быть
выражено суммарно следующим уравнением:

$$2HCO_3^- \rightleftarrows CO_3^{2-} + CO_2 + H_2O, \qquad (2.3)$$

а в присутствии ионов кальция — соответственно урав
нением

$$Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows CaCO_3 + CO_2 + H_2O. \qquad (2.4)$$

Равновесной концентрации бикарбонатов в воде при данной температуре соответствует равновесная концентрация свободной углекислоты. Если находящееся в воде количество свободной углекислоты будет ниже равновесного, то это приведет по уравнению (2.3) к дополнительному образованию карбонат-ионов CO_3^{2-}, которые могут перевести в осадок (в виде $CaCO_3$) ионы кальция. Наоборот, избыток фактически присутствующей в воде свободной углекислоты по сравнению с ее равновесной концентрацией делает воду «агрессивной», т. е. способной дополнительно растворять карбонат кальция, контактирующий с ней.

Движущей силой процесса образования твердой фазы $CaCO_3$ в растворе углекислых соединений при данной температуре является пересыщение по этому соединению, что может быть представлено как

$$a_{Ca^{2+}} a_{CO_3^{2-}} > ПР_{CaCO_3}, \qquad (2.5)$$

где $a_{Ca^{2+}}$ и $a_{CO_3^{2-}}$ — активности соответствующих ионов; $ПР_{CaCO_3}$ — произведение растворимости $CaCO_3$ для данной температуры.

Наличие пересыщения может быть определено путем сравнения реального произведения активностей ионов Ca^{2+} и CO_3^{2-} в данном растворе, вычисленного с учетом ионной силы этого раствора, с $ПР_{CaCO_3}$.

Значения отрицательного десятичного логарифма произведения растворимости $CaCO_3$, заимствованные из [6 и 7], приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4. **Значения $pПР_{CaCO_3}$ для различных температур**

Температура, °С	$pПР_{CaCO_3}$ (кальцит)	
	[6]	[7]
25	8,52	8,43±0,05
50	8,76	8,64
100	9,50	9,34
150	10,35	10,28
200	11,47	11,38

Зная термодинамическую вероятность протекания процесса выделения твердой фазы $CaCO_3$ из вод, используемых в теплофикации, можно характеризовать накипеобразующие свойства воды данного качества в рассматриваемых условиях ее использования. Так, если термодинамические расчеты показывают возможность кристаллизации из воды, нагретой до определенной температуры, твердой фазы карбоната кальция, то такая вода обладает потенциальной готовностью к кальциево-карбонатному накипеобразованию.

Условие теоретической невозможности появления карбонатной накипи запишется так:

$$a_{Ca^{2+}} a_{CO_3^{2-}} < ПР_{CaCO_3}.$$

Расчетный метод определения пересыщения по карбонату кальция в воде данного химического состава, нагретой до нужной температуры, заключается в нахождении произведения активностей ионов этого соединения в растворе. Для этого требуется найти значения активностей ионов кальция и карбонат-ионов, используя известные (по результатам анализа) концентрации всех содержащихся в растворе ионов, определить значения коэффициентов активностей этих ионов и ионную силу раствора, а также учесть процесс термического разложения бикарбонатов, происходящий при нагревании и увеличивающий содержание ионов CO_3^{2-} в нагретой воде. В условиях нормальной работы водогрейного оборудования вода в процессе нагревания не вскипает, поэтому разложение бикарбонат-ионов происходит без отвода из системы газообразной углекислоты и может быть описано уравнением

$$2HCO_3^- \rightleftarrows CO_3^{2-} + H_2CO_3 \rightleftarrows CO_3^{2-} + H^+ + HCO_3^-.$$

Далее сравнивают полученное расчетом значение $a_{Ca^{2+}} a_{CO_3^{2-}}$ с произведением растворимости $CaCO_3$ при данной температуре и определяют, пересыщена ли вода по $CaCO_3$, т. е. имеется ли потенциальная возможность выделения карбоната кальция из этого раствора.

Результаты расчетов, основы которых изложены выше, устанавливают обязательные химические условия процесса образования и выделения из нагретого раствора твердой фазы (кристаллов) вещества, которое может в дальнейшем участвовать в образовании накипи. Совершенно очевидно, что и другие критерии, выведенные из условий равновесия (например, «кристаллизационный напор»), не могут дать количественной характеристики процесса карбонатного накипеобразования, протекающего с вполне определенной скоростью, соответствующей типу водогрейного оборудования и конкретным условиям нагревания.

Для качественной оценки накипеобразующей способности природной воды недавно предложен показатель, названный кристаллизационным напором [9]. Он представляет собой отношение:

$$\eta = \frac{a_{Ca^{2+}} a_{CO_3^{2-}}}{ПР_{CaCO_3}}.$$

При углекислотном равновесии кристаллизационный напор равен единице. Ненасыщенный раствор карбоната кальция характеризуется значением $\eta < 1$. При $\eta >$ раствор пересыщен и вода с таким показателем может быть причиной карбонатного накипеобразования в теплообменнике, где происходит ее нагревание.

В практике эксплуатации водогрейного оборудования важно иметь данные не только о возможности появления твердой фазы, но и о скорости роста слоя накипи, а также оценивать толщину слоя отложений, которая сказывается на снижении теплопроизводительности оборудования.

Надежным количественным критерием процесса накипеобразования и оценки накипеобразующих свойств нагреваемых вод может служить **только конкретное значение интенсивности образования отложений в реальных условиях эксплуатации каждого вида водонагревателей.**

Чтобы облегчить практическое определение накипеобразующих свойств природных вод, идущих на горячее водоснабжение (нагревание не выше 70 °С), авторами предложено использовать расчетное значение индекса J (см. § 1.2) в качестве количественной характеристики этого показателя. Это стало возможным после сопоставления значений J, полученных расчетом для вод различного состава, с интенсивностями образования отложений, экспериментально зафиксированными в подогревателях горячего водоснабжения при нагревании тех же вод в эксплуатационных условиях. Так, многочисленными экспериментальными и промышленными данными было установлено, что воды, значение J которых находится в пределах $0 < J < 0{,}5$, в условиях нагревания до 70 °С вызывают образование отложений со скоростью, не превышающей 0,20 г/(м²·ч). Теплообменники, нагревающие воду указанного качества, после годичной эксплуатации не нуждаются в кислотной промывке. Отложения, обнаруженные в трубках, состоят в основном (на 80—90 %) из продуктов коррозии, содержащихся в нагреваемой водопроводной воде, и легко удаляются промывкой смесью воды и воздуха. Отсюда следует, что природные воды с $0 < J < 0{,}5$ могут быть отнесены к водам со слабо выраженной способностью к накипеобразованию, они не нуждаются в противонакипной обработке перед нагреванием в подогревателях горячего водоснабжения.

Природные воды, характеризующиеся значением $1{,}0 > J \geqslant 0{,}5$, в условиях работы подогревателей горячего водоснабжения имеют интенсивность накипеобразования 0,2—0,5 г/(м²·ч). При использовании этих вод в водоводяных подогревателях требуется проводить противонакипную обработку воды перед ее нагреванием или чистить трубки после каждого отопительного сезона.

Природные воды с интенсивностью накипеобразования в рассматриваемых условиях нагревания выше 0,5 г/(м²·ч) характеризуются $J > 1$ и относятся к природным водам высокой накипеобразующей способности. В этой группе вод могут находиться и такие, химический состав которых не позволяет использовать их в качестве питьевых без соответствующей предварительной подготовки.

В табл. 2.5 приведены значения J и интенсивности накипеобразования $V_{отл}$ для нескольких природных вод при их нагревании в подогревателях горячего водоснабжения.

Использование индекса J для оценки склонности природной воды к карбонатному накипеобразованию в указанных выше условиях нагревания помогает правильно-

Таблица 2.5. **Значения j и $v_{отл}$ для вод различного состава, нагреваемых до 70 °С**

Источник природной воды	Качество воды			
	Щелочность, мг-экв/л	Ca^{2+}, мг/л	Солесодержание, мг/л	pH
1. р. Волга (Астрахань)	2,0	60	150	7,1
2. р. Москва	3,8	73	200	7,5
3. Терновское водохранилище (Донбасс)	3,14	400	3000	8,5

Продолжение табл.

Источник природной воды	I	$q_{отл}$, г/(м²·ч)	Накипеобразующая способность воды	Необходимость кислотных промывок подогревателя
1. р. Волга (Астрахань)	0,15	0,13	Слабо выраженная	Отсутствует, достаточно водовоздушной промывки
2. р. Москва	0,75	0,35	Средняя	Ежегодно
3. Терновское водохранилище	2,0	1,80	Высокая	Через 3—4 мес с начала работы

му выбору схемы обработки воды при проектировании теплообменной установки. Следует, однако, помнить, что названные выше числовые значения I справедливы лишь для конкретного диапазона температур нагреваемой воды и типа теплообменников. Для других видов трубчатых теплообменников эти закономерности могут быть использованы в качестве ориентировочных с учетом отличия тепловых, гидродинамических и других эксплуатационных условий от имеющихся в описанных нагревателях. И, конечно, эти закономерности не предназначены для случая нагревания воды до 130—150 °С в водогрейных котлах.

2.3. Образование отложений при нагревании воды в трубчатых теплообменниках

Отделение водно-химических процессов ВТИ изучало интенсивности образования кальцием-карбонатных отложений при нагревании воды в условиях, максимально приближающихся к эксплуатационному режиму работы теплообменников. Экспериментальные установки, на которых проводилась эта работа, схематично изображены на рис. 2.1 и 2.2.

Установка на рис. 2.1 позволяет воспроизводить условия работы, характерные для различных пароводяных и водо-водяных подогревателей по таким показателям, как температура нагрева воды, скорость ее движения в трубках, скорость изменения температуры воды по длине трубок (температурный линейный градиент теплообменника), а также допускает присоединение установки к источнику воды любого химического состава.

Экспериментальная установка на рис. 2.2 позволяет имитировать условия работы теплообменников, для которых характерен небольшой нагрев воды $\Delta t = 8{,}5 \div 10$ °С и малый температурный линейный градиент, равный 1 °С/м при удельных тепловых нагрузках

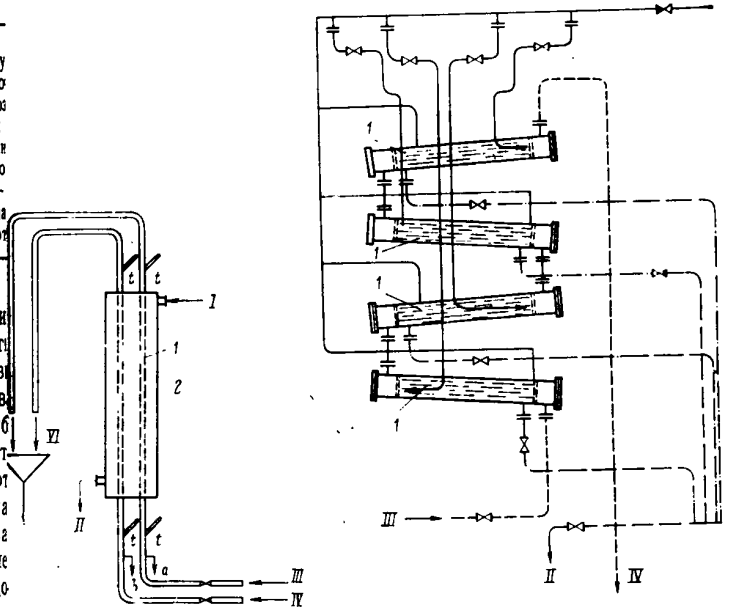


Рис. 2.1. Схема установки для изучения интенсивности карбонатного накипеобразования при нагревании воды в условиях движения.
1 — экспериментальная трубка; *2* — контрольная трубка; *a* и *b* — точки отбора проб воды; *t* — точки измерения температуры; *I* — пар или греющая вода; *II* — конденсат или охлажденная вода; *III* и *IV* — исходная, ненагретая вода; *V* и *VI* — нагретая вода.

Рис. 2.2. Схема установки для изучения интенсивности карбонатного накипеобразования в теплообменниках с малым температурным градиентом нагревания.
1 — теплообменник; *I* — пар низкого давления; *II* — конденсат; *III* — исходная ненагретая вода; *IV* — нагретая вода.

17—40 кВт/м² [15—35 тыс. ккал/(м²·ч)]. В таких условиях, например, нагревается вода в трубках конденсаторов турбин при конденсации отработанного пара.

На обеих описаиных выше установках проводились серии опытов с целью выяснения влияния одного или суммы факторов на процесс карбонатного накипеобразования. Каждый опыт завершался количественной оценкой выделившихся на поверхностя трубок теплообменника отложений. Кроме того, осуществлялся химический ана-

лиз отложений, снятых с поверхности трубок. Обычно одна, две и несколько трубок из теплообменника вынимались и разрезались части, чтобы проследить изменение количества отложений по дл трубок в направлении движения нагреваемой воды.

Влияние температуры воды как основного фактора, опреде ющего интенсивность образования карбонатных отложений, че прослеживается (рис. 2.3). Опыты с водой разного состава, про

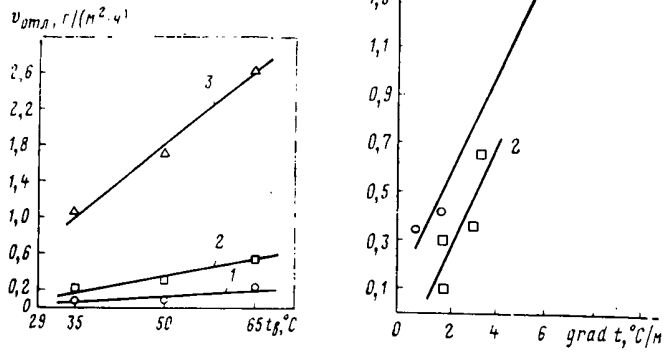


Рис. 2.3. Влияние температуры $t_в$ и химического состава воды интенсивность накипеобразования.

1 — волжская вода ($Щ_0$=2,0 мг-экв/л; $Ж_0$=3,11 мг-экв/л; S=150 мг/л; pH=7,1
2 — москворецкая вода ($Щ_0$=3,80 мг-экв/л; $Ж_0$=4,56 мг-экв/л; S=200 мг/л; pH=7,5); *3* — вода Терновского водохранилища ($Щ_0$=3,14 мг-экв/л; $Ж_0$=23,51 мг-экв/л; S=3000 мг/л; pH=8,5).

Рис. 2,4. Интенсивность карбонатного накипеобразования в зависимости от температурного градиента нагревания grad t.

1 — вода с J=2 ($Щ_0$=2,75 мг-экв/л; Ca^{2+}=230 мг/л; S=3000 мг/л; pH=8,3
2 — вода с J=1,6($Щ_0$=5,2 мг-экв/л; Ca^{2+}=52,1 мг/л; S=700 мг/л; pH=8,3).

кающей по трубкам со скоростью 0,65—0,80 м/с нагреваемой д 65—70 °С, выявили значительное влияние на интенсивность накип образования химического состава исходной воды и прежде всего е карбонатной жесткости (щелочности) и общей жесткости (содерж ние иона кальция).

Возрастание в нагреваемой воде концентрации иона кальция условиях практически полного отсутствия свободной углекисло (pH=8,4÷8,5) приводит к увеличению интенсивности выделени карбонатных отложений на порядок и больше (рис. 2.3). При л бом составе нагреваемой воды характер распределения отложени

по длине трубки теплообменника одинаков и определяется постепенным ростом температуры воды, ускоряющей процесс термического распада бикарбонатов.

Температура, при которой начинают появляться отложения на поверхности трубок, зависит от солевого состава нагреваемой воды. Если вода относится к категории вод повышенной накипеобразующей способности (например, вода Терновского водохранилища в Донбассе), то выделение карбоната кальция происходит уже при 20 °С с интенсивностью 0,15 г/(м²·ч). При использовании воды типа москворецкой названная интенсивность достигается только при нагреве выше 30 °С, а трубки, соприкасающиеся с водой при температуре ниже 25° С, не имеют отложений.

Интенсивность карбонатиого накипеобразования существенно зависит от скорости, повышения температуры воды по длине трубок при выбранной и постоянно поддерживаемой степени нагрева жидкости. Этот показатель может быть определен как температурный линейный градиент нагревания в данном подогревателе. Градиент выражается:

$$\text{grad } t = (t_2 - t_1)/l = \Delta t/l,$$

где t_1 и t_2 — температура воды в подогреватель и на выходе из него; l — длина отдельной трубки теплообменника.

Эксперименты по нагреванию воды одного и того же состава в теплообменнике с градиентом, равным 1,7 °С/м, и в подогревателе, градиент которого увеличен до 8,3 °С/м путем уменьшения длины трубок примерно в 4 раза, показали, что указанное увеличение градиента сопровождается ростом интенсивности накипеобразования вдвое. Характер влияния температурного градиента на интенсивность карбонатного накипеобразования не изменяется с переходом на воду другого химического состава (см. кривые 1 и 2 на рис. 2.4). По обеим кривым прослеживается возрастание интенсивности при переходе к нагреванию в условиях увеличенного температурного градиента; количественные показатели зависимости скорости накипеобразования от температурного градиента определяются накипеобразующими свойствами нагреваемой воды.

Связь между скоростью образования отложений карбоната кальция и температурным градиентом, определяющим характер нагревания в условиях движущейся жидкости, должна учитываться при выборе типа теплообменника для нагревания воды. В общем виде положение может быть сформулировано следующим образом: чем выше накипеобразующая способность исходной воды и чем больше степень нагрева жидкости, тем меньше должен быть температурный градиент. Применение для таких вод теплообменников с низким температурным градиентом (меньше 1 °С/м) позволяет снизить интенсивность выделения карбонатных отложений и увеличить рабочий период эксплуатации между чистками поверхностей нагрева.

Исследуя влияние на интенсивность карбонатного накипеобразования тепловых факторов, интересно было проследить воздействие на этот процесс удельных тепловых нагрузок, характеризующих рабочую поверхность теплообменника. На экспериментальной установке (см. рис. 2.2) степень нагрева воды Δt=10 °С, причем на входе вода имела температуру 18±1, а на выходе 28±1 °С. Опыты проводились на воде, обладающей повышенной накипеобразующей способностью ($Щ_0$=3,8 мг-экв/л, $Ж_0$=23,5 мг-экв/л и pH=8,5). На рис. 2.5 показаны результаты одной из серий этих опытов про-

должительностью 1700 ч. Тепловая нагрузка трубок первых двух теплообменников составляет примерно 60 % тепловой нагрузки, приходящей на всю рабочую поверхность теплообменника. Максимальная интенсивность образования отложений получена в выходных трубках установки.

Отсутствие непосредственной связи между теплонапряженностью поверхностей нагрева и интенсивностью выделения на ней карбонатной накипи подвердили опыты по нагреванию воды в условиях работы водогрейного котла (см. § 2.4).

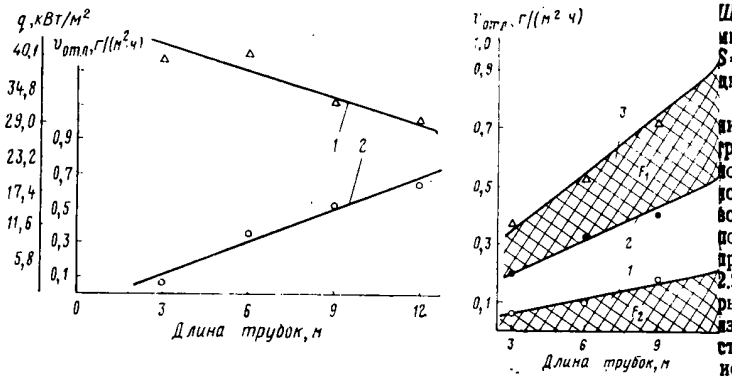


Рис. 2.5. Соотношение между интенсивностью образования отложений и удельной тепловой нагрузкой q трубок теплообменника

1 — теплонапряженность рабочей поверхности нагрева; *2* — интенсивность образования отложений.

Рис. 2.6. Скорость образования карбонатных отложений на поверхности трубок теплообменника, загрязненных накипью.

1 — трубка с чистой поверхностью; *2* — трубка с загрязненной поверхностью перед опытом; *3* — трубка с загрязненной поверхностью после опыта; F_1 — колнчество отложений, образовавшихся во время опыта на загрязненной поверхности; F_2 — колнчество отложений, образовавшихся во время опыта на чистой поверхности.

Таким образом, можно считать обоснованным вывод лишь о косвенном влиянии теплонапряженности поверхностей нагрева на интенсивность накипеобразования на них при повышении или понижении температуры воды, соприкасающейся с этими поверхностями.

Не менее важным фактором, определяющим интенсивность загрязнения рабочей поверхности карбонатными отложениями, является состояние самой поверхности трубок, непосредственно омываемой нагреваемой водой. Практика эксплуатации трубчатых теплообменников показывает, что на поверхности трубок со временем могут появляться неровности и шероховатости, вызванные коррозионным воздействием воды, отложением частиц взвешенных веществ, содержащихся в ней. Возможно также образование в трубках слоя отложений органического характера, если в воде имеются примеси биологического происхождения. Наиболее часто, особенно при использовании воды с высокими накипеобразующими свойствами,

на поверхности трубок сохраняются ранее образовавшиеся карбонатные отложения, цементирующие воедино все другие частицы, задерживающиеся в трубках (рис. 2.6). На рисунке показана скорость образования карбонатных отложений, зафиксированная во время опыта на чистой поверхности трубок (прямая *1*) и в трубках, имевших загрязненную поверхность (прямая *3*). Прямая *2* дает представление о загрязненности трубок перед опытом. Продолжительность опыта 1800 ч, нагрев $\Delta t = 21 - 12 = 9$ °С, качество воды: $Щ_0 = 2{,}65$ мг-экв/л, $Ж_0 = 21{,}84$ мг-экв/л, общее солесодержание $S = 3140$ мг/л, pH = 8,1, скорость движения воды 1 м/с.

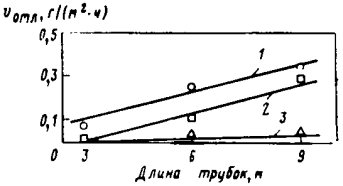


Рис. 2.7. Интенсивность карбонатного накипеобразования в трубках с различной поверхностью.

1 — трубка из латуни Л-68, травленная раствором кислоты; *2* — трубка из латуни Л-68 нетравленая; *3* — трубка из красной меди.

Интенсификацию образования карбонатных отложений в трубках вызывают любые неровности и шероховатости поверхности иезависимо от природы их возникиовения. Это положение подтверждается экспериментами, проведенными на установке (рис. 2.2) с теплообменником, в который были вмонтированы трубки из металлов разной коррозионной стойкости по отношению к исходной воде, а также трубки с поверхностью, на которой искусственно создавалась шероховатость путем предварительной обработки этой поверхности раствором кислоты. Опыт проводился на природной воде следующего состава: $Щ_0 = 4{,}3$ мг-экв/л, $Ж_0 = 10{,}2$ мг-экв/л, $Cl^- = 295$ мг/л, $SO_4^{2-} = 217$ мг/л, $S = 835$ мг/л, pH = 8,0. Продолжительность опыта 1690 ч. Индекс насыщения воды карбонатом кальция составлял: $J_{30°C} = 0{,}84$ и $J_{50°C} = 1{,}14$, скорость движения воды в трубках 1,6 м/с. Результаты опыта представлены на рис. 2.7, из которого видно, что с наибольшей скоростью накипеобразование протекает на поверхности с искусственно созданной повышенной шероховатостью (кривая *1*). Коррозия поверхности трубок из латуни Л-68 (кривая *2*) способствовала увеличению образования карбонатных отложений.

На основании проведенных опытов были сделаны следующие выводы.

1. Основными факторами, непосредственно определяющими интенсивность карбонатного накипеобразования, являются химический состав и температура нагреваемой воды.

2. Тепловая нагрузка, характеризующая поверхность нагрева теплообменника, непосредственно не влияет на интенсивность накипеобразования. Косвенное ее влияние проявляется, когда увеличение теплонапряженности поверхности сопровождается ростом ее температуры настолько, что происходит повышение температуры нагре-

ваемой воды, а это вызывает увеличение разложен
бикарбоната кальция — процесс, лежащий в основе к
бонатного накипеобразования.

3. Индекс стабильности или насыщения воды по ка
бонату кальция J, рассчитанный для данной темпера
ры нагревания по результатам химического анал
исходной воды, может служить показателем накипеобр
зующей способности природной воды, предназначае
для горячего водоснабжения.

Природные воды с $0 < J_{70°C} < 0{,}5$ обладают инте
сивностью карбонатного накипеобразования не вы
0,15 г/(м²·ч). Они не нуждаются в противонакипно
обработке перед нагреванием в подогревателях горяче
водоснабжения.

4. При эксплуатации теплообменников одновремен
с осуществлением противонакипных мероприятий до
жны приниматься меры для предотвращения появлен
шероховатости или коррозионных повреждений на п
верхности трубок. Повреждения могут нарушить рабо
теплообменника и, кроме того, будут интенсифицир
вать образование карбонатных отложений.

2.4. Процессы образования накипи в водогрейных котл

**Основные физико-химические факторы процесс
накипеобразования.** Теплофикационные водогрейны
котлы предназначены в основном для подогрева воды
тепловому графику в течение нескольких отопительны
сезонов без очистки и дополнительных средств защит
от внутренней коррозии поверхностей нагрева. В осно
ном режиме температура нагрева воды обычно коле
лется в пределах 120—130, в пиковом режиме — 150
(по тепловому графику тепловой сети 150—70 °С).
практике эксплуатации котлов этого типа имеются та
же примеры технологического использования их теп
(не для нужд отопления и горячего водоразбора); пр
этом требуется стабильная работа теплогенераторов
течение длительного времени при номинальных нагру
ках.

Конструкция теплогенераторов ПТВМ позволяет вы
держивать давление воды до $25 \cdot 10^5$ Па, как правил
давление воды на выходе составляет $(6 \div 11) \cdot 10^5$ Па
(6—11 кгс/см²). Нормальная эксплуатация теплогенер
торов во многом определяется топочным режимом, по

отовкой и организацией сжигания высокосернистых ма
утов, создающих самые высокие удельные тепловые
отоки теплопередающих поверхностей.

Время пребывания воды в трубах водогрейного кот
а существенно больше, чем в теплофикационных подо
ревателях других типов, где оно измеряется 5—10 с.

При двухходовой схеме котла вода подводится в
ижние коллекторы фронтового и заднего экранов, а
водится из обоих нижних коллекторов боковых экра
ов. Для котла ПТВМ-100 производительностью
140 м³/ч прохождение воды по отдельным поверхностям
агрева характеризуется данными табл. 2.6.

При четырехходовой схеме работы котла и расходе
оды 1235 м³/ч общее время пребывания ее в котле воз
астает до 59 с.

Таблица 2.6. **Время пребывания воды в водогрейном котле**

Поверхность нагрева	Длина труб, м	Скорость воды, м/с	Время пребывания, с
Производительность котла 2140 м³/ч			
Фронтовой задний экраны	10	1,42	7,0
Нижний конвективный пакет	12,5	1,42	8,8
Верхний конвективный пакет	12,5	1,10	11,4
Боковой экран	10	1,48	6,8
Итого	—	—	34
Производительность котла 1235 м³/ч			
Фронтовой экран	10	1,74	5,7
Нижний конвективный пакет	12,5	1,67	7,5
Верхний конвективный пакет	12,5	1,28	9,7
Боковой экран	22	1,67	13,2
Верхний конвективный пакет	12,5	1,28	9,7
Нижний конвективный пакет	12,5	1,67	7,5
Задний экран	10	1,74	5,7
Итого	—	—	59

Несколько лет в отделении водно-химических процессов ВТИ
проводнлись исследования накипеобразования на эксперименталь-
ной установке, показанной на рис. 2.8. В нее входили: питательный
бак *1*, совмещенный с дегазатором, насос-дозатор НД-400 *2*
с компенсирующей емкостью для сглаживания пульсаций давления
среды *3*, однотрубный вертикальный экспериментальный участок *5*
с электрообогревом длиной 1—6 м с подъемным движением воды,

необогреваемые участки и охладитель рабочей среды поверхностного типа *11*. Все элементы стенда были изготовлены из нержавеющей стали. Экспериментальный участок включался как резистор во вторичную цепь понижающего трансформатора ОСУ-80 *9*. Мощность регулировалась автотрансформатором АОМК-100 *10*, изменяющим напряжение в первичной обмотке трансформатора ОСУ-80. Элект-

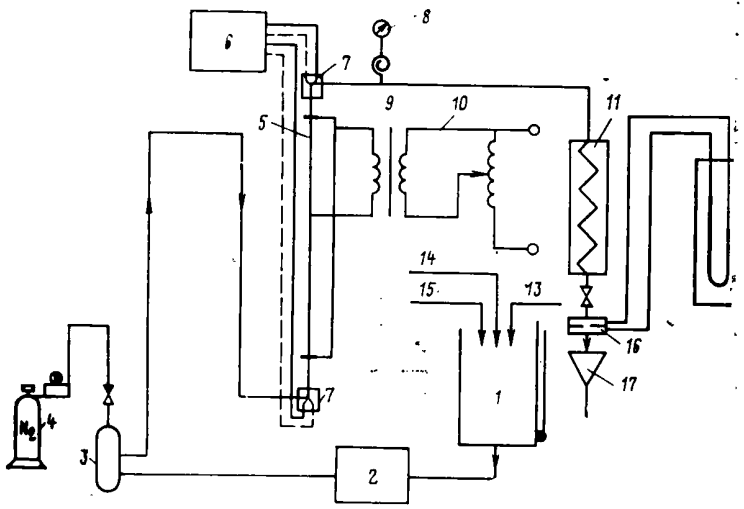


Рис. 2.8. Принципиальная схема экспернментальиой установки.

1 — бак растворов реагентов; *2* — насос-дозатор НД-400; *3* — демпфер; *4* — ба лон с азотом; *5* — эксперимнтальная трубка; *6* — потенциометр; *7* — гильз для термопары; *8* — манометр; *9* — силовой понижающий трансформат ОСУ-80; *10* — автотрансформатор АОМК-100; *11* — охладитель воды; *12* — ро ходомер; *13* — подвод конденсата; *14* — подвод воды из городского водопр вода; *15* — подвод москворецкой воды; *16* — измерительная диафрагма; *17* дренажная воронка.

оборудование установки позволяло в широких пределах варьировать тепловое напряжение теплопередающей поверхности и массовую скорости среды. Специальное защитное устройство, позволяющее автоматически отключать электрообогрев экспериментального участка, состояло из токового реле, контактора (КТЭ-32) и электронного потенциометра ЭПД-07 с импульсом по температуре стенки опытной трубки.

Создание автоматически работающей установки для изучения процесса накипеобразования обусловлнвалось необходимостью в продолжительной работы с целью накопления достаточного количества отложений.

Определение интенсивности накипеобразования в стендовых условиях показало, что в обогреваемом участке трубы изменение количества осаждающихся карбонатов и окислов железа происходит адекватно (рис. 2.9). В необогреваемом участке интенсивность процесса осаждения карбонатов кальция снижалась на один-два порядка, несмотря на то что температура воды, протекающей по необогреваемому участку, практически была

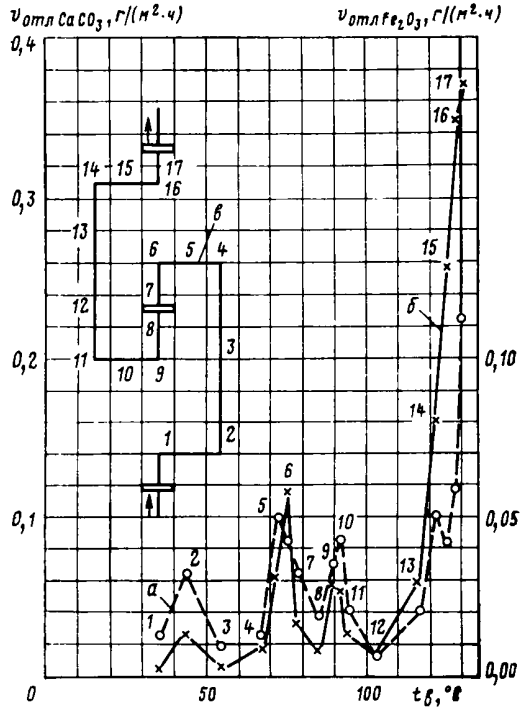


Рис. 2.9. Завнсимость иитенсивиости карбоиатных отложений в криволиией иой трубе от температуры воды.

а — иитенсивность отложения Fe_2O_3 по длине обогреваемой трубы; *б* — то же $CaCO_3$; *в* — конфигурация криволиией ной обогреваемой трубы; *1—17* — нумерация участков.

равна температуре воды на выходе из обогреваемого участка. В этой связи важно было оценить влияние теплового потока на процесс карбонатного накипеобразования.

Исследования показали, что при поверхностной плотности теплового потока $q=525\cdot10^3$ Вт/м² интенсивность карбонатных отложений может быть значительно ниже,

чем при $q = (70 \div 94) \cdot 10^3$ Вт/м², и определяется при пр
чих равных условиях средней температурой среды и вр
менем пребывания воды на обогреваемом участ

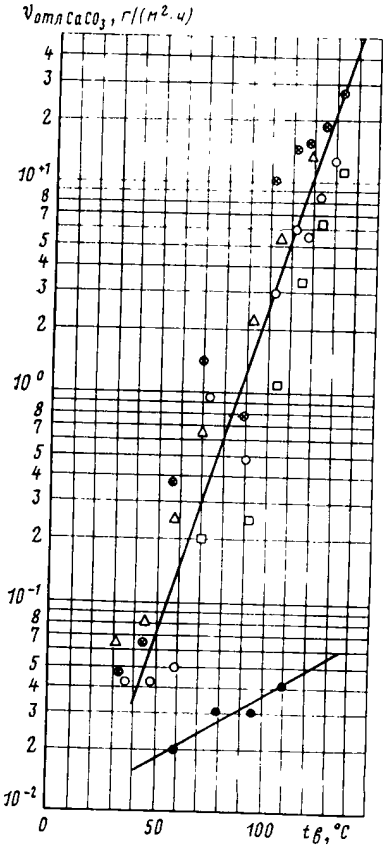


Рис. 2.10. Зависимость интенсивности карбонатных отложений от температуры воды при различных значениях плотности теплового потока.

△ — плотность теплового потока 94,5×$\times 10^3$ Вт/м² и скорость воды 0,39 м/с; ⊗ — то же 79·10³ Вт/м² и 0,31 м/с; ○ — то же 69,7·10³ Вт/м² и 0,31 м/с; □ — то же 78·10³ Вт/м² и 0,32 м/с; ● — то же 525·10³ Вт/м² и 3,3 м/с.

На рис. 2.10 в полулог
рифмических координат
представлены результ
ты опытов при различны
значениях плотности те
лового потока, одинак
вом качестве исходной в
ды ($Ж_к = 2{,}1 \div 2{,}2$ м
экв/л, $Ж_о = 2{,}6 \div 2{,}7$ м
экв/л) и скорости движ
ния воды 0,31—0,39 м/
В координатах $\lg v_{отл}$ –
$t_в$ опытные точки групп
руются около прямой, ч
говорит об отсутстви
связи между интенси
ностью образования ка
бонатных отложений
поверхностной пло
ностью теплового пот
ка.

При плотности те
лового потока 525×
$\times 10^3$ Вт/м² (скорость дв
жения воды 3,3 м/с) ин
тенсивность карбонатно
го накипеобразования да
же ниже. Объясняетс
это тем, что при больши
скоростях движения вод
меньше время пребыва
ния ее в обогреваемо
трубе.

Зависимость интенси
ности карбонатных отло
жений от времени пребы
вания воды в зоне об
грева (продолжительно
сти нагрева) имеет вид
характерный для кривы
осаждения взвешенных

потоке частиц. С увеличением продолжительности нагрева воды рост интенсивности карбонатных отложений несколько замедляется, что вызвано осаждением все более тонких фракций карбоната кальция из потока воды. Экспериментальные данные (табл. 2.7) подтверждают эту закономерность.

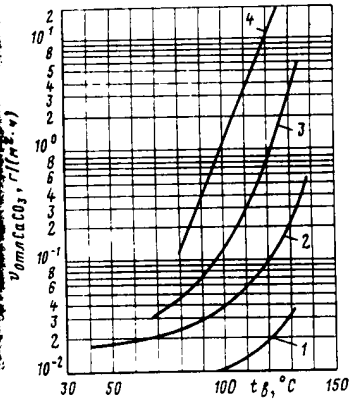


Рис. 2.11. Зависимость интенсивности карбонатных отложений от температуры при различной карбонатной жесткости воды.

1 — $Ж_к = 1{,}3$ мг-экв/л; 2 — $Ж_к = 1{,}6 \div 1{,}7$; 3 — $Ж_к = 2{,}4$; 4 — $Ж_к = 3{,}2$.

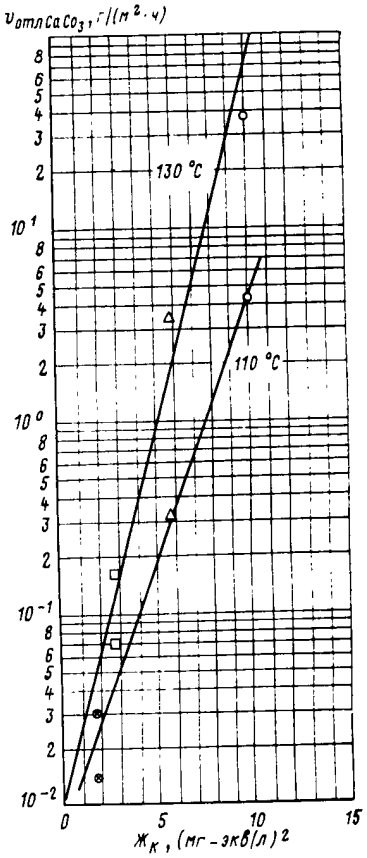


Рис. 2.12. Зависимость интенсивности карбонатных отложений от карбонатной жесткости исходной воды $Ж_к$.

○ — $Ж_к = 3{,}2$ мг-экв/л; △ — $Ж_к = 2{,}4$; □ — $Ж_к = 1{,}65$; ⊗ — $Ж_к = 1{,}3$.

Зависимость интенсивности отложения карбоната кальция $v_{отл}$ от температуры воды при различной карбонатной жесткости представлена на рис. 2.11 и 2.12. Графики показывают, что любой фиксированный уро-

Таблица 2.7. Зависимость интенсивности карбонатных отложе от продолжительности нагрева потока воды *

Время пребывания воды в зоне обогрева, с	Интенсивность карбонатных отложений, г/(м²·ч)	Температура воды, °С	Время пребывания воды в зоне обогрева, с	Интенсивность карбонатных отложений, г/(м²·ч)	Темпе ратур воды °С
2	0,038	130	40	0,34	
3,7	0,045		145	0,560	
40	0,22		2	0,062	150
145	0,370		3,7	0,100	
2	0,045		40	0,44	
3,7	0,082	140	145	0,800	

* Карбонатная жесткость воды в этих опытах составляла 1,3—1,4 мг-экв

вень $v_{отл}$ может достигаться при различных температуре и карбонатной жесткости воды.

В процессе термического разложения бикарбонатов совмещается влияние обоих факторов. Из графиков рис. 2.11 видно, что интенсивность отложений $v_{отл}$ равная, например, 0,11 г/(м²·ч), может достигаться при значениях $Ж_к$=3,2 мг-экв/л и $t_в$=80 °С; $Ж_к$=2,4 мг-экв/л и $t_в$=100 °С; $Ж_к$=1,65 мг-экв/л и $t_в$=122 °С. Представляется правомерным обработать экспериментальные данные в координатах $v_{отл}$—$Ж_к t_в$ (рис. 2.13).

Для условий нагрева воды в сетевых подогревателях (продолжительность нагрева 1—3 с) имеем:

$$v_{отл} = 0{,}0004e^{0{,}0263Ж_к t_в}, \qquad (2.6)$$

а для условий работы крупных теплогенераторов типа ПТВМ (продолжительность нагрева 40—60 с, рис. 2.12):

$$v_{отл} = 0{,}004e^{0{,}021Ж_к t_п} \qquad (2.7)$$

Пример расчета допустимой карбонатной жесткости воды в условиях работы водогрейного котла ПТВМ.

Прологарифмировав выражение $v_{отл}=0{,}004\ e^{0{,}021Ж_к t_в}$ получим $\lg v_{отл}=3{,}602+0{,}021\ Ж_к t_в \lg e$.

При интенсивности карбонатных отложений 0,11 г/(м²·ч) ($\lg 0{,}11=\bar{1}{,}042$) и температуре нагрева воды в котле до 150 °С карбонатная жесткость воды не должна превышать:

$$Ж_к = \frac{-0{,}958-(-2{,}398)}{0{,}021\cdot 150\cdot 0{,}434} = \frac{1{,}44}{1{,}37} = 1{,}05 \text{ мг-экв/л}.$$

Как показали анализы отложений, взятых из труб водогрейных котлов, соединения магния не участвуют в

процессе накипеобразования при нагревании однофазной среды.

Повышение концентрации ионов кальция вследствие некарбонатной жесткости воды приводит к интенсификации процесса выделения из растворов карбоната кальция. Результаты соответствующих опытов представлены на рис. 2.14 в координатах $\lg v_{отл}$—$Ж_{Ca}\ t_в$.

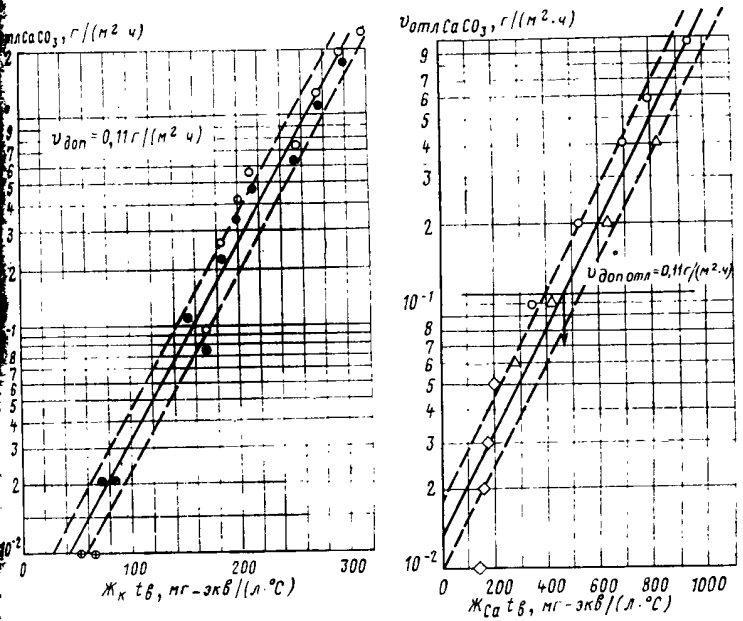


Рис. 2.13. Зависимость интенсивности карбонатных отложений от произведения карбонатной жесткости $Ж_к$ на температуру воды $t_в$. ○ — экспериментальные данные при продолжительности нагрева 60 с; ● — то же 40 с; ⊗ — эксплуатационные данные при 40 и 60 с.

Рис. 2.14. Зависимость интенсивности карбонатного накипеобразования от кальциевой жесткости воды и ее температуры. ○ — при кальциевой жесткости 9,9 мг-экв/л и карбонатной жесткости 1,0 мг-экв/л; △ — то же при 5,8 и 1,2; ◇ — то же при 1,4 и 1,1.

В случае, когда в подпиточной воде тепловых сетей $Ж_{ик}>1{,}5$ мг-экв/л (наиболее часто встречающийся в практике случай), интенсивность карбонатного накипеобразования можно оценивать по следующей формуле:

$$v_{отл} = 0{,}013e^{0{,}0017Ж_{Ca} t_п}. \qquad (2.8)$$

Для практических расчетов удобнее пользоваться зависимостью интенсивности карбонатных отложений от общей жесткости воды при заданной температуре

$$v_{\text{отл } 150\,^\circ\text{C}} = 0{,}02e^{0{,}57Ж_{Ca}}; \quad (2.8)$$

$$v_{\text{отл } 140\,^\circ\text{C}} = 0{,}0175\,e^{0{,}6Ж_{Ca}}; \quad (2.8)$$

$$v_{\text{отл } 120\,^\circ\text{C}} = 0{,}01e^{0{,}57Ж_{Ca}}; \quad (2.8)$$

$$v_{\text{отл } 100\,^\circ\text{C}} = 0{,}0074e^{0{,}52Ж_{Ca}}. \quad (2.8)$$

Практическое использование закономерностей карбонатного накипеобразования. Определяющим показателем при эксплуатации мощных теплогенераторов типа ПТВМ и сетевых подогревателей является предельно допустимая интенсивность карбонатных отложений.

С учетом термических условий работы тепловыделяющей поверхности предельно допустимую интенсивность $v_{\text{отл}}^{\text{доп}}$ можно подсчитать по следующей формуле [10]:

$$v_{\text{отл}}^{\text{доп}} = \rho_{\text{отл}} \frac{\lambda_{\text{отл}}}{\tau}\left(\frac{\Delta t_{\text{доп}}}{q} - \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} - \frac{1}{\alpha}\right), \quad (2.9)$$

где $\rho_{\text{отл}}$ — плотность отложений, г/м³; $\lambda_{\text{отл}}$ — теплопроводность отложений, Вт/(м·°С); τ — продолжительность работы оборудования, ч; $\Delta t_{\text{доп}}$ — разность между допустимой температурой стенки трубы и температурой воды, °С; q — плотность теплового потока поверхности нагрева, Вт/м²; $\delta_{\text{ст}}$ — толщина стенки трубы, м; $\lambda_{\text{ст}}$ — теплопроводность материала трубы, Вт/(м·°С); α — коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к воде, Вт/(м²·°С).

Необходимые для расчета теплофизические данные оборудования приведены в табл. 2.8.

Для условий работы теплогенераторов типа ПТВМ в основном и в пиковом режимах предельно допустимая интенсивность отложений, рассчитанная по формуле (2.9), равна 0,11 г/(м²·ч). Подставив это значение в формулы (2.6)—(2.8), получим предельно допустимые значения карбонатной жесткости нагреваемой воды. Для вод с кальциевой жесткостью не более 2,0 мг-экв/л предельно допустимая карбонатная жесткость подпиточной воды для теплогенераторов типа ПТВМ, работающих в пиковом режиме, не должна превышать [из формулы (2.7) и табл. 2.8]: при 130 °С—1,26; при 150 °С—1,1, при 200 °С—0,82 мг-экв/л. Соответственно для теплогенераторов, работающих в основном режиме [формула (2.7) и табл 2.8]: при 130 °С—0,8; при 150 °С – 0,7 мг-экв/л, а для сетевых подогревателей [из формулы (2.6) и табл. 2.8]: при 100 °С—2,2, при 130 °С—1,6, при 150 °С—1,40 мг-экв/л.

В целях предотвращения образования карбонатной накипи рекомендуется ограничить также концентрацию ионов кальция в подпиточной и сетевой воде тепловых сетей. Для сетевых подогревателей с помощью формулы (2.8) и данных табл. 2.8 получим допустимые значения кальциевой жесткости: при 130 °С — 3,20, при 150 °С — 2,75 мг-экв/л.

Таблица 2.8. **Теплофизические характеристики теплофикационного оборудования**

Параметр	Сетевые подогреватели	ПТВМ	
		пиковый режим	основной режим
Плотность теплового потока q, Вт/м²	25 000	400 000	400 000
Разность температур между стенкой трубы и основным потоком воды $\Delta t_{\text{доп}}$, °С	(200*—130) = = 70 (I) (200*—100) = = 100 (II)	(550**— 150) = 400	(550**— 130) = 420
Коэффициент теплоотдачи α, Вт/(м²·°С)	6000	6000	6000
Теплопроводность λ, Вт/(м·°С):			
стенки трубы	81	23	23
отложений	0,86	0,86	0,86
Толщина стенки трубы $\delta_{\text{ст}}$, м	$1\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$	$3\cdot10^{-3}$
Плотность отложений $\rho_{\text{отл}}$, г/м³	$2\cdot10^6$	$2\cdot10^6$	$2\cdot10^6$
Продолжительность эксплуатации оборудования τ, ч	50 000	10 000	40 000
Расчетная допустимая интенсивность отложений $v_{\text{отл}}^{\text{доп}}$, г/(м²·ч)	0,09—0,13	0,11	0,03

* 200 °С — предельная рабочая температура стенки латунной трубы.
** 550 °С — предельная температура стальной трубы, приводящая к интенсивному окислению металла.

2.5. Организация химического контроля и оценка интенсивности накипеобразования в водогрейном оборудовании

Важную роль в достижении заданного водно-химического режима тепловых сетей играет надежный химический контроль за нормируемыми показателями качества воды. Существенное влияние на результаты определения содержания кислорода, свободной углекислоты и железа в подпиточной, а также сетевой воде оказывают материал пробоотборных линий и способ отбора проб. В отборных линиях, изготовленных из углеродистой стали, часть кислорода и углекислоты расходуется на коррозию металла, в связи с чем их концентрации в анализируемой пробе получаются заниженными.

Влияние материала отборной линии на содержание кислор
подтверждают наблюдения на действующей ТЭЦ, где пробы отби
лись одновременно из двух линий: одна из углеродистой стали, в
рая — из латуни. Содержание кислорода в подпиточной воде теп
сети по месяцам оказалось следующим, мкг/л:

	Июнь	Август	Сентя
Материал отборной линии:			
углеродистая сталь	10	70	15
латунь	27	149	60
Количество определений	84	70	49

Как видно из этих данных, расхождения в содержании кисл
рода составляли 200—400 %.

Степень достоверности результатов аналитического определен
содержания железа повышается при равенстве средних скорост
воды в трубопроводе и линии отбора. Для выполнения этого усл
вия необходимо, чтобы расход отбираемой пробы, кг/ч, был рав

$$g_{отб} = Gd^2/D^2,$$

где G — расход воды в контролируемом трубопроводе, кг/ч; d —
диаметр отборной трубки, включая место вварки ее в контролир
мый трубопровод, мм; D — диаметр трубопровода, в котором ко
ролируется качество воды, мм.

Нарушение этого соотношения приводит к осаждению или и
тенсивному смыву отложений из пробоотборных линий, что иск
жает представительность пробы и приводит к ошибочным результ
там анализа воды.

Важное значение для выявления источников загря
нения сетевой воды окислами железа имеет систематический контроль коррозионной активности подпиточной воды с помощью индикаторов коррозии. Контрольные вырезки труб из сетевых подогревателей и водогрейных котлов во время капитальных ремонтов позволяют судить о правильности водно-химического режима теплосетевых сетей. В водогрейном котле наиболее интенсивные отложения образуются в экранных трубах (в зоне «холодной горелки», а также выше верхней оси горелок на 1,5 м), в трубах нижнего конвективного пакета (в первом по ходу дымовых газов ряду). Для более надежного контроля необходимо вырезать образцы из нескольких обогреваемых труб каждой панели. Контроль размера отложений в водогрейном котле во время эксплуатации возможен по изменению его гидравлического сопротивления.

Контроль за качеством водовоздушных промывок местных отопительных систем, особенно вновь вводимых, а также промывок магистральных трубопроводов позволяет своевременно выявить один из главных источ

ников, загрязняющих окислами железа сетевую воду теплосети.

Повышение жесткости сетевой воды в закрытых системах теплоснабжения может быть вызвано неплотностью подогревателей местных систем и возникающим подсосом сырой воды в систему. Следовательно, необходима организация контроля за качеством сетевой воды непосредственно в местах установки местных подогревателей. Увеличение жесткости воды в закрытых системах теплоснабжения происходит также при вынужденных добавках сырой воды в теплосеть из-за повышенного неорганизованного водоразбора из системы. Случаи добавления неочищенной воды в теплосеть должны рассматриваться как недопустимые.

Глава третья

КОРРОЗИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПОДПИТОЧНОГО И СЕТЕВОГО ТРАКТОВ

3.1. Коррозия трубопроводов и водогрейных котлов

Ряд электростанций использует для подпитки тепловых сетей речные и водопроводные воды с низким значением pH и малой жесткостью. Дополнительная обработка речной воды на водопроводной станции обычно приводит к снижению pH, уменьшению щелочности и повышению содержания агрессивной углекислоты. Появление агрессивной углекислоты возможно также в схемах подкисления, применяемых для крупных систем теплоснабжения с непосредственным водоразбором горячей воды (2000—3000 т/ч). Умягчение воды по схеме Na-катионирования повышает ее агрессивность вследствие удаления природных ингибиторов коррозии — солей жесткости.

При плохо налаженной деаэрации воды и возможных повышениях концентраций кислорода и углекислоты из-за отсутствия дополнительных защитных мероприятий в системах теплоснабжения внутренней коррозии подвержены трубопроводы, теплообменные аппараты, аккумуляторные баки и другое оборудование.

При обследовании подпиточного тракта одной из ТЭЦ г. Ленинграда были получены следующие данные по скорости коррозии, г/(м²·4):

Место установки индикаторов коррозии:

ввод водопроводной воды (pH=6,5÷7,0)	0,
после подогревателя ($t_в$=60 °С), вертикальный участок	0,
то же ($t_в$=60 °С), горизонтальный участок	0,
после деаэратора ($t_в$=110 °С)	0,
после водоохладителя ($t_в$=60 °С)	1,

В трубопроводе подпиточной воды после подогревателей те лосети перед деэраторами стенки трубы толщиной 7 мм утоили за год эксплуатации местами до 1 мм, на отдельных участках о разовались сквозные свищи.

Известно, что повышение температуры способству развитию коррозионных процессов, протекающих как поглощением кислорода, так и с выделением водород С увеличением температуры выше 40 °С кислородная углекислотная формы коррозии резко усиливаются.

Особый вид подшламовой коррозии протекает в у ловиях незначительного содержания остаточного кисл рода (при выполнении норм ПТЭ) и при количест окислов железа более 400 мкг/л (в пересчете на Fe Этот вид коррозии, ранее известный в практике экспл атации паровых котлов, был обнаружен в условия сравнительно слабого подогрева и отсутствия тепловы нагрузок. В этом случае рыхлые продукты коррози состоящие в основном из гидратированных трехвален ных окислов железа, являются активными деполяриза торами катодного процесса.

При эксплуатации теплофикационного оборудовани нередко наблюдается щелевая коррозия, т. е. избира тельное, интенсивное коррозионное разрушение металл в щели (зазоре) [13]. Особенностью процессов, проте кающих в узких зазорах, является пониженная кон центрация кислорода по сравнению с концентрацией объеме раствора и замедленный отвод продуктов корро зионной реакции. В результате накопления последних их гидролиза возможно снижение pH раствора в щел

При постоянной подпитке тепловой сети с открыты водоразбором деаэрированной водой возможность обра зования сквозных свищей на трубопроводах полностью исключается только при нормальном гидравлическом режиме, когда во всех точках системы теплоснабжения постоянно поддерживается избыточное давление выше атмосферного.

Для контроля следует проверять в натуре напоры в верхни точках местных систем при максимальных нагрузках горячего водо снабжения, а также систематически измерять содержание раство

енного кислорода в отдельных зонах теплосети. Если будет обнару жена возможность присоса воздуха, нужно изменить гидравличес ий режим сети, чтобы обеспечить постоянное избыточное давление во всех точках системы.

Причины язвенной коррозии труб водогрейных кот ов и другого оборудования следующие: некачественная деаэрация подпиточной воды; низкое значение pH, обус овленное присутствием агрессивной углекислоты (до 10—15 мг/л); накопление продуктов кислородной кор розии железа (Fe_2O_3) на теплопередающих поверхнос тях. Повышенное содержание окислов железа в сетевой воде способствует заносу поверхностей нагрева котла железоокисными отложениями.

Эксплуатация оборудования на сетевой воде с концентрацией железа свыше 600 мкг/л обычно приводит к тому, что за несколько тысяч часов работы водогрейных котлов наблюдается интенсивный (свыше 1000 г/м²) занос железоокисными отложениями их поверхностей нагрева. При этом отмечаются часто появляющиеся течи в трубах конвективной части. На вырезанных образцах труб выявляется большое количество участков, пораженных язвенной коррозией под слоем отложений (рис. 3.1). Сплошные отложения снаружи бугристые, непрочно сцеплены с поверхностью металла; нижний слой черный, верхний — коричневый. В составе отложений содержание окислов железа обычно достигает 80—90 %.



Рис. 3.1. Участок трубы конвективной части водогрейного котла ПТВМ-100, пораженный язвенной коррозией.

Особенно важными для эксплуатации водогрейных котлов являются пусковые периоды.

В первоначальной период эксплуатации на одной ТЭЦ вакуумные деаэраторы не обеспечивали удаление кислорода до норм, установленных ПТЭ. Содержание кислорода в подпиточной воде превышало эти нормы в 10 раз. В это время наблюдалась высокая концентрация окислов железа в водах теплосети и подпиточной воде, в том числе из-за коррозии трубопроводов декарбонизованной воды (длина 500 м). Концентрация железа в подпиточной воде достигала 1000, а в обратной воде теплосети — 3500 мкг/л. После первого года эксплуатации были сделаны вырезки из трубопроводов сетевой воды, оказалось, что загрязнение их поверхности продуктами коррозии составляло свыше 2000 г/м².

Необходимо отметить, что на этой ТЭЦ перед включением в ла в работу внутренние поверхности экранных труб и труб кон тивного пучка подверглись химической очистке. К моменту выре образцов экранных труб котел проработал 5300 ч. Образец экр ной трубы имел неровный слой железоокисных отложений черно рого цвета, прочно связанный с металлом; высота бугорков 1 12 м; удельная загрязненность 2303 г/м². Состав отложений, %:

SiO_2	2,4
Fe_2O_3	94,6
CaO	2,6
SO_3	0,22
Потери при прокаливании	2,4

Поверхность металла под слоем отложений была поражена вами глубиной до 1 мм. Трубки конвективного пучка с внутрен стороны были занесены отложениями железоокисного типа чер бурого цвета с высотой бугорков до 3—4 мм. Поверхность метал под отложениями покрыта язвами различных размеров глубин 0,3—1,2 и диаметром 0,35—0,5 мм. Отдельные трубки имели скв ные отверстия (свищи).

Для предотвращения низкотемпературной внешней коррозии р работе котлов на сернистом мазуте проектная температура воды входе в пиковые водогрейные котлы принята равной 110 °С.

Когда водогрейные котлы устанавливают в старых систем централизованного теплоснабжения, в которых накопилось знач тельное количество окислов железа, наблюдаются случаи отложен этих окислов в обогреваемых трубах котла. Перед включением к лов необходимо производить тщательную промывку всей систем

Ряд исследователей признает важную роль в во никновении подшламовой коррозии процесса ржавлен труб водогрейных котлов при их простоях, когда не пр нято должных мер для предупреждения стояночной ко розии. Очаги коррозии, возникающие под воздействие на влажные поверхности котлов атмосферного воздух продолжают функционировать при работе котлов.

3.2. Коррозия трубок теплообменных аппаратов

Коррозионное поведение медных сплавов существе но зависит от температуры и определяется наличие кислорода в воде [14].

В табл. 3.1 приведены скорости перехода продукто коррозии медно-никелевых сплавов и латуни в воду п высоком (200 мкг/л) и низком (3 мкг/л) содержани кислорода. Эта скорость приблизительно пропорциональ на соответствующей скорости коррозии. Она значительн возрастает при увеличении концентрации кислорода солесодержания воды.

В схемах подкисления вода после декарбонизатор часто содержит до 5 мг/л углекислоты, при этом ср

Таблица 3.1. **Скорость перехода продуктов коррозии в воду с поверхности медно-никелевых сплавов и латуни в нейтральной среде, 10^{-4} г/(м².ч)**

Материал	Содержание O_2, мкг/л	Температура, °С				
		38	66	93	121	149
МН 70-30	3	—	3,8	4,3	3,2	4,5
	200	16,5	60,6	181	378	693
МН 90-10	3	—	0,7	2,0	1,4	1,8
	200	20,2	100	165	276	—
ЛО-70-1	3	—	1,8	1,8	3,5	6,4
	200	30,4	135	511	1357	—

службы трубчатого пучка подогревателей из латуни Л-68 составляет 9—10 мес.

В [13] показано, что подщелачивание аэрируемой среды до pH= =9,5÷10 способствует уменьшению коррозии латуни Л-68. Однако при большом содержании хлоридов влияние pH в предотвращении коррозии может быть незначительным. Так, язвенная коррозия с образованием свищей наблюдалась на одной из ТЭЦ, где подготовка воды велась по схеме известкование — Na-катионирование и pH было 10,4—10,6. В течение года на этой станции разрушились трубки двух теплообменников, нагревающих воду до 80—100 °С. Содержание в подпиточной воде хлоридов достигало 370, сульфатов 629, солесодержание 1600 мг/л.

В системе Ленэнерго известен случай, когда перевод конденсаторов турбин в режим ухудшенного вакуума сопровождался массовым выходом латунных (Л-68) трубок из строя после 4—6 лет работы. Это объясняется более высоким уровнем температуры воды, способствующим разрушению защитных пленок [14].

Окисная пленка Cu_2O, в основном определяющая стойкость медных сплавов, легко реагирует с хлоридами, фосфатами и нитратами, растворенными в воде. При взаимодействии Cu_2O с карбонатами и бикарбонатами образуются мало растворимые в воде (0,005 мг/л) основные карбонаты меди $[CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$, $CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2 \cdot 0{,}5H_2O$, $Cu_3(OH)_2 \cdot (CO_3)_2$, $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2]$, равномерным слоем покрывающие металлические поверхности. При содержании в воде хлоридов свыше 30 мг/л основные карбонаты разрушаются и возникают более растворимые основные хлориды $CuCl_2 \cdot 3CuO \cdot 3H_2O$ с рыхлой, пористой структурой, что способствует развитию электрохимической коррозии. Аналогично действуют также и фосфаты, при взаимодействии с которыми образуются плохо сцепленные с основой фосфаты меди [16].

Значительное влияние на коррозионное разрушение трубок оказывают образующиеся на поверхности твердые и мягкие отложения. Важен характер этих отложений. Если отложения способны фильтровать воду и в то

же время могут задерживать на поверхности труб
медьсодержащие продукты коррозии, локальный проце
разрушения трубок усиливается. Отложения с пористо
структурой (твердые отложения накипи, органически
особенно неблагоприятно сказываются на течении ко
розионных процессов. С увеличением pH воды прон
цаемость карбонатных пленок возрастает, а с росто
ее жесткости — резко уменьшается. Этим объясняетс
что в схемах с голодной регенерацией фильтров проце
сы коррозии протекают менее интенсивно, чем в схема
Na-катионирования. Сокращению срока службы труб
способствует также загрязнение их поверхности проду
тами коррозии и другими отложениями, приводящее
образованию язв под отложениями. При своевременно
удалении загрязнений можно существенно понизить ло
кальную коррозию трубок. Ускоренный выход из стро
подогревателей с латунными трубками наблюдается пр
повышенном солесодержании воды — более 300 мг/л
концентрации хлоридов более 20 мг/л.

На одной ТЭЦ трубки из латуни Л-68 сетевого подогревател
ПСГ-1300 вышли из строя после 6500 ч работы на сетевой вод
следующего состава: $Ж_{Ca}=0{,}3\div0{,}5$ мг-экв/л, $Щ_o=3{,}0\div4{,}4$ мг-экв/л, $Fe=0{,}1\div1{,}1$ мг/л, $Cl^-=210\div230$ мг/л, солесодержание 1000—1200 мг/л, $pH=8{,}8\div9{,}1$. Поврежденные трубки имел
свищи в результате пробочного обесцинкования под отложениям
(рис. 3.2).

Повреждения внутренней поверхности трубок подогревателе
приводят к снижению их плотности, попаданию охлаждающей вод
в конденсат греющего пара и, следовательно, в питательную вод
котлов.

Загрязнение внутренних поверхностей трубок продуктами кор
розии, иногда толщиной до 0,5—1 мм, повышает температурный на
пор с 15 до 34 °С.

Средний срок эксплуатации трубок теплообменны
аппаратов (3—4 года) может быть увеличен при изготов
лении их из коррозионно-стойких материалов. Трубки и
нержавеющей стали 1Х18Н9Т, установленные в подпи
точном тракте на ряде ТЭЦ с маломинерализованной
водой, эксплуатируются более 7 лет без признаков по
вреждений. Однако в настоящее время трудно рассчиты
вать на широкое применение нержавеющих сталей из-з
высокой их дефицитности. Следует также иметь в виду
что эти стали подвержены питтинговой коррозии пр
повышенных температуре, солесодержании, концентра
ции хлоридов и загрязнении отложениями.



Рис. 3.2. Пробочное обесцинкование под отложениями на трубке из латуни Л-68 сетевого подогревателя ПСГ-1300.
а — внешний вид трубки; *б* — поперечный шлиф, ×100.

По рекомендациям ВТИ металл трубок теплообменных аппаратов в подпиточном и сетевом трактах ТЭЦ должен выбираться в зависимости от схемы водоподготовки в соответствии с данными табл.3.2.

При солесодержании подпиточной и сетевой воды выше 200 мг/л и хлор-ионов выше 10 мг/л необходимо ограничить использование латуни Л-68, особенно в подпиточном тракте до деаэратора, независимо от схемы водоприготовления. При использовании умягченной подпиточной воды, содержащей значительные количества агрессивной углекислоты (свыше 1 мг/л), скорость движения потока в аппаратах с трубной системой из латуни должна превышать 1,2 м/с.

Сплав МНЖ-5-1 следует использовать при температуре подпиточной воды теплосети выше 60 °С.

Таблица 3.2. Металл трубок теплообменных аппаратов в зависимости от схемы обработки подпиточной воды теплосет

Схема обработки подпиточной воды	Металл трубок теплообменников в тракте до деаэратора	Метал трубок тевых т лообм ников
Известкование	Л-68, ЛА-77-2	Л-6
Na-катионирование	ЛА-77-2, МНЖ-5-1	Л-6
Н-катионирование с голодной регенерацией фильтров	ЛА-77-2, МНЖ-5-1	Л-6
Подкисление	ЛА-77-2, МНЖ-5-1	Л-6
Мягкая вода без обработки с $Ж_о$ = =0,5÷0,6 мг-экв/л, $Щ_о$=0,2÷ ÷0,5 мг-экв/л, pH=6,5÷7,5	ЛА-77-2, МНЖ-5-1	Л-6

Глава четвертая

ВОДОПОДГОТОВКА В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВОДОЗАБОРОМ

4.1. Основные положения

В практике теплоснабжения широкое распростран ние получили водяные системы открытого типа, имеющ обычно два вида тепловой нагрузки — отопление и гор чее водоснабжение (рис. 4.1).

Отличительная черта открытых систем состоит в то что горячее водоснабжение абонентов осуществляет водой непосредственно из тепловой сети. Горячая во поступает к потребителям с ТЭЦ или из районной котел ной по линии *I*. Обратная вода возвращается на станц или в котельную по линии *II*. Расход сетевой воды из п дающей линии теплосети равен сумме расходов воды отопление и горячее водоснабжение. Подача воды абонентов в обратную линию соответствует разнос количеств поданной воды, израсходованной на горяч водоснабжение. При отсутствии последнего (наприме в ночное время) расход воды обеспечивает отопительну нагрузку.

Производительность подпиточного устройства в о крытых системах рассчитывается на восполнение утеч из-за неплотности системы (1—2 % расхода циркулир ющей воды) и на расход воды для горячего водоснабж

ия. В отдельных системах производительность подпи-очной водоподготовительной установки может достигать 0—50 % расхода циркулирующей воды. Нагрев воды в открытой системе чаще всего составляет 70—150 °С.

В схемах водоподготовки для тепловых сетей этого ипа противонакипная обработка должна применяться в

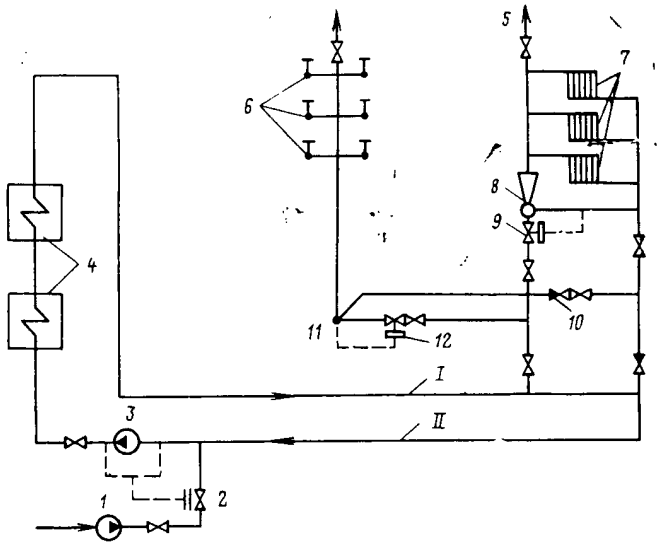


Рис. 4.1. Схема открытой двухтрубной водяной системы теплофикации.

I — прямая линия; *II* — обратная линия; *1* — подпиточный насос; *2* — регулятор подпитки; *3* — сетевой насос; *4* — теплофикационный подогреватель; *5* — воздушный кран; *6* — водоразборные краны; *7* — отопительные приборы; *8* — элеватор; *9* — регулятор расхода воды; *10* — обратный клапан; *11* — смеситель; *12* — регулятор температуры.

сочетании с термической деаэрацией для предотвраще-ния коррозии оборудования и сетей, а следовательно, и появления железоокисных отложений. В качестве исход-ной воды, поступающей на приготовление добавочной воды теплосети с непосредственным водоразбором, ис-пользуется, как правило, водопроводная вода, соответ-ствующая требованиям ГОСТ «Вода питьевая». Однако надежная и экономичная работа водонагревательного оборудования может быть гарантирована не при любом химическом составе воды, разрешаемом названным стан-дартом. Дополнительная обработка воды перед нагре-ванием должна обеспечить выполнение зафиксированных

в ПТЭ Минэнерго СССР (см. § 1.4) норм. С другой стороны, эта дополнительная обработка воды не должна ухудшить указанные ниже органолептические и бактериологические ее показатели, а также показатели безвредности по ГОСТ 2874-73.

Нормы органолептических показателей воды
(методы испытаний по ГОСТ 3351-46)

Запах при 20 °С и подогревании воды до 60 °С, баллы, не более	2
Привкус при 20 °С, баллы, не более	2
Цветность по платиново-кобальтовой или имитирующей шкале, не более	20°
Мутность по стандартной шкале, мг/л, не более	1,5

Нормы бактериологических показателей воды
(методы испытаний по ГОСТ 18963-73)

Общее количество бактерий в 1 мл неразбавленной воды, не более	100
Количество бактерий группы кишечной палочки:	
определяемое на плотной элективной среде с применением концентраций бактерий на мембранных фильтрах в 1 л воды (колн-индекс), не более	3
при использовании жидких сред накопления (коли-титр), не менее	300

Показатели ПДК (нормы) химического состава воды
(методы испытаний по ГОСТ, указанным в скобках)

Бериллий Be^{2+}, мг/л	0,0002 (ГОСТ 18294-72)
Молибден Mo^{2+}, мг/л	0,5 (ГОСТ 18308-72)
Нитраты по N, мг/л	10,0 (ГОСТ 18826-73)
Мышьяк $As^{3+;\,5+}$, мг/л	0,05 (ГОСТ 4152-72)
Полиакриламид, мг/л	2,0
Свинец Pb^{2+}, мг/л	0,1 (ГОСТ 18293-72)
Селен Se^{6+}, мг/л	0,001
Стронций Sr^{2+}, мг/л	2,0
Фтор F^-, мг/л, для климатических районов:	
I и II	1,5
III	1,2
IV	0,7
Уран U природный и уран-238, мг/л	1,7 (ГОСТ 18921-73)
Радий-226 Ra, Ки/л	$1{,}2 \cdot 10^{-10}$ (ГОСТ 18912-73)
Стронций-90 Sr, Ки/л	$4{,}0 \cdot 10^{-10}$ (ГОСТ 18913-73)

В отдельных случаях по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы цветность воды допускается до 35°. Специфические запахи и привкусы, появляющиеся при хлорировании (обеззараживании), не должны превышать 1 балла. Водородный показатель pH должен быть в пределах 6,5—8,5.

В целом весь водно-химический режим теплофикационной установки должен быть подчинен основной задаче — нагреть воду до температуры, требуемой температурным графиком (70—150, 70—180 или 70—200 °С), и транспортировать ее потребителю, не ухудшив органолептических и других санитарных показателей.

Основным отправным пунктом при выборе рациональной схемы водоподготовки в каждом конкретном случае должен быть химический состав исходной воды и нормативные показатели качества очищенной воды, подаваемой в теплосеть. Если для очистки воды данного состава до требуемых кондиций имеется возможность применить две или несколько разных схем, то окончательный выбор должны определить результаты технико-экономического сравнения схем. Закон об охране окружающей среды выдвинул на первое место вопрос о защите водоемов от загрязненных стоков, поэтому важными показателями при оценке схем водоподготовки являются количество и состав сбрасываемых вод, возможность их сброса в открытые водоемы без очистки, а также способы очистки и стоимость их осуществления.

При выборе схемы водоподготовки необходимо учитывать тип теплофикационной сети, в частности способ присоединения системы горячего водоснабжения.

В практике эксплуатации открытых систем чаще всего используется двухтрубная система теплоснабжения. Схема подключения потребителей горячей воды к такой системе изображена на рис. 4.1, а общая схема потоков воды в открытой двухтрубной системе — на рис. 4.2. Поскольку разбор горячей воды потребителями для бытовых нужд в этом случае осуществляется непосредственно из тепловых сетей, количество добавляемой в теплосеть воды, определяющее требуемую производительность водоподготовительной установки, зависит в первую очередь от размеров водоразбора. Из практики эксплуатации действующих водоподготовительных установок такого типа известно, что их производительность колеблется от сотен до 10 тыс. т/ч.

Схема водоподготовки должна включать несколько стадий обработки воды: коагуляцию и осветление, обезжелезивание (при использовании артезианских вод), деаэрацию и противонакипную обработку.

Первая стадия очистки добавочной воды осуществляется на ТЭЦ только в случае необходимости доведения исходной воды до качест-

ва, соответствующего ГОСТ 2874-73 «Вода питьевая», главным о
разом по органолептическим показателям (цветности, мутности,
паху). При использовании артезианских вод необходимость в коа
ляции и осветлении отпадает, а обязательной становится стадия об
железивания (см. гл. 5).

Деаэрация является обязательной стадией для установок, и
пользующих воду поверхностных источников. Наиболее целесо

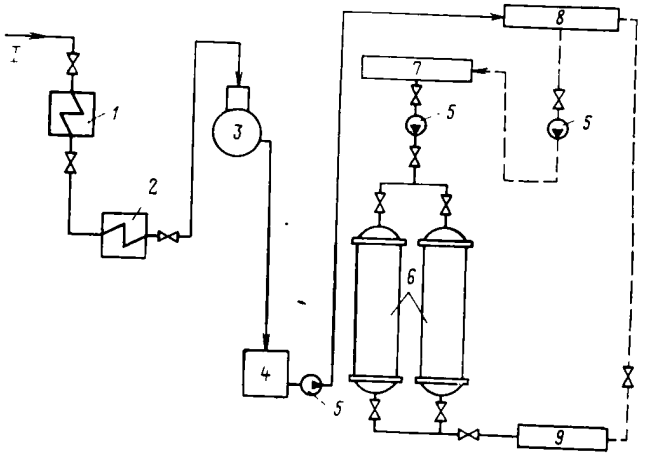


Рис. 4.2. Схема потоков воды в открытой двухтрубной системе те
лоснабжения.

1 — подогреватель I ступени; *2* — подогреватель II ступени; *3* — термическ
деаэратор; *4* — бак деаэрированной воды; *5* — насосы; *6* — водогрейное обо
дование; *7* — коллектор прямой магистрали; *8* — коллектор обратной маги
рали; *9* — абоненты; *I* — добавочная вода.

разно применение термической деаэрации, позволяющей сочета
надежное устранение агрессивных газов с термическим обеззаражи
ванием воды. Противонакипные мероприятия осуществляются те
или иными методами практически во всех схемах водоподготовк
кроме случая использования природной воды с жесткостью ни
норм ПТЭ.

Любая схема подготовки добавочной воды, включающая все п
речисленные выше стадии обработки или только некоторые из ни
должна обеспечить получение воды, качество которой удовлетвор
ло бы нормам рационального водно-химического режима теплосет

В настоящей главе изложены методы, применени
которых позволяет предупредить появление карбонатны
отложений на поверхностях нагрева нормально эксплу
атируемого водонагревательного оборудования.

4.2. Подготовка добавочной воды методом Н-катионирования с голодной регенерацией

Обычная технология Н-катионирования при регенера-
ии ионита большими удельными расходами кислоты
обычно в 2—2,5 раза превышающими теоретически не-
ходимые) нацелена на полное удаление катионов и их
мену ионами водорода. В результате протекания реак-
ий ионного обмена фильтрат Н-катионитных фильтров
свобождается от катионов кальция и магния, и получа-
кислотность, в среднем эквивалентную некарбонатной
есткости исходной воды, и, кроме того, обогащается
вободной углекислотой в количестве, соответствующем
азрушенным бикарбонатным ионам.

Технология Н-катионирования с голодной регенера-
ией позволяет существенно снижать карбонатную жест-
ость воды с частичным уменьшением некарбонатной
есткости.

Все ионы водорода, вводимые в катионит с раствором
ислоты при голодной регенерации, полностью задержи-
аются сорбентом и вследствие этого в отработанном ре-
енерационном растворе и отмывных водах кислота от-
утствует.

В отличие от обычных Н-катионитных фильтров, в
оторых весь объем катионита при регенерации обогаща-
тся ионами водорода, при голодной регенерации только
ерхние слои загруженного в фильтр катионита обога-
аются обменным ионом водорода H^+, а нижние содер-
ат катионы Ca^{2+}, Mg^{2+} и Na^+. При фильтровании воды
верхних слоях катионита протекают реакции обмена
атионов на ионы водорода, в результате чего образуют-
я сильные минеральные и угольная кислоты:

$$2H\,Кат + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow Ca\,Кат_2 + H_2O + CO_2\uparrow;$$

$$2H\,Кат + CaCl_2 \rightleftarrows Ca\,Кат_2 + 2HCl;$$

$$2H\,Кат + MgSO_4 \rightleftarrows Mg\,Кат_2 + H_2SO_4.$$

При дальнейшем прохождении воды через нижние
лои катионита, содержащие обменные ионы Ca^{2+}, Mg^{2+}
Na^+, ионы водорода образовавшихся сильных мине-
альных кислот вытесняют в раствор ионы Ca^{2+}, Mg^{2+} и
Na^+, при этом протекают следующие реакции:

$$Ca\,Кат_2 + 2HCl \rightarrow 2H\,Кат + Ca^{2+}\,Cl_2^-;$$

$$Mg\,Кат_2 + H_2SO_4 \rightarrow 2HКат + Mg^{2+}SO_4^{2-};$$

$$2Na\,Кат + HCl \rightarrow H\,Кат + Na^{+}Cl^{-}.$$

Слабая угольная кислота, диссоциация которой подав
лена в присутствии сильных кислот, значительную час
перегенерированного слоя проходит «транзитом» и обм
нивает некоторое количество ионов водорода уже в сам
нижних слоях. Этот обмен обусловливает появление о
таточной щелочности фильтрата в соответствии с реа
цией

$$Ca\,Кат_2 + 2H^{+}HCO_3^{-} \rightarrow 2H\,Кат + Ca^{2+}(HCO_3^{-})_2.$$

По мере работы фильтра количество ионов водоро
в слое катионита уменьшается при одновременном пер
мещении их из верхних в нижележащие слои. К момен
выведения фильтра на регенерацию ионы водорода ра
ходуются практически полностью. Жесткость исходн
воды в результате прохождения через слой загрузки, о
регенерированный голодной нормой кислоты (удельн
расход при этом равен теоретическому), уменьшается
значение, эквивалентное значению снижения щелочност
Остаточная жесткость фильтрата получается равной су
ме некарбонатной жесткости исходной воды и оставше
ся карбонатной жесткости, эквивалентной остаточн
щелочности фильтрата. В Н-катионированной воде св
бодная углекислота получается в количестве, эквивален
ном количеству разрушенных бикарбонат-ионов.

Таким образом, в процессе Н-катионирования с голо
ной регенерацией полного умягчения воды не происход
а щелочность очищенной воды является результатом н
полного разрушения карбонатной жесткости исходной в
ды и регулируется количеством ионов водорода (нна
говоря, количеством кислоты), введенных в катион
во время регенерации. Уменьшение количества вводим
при регенерации ионов водорода влечет за собой сниж
ние доли карбонатной жесткости исходной воды, разр
шающейся в процессе Н-катионирования, и как следств
этого — повышение остаточной щелочности фильтрат
Увеличение количества ионов водорода, участвующих
реакциях регенерации, вызывает обратное действие
снижение остаточной щелочности очищенной воды вплот
до появления кислотности, если количество ионов водор
да будет превышать теоретически необходимое для ра
рушения щелочности исходной воды.

Как вытекает из изложенного, Н-катионитный фильтр
переводом его на голодную регенерацию работает на
щелочном» режиме, выдавая в течение всего рабочего
икла фильтрат определенной, заданной щелочности.
ильтр, таким образом, выполняет функции аппарата,
нижающего щелочность воды с одновременным частич-
ым ее умягчением.

Метод Н-катионирования с голодной регенерацией
редназначен для обработки природных вод гидро-
арбонатного класса [15]. К этому классу в гидрохимии
16] причисляют воды, в которых ион HCO_3^- содержится в
олее высокой концентрации по сравнению с ионами Cl^-
SO_4^{2-} (сравниваемые концентрации должны быть вы-
ажены в миллиграмм-эквивалентах на литр). Вода
0% рек СССР относится к гидрокарбонатному классу.
реди природных вод этого класса имеются воды, у ко-
орых абсолютная щелочность больше жесткости, т. е.
меет место следующее соотношение эквивалентных кон-
ентраций ионов:

$$HCO_3^- > Ca^{2+} + Mg^{2+}.$$

В гидрохимии эти воды относят к I типу гидрокарбо-
атных вод, а в практике водоподготовки их чаще назы-
ают «щелочными». Большинство природных вод малой
умеренной минерализации относится ко II типу вод, у
оторых жесткость преобладает над щелочностью.

Качество фильтрата Н-катионитных фильтров с го-
одной регенерацией при обработке природных вод гид-
окарбонатного класса зависит от типа воды (I или II)
ее катионного состава, а именно от отношения кон-
ентрации натрия к общей жесткости воды (Na: $Ж_o$).

На рис. 4.3 и 4.4 показано изменение качества филь-
рата в цикле Н-катионирования с голодной регенера-
ией на исходных водах разного состава. Кривые, приве-
енные на рис. 4.3, получены на лабораторных фильтрах,
кривые на рис. 4.4 — на промышленных фильтрах. Из
анных рис. 4.3, *а* и 4.4 видно, что при обработке вод с
езначительным содержанием натрия щелочность филь-
рата на протяжении фильтроцикла несколько снижает-
я и в среднем составляет 0,2—0,3 мг-экв/л. Жесткость
ильтрата изменяется по кривой, эквидистантной кривой
елочности, и близка к значению некарбонатной жест-
кости исходной воды.

Из кривых рис. 4.3, *б* видно, что при обработке вод I

типа со значительной щелочностью и большой концен
рацией натрия щелочность фильтрата изменяется бол
существенно. Средняя за цикл остаточная щелочнос
составляет 1 мг-экв/л и выше. Остаточная жесткость
фильтрате в начале и в конце рабочего цикла практиче
ки отсутствует, она появляется только в середине цикл

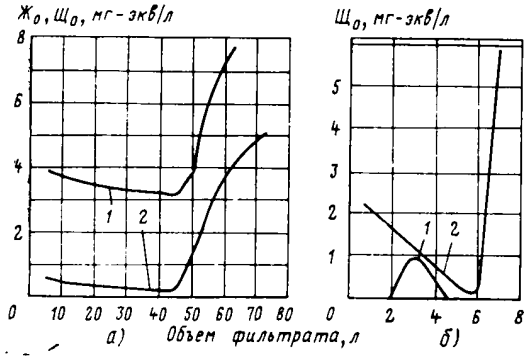


Рис. 4.3. Изменение щелочности и жесткости фильтрата в цикле Н-к
тионирования с голодной регенерацией.

а — исходная вода гидрокарбонатного класса II типа: (Cl^- + SO_4^{2-} = 3,14 мг-экв/л; $Ж_0$ = 10,52 мг-экв/л; $Щ_0$ = 7,4 мг-экв/л; $Ж_{нк}$ = 3,1 мг-эк Na = 0,02 мг-экв/л; Na : $Ж_0$ = 0,002); *б* — исходная вода гидрокарбоната класса I типа ($Щ_0$ > 10 мг-экв/л; Na : $Ж_0$ > 1); *1* — жесткость; *2* — щелочнос

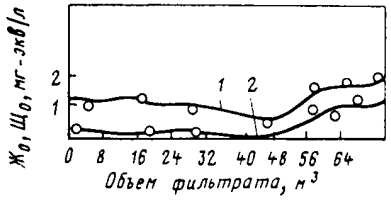


Рис. 4.4. Изменения щелоч
сти и жесткости фильтрат
цикле Н-катионирования с
лодной» регенерацией.
1 — жесткость; *2* — щелочнос
исходная вода гидрокарбоната
класса II типа: $Ж_0$ = 2,52 мг-эк
$Щ_0$ = 1,67 мг-экв/л; $Ж_{н}$
= 0,85 мг-экв/л; Na = 0,03 мг-эк
Cl^- + SO_4^{2-} = 0,87 мг-экв/л;
$Ж_0$ = 0,01.

ее максимальное значение тем меньше, чем выше до
натрия в исходной воде.

Продолжительность фильтроцикла, которая при
лодном Н-катионировании определяется повышением о
таточной щелочности фильтрата до допустимого знач
ния, зависит от щелочности (карбонатной жесткости) и
ходной воды, сокращаясь с ее возрастанием (рис. 4.3,
и *б*).

Неоднократно делались и делаются попытки приме
ить метод Н-катионирования с голодной регенерацией
ля обработки природных вод не гидрокарбонатного, а
ругих классов (хлоридного, сульфатного). В подобных
лучаях Н-катионитный фильтр, отрегенерированный с
едостатком кислоты на некоторой стадии фильтроцикла,
ыдает кислый фильтрат. Такое изменение качества
фильтрата не отвечает режиму Н-катионирования с го-
одной регенерацией, поэтому и не следует употреблять
ермин «голодная регенерация», а применительно к ука-
анной технологии целесообразно пользоваться термином
частичное Н-катионирования». Значение появляющейся
кислотности в фильтрате, а также продолжительность
работы фильтра в кислом режиме тем больше, чем выше
суммарная концентрация ионов Cl^- и SO_4^{2-} в исходной
воде.

Чтобы устранить кислотность в частично Н-катиони-
рованной воде, требуется за фильтрами, работающими в
таком режиме, включать буферные нерегенерируемые
катионитные фильтры с загрузкой из сульфоугля. По-
следние будут выравнивать колебания кислотности и
щелочности воды.

При использовании природных вод, в которых сумма
ионов Cl^- и SO_4^{2-} превышает более чем в 3 раза содер-
жание бикарбонат-ионов, в загрузке буферного фильтра
со временем могут накапливаться ионы водорода. Для
периодического их вытеснения может быть использована
исходная вода (ее подачу на буферный фильтр следует
предусматривать).

Принципиальная схема подготовки добавочной воды
теплосети методом частичного Н-катионирования изобра-
жена на рис. 4.5. К основному водоподготовительному
оборудованию относятся: Н-катионитные фильтры, слу-
жащие для снижения щелочности и частичного умягче-
ния исходной воды; нерегенерирующиеся буферные филь-
тры, корректирующие значение щелочности фильтрата
Н-фильтров; декарбонизатор, предназначенный для уда-
ления свободной углекислоты, которая образуется в про-
цессе разрушения бикарбонат-ионов. Для осуществления
стадии Н-катионирования должны использоваться обыч-
ные (непротивоточные) Н-катионитные фильтры. Таган-
рогский котельный завод выпускает в настоящее время
фильтры диаметром 2,0; 2,6; 3,0 и 3,4 м. Размер и коли-
чество буферных катионитных фильтров должны быть

такими, чтобы обеспечивалась допустимая скоро
фильтрования 50 м/ч.

При использовании исходных вод гидрокарбонатно
класса II типа технологической необходимости в буф
ных фильтрах нет, однако некоторые проектные орга

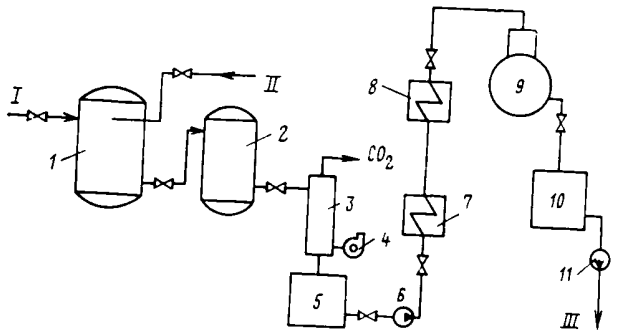


Рис. 4.5. Схема частичного Н-катионирования с буферным фильтр
1 — Н-катионитный фильтр; *2* — буферный фильтр; *3* — декарбонизатор; *4* вентилятор; *5* — промежуточная емкость; *6* — насос; *7* и *8* — подогревател и II ступеней; *9* — термический деаэратор барботажного типа; *10* — бак паса деаэрированной воды; *11* — сетевой насос; *I* — исходная (осветлен вода; *II* — раствор кислоты; *III* — добавочная вода в обратную линию тепл сети.

зации для повышения эксплуатационной надежнос
включают в состав схемы буферные фильтры и для это
класса вод.

Режим голодной регенерации Н-фильтров обеспечивает отс
ствие в регенерационных и отмывочных водах водоподготовите
ной установки сильных кислот (серной, соляной). В значительн
количествах в них присутствует свободная углекислота, понижа
щая pH до 5,5—6,0. Для быстрого удаления основной массы с
бодной углекислоты из движущейся жидкости и повышения р
сбросных вод дренажные каналы в пределах химводоочистки це
сообразно выполнять из кислотоупорного цемента и со съемны
крышками. Тогда необходимость в специально организованной не
трализации сточных вод после Н-катионитных фильтров с голодн
регенерацией отпадает.

Как уже указывалось выше, окончание рабочего цикла Н-к
тионитного фильтра с голодной регенерацией устанавливается
увеличению щелочности фильтрата, и, следовательно, катионит
пользуется для снижения щелочности воды. В этих условиях п
нятие «рабочая емкость поглощения», которую обычно относят
сорбируемым ионам, имеет несколько специфичный характер. По
условной рабочей емкостью поглощения по иону HCO_3^- подраз
мевается количество грамм-эквивалентов бикарбонатов, разруше
ное 1 м³ влажного катионита за межрегенерационный период пр

данной остаточной щелочности фильтрата. Поскольку ион водо
да при голодной регенерации полностью поглощается катионитом
практически не удаляется с отмывными водами) и расходуется
шь на разрушение щелочности, то удельный расход кислоты на
генерацию является теоретическим, т. е. равным 1 г-экв на 1 г-экв
зрушенных бикарбонат-ионов.

В практике водоподготовки для регенерации Н-катиоиитных
ильтров обычно используется серная кислота. Расход 100 %-ной
рной кислоты, кг, для голодной регенерации фильтра может быть
одсчитан по формуле

$$Q_{H_2SO_4} = 49E_{HCO_3^-} V_к/1000,$$

де 49 — расход серной кислоты на вытеснение 1 г-экв поглощенных
атионов, г; $E_{HCO_3^-}$ — условная рабочая емкость поглощения катио-
ита по иону HCO_3^-, г-экв/м³; $V_к$ — объем катионита в фильтре, м³.

При расчетах Н-катионитных фильтров значение ус
овной рабочей емкости поглощения для сульфоугля
следует принимать для исходных вод гидрокарбонатно
о класса 250—300, для вод других классов — 200 г-экв/м³.

Технология Н-катионирования с голодной регенера
ией предусматривает использование среднекислотных
сульфоуголь) и слабокислотных катионитов, например
арбоксильных.

Отечественные карбоксильные катиониты производит
емеровский завод «Карболит». Катиоиит КБ-4 по об
ей емкости и качеству выдаваемого фильтрата не
ступают зарубежным катионитам аналогичного класса,
апример вофатиту СА-20 (ГДР) и дуалайту С-464
Франция). Однако он имеет низкую осмотическую проч
ость, что не позволяет рекомендовать его для широко
о применения. В перспективе планируется выпуск кар
оксильного катионита марки КБ-12, показавшего в
ытных партиях хорошую осмотическую стабильность
17]. В настоящее время в схемах частичного Н-катио
ирования широко применяется сульфоуголь, выпускае
ый Воскресенским химическим комбинатом.

Контроль за работой Н-катионитных фильтров, работающих на
олодном режиме регенерации, осуществляется по щелочности филь
рата. Рабочий цикл фильтрата считается законченным и аппарат
ключается на регенерацию в момент, когда щелочность выходя
ей из него воды на 0,5 мг-экв/л превышает заданную щелочность
ильтрата. После регенерации фильтр в работу включается в мо
ент, когда жесткость отмывочной воды становится равной жест
кости исходной. Удельный расход воды на собственные нужды
Н-катионитного фильтра с голодной регенерацией составляет 4—
5 м³ на 1 м³ катионита. Скорость движения регенерационного рас-

твора, его концентрация, скорость отмывки катионита после пр
ска кислоты, а также допустимая скорость фильтрования в р
чем цикле устанавливаются такими же, как в прямоточных Н
тионитных фильтрах с обычной регенерацией.

Технологические показатели сульфоугля, используемые
проектировании установок Н-катионирования с голодной регене
цией, следующие:

Крупность зерен, мм	0,3—1,
Насыпная масса в сухом виде, т/м³	0,6—0,
Насыпная масса во влажном состоянии, т/м³	0,5
Условная рабочая емкость поглощения, г-экв/м³	250—30
Удельный расход серной кислоты, г/г-экв	49
Концентрация регенерационного раствора кислоты, %	1,0—1,
Длительность взрыхления, мин	15
Скорость взрыхления, м/ч	10
Скорость пропуска регенерационного раствора кислоты и отмывки, м/ч	10
Удельный расход воды на собственные нужды (при повторном использовании), м³/м³	5,5
Скорость фильтрования, м/ч	30
Температура исходной воды, °С	Не ниж 2—3 и выше 50

При обслуживании Н-катионитных фильтров с голодной ре
нерацией следует помнить, что поскольку количество кислоты, в
денное в фильтр, будет определять щелочность очищенной воды
течение всего следующего за данной регенерацией цикла Н-кат
нирования, дозировка кислоты должна быть по возможности наи
лее точной. Для контроля за количеством подаваемой в филь
кислоты на бачках-дозаторах и бачках-хранилищах необходи
установить дистанционные уровнемеры. Кислоту в фильтр целесо
разно подавать с помощью струйных аппаратов (эжекторов), поз
ляющих получить в процессе транспортировки раствор требуем
концентрации. Желательно автоматически поддерживать нужн
крепость раствора и установить прибор, указывающий концентр
цию кислотного раствора, поступающего к фильтрам.

Помимо упомянутого выше к вспомогательному оборудован
относятся также бак-цистерна для хранения крепкой серной кис
ты и бак для сбора отмывных вод от предыдущей регенерации (э
воды используются повторно для взрыхления катионита). На уст
новках небольшой производительности для взрыхления применя
исходную осветленную воду.

При пуске новых водоподготовительных установок весьма
ветственным является этап наладки работы оборудования. Зада
наладки работы Н-катионитных фильтров с голодной регенерац
состоит в установлении точного количества кислоты, которое нео
ходимо вводить в фильтр при регенерации, чтобы во время рабоче
цикла получать фильтрат требуемой щелочности. Следует провес
два-три цикла Н-катионирования, чтобы фильтр «вошел в режим
соответствующий данному расходу кислоты.

Первоначально осуществляют полное истощение катионита, пр
пуская через него исходную воду до момента выравнивания щело

ости в поступающей и выходящей из фильтра воде. Затем в
фильтр вводится расчетное количество кислоты, соответствующее
еоретическому удельному расходу, т. е. 49 г на 1 г-экв щелочно-
ти, подлежащей разрушению. При одинаковом расходе кислоты
роводят два или три цикла, контролируя щелочность фильтрата.
тот показатель подскажет, следует ли снижать количество кислоты
а регенерацию или оставить его без изменения, чтобы в дальней-
шем всегда получать воду желаемой щелочности. Если потребуется
скорректировать количество кислоты, то нужно опять дать фильтру
время для «вхождения» в новый режим работы. Когда в течение
рех последних циклов при неизменном количестве кислоты на ре-
генерацию фильтр выдает воду нужной щелочности, процесс налад-
ки можно считать законченным. Надежным показателем законче-
ности этого процесса может служить также баланс между количест-
вом ионов водорода, введенных в катионит во время регенерации
и израсходованных в рабочем цикле для снижения щелочности до
заданного значения.

Обычно на крупных водоподготовительных установках работа-
ет несколько фильтров. Чтобы обеспечить нормальную работу всей
установки, во время наладки составляют график работы фильтров,
который должен исключить одновременность выхода на регенера-
цию нескольких фильтров и предусмотреть возможность поддержи-
вать желаемую среднюю щелочность очищенной воды путем регу-
лирования нагрузки отдельных фильтров. Целесообразность состав-
ления такого графика была проверена на водоподготовительной
установке производительностью около 1000 т/ч котельной г. Зелено-
града, наладка которой проводилась работниками Центроэнерго-
монтажа. Кривые изменения жесткости и щелочности фильтра,
снятые во время двух фильтроциклов на этой установке, приведены
на рис. 4.6.

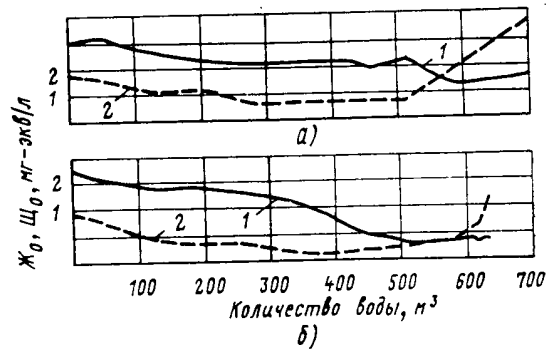


Рис. 4.6. Качество фильтрата Н-катионитного фильтра с голодной регенерацией в двух фильтроциклах, последовательно проведенных при его наладке.

а — цикл I; *б* — цикл II; *1* — жесткость; *2* — щелочность; исходная вода гидрокарбонатного класса II типа: $Ж_0$=7,5 мг-экв/л; $Щ_0$=7 мг-экв/л; $Ж_{ик}$ = =0,5 мг-экв/л; $Cl^- + SO_4^{2-}$ =0,765 мг-экв/л.

При наладке и эксплуатации важно обращать внимание гидродинамику фильтров, устранять дефекты распределительной системы, особенно верхней, через которую подается регенерационный раствор; следить за аккуратным удалением пленки измельченного катионита, соблюдать установленный режим взрыхления фильтров.

Многолетняя практика применения схемы частичного Н-катионирования в целях снижения щелочности исходной воды позволяет установить области рационального применения этого способа, исходя из качества исходных природных вод. Наиболее благоприятными для выполнения схемы голодного Н-катионирования являются воды гидрокарбонатного класса II типа с соотношением $Na : Ж_0 \leqslant 1$.

В заключение следует подчеркнуть что во всех случаях, когда состав исходной воды благоприятствует применению Н-катионирования с голодной регенерацией обеспечивается получение фильтрата с постоянной и желаемой низкой щелочностью ($Щ_{ост} \leqslant 0{,}5$ мг-экв/л). Отсутствие сбросных кислых вод способствует эксплуатационной надежности технологической схемы. Оснащение аппаратурой, а также эксплуатация Н-катионитных фильтров с голодной регенерацией не создают каких-либо дополнительных трудностей по сравнению с обычными установками Н-катионирования воды. Нет необходимости проводить нейтрализацию сбросных вод, а следовательно, отпадает потребность в соответствующих устройствах и экономится известь, употребляемая обычно для этой цели.

Стадия Н-катионирования с голодной регенерацией может быть использована в комбинированных схемах очистки воды, когда требуется не только снизить щелочность (карбонатную жесткость) исходной воды, но и провести глубокое ее умягчение. Необходимость в последнем возникает, когда исходная вода обладает кальциевой жесткостью, превышающей 3,5 мг-экв/л. В этом случае может быть рекомендована схема последовательного Н-Na-катионирования воды с голодным Н-фильтром в головной части установки. Для практического осуществления этой схемы требуется решить вопрос очистки сбросных вод, получаемых при регенерации и отмывке Na-катионитных фильтров. Как известно, спуск таких вод в открытые водоемы возможен после разбавления их менее минерализованной водой до допустимых концентраций. Если отсутствует источник маломинерализован-

ой воды или объем сточных вод химводоочистки очень лик, потребуется применить метод постепенного их нцентрирования упариванием с последующим использованием твердых отходов.

4.3. Снижение карбонатной жесткости (щелочности) добавочной воды методом подкисления

Широкое распространение открытой схемы теплоснабжения с большими расходами горячей воды для непосредственного водоразбора, начавшееся в 60-х годах и вызванное увеличением жилищного строительства, создало условия для применения упрощенных способов снижения щелочности добавочной воды. К таким способам относится метод подкисления воды серной (или сернистой) кислотой, отличающийся невысокими металлоемкостью используемого оборудования и себестоимостью очищенной воды.

Значительным практическим преимуществом метода подкисления является отсутствие сбросных вод, что повышает его конкурентоспособность со всеми применяемыми в настоящее время способами снижения карбонатной жесткости (щелочности) природных вод.

Сущность метода подкисления состоит в уменьшении концентрации в воде ионов HCO_3^- в результате связывания их ионом водорода, вводимым с кислотой, в молекулы углекислоты. Нормы ПТЭ (см. § 1.4) требуют полного удаления из воды свободной углекислоты (для уменьшения коррозии) и снижения щелочности до значений не более 0,7 мг-экв/л. Выполнение требований ПТЭ позволяет в течение двух-трех сезонов эксплуатировать котлы без ухудшения интенсивности теплопередачи.

Для подкисления чаще всего применяется серная кислота, при этом в воде повышается концентрация сульфат-ионов. Когда используются природные воды с высокой концентрацией кальция, создается опасность выделения на поверхностях нагрева твердой фазы карбоната кальция $CaSO_4$. Чтобы избежать указанной опасности и оценить возможность применения для подкисления серной кислоты, требуется подсчитать, не станет ли подкисленная вода пересыщенным раствором по $CaSo_4$ при заданной температуре.

Для облегчения расчетов можно воспользоваться номограммой стабильности воды по $CaSO_4$, изображенной на рис. 4.7 [18].

С помощью номограммы можно найти предельно допустимую к
центрацию иона SO_4^{2-} (или Ca^{2+}), если известны температура
догрева воды (в пределах 90—200 °С), концентрация иона каль
(или сульфат-иона) в исходной воде (в пределах 2—10 мг-экв/л
общее солесодержание исходной воды (в пределах 100—1000 мг/
Значение солесодержания воды берется по одной из двух сов

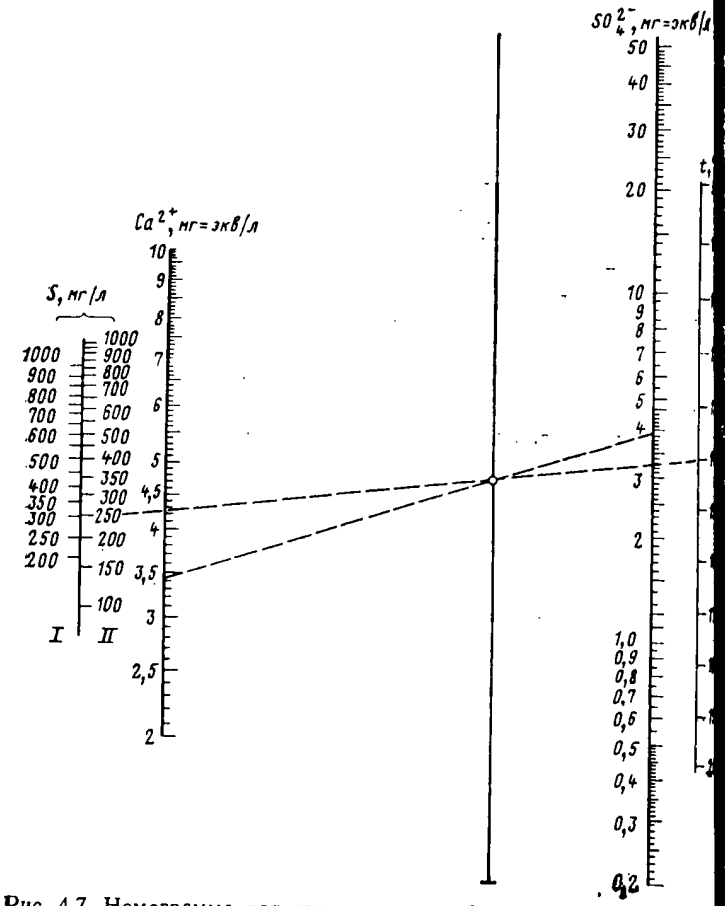


Рис. 4.7. Номограмма для определения стабильности воды по CaS

щенных шкал (рис. 4.7); правая шкала *II* соответствует концентра
ции одновалентных ионов, равной 10 % (по массе) общего сол
содержания, а левая *I* — концентрации одновалентных ионов, ра
ной 50 %. Для определения предельно допустимой концентрац

$^{2-}_{4}$ нужно соединить прямой линией соответствующие точки на
ах *S* и *t*, затем из точки на оси Ca^{2+}, соответствующей концент-
ции кальция в воде, через точку пересечения первой прямой со
едней вспомогательной осью провести прямую до пересечения с
ью SO_4^{2-}. Найденная на этой оси точка и есть искомая концен-
ация SO_4^{2-}. Аналогичным способом находят предельно допусти-
ю концентрацию иона Ca^{2+} при заданной концентрации суль-
тов.

Концентрация иона SO_4^{2-} в подкисленной воде определяется из
ражения

$$[SO_4^{2-}]_{п.п} = [SO_4^{2-}]_{исх} + [HCO_3^-]_{исх} - [HCO_3^-]_{п.п},$$

е индексом «исх» обозначены значения концентраций ионов в ис-
дной воде, а индексом «п.п» — в воде после подкисления.

Значение $[HCO_3^-]_{п.п}$ должно быть в пределах 0,5—0,7 мг-экв/л.

При определении возможности применения метода
одкисления для обработки конкретной исходной воды в
лучае, если в схему подогрева включены водогрейные
отлы типа ПТВМ, важно рассчитать температуру. В ус-
овиях нормального режима котла, характеризующегося
сутствием поверхностного кипения, искомая расчет-
ая температура будет соответствовать максимальной
мпературе нагрева воды, увеличенной на 5—10 °С [19].
Запас» по температуре необходим для компенсации до-

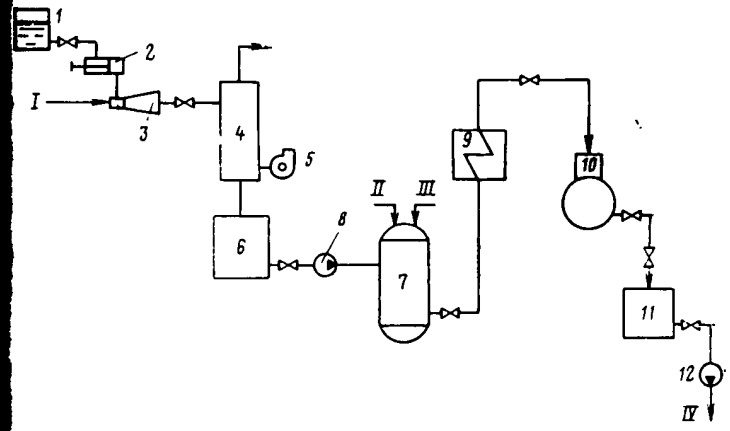


Рис. 4.8. Принципиальная схема подкисления добавочной воды.
— бак концентрированной кислоты; *2* — дозатор; *3* — эжектор; *4* — декарбо-
затор; *5* — вентилятор; *6* — бак запаса воды; *7* — буферный фильтр; *8* —
дпиточный насос; *9* — подогреватель; *10* — деаэратор; *11* — бак деаэрирован-
й воды; *12* — сетевой насос; *I* — подвод исходной воды на очистку; *II* —
одвод исходной воды; *III* — подвод раствора щелочи; *IV* — подпиточная вода.

пустимой тепловой «разверки» в разных элементах трубах котла.

В схеме подкисления добавочной воды (рис. 4.8) для удаления образующейся свободной углекислоты предусмотрен декарбонизатор.

Необходимая доза кислоты, л/м³, вычисляется по формуле

$$Д_{H_2SO_4} = \frac{\left[HCO_3^-\right]_{исх} - \left[HCO_3^-\right]_{п.п}}{10\rho C} 49,$$

где 49 — эквивалентная масса серной кислоты, г/г-экв; ρ — плотность кислоты, кг/л; C — концентрация серной кислоты, %.

Для подкисления нужно использовать техническую кислоту, соответствующую по составу примесей ГОСТ 2184-77 (содержание мышьяка 0,0001 %, свинца — 0,01 %). Чтобы исключить опасность попадания кислой воды в теплосеть и обеспечить постоянство качества подкисленной воды, необходимо применять автоматическую систему дозирования кислоты, подавая ее пропорционально расходу воды, и весьма желательно — с корректирующим импульсом по качеству (остаточной щелочности или pH воды). Той же цели — обеспечению надежности метода — служит включенный в схему подкисления буферный катионитный фильтр, работающий при скорости фильтрования 50 м/ч. Периодически этот фильтр истощают, пропуская исходную воду и срабатывая катионит до выравнивания жесткости на входе в фильтр и на выходе из него. Как часто эта операция должна проводиться, определяют в период первичного пуска и наладки установки.

Из имеющихся дозаторов кислоты наиболее надежным в настоящее время следует считать дозатор системы Тулэнерго с автоматической дозировкой по разнице в значениях электрической проводимости между подкисленной и исходной водой. Дифференциальная

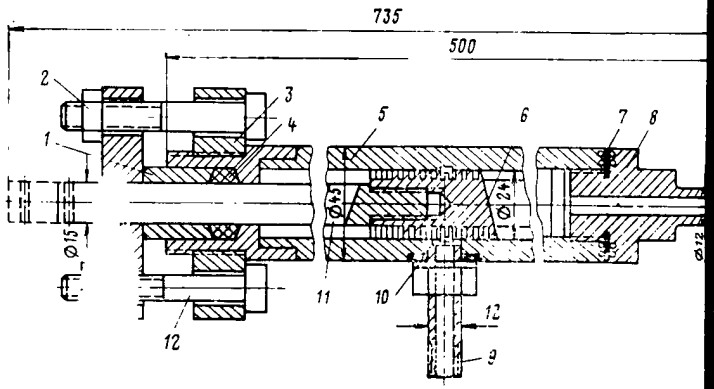


Рис. 4.9. Дозатор кислоты производительностью 2—40 л/ч.

1 — грундбукса; *2* — гайка; *3* — фланец; *4* — сальниковая набивка; *5* — корпус; *6* — дроссель; *7* и *10* — прокладки; *8* — входной штуцер; *9* — выходной штуцер; *11* — щиток дросселя; *12* — болт.

схема измерения электрической проводимости, использованная в датчике кондуктометра Тулэнерго, обеспечивает достаточно высокую точность дозировки, так как исключает влияние колебаний температуры и солесодержания воды. Дозатор обеспечивает непрерывную подачу кислоты с плавным регулированием ее расхода от 2 до 40 л/ч.

Дозатор (рис. 4.9) представляет собой дроссельное устройство с переменным гидравлическим сопротивлением. Детали дозатора изготовляются из нержавеющей стали 1Х18Н9Т. Расход кислоты через дозатор определяется размерами щели между наружным диаметром дросселя и внутренним диаметром корпуса. Значительное

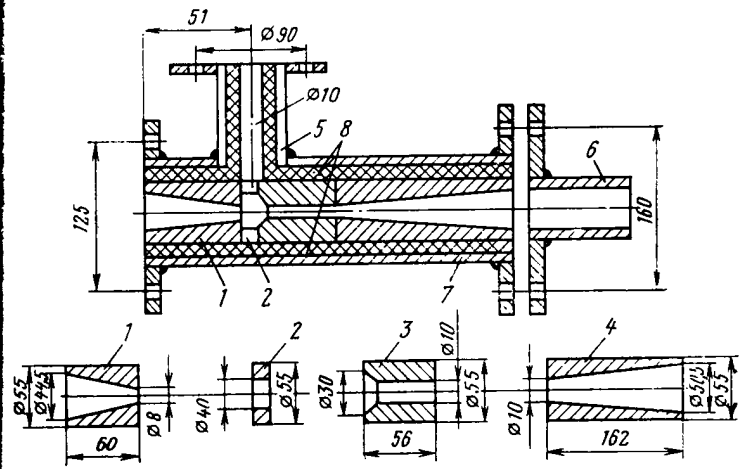


Рис. 4.10. Эжектор для водоприготовительной установки производительностью до 200 м³/ч.

1 — входное сопло из винипласта; *2* — установочное кольцо; *3* — камера смешения; *4* — диффузор из винипласта или фторопласта; *5*—*7* — трубы из нержавеющей стали размерами соответственно 38×3; 57×3,5 и 83×4,5 мм; *8* — свинцовая футеровка.

влияние на точность дозировки оказывает вязкость раствора кислоты, зависящая от температуры. Для стабилизации последней используется водяной теплообменник типа «труба в трубе». По внутренней трубе теплообменника проходит кислота, а в межтрубном пространстве — вода с постоянной температурой.

Отдозированная кислота вводится в обрабатываемую воду с помощью кислотоупорного эжектора (рис. 4.10) из винипласта или фторопласта. Если бак с кислотой расположен выше декарбонизатора, кислота в воду может подаваться самотеком.

Выпускавшиеся ранее насосы-дозаторы не обеспечивали достаточно тонкую и точную дозировку кислоты. Насос-дозатор серной кислоты 11Д 05Э 100/10 завода «Ригахимаш» имеет точность дозировки 0,5 % подачи. Его применение предусматривается во вновь монтируемых схемах подкисления добавочной воды тепловых сетей.

Если состав исходной воды указывает на опасность выпадения сульфата кальция при ее подкислении серной кислотой, следует прибегать к частичному умягчению воды или использовать для подкисления соляную кислоту. Комбинированная схема подкисления и Na-катионирования воды изображена на рис. 4.11.

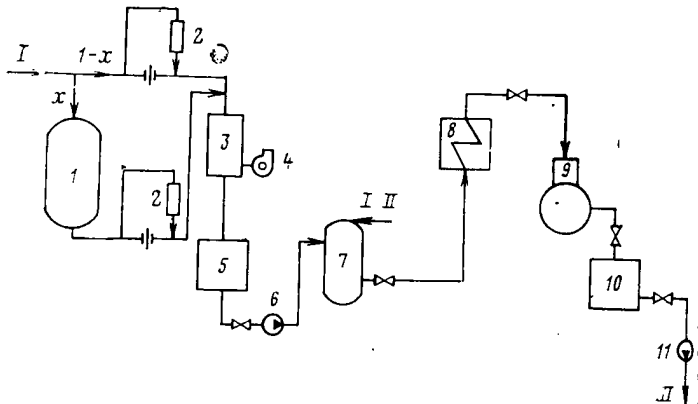


Рис. 4.11. Схема подкисления с частичным умягчением добавочной воды методом Na-катионирования.

1 — Na-катионитный фильтр; *2* — дозатор кислоты; *3* — декарбонизатор; *4* — вентилятор; *5* — бак запаса воды; *6* — подпиточный насос; *7* — буферный фильтр; *8* — подогреватель; *9* — деаэратор; *10* — бак деаэрированной воды; *11* — сетевой насос; *I* — исходная вода; *II* — раствор хлористого натрия; *III* — подпиточная вода.

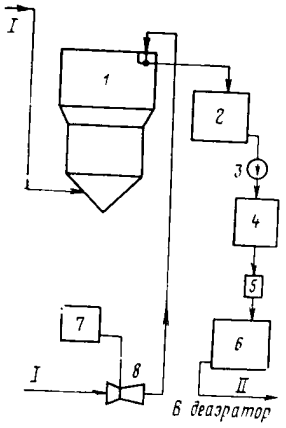


Рис. 4.12. Схема подготовки добавочной воды методом подкисления с предварительной коагуляцией в осветлителе.

1 — осветлитель; *2* — бак коагулированной воды; *3* — насос; *4* — механический фильтр; *5* — декарбонизатор; *6* — бак подпиточной воды; *7* — бак серной кислоты; *8* — эжектор-дозатор; *I* — исходная речная вода; *II* — подпиточная вода.

Когда в качестве источника водоснабжения используется поверхностный водоем и требуется не только снизить карбонатную жесткость, но и улучшить органолептические показатели (цветность, мутность) воды, целесообразно применять комбинированную схему, пред-

авленную на рис. 4.12. В ней предусматривается коаляция воды в осветлителе и последующее подкисление его ее потока.

Наиболее рациональная схема для применения в ждом конкретном случае выбирается по результатам ехнико-экономического сравнения конкурирующих схем.

Способ снижения карбонатной жесткости (щелочности) воды подкислением ее серной или соляной кислотой привлекает своей высокой экономичностью и отсутствием сбросных вод, что позволяет использовать его для здания бессточных схем подготовки добавочной воды теплосетей.

4.4. Декарбонизация воды методом известкования

Известкование как способ снижения щелочности воды при ее подготовке для теплосети долгое время рассматривался только применительно к закрытым системам теплоснабжения. Этот способ считался экономичным при небольших расходах добавочной воды в теплосеть. При этом очистка подпиточной воды для теплосети совмещалась на первых стадиях с подготовкой добавочной воды для основного контура ТЭЦ.

В настоящее время известкование рассматривается как конкурентоспособный метод, позволяющий достаточно просто решать вопрос очистки сбросных вод даже для установок большой производительности, поскольку примеси, удаляемые из воды в процессе известкования, переводятся в практически нерастворимые осадки, которые могут быть удалены в соответствующие шламоотвалы.

Сущность метода заключается в обработке воды известью $Ca(OH)_2$. Повышение в воде концентрации ионов OH^- приводит к уменьшению концентрации ионов H^+, так как ионное произведение воды K_w — величина постоянная. Увеличение pH вызывает смещение углекислотного равновесия в сторону образования карбонат-ионов (см. § 2.2). При этом происходит диссоциация молекул угольной кислоты по первой и второй ступеням, а также диссоциация бикарбонат-ионов, присутствующих в воде. В результате этих реакций в воде возрастает концентрация ионов CO_3^{2-} которые по достижении произведения растворимости $CaCO_3$ вызывают образование твердой фазы карбоната кальция. Переход в осадок ионов CO_3^{2-} и Ca^{2+} обусловливает снижение щелочности и жесткости воды. Если известь дозируется в количестве, большем, чем это необходимо для связывания свободной угольной кислоты и разложения бикарбонатов, в воде появляется избыточная концентрация гидро-

ксильных ионов. При условии достижения произведения раство
мости $Mg(OH)_2$ гидроокись магния также выпадает в осадок. С
жение щелочности и жесткости воды сопровождается соответст
ющим уменьшением сухого остатка. Кроме того, происходит уме
шение содержания соединений железа, кремния, органических в
ществ, снижается цветность воды.

На основе многолетних исследований отделения во
но-химических процессов ВТИ сформулированы опт
мальные условия проведения процесса известкования в
ды [20]. На рис. 4.13 показана принципиальная техн
логическая схема подготовки воды этим методом.

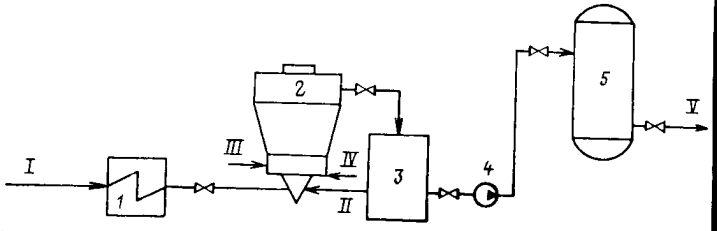


Рис. 4.13. Схема подготовки добавочной воды методом известков
ния.

1 — подогреватель; *2* — осветлитель; *3* — бак известкованной воды; *4* — нас
5 — механический фильтр; *I* — исходная вода; *II* — известковое молоко; *III*
раствор флокулянта; *IV* — раствор коагулянта; *V* — осветленная добавочн
вода.

В правильно налаженных установках с использов
нием осветлителей конструкции ВТИ при нагреве вод
до 30—40 °С можно получить остаточную щелочность в
ды $Щ_{ост}=0{,}55\div0{,}80$ мг-экв/л при содержании кальц
до 1 мг-экв/л и $Щ_{ост}=0{,}35\div0{,}60$ мг-экв/л при $Ca^{2+}_{ост}$
$\geqslant 3$ мг-экв/л. Оптимальное значение pH, при котор
достигается минимальная общая щелочность, лежит
пределах 10—10,2. При снижении pH обрабатываем
воды остаточная щелочность повышается до 1—1,5 м
экв/л. Если требуется получить воду с минимально ни
кой щелочностью, необходимо применять комбинирова
ные схемы, например известкование с последующим по
кислением.

На установках с известкованием важно получать очищенну
воду, стабильную по содержанию карбоната кальция. Этому спо
собствует совмещение процессов известкования и коагуляции в ос
ветлителях со взвешенным слоем. При необходимости улучшит
структуру шлама допускается использование флокулянтов. Освет
лители серии ВТИ-И снабжены системами автоматизации для под
держания температуры воды в оптимальных пределах, соблюдени

ламового режима осветлителя, приготовления и дозирования ре
гентов. Объем необходимой автоматизации, обеспечивающий иор
мативный режим эксплуатации осветлителей, разработан СКБ ВТИ
в виде технического проекта и рекомендован для широкого внедре
ния на всех строящихся и расширяющихся водоочистках.

Эффект умягчения воды при известковании зависит от состава исходной воды. Если он не отвечает требованиям ПТЭ (кальциевая жесткость не выше 3,5 мг-экв/л), возникает необходимость дополнительного умягчения. В подобных случаях проводится Na-катионирование части или всего потока известкованной воды.

Таким образом, с включением стадии известкования применяются следующие схемы водоподготовки: известкование — коагуляция; известкование — коагуляция — умягчение; известкование — коагуляция — подкисление.

4.5. Na-катионирование добавочной воды

Умягчение воды по методу Na-катионирования многие годы применялось на ТЭЦ для подготовки добавочной воды тепловых сетей. Эксплуатация Na-катионитных установок позволила выявить положительные и отрицательные стороны этого метода. Достигаемый при Na-катионировании глубокий эффект умягчения добавочной воды положительно сказывается на уменьшении кальциевого и магниевого накипеобразования в теплообменной аппаратуре. Однако повышение агрессивных свойств глубоко умягченной воды по отношению к металлу вызывает усиление коррозии подпиточного тракта (до деаэратора), а при недостаточно качественной деаэрации и всего остального водогрейного оборудования и теплофикационных магистралей. Иначе говоря, применение Na-катионирования как метода подготовки добавочной воды требует особенно тщательного проведения противокоррозионных мероприятий в теплосети, чтобы избежать загрязнения сетевой воды повышенным количеством продуктов коррозии.

Существенным недостатком метода Na-катионирования следует считать наличие сбросных вод, содержащих хлориды и сульфаты кальция и натрия в количествах, превышающих нормы. В настоящее время применяется разбавление сбрасываемых растворов водами более низкой минерализованности. В перспективе использование метода Na-катионирования в водоподготовительных установках будет зависеть от возможности утилизации сбросных вод.

В настоящее время в схемах подготовки добавочной воды для тепловых систем с непосредственным водоразбором Na-катионирование используется после стадии, снижающей щелочность исходной воды. Необходимость в доумягчении воды возникает, если исходная вода содержит значительное количество ионов кальция и для выдерживания в сетевой воде соотношения $Ж_{Ca}Щ\leqslant 2{,}4$ требуется уменьшить их концентрацию до $Ж_{Ca}\leqslant 3{,}5$ мг-экв/л. В подобных случаях применяются комбинированные схемы: а) известкование — коагуляция с последующим частичным или полным умягчением воды методом Na-катионирования; б) подкисление в комбинации с

Na-катионированием части исходной воды. Та или другая схем очистки для каждого конкретного состава воды выбирается по р зультатам технико-экономического расчета, а также при полож тельном решении вопроса об утилизации сбросных вод Na-кат питных фильтров.

4.6. Магнитная противонакипная обработка добавочно воды

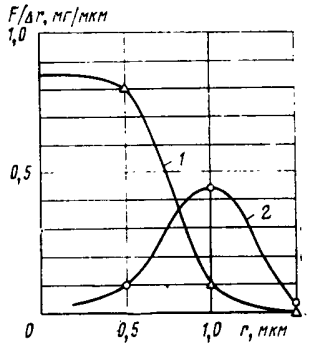
Основные закономерности метода магнитной вод подготовки. Изменения свойств воды, наблюдаемые в р зультате ее прохождения через узкий зазор между по люсами постоянного магнита (или электромагнита), по воляют рассматривать омагничивание воды как спосо ее обработки. Исследованиями многих авторов, а такж промышленной практикой доказано, что магнитное пол оказывает влияние на кинетические процессы кристал лизации накипеобразователей.

Противонакипный эффект магнитной обработки обус ловлен появлением в воде, прошедшей магнитное поле многочисленных субмикроскопических и коллоидных об разований, которые могут служить зародышевыми кр сталлами карбоната кальция, выделяющегося при на гревании воды. Присутствие в жидкости огромного ко личества таких центров кристаллизации способствует выделению карбоната кальция в объеме жидкости, а так же вызывает замедление роста кристаллов, что обуслов ливает их высокую дисперсность. Перенесение кристал лизации основного накипеобразователя в толщу нагре ваемой воды способствует предотвращению отложений на теплопередающих поверхностях оборудования. Обра зованию накипи вторичного происхождения препятству ет высокая степень дисперсности частиц выделяющегося карбоната кальция. Система вода — карбонат кальция получается устойчивой на стадии микрокристаллов, не оседающих из потока движущейся жидкости.

Экспериментальное определение абсолютных разме ров частиц карбонатной взвеси, образующейся при на гревании омагниченной воды до 102—104 °С, показало, что 80—85 % этих частиц (из общего количества взве си) имеет диаметр менее 0,5 мкм и только у 0,5—0,7 % частиц размеры превышают 1,5 мкм.

Установлена зависимость дисперсности карбонатной взвеси, выделяющейся в нагретой омагниченной воде, от режима ее магнитной обработки и в первую очередь от

пряженности магнитного поля. Кривые на рис. 4.14 по-
зывают количественное возрастание в воде фракций
рбонатной взвеси высокой дисперсности ($r \leqslant 0{,}5$ мкм)
и увеличении напряженности магнитного поля в ра-
чем зазоре аппарата. При воздействии на воду маг-



с. 4.14. Дисперсный состав карбо-
тной взвеси омагниченной природ-
й воды в зависимости от напря-
женности H магнитного поля.
F — массовая характеристика фракций
CO_3; r — радиус частиц $CaCO_3$; F — мас-
фракции определенной дисперсности,
1 — состав взвеси при $H = 12 \cdot 10^4$ А/м;
2 — при $H = 4 \cdot 10^4$ А/м.

тного поля повышенной напряженности фракция наи-
олее мелких частиц с радиусом не более 0,5 мкм со-
авляет около 85 %; уменьшение напряженности маг-
тного поля приводит к резкому снижению количества
елкодисперсной взвеси. Рост количества тонкодисперс-
ых частиц карбонатной взвеси, агрегативно более ус-
ойчивых в нагретой воде, непосредственно влияет на
ротивонакипный эффект магнитной обработки воды.

Приведенные на рис. 4.14 опытные данные позволя-
т видеть также, что снижение напряженности магнит-
ого поля до $4 \cdot 10^4$ А/м сопровождается уменьшением
бщего количества карбонатной взвеси в воде при неиз-
енном температурном режиме нагрева и постоянном хи-
ическом составе исходной воды. Это ведет к росту на-
ипеобразования на поверхностях нагрева и снижению
ротивонакипного эффекта обработки.

Оба названных выше показателя — фракционный со-
тав карбонатной взвеси и ее количество в нагретой
магниченной воде — могут быть приняты в качестве кон-
рольных при оценке эффективности магнитной обработ-
и в условиях эксплуатации промышленной установки.

Влияние напряженности магнитного поля на размер
частиц образующейся твердой фазы карбоната кальция
орошо прослеживается на фотографиях (рис. 4.15).

Таблица 4.2. **Технические данные электромагнитных аппар чебоксарского электромеханического завода «Энергозапчаст**

Технические данные	ЭМА-15	ЭМА-25	ЭМА-50	АМО-
Производительность по воде, т/ч:				
номинальная	15	25	50	25
максимальная	25	45	80	30
минимальная	10	20	35	20
Количество катушек, шт.	4	6	6	1
Скорость воды в рабочем зазоре, м/с	1,15	1,15	1,3	1
Сечение для прохода воды, см^2	36,5	60,0	105,4	56±
Максимальная напряженность магнитного поля в рабочем зазоре, А/м	$16 \cdot 10^4$	$16 \cdot 10^4$	$16 \cdot 10^4$	24·1
Время пересечения водой магнитного поля (под одним полюсом), с	0,026	0,026	0,023	0,
Рабочее давление, Па	$6 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^5$	6·1
Масса аппарата, кг	115	213	228	75

рактеризующая зависимость напряженности магнитно поля в рабочем зазоре от силы тока в обмотке. За осуществляется с использованием кристаллооптическо метода контроля предварительная настройка аппара на обработку воды данного качества [29].

Магнитная обработка при подготовке воды для теп вых сетей с непосредственным водоразбором хорошо рекомендовала себя на установках, в которых в качест основных нагревателей используются скоростные тевые подогреватели. В теплофикационных схемах с догрейными котлами применение магнитной обработ вероятно, будет менее надежным. В связи с переход на использование мазута в качестве топлива для э котлов в конвективных и экранных трубах водогрейн котлов зафиксировано явление «поверхностного ки ния», что исключает возможность применения мето магнитной обработки.

Природные воды, возможность противонакипной м нитной обработки которых уже проверена практикой, ставляют 65—70 % вод, применяемых для теплоснаб ния. В этих условиях магнитная обработка может да

ущественный экономический эффект по сравнению с ругими методами химической (ионитной) очистки воды. ассмотрим несколько примеров. Так, осуществление на аратовской ГРЭС упрощенной схемы вместо запроек ированной (осветление — Na-катионирование) позволи о сэкономить 344 тыс. руб. капиталовложений и снизить ебестоимость обработанной воды с 6,81 до 3,01 коп/т, внедрение магнитной обработки на Астраханской ТЭЦ а установке производительностью 250 т/ч вместо за роектированной схемы (Н-катионирование с голодной егенерацией) дало экономию капитальных вложений олее 130 тыс. руб.

Оценивая практические возможности магнитной обработки, ельзя не сказать об опыте применения этого метода в теплосети Ростова-на-Дону. В этой теплосети магнитная обработка ведет я в летний период (с мая по октябрь), когда котельная, оборудо анная водогрейными котлами ПТВМ, работает по двум независи ым контурам. Первый контур теплоносителя с включенными в его водогрейными котлами подпитывается умягченной Na-катионированной водой в количестве 0,4 т/ч; второй контур питается водой жесткостью 6,5—7,0 мг-экв/л, идущей на горячее водоснабжение. одопроводная вода (350—400 т/ч) подвергается омагничиванию, агревается в подогревателях I ступени до 40—45 °С, II ступени до 5—70 °С, деаэрируется в вакуумном деаэраторе и подпиточными асосами подается потребителю через прямой или обратный коллек ор теплосети.

Многолетний опыт эксплуатации летней схемы горячего водоабжения подтвердил ее надежность (отсутствие накипи в подоревателях, постепенная очистка подпиточных трубопроводов от арой накипи). Отмечалось лишь оседание некоторого количества лама в баке деаэратора. Летняя схема работы котельной позво яет экономить до 20 тыс. руб. в год благодаря сокращению рас ода поваренной соли и высвобождению двух аппаратчиков хим одоочистки.

Глава пятая

ПОДГОТОВКА ВОДЫ ДЛЯ ЗАКРЫТЫХ ТЕПЛОВЫХ ЕТЕЙ, МЕСТНЫХ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

5.1. Подготовка добавочной воды для закрытых тепловых сетей

Сетевая вода, циркулирующая в закрытых системах, е имеет непосредственного контакта с людьми, и поэто у нет необходимости соблюдать санитарные требова ия, в частности, по такому показателю, как pH. Это об-

стоятельство позволяет использовать для подпитки т
лосети продувочную воду паровых котлов, отмывоч
воды анионитных фильтров и иметь при этом показат
pH в добавочной воде свыше 8,5. Утилизация продув
ной воды котлов и сбросных вод обессоливающих ус
новок экономически выгодна, так как уменьшается
щее водопотребление и, кроме того, сокращаются об
мы производственных сточных вод. Однако в э
случае из-за присутствия в продувочных и отмывоч
водах гидрат- и фосфат-ионов, которые с ионами ка
ция и магния могут образовывать труднорастворим
соединения, остальная часть добавочной и сетевая во
должны быть глубоко умягчены (общая жесткость
более 0,05 мг-экв/л). Применение для этой цели Na-к
тионирования вызывает необходимость решать сложн
вопрос об утилизации стоков катионитных фильтров.

Применение гидразина или других веществ, могущ
оказать прямо или косвенно вредное действие на ор
низм и здоровье человека, для коррекционной обработ
воды теплосети запрещается, так как и в закрытых
тях имеются некоторые утечки воды через неплотно
оборудования и непланируемый ее отбор.

Неорганизованный водоразбор и другие потери из-
недостаточно высокой культуры эксплуатации тепло
сетей и подогревателей отражаются в первую очередь
производительности водоподготовительной установ
(ВПУ), предназначенной для восполнения всех поте
воды в сети, и, конечно, затрудняют ее нормальную э
плуатацию. При проектировании ВПУ должна быть п
дусмотрена возможность увеличить производительно
установки в случае необходимости. Должно быть так
предусмотрено сооружение баков, вмещающих 2—3-
совой запас воды для обеспечения бесперебойной рабо
теплосети.

Производительность ВПУ добавочной воды для
крытых тепловых сетей меньше, чем для систем с не
средственным водоразбором.

Повышение требований к составу и минерализованности в
сбрасываемых в водоемы после ВПУ, заставляет пересматрив
традиционно используемые схемы подготовки добавочной вод
даже отказываться от применения некоторых из них. В частно
такая переоценка произошла в отношении схемы умягчения во
методом Na-катионирования из-за отсутствия экономически при
лемых способов снижения солесодержания сбросных вод после
катионитных фильтров.

Основной схемой подготовки добавочной воды для закрытых
плосетей, когда нужно снизить только щелочность (карбонатную
есткость) исходной воды, следует считать известкование, совме-
енное с коагуляцией и осуществляемое в осветлителях ВТИ. Эта
ема применима для вод гидрокарбонатного класса, у которых об-
ая жесткость равна общей щелочности или превышает ее на 1—
мг-экв/л. Когда исходная вода обладает более высокой некарбо-
атной жесткостью (т. е. $Ж_о$ превышает $Щ_о$ более чем на 3 мг-
кв/л), требуется проводить доумягчение воды. В подобных слу-
ях конкурирующими схемами водоподготовки можно считать:
доизвесткование и известкование с коагуляцией и последующим
а-катионированием всего потока воды или его части. Критерием
елесообразности осуществления той или другой схемы должны
ть результаты их технико-экономического сравнения, включая
шение вопроса об утилизации сбросных вод ВПУ.

5.2. Подготовка воды для местных систем горячего водоснабжения

Для централизованного горячего водоснабжения (за-
рытая система теплоснабжения) очистка воды должна
редусматриваться в тепловых пунктах в тех случаях,
огда это требуется по коррозионным и накипеобразую-
им показателям исходной водопроводной воды и обо-
новано технико-экономическим расчетом. При выборе
одоподготовки (противокоррозионная, противонакип-
ая или совместная) рекомендуется руководствоваться
анными табл. 5.1. По результатам исследований ВТИ и
пыту эксплуатации систем горячего водоснабжения
ротивонакипная и противокоррозионная обработка во-
ы не требуется, если исходная водопроводная вода от-
ечает одновременно следующим показателям: карбонат-
ая жесткость менее 4 мг-экв/л, содержание железа не
олее 0,3 мг/л (в пересчете на Fe); суммарное содержа-
ие хлоридов и сульфатов не выше 50 мг/л.

Способы противокоррозионной обработки воды рас-
мотрены в гл. 6 (§ 6.3). Ниже излагаются методы
рганизации противонакипной обработки воды на теп-
овых пунктах.

Многолетний опыт эксплуатации подогревателей горячего во-
снабжения показывает, что при использовании необработанной
одопроводной воды нередко в трубках теплообменников образуют-
я карбонатные или карбонатно-железистые отложения. При кар-
онатной жесткости воды 6—7 мг-экв/л и содержании железа до
мг/л необходимость в чистке трубок возникает уже через 3—
мес непрерывной работы при температуре нагрева 70—90 °С или
рез 6 мес при температуре воды не выше 60 °С. Противонакипную
работку воды на тепловых пунктах необходимо проводить при

Таблица 5.1. Водоподготовка в системах централизованного горячего водоснабжения

Водоподготовка	Показатели качества исходной водопроводной воды (средние за год)			Необходимость обработки воды в зависимости от типа труб		
	J при 60° С	Концентрация (в холодной воде), мг/л, хлоридов и сульфатов (суммарно) $Cl^- + SO_4^{2-}$	Окисляемость, мг О/л	Частично стальные без покрытия и частично оцинкованные трубы	Оцинкованные трубы	Термостойкие трубы пластмассовые или с
I. Противокоррозионная	$\leqslant -1,0$	Любая	0—6	+	+	—
	$-1,0 < J \leqslant 0$	>50	0—6	+	+	—
	$-1,5 < J \leqslant -1,0$	≤50	0—6	+	+	—
	$-1,0 < J \leqslant 0$	≤50	0—6	+	—	—
	$J > 0$	>50	0—6	+	+	—
	$J > 0$	≤50	0—6	Допускается без обработки	—	—
II. Противонакипная	$0 < J \leqslant 0,1$	≤50	0—6	—	—	—
	$0,1 < J \leqslant 0,5$	≤50	>3	—	—	—
	$0,1 < J \leqslant 0,5$	≤50	≤3	+	+	+
	$J > 0,5$	≤50	0—6	+	+	+
III. Противокоррозионная и противонакипная	$0,1 < J \leqslant 0,5$	>50	>3	+	+	Требуется только против накипи обработ
	$J > 0,5$	>50	0—6	+	+	

Примечания: 1. Знак «+» означает, что обработка воды требуется, «—» — не требуется.

2. Значение J определяется по пп. 6.214, 6.215 гл. 31 СНиП «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения водоснабжения».

3. Допустимая концентрация хлоридов и сульфатов в пределах ГОСТ 2874-73, п. 1.5.4 и табл. 4.

4. Окисляемость воды, используемой для горячего водоснабжения, должна превышать 6 мг О/л для удовлетворения требованиям ГОСТ 2874 по показателю цветности.

5. Концентрация растворенного кислорода в холодной воде не норм ется.

пользовании водопроводных вод, имеющих повышенные накипеобразующие свойства, т. е. $J > 0$ и $Ж_{Ca} > 4$ мг-экв/л.

Органические вещества оказывают тормозящее влияние на процесс выделения карбоната кальция и тем самым уменьшают интенсивность накипеобразования. Поскольку влияние органических веществ не может быть учтено при определении индекса насыщения J, в дополнение к этому показателю используется окисляемость воды. В некоторых случаях повышенная окисляемость воды (более 3 мг О/л) позволяет отказаться от противонакипной обработки.

При нагревании артезианских вод со значительным содержанием железа (до 3 мг/л) обычно повышается цветность воды из-за интенсивного образования взвеси гидрата окиси железа, когда в воду поступают даже небольшие количества растворенного кислорода (0,5—1 мг/л). Кроме того, присутствие гидрата окиси железа приводит к интенсификации отложений в трубках подогревателей. Такие отложения, как правило, удаляют пу-

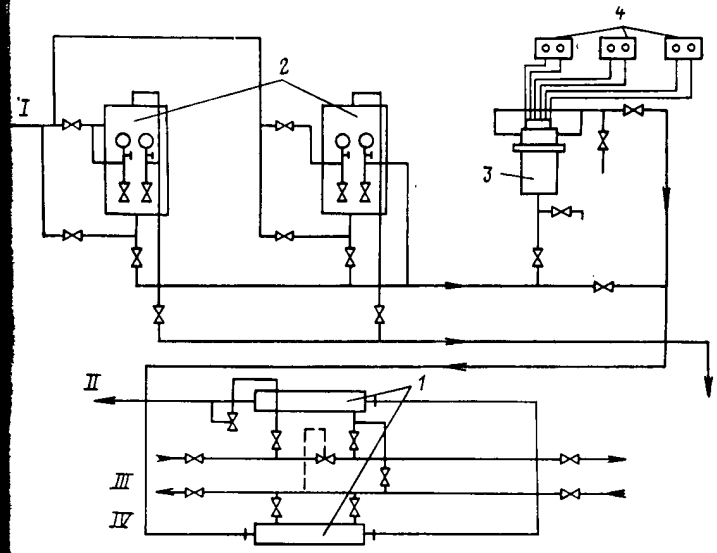


Рис. 5.1. Принципиальная схема водоподготовки для горячего водоснабжения на ЦТП, использующих артезианскую воду.

1 — секционный подогреватель горячего водоснабжения; *2* — обезжелезивающий механический фильтр; *3* — электромагнитный аппарат; *4* — селеновый выпрямитель; *I* — холодная вода; *II* — нагретая вода в систему горячего водоснабжения; *III* — сетевая вода с ТЭЦ; *IV* — сетевая вода на ТЭЦ.

тем периодических очисток трубок. Однако восстанов
ние теплопроизводительности подогревателей путем
риодических очисток трубок не может конкурировать
водоподготовкой вследствие трудоемкости операц
очистки, ее высокой стоимости и необходимости отк
чения горячего водоснабжения на длительный срок.
тоды реагентной и ионитной обработки воды на це
ральных тепловых пунктах (ЦТП) неприемлемы из
громоздкости оборудования, значительных капитальн
вложений и эксплуатационных затрат и необходимо
квалифицированного обслуживания установок. Для п
дупреждения накипеобразования в водо-водяных по
гревателях на ЦТП находит все большее распростра
ние метод магнитной обработки воды как отдельно,
и в комбинации с обезжелезиванием (рис. 5.1) [
Способы противонакипной обработки воды рекоменду
ся выбирать, руководствуясь данными табл. 5.2.

Таблица 5.2. Показатели качества исходной воды (средние за год)

J при 60° С	Окисляемость, мг О/л	Содержание железа в пересчете на Fe, мг/л	Способы обработки во
$0<J\leqslant 0,1$	0—6	$>0,3$	Обезжелезивание
$0,1<J\leqslant 0,5$	<3	$\leqslant 0,3$	Магнитная обработка
$0,1<J<0,5$	$\geqslant 3$	$>0,3$	Обезжелезивание
$J>0,5$	0—6	$>0,3$	Обезжелезивание и
$0,1<J\leqslant 0,5$	$\leqslant 3$	$>0,3$	нитная обработка
$J>0,5$	0—6	$\leqslant 0,3$	Магнитная обработка

Для обезжелезивания воды на ЦТП следует использовать ст
дартные катионитные фильтры, загружаемые сульфоуглем.

Применяемый в схеме водообработки метод обезжелезива
разработан АКХ им. Памфилова [31].

Незначительный нагрев воды в водо-водяных подогревате
(до 70 °С) не способствует распаду бикарбонатов, поэтому в ок
нченной нагретой воде содержание карбонатной взвеси получ
ся небольшим. Так, по экспериментальным данным в воде с кар
натной жесткостью 7—8 мг-экв/л при подогреве до 70 °С содер
ние взвеси не превышает 0,5 мг/л. Тонкодисперсная взвесь та
концентрации укрупняется медленно и не оседает в условиях д
жущейся жидкости. Отсюда следует вывод, что практически
артезианские воды, соответствующие ГОСТ 2874-73, можно испо
зовать в качестве исходных вод, которые можно эффективно об

тывать магнитным полем, обеспечивая безнакипное состояние по-
рхностей нагрева подогревателей.

Экономическая целесообразность применения схем
доподготовки с магнитной обработкой подтвержда-
ся результатами технико-экономических расчетов, где
авниваются затраты на упрощенную магнитную обра-
тку воды с обезжелезиванием с затратами на схему
а-катионирования с последующей вакуумной деаэра-
ей [30].

5.3. Подготовка воды для отопительных систем теплоснабжения

Отопительные котельные, снабжающие теплом небольшие компл-
ксы жилых или промышленных зданий, обычно оборудуются чу-
нными секционными водогрейными котлами давлением $1,7\cdot10^5$ Па
,7 кгс/см^2), например типа «Универсал». Названные отопительные
стемы, относящиеся к закрытым системам водяного отопления,
статочно распространены. Только московский чугунолитейный
вод им. Войкова ежегодно отправляет потребителям более 300 чу-
нных секционных котлов. Как правило, такие котлы работают без
доподготовки, чаще всего используя воду артезианских скважин.

Наиболее подходящей для условий отопительных котельных
едставляется противонакипная магнитная обработка воды.

Особенность закрытой отопительной системы состоит в том, что
ней в течение всего сезона циркулирует практически одна и та
е вода, поскольку добавка, предназначенная для восполнения по-
рь в системе, составляет всего 1—2 % объема теплосети. Это
значает, что вывод механических взвесей, попавших в циркуляци-
ный контур или образовавшихся в нем в процессе нагревания во-
ы, затруднен из-за слабой продувки системы.

При магнитной обработке основной накипеобразователь — кар-
онат кальция — находится в нагретой воде в виде тонкодисперс-
ой взвеси. Железоокисная взвесь появляется в результате стояноч-
ой коррозии разводящих труб теплосети и отопительных приборов
о время летнего перерыва в работе. Частицы гидрата окиси желе-
образуются при гидролизе бикарбоната железа, если таковой со-
ржится в исходной артезианской воде.

Ниже рассматриваются результаты промышленной проверки
тода магнитной обработки воды в закрытой отопительной систе-
на одном из объектов, оборудованных чугунными секционными
тлами типа «Универсал». Схема обработки воды была предло-
ена московским заводом им. Войкова и выполнена с использо-
нием аппаратов ПМУ, изготовленных на постоянных магнитах
им же заводом. Особенность этой схемы водоподготовки
ис. 5.2) заключается в том, что магнитной обработке подверга-
ся вся добаночная вода теплосети, а также непрерывно омагни-
вается часть циркулирующей воды, расход которой выбран с та-
м расчетом, чтобы через 10—15 ч прошла повторную магнитную
работку вся вода, заполняющая систему. Необходимость введе-
я вспомогательного контура дополнительного омагничивания цир-
улирующей воды с установкой в нем второго магнитного аппарата

вызвана тем, что жидкость, подвергнутая магнитной обработ
с течением времени теряет свойства, приданные ей в результ
магнитного воздействия. Дополнительный контур устанавлива
между двумя элементами системы, имеющими значительную
ность напора (например, трубопровод до насоса — трубопровод
ле него).

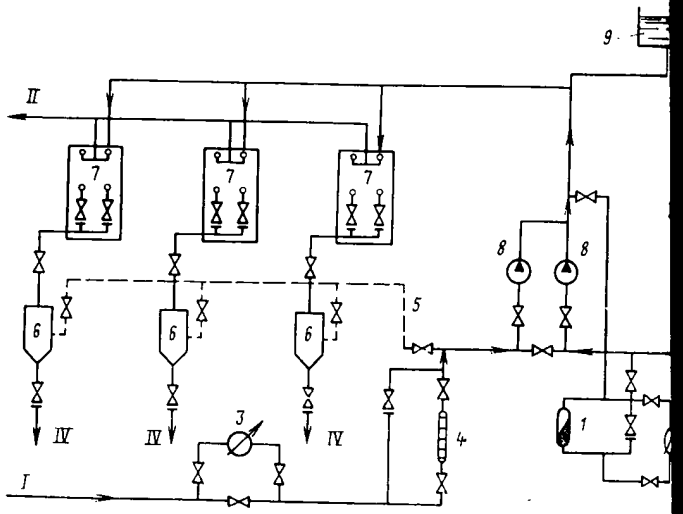


Рис. 5.2. Принципиальная схема магнитной противонакипной об
ботки воды в закрытой отопительной системе.

I — магнитный аппарат в дополнительном контуре; *2* и *3* — расходомеры; магнитный аппарат на линии добавочной воды; *5* — продувочная вода кот *6* — шламоулавливатели; *7* — водогрейные котлы; *8* — насосы; *9* — расш тельный бак; *I* — вода из водопровода; *II* — вода в систему отопления; *II* вода из системы отопления; *IV* — шлам из продувочной воды котлов.

Опытная эксплуатация системы магнитной обработки по пр
ложенной схеме осуществлялась на артезианской воде, кото
имела индекс стабильности $J=1$, общее солесодержание $S=323$ м
$Щ_о=6{,}6$ мг-экв/л, $Ж_о=7$ мг-экв/л, окисляемость 1,04 мг О/л,
держание $Fe=1{,}4$ мг/л, $CO_2=36{,}9$ мг/л, $O_2=3{,}2$ мг/л. В среднем
сезон расход подпиточной воды составлял 0,55 м³/ч. В контуре
полнительного омагничивания обрабатывалось по 7,5 м³/ч во
До включения магнитных аппаратов система находилась в экспл
тации и очистке не подвергалась.

Данные о концентрации и химическом составе взвеси, сод
жащейся в воде теплосети, приведены в табл. 5.3. Они указыва
на некоторое повышение содержания взвеси к концу рабочего се
она в основном вследствие накопления в воде продуктов корро

Рост концентрации взвеси в воде в значительной мере объяс
ется тем, что система была загрязнена отложениями во время п
дыдущей эксплуатации и происходило их вымывание омагничен
водой с поверхностей отопительных приборов и труб. Все повер

Таблица 5.3. **Концентрация, мг/л, и химический состав взвеси в воде отопительной системы**

Время отбора проб с начала отопительного сезона	На выходе из системы (вход в котел)		На выходе из водогрейного котла	
	Fe_2O_3	$CaCO_3$	Fe_2O_3	$CaCO_3$
Через 2 мес	0,73	0,97	1,42	0,6
Через 3 мес	0,67	0,60	0,45	0,7
В конце отопительного сезона	3,54	1,00	2,58	0,83

Примечание. В таблице даны средние показатели трех-четырех анализов, осуществленных в пробах, отобранных с помощью ультрафильтров с размерами пор 1,2 мкм.

сти системы отопления, а также специальные индикаторы, уста-
овленные в трубах и омываемые водой, были покрыты рыхлыми
тложениями черного цвета толщиной 1—1,5 мм. При химическом
нализе отложений в них были найдены в осиовном (73 %) окислы
елеза типа магнетита Fe_3O_4 (табл. 5.4).

Таблица 5.4. **Концентрация, мг/л, и состав взвеси в воде, спускаемой из системы после окончания отопительного сезоиа**

Место отбора пробы воды	Fe_3O_4	$CaCO_3$
Вода из водогрейного котла	364,8	169,3
Вода из общей спускной линии котлов	466,0	133,9
Вода из батареи, работавшей без промывки два сезона	402,2	31,3

Эти данные позволяют констатировать малую загряз-
енность теплосети отложениями. Этот вывод подтверж-
ается результатами промывки контрольной отопитель-
ой батареи, проработавшей один сезон на омагничен-
ой воде. Из батареи было вымыто всего 10 г железо-
окисных отложений типа магнетита.

Для повышения надежности противонакипной маг-
итной обработки в отопительных системах закрытого
ипа с нагреванием артезианской воды до 95 °С необхо-
имы эпизодический контроль за содержанием взвешен-
ых веществ в циркулирующей воде во время отопитель-
ого сезона и обязательное определение этого показате-
ля после выключения отопления по окончании сезона.

Повышение содержания взвеси более чем на 1 г/л по
тверждает необходимость опоражнивания и водной пр
мывки системы отопления.

Наблюдениями за работой шламоуловителей, им
шихся в проверяемой схеме (см. рис. 5.2), была устано
лена их бесполезность. Из-за высокой дисперсности вз
си она не могла улавливаться этими аппаратами, заде
живающими частицы размером более 50 мкм.

Применение противонакипной магнитной обработ
в водяных отопительных системах не только повыша
надежность работы котельных, но позволяет получи
экономический эффект в размере 0,5 тыс. руб. в год
каждый чугунный секционный котел.

Положительный опыт противонакипной магнитной о
работки в отопительных системах ряда населенных пу
тов в Московской обл. позволил внести этот способ
строительные нормы и правила (СНиП II-35-76 «Котел
ные установки»), используемые при проектирован
установок теплоснабжения с подогревом воды не вы
95 °С.

Глава шестая

КОРРОЗИЯ СИСТЕМ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ И МЕРЫ ЕЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

6.1. Оценка коррозионного состояния действующих систем горячего водоснабжения и причины коррозии

Системы горячего водоснабжения по сравнению с др
гими инженерными сооружениями (системами отопл
ния, холодного водоснабжения и канализации) являю
ся наименее надежными и долговечными. Если устано
ленный и фактический сроки службы зданий оцениваю
в 50—100 лет, а систем отопления, холодного водосна
жения и канализации в 20—25 лет, то для систем го
чего водоснабжения при закрытой схеме теплоснабжен
и выполнении коммуникаций из стальных труб без п
крытий фактический срок службы не превышает 10, а
отдельных случаях 2—3 лет.

Трубопроводы горячего водоснабжения без защи
ных покрытий подвержены внутренней коррозии и зн
чительному загрязнению ее продуктами. Это приводит

нижению пропускной способности коммуникаций, росту
идравлических потерь и нарушениям в подаче горячей
оды, особенно на верхние этажи зданий при недостаточ-
ых напорах городского водопровода. В крупных систе-
ах горячего водоснабжения от центральных тепловых
унктов зарастание трубопроводов продуктами коррозии
арушает регулирование разветвленных систем и ведет к
еребоям в подаче горячей воды. Из-за интенсивной кор-
озии, особенно внешних сетей горячего водоснабжения
т ЦТП, возрастают объемы текущих и капитальных
емонтов. Последние связаны с частыми перекладками
нутренних (в домах) и внешних коммуникаций, нару-
ением благоустройства городских территорий внутри
варталов, длительным прекращением подачи горячей
оды большому количеству потребителей при выходе из
троя головных участков трубопроводов горячего водо-
набжения.

Коррозионные повреждения трубопроводов горячего
одоснабжения от ЦТП в случае их совместной прокладки
и с разводящими сетями отопления приводят к затоп-
ению последних горячей водой и их интенсивной внеш-
ей коррозии. При этом возникают большие трудности в
бнаружении мест аварий, приходится выполнять боль-
ой объем земляных работ и ухудшать благоустройство
илых районов.

При незначительных различиях в капиталовложени-
х на сооружение систем горячего, холодного водоснаб-
жения и отопления эксплуатационные расходы, связан-
ые с частой перекладкой и ремонтом коммуникаций го-
рячего водоснабжения, несоизмеримо более высокие.

Коррозия систем горячего водоснабжения и защита
т нее приобретают особо важное значение в связи с раз-
ахом жилищного строительства в СССР. Тенденция
крупнения мощностей единичных установок приводит к
разветвлению сети трубопроводов горячего водоснабже-
ия, выполняемых, как правило, из обычных стальных
руб без защитных покрытий. Все возрастающий дефи-
ит воды питьевого качества обусловливает использова-
ие новых источников воды с высокой коррозионной ак-
ивностью.

Одной из основных причин, влияющих на состояние
истем горячего водоснабжения, является высокая кор-
озионная активность нагретой водопроводной воды.

Согласно исследованиям ВТИ [32, 33] коррозионная

активность воды независимо от источника водоснабж
ния (поверхностный или подземный) характеризует
тремя основными показателями: индексом равновесно
насыщения воды карбонатом кальция J, содержани
растворенного кислорода и суммарной концентраци
хлоридов и сульфатов. Ранее в отечественной литерат
ре не приводилась классификация нагретой водопрово
ной воды по коррозионной активности в зависимости
показателей исходной воды.

При отсутствии условий образования защитных ка
бонатных пленок на металле ($J<0$) кислород высту
ет в основном как катодный деполяризатор и высок
его концентрации приводят к усилению коррозии. Поэт
му для оценки коррозионной активности нагретой вод
проводной воды необходимо учитывать совместное во
действие растворенного кислорода и углекислых соед
нений.

Данные наблюдений за действующими системами г
рячего водоснабжения указывают на значительное вли
ние находящихся в водопроводной воде хлоридов и сул
фатов на коррозию трубопроводов. Так, воды даже
положительным индексом насыщения, но содержащ
хлориды и сульфаты в концентрациях свыше 50 мг/л, я
ляются коррозионно-активными, что обусловлено нар
шением сплошности карбонатных планок и снижением
защитного действия под влиянием хлоридов и сульфато
При разрушении защитных пленок присутствующие в в
де хлориды и сульфаты усиливают коррозию стали по
действием кислорода.

Исходя из принятой в теплоэнергетике шкалы корр
зии [34] и опытных данных ВТИ по скорости коррози
стальных труб в нагретой питьевой воде предложена у
ловная коррозионная классификация водопроводных во
при расчетной температуре 60 °С (табл. 6.1).

На рис. 6.1 приведены опытные данные по скорост
коррозии в образцах стальных труб при различном к
честве водопроводной воды. На графике прослеживает
определенная закономерность снижения глубинного п
казателя коррозии (глубинной проницаемости) с изм
нением расчетного индекса насыщения воды (при соде
жании хлоридов и сульфатов до 50 мг/л). При отриц
тельных значениях индекса насыщения глубинная пр
ницаемость соответствует аварийной и сильной коррози
(точки *1* и *2*); для речной воды с положительным инде

Таблица 6.1. **Классификация воды по коррозионной активности**

J при 60° С	Концентрация в холодной воде, мг/л		Коррозионная характеристика нагретой воды (при 60° С)
	растворенного кислорода O_2	хлоридов и сульфатов (в сумме) $Cl^- + SO_4^{2-}$	
$J \leqslant -1,0$	Любая	Любая	Сильнокоррозионная
$-1,0 < J \leqslant 0$	»	>50	
$-1,0 < J \leqslant 0$	»	$\leqslant 50$	Коррозионная
$J > 0$	»	>50	
$J > 0$	>5	$\leqslant 50$	Слабокоррозионная
$J > 0$	$\leqslant 5$	<50	Некоррозионная

ом насыщения (точка *3*) — допустимой коррозии, а для
ртезианской воды (точка *4*) — слабой коррозии. Обра-
ает на себя внимание тот факт, что для артезианской и
ечной воды с положительным индексом насыщения и
одержанием хлоридов и сульфа-
ов менее 50 мг/л различия в глу-
инной проницаемости коррозии
равнительно невелики. Это зна-
ит, что в водах, склонных к об-
азованию на стенках труб окис-
о-карбонатной пленки ($J>0$),
рисутствие растворенного кисло-
ода (высокое в поверхностной
незначительное в подземной
оде) не оказывает заметного
лияния на изменение глубинной
роницаемости коррозии. Вместе
тем данные испытаний (точка
) свидетельствуют о значитель-
ом росте интенсивности корро-
ии стали в воде с высокой кон-
ентрацией хлоридов и сульфа-
ов (в сумме около 200 мг/л), не-
смотря на положительный индекс
насыщения ($J=0,5$). Проницае-
мость коррозии в этом случае со-
ответствует проницаемости в во-
е, имеющей индекс насыщения
$=-0,4$. В соответствии с клас-

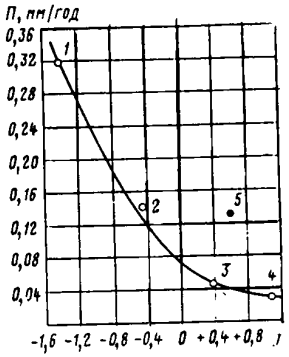


Рис. 6.1. Зависимость глубинного показателя $П$ коррозии стальных труб в нагретой водопроводной воде (60 °С) от расчетного индекса насыщения J.

1, 2, 3 — поверхностный источник $(Cl^- = SO_4^{2-}) <$ <50 мг/л; *4* — подземный источник $(Cl^- + SO_4^{2-}) <5$ мг/л; *5* — поверхностный источник $(Cl^- + SO_4^{2-}) >50$ мг/л.

сификацией вод по коррозионной активности вода с п
ложительным индексом насыщения и повышенным с
держанием хлоридов и сульфатов относится к корроз
онной.

Разработанная ВТИ классификация (табл. 6.1) д
статочно полно отражает влияние качества воды на
коррозионные свойства, что подтверждается данными
фактическом коррозионном состоянии систем горяче
водоснабжения.

Анализ основных показателей водопроводной воды
ряде городов позволяет отнести большинство вод к ти
сильнокоррозионных и коррозионных и только незнач
тельную часть к типу слабокоррозионных и некорроз
онных. Для большой доли источников характерна пов
шенная концентрация хлоридов и сульфатов (бол
50 мг/л), и есть примеры, когда эти концентрации в су
ме достигают 400—450 мг/л. Столь значительное соде
жание хлоридов и сульфатов в водопроводных вода
обусловливает их высокую коррозионную активност

При оценке коррозионной активности поверхностны
вод необходимо учитывать непостоянство их состава
течение года. Для более надежной оценки следует пол
зоваться данными не единичных, а возможно больше
числа анализов воды, выполненных в разные сезоны
один-два последних года.

Для артезианских источников показатели качест
воды обычно очень стабильны в течение года. Как пр
вило, подземные воды характеризуются повышенной м
нерализацией, положительным индексом насыщения
карбонату кальция и высоким суммарным содержание
хлоридов и сульфатов. Последнее приводит к тому, ч
системы горячего водоснабжения в некоторых города
получающие воду из артезианских скважин, также по
вержены сильной коррозии.

Когда в одном городе есть несколько источнико
питьевой воды, интенсивность и массовость коррозио
ных повреждений систем горячего водоснабжения мог
быть различными. Так, в Киеве имеются три источни
водоснабжения: р. Днепр, р. Десна и артезианские скв
жины. Наиболее сильной коррозии подвержены систем
горячего водоснабжения в районах городах, снабжаемы
коррозионной днепровской водой, в меньшей степени
системы, эксплуатируемые на слабокоррозионной де
нянской воде и в еще меньшей степени — на артезиан

кой воде. Наличие районов в городе с разной коррози-
ной характеристикой водопроводной воды, особенно со
мешанной водой, сильно затрудняет организацию про-
ивокоррозионных мероприятий как на стадии проекти-
вания, так и в условиях эксплуатации систем горячего
одоснабжения.

Для оценки коррозионного состояния систем горяче-
о водоснабжения были проведены их обследования в
яде городов страны. Экспериментальные исследования
корости коррозии труб с помощью трубчатых и
ластинчатых образцов были выполнены в рай-
ах нового жилищного строительства городов Москвы,
енинграда, Риги, Харькова, Киева и др. Результаты
бследования показали, что состояние трубопроводов
аходится в прямой зависимости от коррозионной актив-
ости водопроводной воды.

Коррозия стальных труб практически отсутствовала в систе-
ах горячего водоснабжения, эксплуатируемых на артезианской
оде с малым содержанием хлоридов и сульфатов (города Клин и
инск). Так, в г. Клине при продолжительности эксплуатации си-
тем более 15 лет не было отмечено случаев внутренней коррозии
о внешних и внутренних коммуникациях. Хорошее состояние труб
ыло подтверждено данными коррозионных испытаний трубчатых
бразцов. Проницаемость коррозии образцов после 4 лет испытаний
ставляла 0,014 мм/год, что соответствует практически отсутствию
оррозии. Несколько большая проницаемость (0,04 мм/год) уста-
овлена по результатам испытаний стальных образцов на москво-
ецкой воде (г. Москва), относящейся к слабокоррозионному типу.
а основе многолетнего опыта эксплуатации срок службы стальных
уб в качестве внешних коммуникаций от ЦТП до жилых домов
ценивается 9—12 лет.

В значительно более тяжелом положении находятся системы
орячего водоснабжения, эксплуатируемые на коррозионных водах.
ак, по данным испытаний в районах Москвы, получающих волж-
ую воду, до введения на водопроводных станциях постоянной ста-
илизационной обработки воды путем известкования проницаемость
оррозии составляла 0,12 мм/год. В районах Москвы, получающих
оскворецкую воду, скорость коррозии стальных труб была сущест-
енно меньше. Разницу в скорости коррозии труб на волжской и
оскворецкой водах можно объяснить тем, что москворецкая вода
стоянно имеет положительный индекс насыщения, а для волжской
оды периодически он имеет нулевые и отрицательные значения
о организации стабилизационной обработки он постоянно был
трицательным). Вероятность образования защитной окисно-карбо-
атной пленки, уменьшающей коррозию, в трубопроводах горячего
одоснабжения, работающих на москворецкой воде, значительно
ыше, чем в работающих на волжской воде, где эта пленка крайне
еустойчива и вследствие периодического появления агрессивной
тлекислоты легко разрушается, что интенсифицирует процесс кор-
озии.

Значительно, [illegible] системы горячего водоснабжения [illegible] и [illegible] выпрямленной [illegible] дой. Это в первую очередь относится к мягким водам (карбонатная жесткость 0,5—1,0 мг-экв/л), имеющим индекс насыщения меньше — 1. Срок службы трубопроводов горячего водоснабжения на таких водах оценивается в 2—3 года. В системах горячего водоснабжения в городах Владивостоке, Перми и Ленинграде (закрытая схема) образование свищей отмечалось даже в первый год эксплуатации.

Интенсивная коррозия трубопроводов из стальных труб наблюдалась в городах, использующих воду артезианских и поверхностных источников с положительным индексом насыщения, но высоким содержанием хлоридов и сульфатов (Рига, Харьков, Херсон). В этих городах по данным измерений на образцах проницаемость коррозии составляла соответственно 0,09; 0,13 и 0,14 мм/год.

Водопроводные воды г. Таллина и районов г. Москвы, получающих волжскую воду, значительно отличаются только по концентрации сульфатов. (Их содержание в таллинской воде примерно 7 раз выше, чем в волжской.) Проницаемость коррозии за счет этого показателя в образцах трубопроводов г. Таллина [35], оказалась в 4 раза выше, чем Москвы.

При использовании артезианских вод с положительным индексом насыщения и сравнительно малым содержанием растворенного кислорода (1,0—1,5 мг/л) при высокой концентрации хлоридов и сульфатов коррозия трубопроводов существенно интенсифицируется. Наблюдения показывают, что при близких показателях качества артезианской воды в городах Клине и Балаково из-за высокого суммарного содержания хлоридов и сульфатов (180 мг/л в г. Балаково) системы горячего водоснабжения сильно корродируют. В г. Клине, где водопроводная вода характеризуется малым содержанием хлоридов и сульфатов (в сумме около 15 мг/л), коррозия систем горячего водоснабжения, полностью отсутствует.

Показатели качества артезианской воды в городах Клине и Балаково следующие:

	Клин	Балако
Общее солесодержание, мг/л	355	72[illegible]
Содержание Ca^{2+}, мг/л	96,0	95,[illegible]
Щелочность, мг-экв/л	7,0	8,[illegible]
pH	7,5	7,[illegible]
Содержание, мг/л:		
O_2	1,5	1,[illegible]
Cl^-	15,0	83,[illegible]
SO_4^{2-}		93,[illegible]
J при 60 °С	1,1	1,[illegible]

Существенное влияние на размеры коррозионных [illegible] повреждений в системе горячего водоснабжения оказывает [illegible]. Невысокая централизация установок по нагреву воды [illegible] центральных тепловых пунктах или теплораспределительных станциях (ТРС). Первоначально широкое строительство ЦТП в СССР было обусловлено рядом причин, [illegible] отсутствием в новых жилых домах подвальных помещений, пригодных для размещения оборудования горячего водоснабжения; недопустимостью установки обычных (не бесшумных) циркуляционных насосов в индивидуальных тепловых пунктах; ожидаемым сокращением обслуживающего персонала в результате замены сравнительно мелких подогревателей, устанавливаемых в индивидуальных тепловых пунктах, крупными; необходимостью повышения уровня эксплуатации ЦТП путем их автоматизации и улучшения обслуживания; возможностью сооружения крупных установок по противокоррозионной обработке воды для систем горячего водоснабжения.

Однако, как показал опыт эксплуатации ЦТП и систем горячего водоснабжения от них, количество обслуживающего персонала не сократилось из-за необходимости выполнять большой объем работ при текущем и капитальном ремонтах систем горячего водоснабжения. Централизованная противокоррозионная обработка воды на ЦТП не получила широкого распространения из-за сложности установок, высоких начальных и эксплуатационных затрат и отсутствия стандартного оборудования (вакуумная деаэрация).

В условиях, когда для систем горячего водоснабжения применяются преимущественно стальные трубы без защитных покрытий, при высокой коррозионной активности водопроводных вод и отсутствии на ЦТП противокоррозионной обработки воды дальнейшее строительство только ЦТП, по-видимому, нецелесообразно. Строительство в последние годы домов новых серий с подвальными помещениями и производство бесшумных центробежных насосов будут способствовать переходу во многих случаях к проектированию индивидуальных тепловых пунктов ИТП и повышению надежности горячего водоснабжения.

При более широком строительстве ИТП на водопроводных водах, где будут достаточно коррозионно-стойки оцинкованные трубы, можно сооружать системы горячего водоснабжения целиком из оцинкованных труб и отказаться от противокоррозионной обработки воды. Необходимо отметить, что для систем водоснабжения от ИТП потребуются трубы малых диаметров (до 76 мм), в то время как для систем от ЦТП нужны трубы повышенных диаметров (100 и 150 мм). Следует учесть опыт, накопленный в ряде стран — членов СЭВ: НРБ, ВНР, ГДР

и ПНР, где в основном распространены системы горяч
го водоснабжения от ИТП, полностью выполняемые
оцинкованных труб. Это повышает долговечность и упр
щает организацию ремонтов систем горячего водосна
жения, имеющих менее протяженные внешние коммун
кации от тепловых пунктов до домов.

Характерной особенностью любой системы горячего водосна
жения независимо от коррозионной характеристики нагретой во
размеров и протяженности системы является применение и сочет
ание различных конструкционных материалов для коммуникаций
элементов оборудования. Так, трубки теплообменников для по
грева воды обычно выполняются из латуни Л-68. Они развальц
ваны в трубных решетках из углеродистой стали.

Широкое применение латуни обусловлено ее высокой корро
зионной стойкостью по сравнению с углеродистой сталью. Вместе
тем обычная латунь (Л-68) также оказывается подверженной ко
розии при нагреве мягких вод с высоким содержанием хлорид
(100—200 мг/л). Под влиянием хлоридов протекает процесс об
цинкования латуни с образованием в отдельных местах пробочн
очагов коррозии в виде губчатой меди и последующим быстр
разрушением трубок. Интенсивная коррозия латунных трубок
камской воде в городах Перми и Ижевске вызывала необходимос
их замены через 3—4 года.

По данным исследований, проведенных в ГДР и ПНР, водопр
водные воды, нагреваемые в теплообменниках с латунными трубк
ми, обогащаются ионами меди. Попадая далее в систему из оцинк
ванных или стальных труб, ионы меди усиливают процессы их ко
розии вследствие возникновения многочисленных гальваническ
пар, где медь, имея более высокий потенциал, выступает в ро
катода по отношению к железу и цинку, которые выполняют ро
анода. Польские специалисты установили, что в глубине корроз
онных язв, образующихся на внутренней поверхности оцинкованны
труб, содержится большое количество меди.

На некоторых водопроводных водах с отрицательны
индексом насыщения в зоне развальцовки латунны
трубок в стальных трубных решетках подогревателей
результате контактной коррозии наблюдаются корроз
онные повреждения решеток.

6.2. Применение коррозионно-стойких материалов и защитных покрытий

Повышение долговечности закрытых систем горяче
водоснабжения путем их выполнения из коррозионно
стойких материалов должно являться основным напра
лением защиты от внутренней коррозии всех коммун
каций нагретой водопроводной воды, а также других эл
ментов этих систем.

Преимущества этого направления представляют

неоспоримыми, поскольку при сохранении индустриаль-
ных способов монтажа коммуникаций появляется воз-
можность отказаться от местных обработок воды для
снижения ее коррозионной активности, высвобождается
большое количество эксплуатационного персонала и до-
стигаются лучшие технико-экономические показатели.
При выборе соответствующих коррозионно-стойких ма-
териалов для коммуникаций желательно обеспечивать
продолжительность их эксплуатации, сопзмеримую со
сроком службы зданий. Вместе с тем необходимо учиты-
вать их стоимостные показатели, особенно реально су-
ществующий выпуск материалов промышленностью.

Все конструкционные материалы для коммуникаций
систем горячего водоснабжения можно условно разбить
на следующие группы: металлы высокой коррозионной
стойкости, полимерные материалы и обычная углероди-
стая сталь с защитными металлическими и неметалличе-
скими покрытиями.

Радикальным решением явилось бы применение для
систем горячего водоснабжения труб из нержавеющей
стали. За рубежом такие трубы используют для очень
небольших систем горячего водоснабжения, например
при сооружении комфортабельных гостиниц. Однако,
учитывая большую дефицитность и высокую стоимость
труб из нержавеющей стали, невозможно рассчитывать
на их использование в массовом жилищном строитель-
стве. По-видимому, для определенных групп вод могут
найти применение низколегированные стали, не содер-
жащие дефицитного никеля.

Выпускаемые промышленностью поливинилхлоридные и поли-
пиленовые трубы не могут эксплуатироваться в горячей воде из-
низкой термостойкости. При 60—75 °С эти трубы быстро «старе-
т», теряют свои механические свойства и разрушаются. Могут
казаться перспективными для транспортировки горячей воды
олипропиленовые трубы, обладающие более высокой термостойко-
тью. В настоящее время в СССР они выпускаются в сравнительно
ебольших количествах, и данные о применении этих труб в качест-
е коммуникаций систем горячего водоснабжения отсутствуют, поэ-
ому не представляется возможным дать оценку их эффективностн.
ледует также иметь ввиду, что при использовании пластмассовых
руб в тепловых сетях возникают серьезные затруднения с компен-
ацией температурных удлинений этих труб (они больше, чем у
тальных труб, в 10—12 раз).

Большие перспективы применения в системах горя-
его водоснабжения имеют стальные трубы с защитны-
ми металлическими и неметаллическими покрытиями.

Металлические покрытия можно выполнить разли
ными методами:

горячим способом путем погружения трубы в распла
ленный металл, которым защищается от коррозии осно
ной металл (сталь); электролитическим методом, мета
лизацией и др. Первый способ в нескольких вариант
получил широкое распространение. Им пользуются
трубных заводах для получения цинковых и алюмини
вых покрытий. Трубы с цинковыми покрытиями (горяч
оцинкованные) находят применение в системах горяче
водоснабжения как в СССР, так и за рубежом. Одно
существенных преимуществ этих труб — их относител
ная дешевизна по сравнению с трубами, покрытия котор
выполнены термодиффузионным способом. Горячеоци
кованные трубы, выпускаемые в СССР, примерно в 2 р
за дороже обычных водопроводных труб без покрыти

За рубежом широко применяется металлизация путем напы
ния защитного металла в расплавленном состоянии [36]. Э
метод используется для защиты конструкций и трубопроводов
атмосферной коррозии. К достоинствам метода относится возмо
ность нанесения различных металлов и их сплавов и выполнен
дополнительного покрытия полимерными или лакокрасочными ма
риалами, увеличивающими коррозионную стойкость основного
крытия. Преимущества металлизации — высокая производительно
процесса и его технологичность. Вместе с тем у этого мето
есть недостатки: покрытие получается пористым и сравнитель
дорогим. Последнее обусловлено повышенным расходом метал
при напылении. Стоимость нанесения металлизационного покры
толщиной 100 мкм (без подготовки поверхности) из цинка, ал
миния, латуни или нержавеющей стали составляет примерно 6
руб/м². Способ металлизации перспективен для нанесения защит
покрытий на наружные поверхности. Применение его для защи
внутренних поверхностей трубопроводов горячего водоснабжен
имеющих малые диаметры (до 200 мм), нецелесообразно. Одна
для защиты от коррозии элементов различного оборудования,
пример баков, трубных досок подогревателей, насосов, а также
сонных элементов, можно использовать металлизацию.

Таблица 6.2. **Состав водопроводных в**

Номер воды	Коррозионная характеристика воды	Общее солесодержание, мг/л	Общая жесткость, мг-экв/л	Щелочность, мг-экв/л	Ca^{2+}, мг/л	O_2, мг/л	CO_2, мг/л	Cl^-, мг/л	SO_4^{2-}, мг/л	pH	J при 60 °С
1	Сильнокоррозионная	65,0	0,7	0,45	9,0	11,0	10,0	7,8	15,5	7,0	—1,5
2	Коррозионная	148,3	2,1	1,80	36,1	11,0	18,3	10,0	24,0	6,9	—0,4
3	Слабокоррозионная	222,4	4,0	2,64	52,7	9,7	13,5	8,0	18,0	7,3	+0,3

Ниже рассматривается коррозионная стойкость по
крытий на трубах, выпускаемых промышленностью и
станавливаемых в системах горячего водоснабжения.

Эффективность защитных покрытий на углеродистой
тали в нагретой водопроводной воде с различными кор
озионными характеристиками исследовалась ВНИТИ и
ВТИ в лабораторных [37] и промышленных условиях.

В действующих системах горячего водоснабжения ис
следования проводились на трех группах вод такого же
остава, как и при лабораторных исследованиях
табл. 6.2). Для промышленных испытаний были взяты
бразцы стальных труб с покрытиями диаметром 42×
×3 и длиной 75 мм. Их размещали в специальных конт
рольных участках действующих систем горячего водо
снабжения. Вместе с опытными образцами устанав
ливали контрольные из труб (сталь Ст3) без защитных
покрытий. Сроки испытаний образцов принимались раз
личные.

В исследованиях использовались образцы со следую
щими покрытиями:

а) оцинкованные в расплаве цинка с добавкой 0,12—
0,13 % алюминия при температуре 460—465 °С и време
ни обработки 2 мин, толщина покрытия 125 мкм;

б) термооцинкованные диффузионным способом в
порошковой смеси при температуре 500 °С и времени об
работки 8 ч, толщина покрытия 100 мкм;

в) алюминированные в расплаве алюминия при тем
пературе 720 °С и времени обработки 3 мин, толщина по
крытия 180 мкм;

г) алитированные диффузионным способом в порош
ковой смеси при температуре 1000 °С и времени обработ
ки 4—6 ч, толщина покрытия 500 мкм.

Удовлетворительная коррозионная стойкость при ис
пользовании слабокоррозионной и коррозионной вод бы

азной коррозионной активности

ла выявлена только на образцах с цинковым покрытие
полученным в расплаве цинка. Эти образцы после сн
тия отложений имели чистую поверхность. Металлогр
фические исследования показали, что цинковое покр
тие подвергается в основном равномерному разрушени
размер которого зависит от срока испытаний. Пос
6 мес покрытие осталось почти без изменений; чер
24 мес слой цинка равномерно уменьшился на 15
20 мкм.

Результаты сравнения по глубинному показател
коррозии оцинкованных образцов и образцов без покр
тия в слабокоррозионной и коррозионной водах приве
ны на рис. 6.2. Такое сравнение носит несколько усло

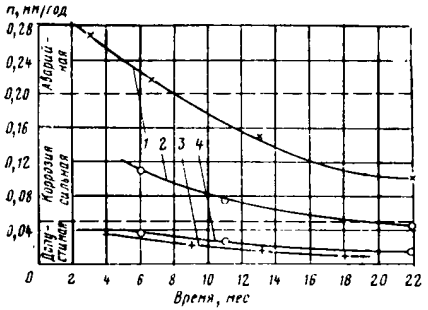


Рис. 6.2. Глубинный пок
затель *П* коррозии ста
ных оцинкованных тр
в зависимости от продолж
тельности испытаний.

1 — стальные образцы в кор
зионной воде; *2* — то же в с
бокоррозионной воде; *3* — оц
кованные образцы в коррози
ной воде; *4* — то же в слабок
розионной воде.

ный характер, так как глубинный показатель рассчит
вался, исходя из равномерного процесса коррозии, в т
время как на стальных образцах коррозия носила язве
ный характер.

Из кривых рис. 6.2. видно, что наиболее существенна
разница в скорости коррозии образцов наблюдается
начальный период эксплуатации (4—6 мес). Для оци
кованных образцов она в 7 раз ниже по сравнению с
стальными образцами в коррозионной воде и в 2,5 раз
ниже в слабокоррозионной. В дальнейшем эти различи
несколько уменьшаются и через 20—22 мес составляю
соответственно 4,5 и 2 раза.

Приведенные выше опытные данные хорошо иллюстрируют
фотографиями образцов в разрезе. Фото на рис. 6.3 относится
коррозионной воде, а фото на рис. 6.4 — к слабокоррозионной. Ле
ко видеть, что стальные образцы без покрытий в коррозионной в
де имеют обширную зону коррозионных поражений (участки бело
цвета), в слабокоррозионной воде за тот же период на них появ

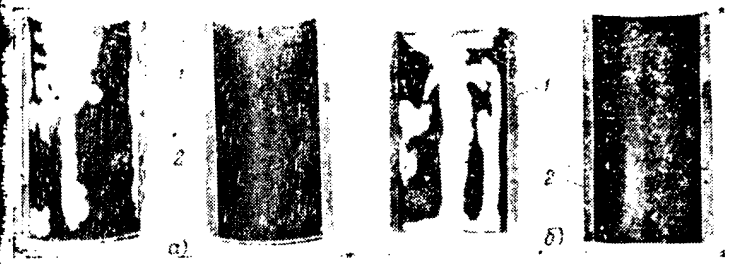


Рис. 6.3. Образцы, испытаиные в коррозионной воде.

а — срок эксплуатации 8 мес; *б* — то же 17 мес; *1* — стальная труба; *2* — оцинкованная труба.

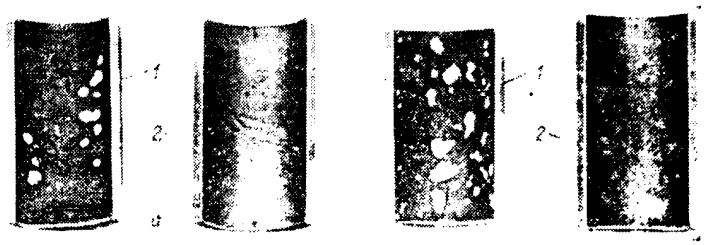


Рис. 6.4. Образцы, испытанные в слабокоррозионной воде.

а — срок эксплуатацнн 6 мес; *б* — то же 15 мес; *1* — стальная труба; *2* — оцннкованная труба.

лись отдельные небольшие язвины. Характерно, что оцинкованные образцы ь обеих водах сохранили совершенно чистую поверхность без каких-либо нарушений цинкового покрытия. Результаты испытаний оцинкованных труб в коррозионной и слабокоррозионной водах, с малым содержанием хлоридов и сульфатов, показавшие достаточно высокую коррозионную стойкость, подтверждаются массовым и длительным опытом эксплуатации оцинкованных труб в г. Москве.

При испытании оцинкованных (в расплаве цинка) образцов в сильнокоррозионной (мягкой) воде наблюдался нной характер и другие значения глубинной проницаемости коррозии (рис. 6.5). Для стальных образцов проницаемость коррозии была выше, но уменьшалась во времени; для оцинкованных она возрастала во времени и состояние

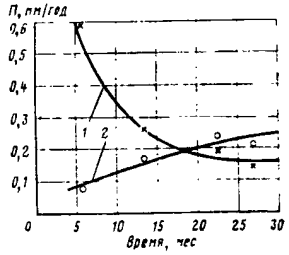


Рис. 6.5. Глубинный показатель коррозии стальных и оцинкованных труб.

1 — стальной образец; *2* — оцинкованный образец.

покрытия значительно ухудшалось. Так, если на образцах после 6 мес испытаний цинковое покрытие было нарушено только местами, через 24 мес оно разрушилось полностью. Уменьшение массы образцов после 13,5 мес испытаний превосходило примерно в 3 раза массу цинкового покрытия, что свидетельствует о разрушении основного металла. Кривые на рис. 6.5 показывают, что, если после 6 мес испытаний проницаемость коррозии у оцинкованного образца была примерно в 6 раз ниже, чем у стального без покрытия, то через 17 мес она становится одинаковой. На внутренней поверхности оцинкованных образцов обнаружены бугристые отложения коричневого цвета. В образце после 30 мес эксплуатации под коррозионными отложениями почти полностью отсутствовал слой цинка и были заметны многочисленные неглубокие язвины в основном металле.

Разница в характере протекания процесса коррозии оцинкованных труб в очень мягкой сильнокоррозионной воде и в водах средней жесткости объясняется следующими причинами. В мягкой воде защитный слой из окислов железа и цинка, образующийся в начальный период, крайне непрочен, он быстро разрушается и не препятствует растворению цинка. В коррозионной и слабокоррозионной водах образующийся защитный слой из окислов цинка, железа и карбоната кальция более прочен и надежнее предохраняет в дальнейшем оцинкованные трубы от коррозии.

Необходимо отметить, что трубчатые образцы с цинковыми, а также алюминиевыми покрытиями, испытанные в действующих системах, показали более низкую коррозионную стойкость по сравнению со стерженьковыми образцами, которые испытывались на стенде.

Термооцинкованные и алитированные образцы имели неудовлетворительную коррозионную стойкость, сплошность покрытий была нарушена, появились глубокие язвины в основном металле при всех трех типах водопроводных вод.

Хорошие результаты испытаний опытных образцов с цинковым покрытием, полученные в двух водопроводных водах, свидетельствуют не только о высоком качестве самого покрытия, но и о высоком качестве его нанесения. В условиях массового заводского производства оцинкованных труб их качество по равномерности и сплошности покрытия может только приближаться к качеству испытанных образцов. С введением с 1.01.1977 г. нового ГОСТ 3262—75* «Трубы стальные водогазопроводные» впервые регламентирована минимальная толщина цинкового покрытия 30 мкм. Трубные заводы, заинтересованные в экономии дефицитного цинка, будут стремиться

снижать среднюю толщину покрытия. Она будет, по-видимому, больше 30 мкм, но меньше необходимой (толщина покрытия должна быть 80—85 мкм и выше). При средней толщине покрытия меньше 80 мкм коррозионная стойкость и надежность оцинкованных труб снижаются.

Это подтверждается результатами испытаний новых оцинкованных труб диаметром 150 мм с толщиной покрытия 50—60 мкм в Москве в волжской коррозионной воде. За 3 года их эксплуатации были проведены два контрольных осмотра вырезанных отрезков труб. Осмотр, проведенный через год после начала эксплуатации, показал, что труба находится в удовлетворительном состоянии. Металлографические исследования шлифов не выявили заметного изменения структуры и толщины цинкового покрытия. Через 3 года после начала эксплуатации результаты осмотра показали несколько иную картину. Внутренняя поверхность труб была покрыта отложениями, после снятия которых на значительной части ее цинкового покрытия не оказалось. На некоторых участках наблюдались коррозионные разрушения основного металла с глубиной повреждений 0,2—0,3 мм. Металлографические исследования показали, что на участках, где цинковое покрытие сохранилось, толщина его уменьшилась всего на 15—20 мкм. Столь неравномерное растворение покрытия, по-видимому, связано с недостаточной его толщиной в отдельных местах.

Увеличение толщины покрытия до 100 мкм может обеспечить его сохранность в течение 4—5 лет и отдалить коррозионное разрушение основного металла.

Применяемые в СССР и за рубежом цинковые покрытия для трубопроводов систем горячего водоснабжения нуждаются в улучшении, особенно в увеличении, коррозионной стойкости в сильнокоррозионных водопроводных водах. Одним из перспективных способов улучшения физико-механических и защитных свойств цинковых покрытий является легирование расплава цинка различными микродобавками металлов (Al, Mg, Ti).

Специальные исследования [38] показали, что в движущейся морской воде коррозионное разрушение цинковых покрытий, термически обработанных и легированных магнием, титаном и алюминием, было незначительным и равномерным. В тех же условиях испытаний нелегированные термически обработанные цинковые покрытия разрушались сильно. Проведенные в течение около 1,5 лет коррозионные испытания легированных цинковых покрытий в коррозионной воде системы горячего водоснабжения показали, что введение микродобавок магния и титана в цинковое покрытие улучшает его защитные свойства. В настоящее время диффузионные легированные цинковые покрытия начинают использовать для защиты трубопроводов на судах. По-видимому, в дальнейшем они могут получить применение и в системах горячего водоснабжения, особенно при коррозионных и сильнокоррозионных водопроводных водах.

Наиболее перспективными покрытиями для защиты от коррозии трубопроводов систем горячего водоснабже-

ния, работающих на водопроводных водах самого ра
личного состава, а также тракта водоподготовки до д
аэраторов являются эмалевые покрытия, которые дол
ны удовлетворять ряду требований. Прежде всего о
должны обладать высокой термостойкостью в услови
длительной эксплуатации в воде, быть прочно сцепле
ными с металлом, не иметь пор и трещин. Наряду с эт
эмаль для горячего водоснабжения не должна соде
жать токсичных компонентов, которые могут ухудша
качество воды.

При производстве труб с эмалевым покрытием суш
ственное значение будут иметь и стоимостные показат
ли. Выпускаемые в настоящее время промышленност
эмалированные трубы с многослойным покрытием пр
назначены для работы в химической промышленности
особо агрессивных средах. Стоимость этих труб оче
высока, а соединение их возможно только на фланца
Применять такие трубы в системах горячего водосна
жения нецелесообразно. Эмали для систем теплоснабж
ния должны быть дешевы и недефицитны. Этому треб
ванию отвечают силикатные эмали. Снижению себесто
мости эмалированных труб, способствует примене
безгрунтовых эмалей и выполнение однослойного п
крытия достаточной толщины. Важным условием испол
зования эмалированных труб в системах горячего вод
снабжения является возможность соединения их в
сварке при условии защиты покрытия в зоне сварно
шва.

Работы по созданию новых марок эмалей и техноло
гии производства эмалированных труб с внутренним п
крытием для систем горячего водоснабжения проводят
во ВНИТИ.

На основе эмали 20 Н во ВНИТИ была синтезиров
на эмаль высокой водостойкости и технологичности. В с
став новой эмали введены окислы, повышающие ее усто
чивость к действию горячей воды. Выщелачиваемост
новой эмали по данным лабораторных исследований с
ставляет 0,01 мг/м² за 48 ч испытаний, что соответству
по кислотостойкости эмали 105 Т и в 20 раз ниже п
сравнению с эмалью 20 Н. Для улучшения технологич
ских свойств новой эмали, увеличения ее растекаемост
устранения пор и мелких дефектов при толщине вы
300 мкм, а также придания большей гладкости и блес
в состав эмали введены добавки. Пересчитав данные п

выщелачиваемости на показатели коррозионной стойкости, получим, что выщелачиваемость новой эмали, составляющая за 50 ч 0,01 мг/см², соответствует условной скорости коррозии 0,002 г/(м²·ч), или показателю глубинной проницаемости коррозии 7 мкм/год. При толщине однослойного покрытия 250—300 мкм расчетный срок службы покрытия из этой эмали составит 35—40 лет.

Натурные испытания [39] новых эмалевых покрытий ВНИТИ проводились на образцах-патрубках из водогазопроводных труб печной сварки размером 42×3×75 мм с толщиной покрытия 150—200 мкм. Их размещали в специальном трубном участке конструкции ВТИ вместе с другими эмалированными образцами, сваренными встык из двух половинок отторцованных труб газо- или электросваркой. Кроме указаиных образцов испытывались участки сваренных эмалированных труб размерами 57×3,5×2700 мм и общей длиной 35 м. Срок испытаний коротких образцов-патрубков составлял от 6 мес до 3 лет. Испытаиия проводились в ряде городов в сильнокоррозионной, коррозионной и слабокоррозионной водах различного состава.

При осмотре образцов по истечению срока испытаний на их внутренней поверхиости были обнаружены продукты коррозии, которые легко удалялись промывкой. Продукты коррозии попадали на образцы из системы, целиком выполненной из обычных углеродистых труб. Сами покрытия не претерпели никаких изменеиий, ие имели иарушений сплошности и потери блеска. Сплошность покрытия проверялась с помощью звукового дефектоскопа ЛКД-1.

Фотографии на рис. 6.6 демонстрируют совершеиио чистую внутреннюю поверхность разрезаиных эмалированных образцов после 6 мес и 3 лет испытаний в сильнокоррозионной воде.

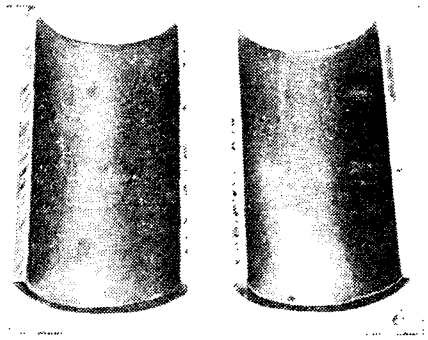


Рис. 6.6. Эмалированные образцы, испытанные в сильнокоррозиоиной (мягкой) воде.
а — испытания в течеиие 6 мес;
б — испытания в течеиие 3 лет.

Испытания в течение 15 мес длиных участков из эмалированных труб в коррозиоиной воде также показали их высокую коррозиоиную стойкость, подтверждаемую отсутствием каких-либо следов коррозии. В то же время на соседием участке из углеродистых труб, не имевших покрытий, за тот же срок появилось по

Лапшенкина Н.П. Водоподготовка и ВХР мет. семей

три-четыре сквозных отверстия на 1 м труб. Подвергались испы
нию также эмалированные ровно обрезанные образцы, сварен
электросваркой. В процессе электросварки происходило оплавле
эмали и, естественно, ухудшение ее защитных свойств на ш
поскольку эмаль не перекрывала зону шва. Несмотря на это,
испытанных образцах не было обнаружено заметных коррозион
повреждений наплавленного металла и каких-либо нарушений
эмалевом покрытии в вблизи шва при его рассмотрении под мик
скопом с 12-кратным увеличением. Равнозначного качества эмале
го покрытия на сварном шве и в зоне трубопровода вблизи ш
можно добиться путем нанесения дополнительного слоя эмали
внутренние кромки соединяемых труб. В процессе сварки эмаль б
дет оплавляться и перекроет шов. По своему составу дополните
ный слой эмали должен быть близким к покрытию во избежа
образования трещин.

В настоящее время ВНИИТИ разработана технолог
эмалирования водогазопроводных труб для систем гор
чего водоснабжения с обжигом в секционных печах н
прерывного действия. Производительность скоростно
обжига в 5—7 раз выше по сравнению с обычным обж
гом труб в печах периодического действия, при этом обе
печивается высокое качество эмалевого покрытия. Соор
жается опытный цех по производству эмалированны
труб специально для систем горячего водоснабжени

Широкое применение в перспективе труб, имеющи
покрытие из силикатных эмалей, позволит обеспечить з
щиту систем горячего водоснабжения от коррозии
сильнокоррозионных водах, где цинковые покрытия ок
зываются малоэффективными. Кроме того, переход н
эмалированные трубы позволит заменить цинк менее де
фицитными материалами и резко улучшить технико-эк
номические показатели систем горячего водоснабжени

6.3. Обработка воды для снижения интенсивности коррозии

Дефицитность труб из коррозионно-стойких материа
лов (например, нержавеющей стали) и недостаточны
выпуск труб с защитными цинковыми покрытиями, а так
же отсутствие серийного производства труб с высокоэф
фективными эмалевыми покрытиями для систем горяче
го водоснабжения обусловливают необходимость прове
дения во многих случаях противокоррозионной обработк
водопроводной воды. Эта обработка может осуществ
ляться централизованно, например, на водопроводны
станциях путем известкования, на центральных тепло
вых пунктах или реже для отдельных потребителей.

Централизованная обработка воды на очистных сооружениях
лесообразна по технико-экономическим и эксплуатационным по
зателям, так как осуществляется на установках большой произ
дительности с высоким уровнем эксплуатации. Однако выполнить
весткование при обработке очень больших количеств воды тех
чески трудно. Кроме того, известкование эффективно только
я некоторых водопроводных вод (при $J<0$) с малым содержа
ем хлоридов и сульфатов. Обработка воды для отдельных зданий
целесообразна, что объясняется ее высокой стоимостью, как пра
ло, неудовлетворительной эксплуатацией установок обработки
ды или невозможностью их размещения в индивидуальных тепло
ых пунктах (например, вакуумных деаэраторов).

Наиболее распространена в настоящее время обра
отка воды в центральных тепловых пунктах, в установ
ах, размещаемых в котельных централизованного теп
оснабжения или в районных тепловых пунктах, обеспе
ивающих теплоснабжение одного—трех микрорайонов.

Методы обработки воды для защиты систем горячего
одоснабжения от внутренней коррозии следующие:

1) частичное или полное удаление из воды агрессив
ых газов — растворенного кислорода и свободной углек
ислоты;

2) удаление из воды только растворенного кислорода;

3) частичное или полное удаление только свободной
глекислоты;

4) образование защитных пленок на поверхности ме
алла.

Первый метод основан на физическом удалении аг
ссивных газов из воды, это термическая деаэрация в
еаэраторах атмосферного и вакуумного типа, естествен
я деаэрация с частичным удалением кислорода и угле
ислоты. Второй включает электрохимические способы
бескислороживания с подведением постоянного тока и
з него, фильтрование воды через стальную стружку и
ильфитирование. Третий метод — это стабилизационная
работка воды: известкование, фильтрование через по
обожженный доломит и магномассу. Четвертый метод
нован на применении ингибиторов с одновременным
стичным удалением свободной углекислоты и созда
ем на металле защитной пленки (силикатная обработ
) или только образованием защитной пленки (обра
тка воды полифосфатами).

Из перечисленных способов наиболее универсальным,
игодным для обработки большинства водопроводных
д является деаэрация. Однако применение деаэраторов
мосферного типа возможно только в котельных с па-

ровыми котлами, а деаэраторы вакуумного типа в закр
тых системах горячего водоснабжения не получили е
в настоящее время широкого распространения по ря
причин. К ним относятся значительные габариты ап
ратов, что вынуждает увеличивать помещение тепловс
пункта по площади и высоте; необходимость квалифи
рованного обслуживания установки и систематическ
контроля за ее воздушной плотностью; трудности э
плуатации деаэраторов на водах повышенной минера
зованности; высокие стоимостные показатели сооруж
ния установок.

Способы электрохимического обескислороживания
ды в предложенных модификациях имеют существенн
недостатки. Так, способ электрохимического обескис
роживания воды на постоянном токе с железоалюмин
выми электродами [40] не обеспечивает в процессе э
плуатации стабильного удаления растворенного кисло
да и связан с большим расходом чистого алюмин
Способ электрохимического обескислороживания
подведения тока на железографитных или железоант
цитных электродах, разработанный ВТИ, а также ме
фильтрования воды через стальную стружку не обес
чивают требования ГОСТ 2874-73 к качеству воды
цветности и содержанию железа. Кроме того, недост
ком названных способов является необходимость пер
дической промывки установок паром или кислотой д
повышения эффективности их работы, особенно на
дах с высокой минерализованностью.

Методы стабилизационной обработки воды для с
тем горячего водоснабжения получили ограниченное р
пространение [41]. Стабилизация воды путем известко
ния проводится пока только на водопроводных станц
г. Москвы.

В ЧССР на местных установках стабилизационную обрабо
проводят с использованием гранулированной магномассы. В СС
этот способ не получил пока применения из-за того, что пром
ленность не выпускает гранулированной магномассы. К недостат
этого метода следует отнести сравнительно ограниченную обла
использования, определяемую качеством водопроводной во
($J<0$ и $Cl^- + SO_4^{2-} < 50$ мг/л).

В последнее время в СССР и за рубежом получа
распространение методы обработки воды для систем
рячего водоснабжения ингибиторами коррозии, в ча
ности силикатами щелочных металлов и полифосфата

2, 43]. Эти способы имеют преимущества перед вакуумй деаэрацией и стабилизационной обработкой. Схемы зирующих установок получаются более простыми по авнению с установками вакуумной деаэрации и не выивают затруднения при эксплуатации. Ингибиторами например, силикатами) можно обрабатывать воды разичного состава. Эксплуатационные расходы на такую работку незначительны.

Из перечисленных выше способов противокоррозионй обработки воды в системах горячего водоснабжения настоящее время наиболее приемлемыми являются: куумная деаэрация, стабилизационная обработка и ведение ингибиторов.

В практике проектирования систем горячего водоабжения имеют место случаи, когда не учитываются став водопроводной воды и ее коррозионные свойства. результате применяются способы обработки, излишсложные и дорогие или не дающие в данных условиях обходимого эффекта. Выбор конкретного способа заиты от коррозии должен прежде всего определяться арактеристикой исходной водопроводной воды, санитарыми требованиями к ней [44] и технико-экономическим боснованием.

Ошибки на стадии проектирования часто были свяны с отсутствием до последнего времени рекомендай по выбору способа противокоррозионной обработки зависимости от качества исходной воды. В настоящей аботе сделана попытка восполнить этот пробел и облегить проектным и эксплуатационным организациям выор способа защиты систем горячего водоснабжения от ррозии.

В крупных городах иногда снабжение водопроводной водой дется из нескольких источников с различными коррозионными арактеристиками. При быстром развитии городов появляются ноые источники воды для городского водопровода. В результате в дельных районах может полностью или частично меняться характеристика водопроводной воды, причем во многих случаях начинают использовать более коррозионные воды, требующие организации отивокоррозионной обработки или перехода к другим более эффективным способам защиты систем горячего водоснабжения.

Выбор способа обработки воды. Для оценки коррозионной активности воды по отношению к стальным убам следует обратиться к данным табл. 6.1. Имея подобные данные о химическом составе воды по месяцам а 1—2 года, подсчитывают значение индекса насыще-

ния J отдельно для каждого месяца по соответствующ
материалам [45]. При отрицательных или равных н
лю значениях этого индекса для 4 мес в году вода оц
нивается как коррозионная или сильнокоррозионна
Содержание в воде хлоридов, сульфатов и растворенно
кислорода для оценки коррозионной активности следу
принимать по максимальным значениям в течение 4 м
в году. Противокоррозионная обработка должна пров
диться, если вода по табл. 6.1 классифицируется к
сильнокоррозионная или коррозионная (для стальн
труб без защитного покрытия).

При выполнении системы целиком или частично
оцинкованных труб вопрос о необходимости противоко
розионной обработки воды следует решать с учетом да
ных п. 1 табл. 5.1. Из них видно, что при системе, выпо
ненной частично из оцинкованных и частично из стал
ных труб без покрытия, требуется обработка большинст
вод (пяти из шести) для защиты труб от коррози
Эти же условия по существу распространяются на сис
мы, сооружаемые целиком из стальных труб без покр
тия. В системах полностью из оцинкованных труб нео
ходимо обрабатывать воды четырех групп из шести. Ра
сматриваемая таблица аналогична таблице, приведенно
в приложении 2 СНиП II-34-76 «Горячее водоснабж
ние», но содержит некоторые уточнения и исправлен
ошибок, допущенных в нормативном документе.

После решения вопроса о необходимости противоко
розионной обработки воды должен быть выбран ко
кретный способ ее проведения. В табл. 6.3 рассмотрен
три основных способа обработки воды для защиты тр
бопроводов от коррозии: вакуумная деаэрация, силика
ная обработка и стабилизация с помощью магномассы
полуобожженного доломита. Эти способы рекомендов
ны СНиП по горячему водоснабжению [46]. Стабилиз
ция воды на магномассовых фильтрах в настоящее вр
мя рекомендуется с определенными ограничениями, т
как в стране не производится специальная гранулир
ванная высокореакционная магномасса.

Вакуумная деаэрация. Основы метода деаэрации в
ды рассмотрены в следующей главе (§ 7.1). В этом п
раграфе рассматриваются специфические вопросы пр
менения деаэраторов вакуумного типа на ЦТП без д
полнительной противонакипной обработки.

Вакуумные деаэраторы для горячего водоснабжени

Показатели качества исходной водопроводной воды			Способы обработки воды	Показатели качества воды после обработки		
	Концентрация в холодной воде, мг/л			pH	Концентрация, мг/л	
J при 60 °С	$Cl^- + SO_4^{2-}$	CO_2			O_2	CO_2
$-1,5 \leqslant J \leqslant 0$	$\leqslant 50$	$\leqslant 20$	Силикатная, стабилизация на магномассовых фильтрах **	$\geqslant 7,0$	Исходная	Уменьшается
			Вакуумная деаэрация	8,3—8,5	0,1	0
$J \leqslant 0$	>50	$\leqslant 20$				
$J \leqslant 0$	$\leqslant 50$	>20	То же с подщелачиванием	8,3—8,5	0,1	0
$J < -1,5$	$\leqslant 50$	Любая	Вакуумная деаэрация	$\geqslant 7,0$	Исходная	Уменьшается
		»	Стабилизация на магномассовых фильтрах **			
$J > 0$	$\leqslant 50$	»	Допускается без обработки или силикатная обработка	$\geqslant 7,0$	»	Исходная, уменьшается
		»	Силикатная обработка	$\geqslant 7,0$	»	То же
$J > 0$	50—200	$\leqslant 20$	Вакуумная деаэрация	8,3—8,5	0,1	0
$J > 0$	200*	20	То же с подщелачиванием			

* В пределах ГОСТ 2874-73.

** При загрузке фильтров специальной гранулированной магномассой.

Примечания: 1. В качестве замещающего способа вместо силикатной обработки может применяться вакуумная деаэрация.

2. Концентрация растворенного кислорода в холодной воде не нормируется.

в водяных системах теплоснабжения работают без п
вода пара, по так называемому принципу «перегре
воды». Как правило, вакуумный деаэратор включае
после водо-водяного подогревателя, где температура
вышается до 60—65° С. На рис. 6.7 показана распрост

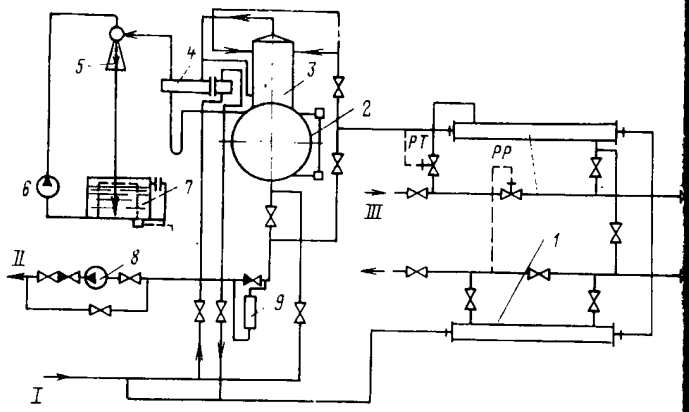


Рис. 6.7. Принципиальная схема вакуумной деаэрации на Ц
1 — секционный подогреватель горячего водоснабжения; *2* — бак деаэри
3 — деаэрационная колонка; *4* — охладитель выпара; *5* — водоструйный э
тор; *6* — насос эжектора; *7* — бак эжектора; *8* — насос горячей воды; *9* —
бовый дозатор снлнката натрия; *I* — холодная вода; *II* — нагретая вода в
тему горячего водоснабжения; *III* — сетевая вода с ТЭЦ; *IV* — сетевая
в дома; *PP* — регулятор расхода; *PT* — регулятор температуры.

ненная схема деаэрации воды с вакуумным деаэрато
указанного типа.

В одноступенчатой деаэрационной колонке *3* подд
живается такой вакуум, чтобы поступающая из подог
вателя вода имела некоторый перегрев (5—10 °С) по
ношению к температуре насыщения, соответствую
давлению в деаэраторе. Вода при этих условиях вски
ет, становится по газам пересыщенным раствором,
которого энергично выделяются газовые пузырьки.
этом из воды в паровую фазу поступает 90—95 %
лорода. Выделение оставшегося растворенного кисло
да (5—10 %) происходит путем диффузии и протек
медленно. Деаэрированная вода из колонки попадае
бак деаэратора *2* и далее центробежным насосом *8*
дается в систему горячего водоснабжения. Для отс
выделяющихся газов и поддержания в деаэраторе ва
ма используется водоструйный эжектор *5*. Он вклю

самостоятельный контур, состоящий из бака эжекто
7 и центробежного насоса *6*. В качестве рабочей жид
сти в водоструйном эжекторе используется водопро
дная вода, подаваемая из бака на рабочее сопло цен
робежным насосом.

Смесь рабочей воды с удаленными из деаэратора га
ами поступает по циркуляционной линии в бак *7*, отку
а газы отводятся в атмосферу, а вода вновь забирается
асосом для многократного использования. Во избежа
ие недопустимого нагрева рабочей воды предусмотрена
ериодическая ее замена свежей водой из водопровода,
ля чего в баке эжектора имеются переливная и спуск
ая трубы.

К достоинствам рассматриваемой схемы включения
еаэратора относится независимость режима работы де
эрационной установки от режима работы подогревате
я (как правило, двухступенчатого). Терморегулятор *PT*
беспечивает поддержание заданной температуры воды
а горячее водоснабжение и, следовательно, стабильный
ежим деаэрации. Недостатком схемы является отсут
твие подогрева воды в деаэраторе, что снижает эффек
ивность удаления углекислоты.

Рассмотренную выше схему в первую очередь следует
рименять при использовании водопроводных вод, в ко
орых свободная углекислота отсутствует.

В схеме включения деаэрационной установки, приведенной
рис. 6.8, предусмотрены подача перегретой деаэрированной
ды в нижнюю часть деаэратора и дополнительный подогрев ос
овного потока деаэрируемой воды в процессе барботажа. При
ой схеме деаэратор включается в рассечку между I и II ступеня
и подогревателя горячего водоснабжения. В I ступени происхо
т первоначальный нагрев воды до 25—30 °С сетевой водой, воз
ращаемой из систем отопления. Далее вода подается в двухсту
енчатую струйно-барботажную колонку *4*. На барботажной ступени
олонки, куда подается незначительное количество перегретой
еаэрированной воды, забираемой после насоса горячего водоснаб
ения *2*, осуществляются дополнительный нагрев воды и глубокое
даление растворенных газов. Во II ступени подогревателя вода
одогревается до 60—65 °С и далее поступает в систему.

Несмотря на отмеченное преимущество эта схема не получила
рименения. Для ее осуществления температура воды после I сту
ени подогревателя должна поддерживаться постоянной, а при
ычной схеме включения двухступенчатого подогревателя эта тем
ература меняется в зависимости от нагрузки в системе горячего
одоснабжения и температуры возвращаемой воды. Включение ва
уумного деаэратора между I и II ступенями подогревателя ведет к
ышению температуры воды, возвращаемой на ТЭЦ, увеличению
асхода воды на II ступень подогревателя и снижению экономич-

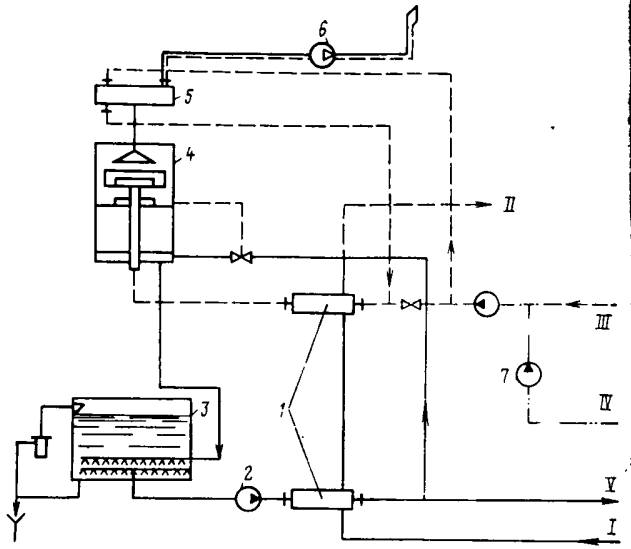


Рис. 6.8. Усовершенствованная схема вакуумной деаэрации с барботажем на ЦТП.

I — подогреватель горячего водоснабжения; *2* — насос горячей воды; *3* — бак-аккумулятор; *4* — струйно-барботажная колонка; *5* — охладнтель выпара; *6* — вакуумный насос; *7* — циркуляционный насос; *I* — сетевая вода; *II* — сетевая вода обратная; *III* — холодная вода; *IV* — циркуляционная вода; *V* — нагретая вода в систему горячего водоснабжения.

ности вследствие уменьшения использования низкопотенциальн тепла.

Для полного удаления свободной углекислоты из д аэрированной воды применяют ее подщелачивание сил катом натрия (см. рис. 6.7). Введение раствора жидко стекла наряду с подщелачиванием воды и связывани части свободной углекислоты, не удаленной в деаэрат ре, способствует улучшению водно-химического режим теплосети и дополнительной защите труб от коррози при проскоках растворенного кислорода в воду.

Необходимо подчеркнуть, что коррекционную сил катную обработку воды следует применять в тех сл чаях, когда исходная водопроводная вода содерж большое количество свободной углекислоты и в процес деаэрации воды pH не достигает 8,4.

Конструкция вакуумных деаэраторов, используем на ЦТП, рассмотрена в гл. 7. Для вакуумной деаэрац

именяются струйные (см. рис. 7.1, *а*), укороченные руйно-барботажные (см. рис. 7.1, *б*) колонки и двухупенчатые струйно-барботажные вакуумные деаэраторы ЦКТИ (см. рис. 6.8).

Струйные колонки при недостаточной вентиляции не беспечивают хорошей дегазации воды. Использование короченных струйно-барботажных колонок на ЦТП оказалось еще менее эффективным из-за резкого сокращения времени пребывания воды в них и отсутствия подвода пара для барботажа. Деаэраторы ЦКТИ могут эффективно работать только при подводе пара или перегретой воды для барботажа. На ЦТП в качестве перегретой воды в зимнее время может использоваться сетевая вода из подающей линии. Однако дополнительная подача сетевой воды в деаэратор связана с увеличением размера подпитки на ТЭЦ или в водогрейной котельной, что при массовом включении вакуумных деаэраторов должно связываться с мощностью установок водоподготовки.

В системах горячего водоснабжения применяют также одноступенчатые вакуумные деаэраторы насадочного типа (рис. 6.9). Особенностью деаэратора этой конструкции является совмещение колонки *1* с баком деаэриро-

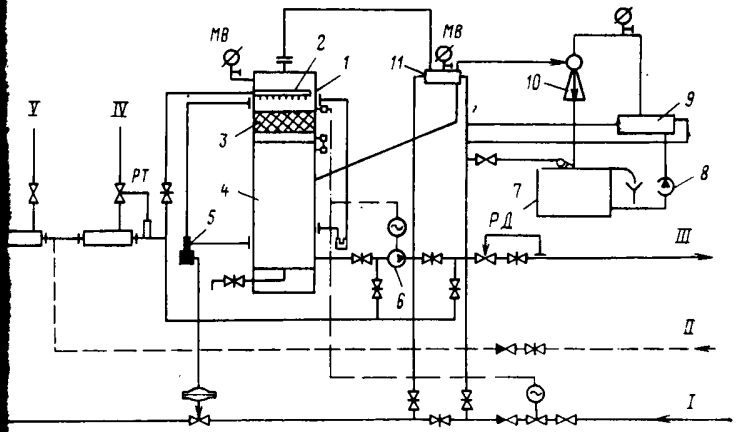


Рис. 6.9. Схема вакуумной деаэрации с колонкой насадочного типа.

1 — деаэрационная колонка; *2* — разбрызгивающая тарелка; *3* — насадка из колец Рашига; *4* — вертикальный бак; *5* — регулятор уровня; *6* — насос горячей воды; *7* — бак эжектора; *8* — насос эжектора; *9* — охладнтель рабочей воды эжектора; *10* — водоструйный эжектор; *11* — охладнтель паровоздушной смеси; *III* — холодная вода; *IV* — циркуляционная вода; *III* — нагретая вода в систему горячего водоснабжения; *IV* — сетевая вода прямая; *V* — сетевая вода обратная.

ванной воды *4*. Нагретая вода с температурой выше те
пературы насыщения, соответствующей давлению в д
аэраторе, подается на разбрызгивающую тарелку *2* и з
тем струями стекает на насадку *3* из колец Рашига. П
вскипании перегретой воды образуется паровоздушна
смесь, которая после прохождения через охладите
паровоздушной смеси *11* отсасывается водоструйны
эжектором *10*. Из нижней части бака *4* деаэрированна
вода поступает к насосу *6*.

В системах горячего водоснабжения, как правило, в
допроводная вода перед подачей в вакуумный деаэр
тор не проходит ионитной противонакипной обработк
Это обстоятельство необходимо учитывать в связи с бол
шой чувствительностью применяемых конструкций деа
раторов к карбонатным отложениям. Так, вакуумны
деаэраторы с тарельчатыми элементами следует приме
нять для воды с карбонатной жесткостью до 4 мг-экв/
Деаэраторы с насадочными элементами во избежани
роста гидравлического сопротивления целесообразно и
пользовать при карбонатной жесткости до 2 мг-экв/
При карбонатной жесткости выше 4 мг-экв/л тарельча
тые деаэраторы допустимо применять лишь при предва
рительной магнитной обработке воды.

В настоящее время накоплен опыт эксплуатации установо
вакуумной деаэрации воды в системах горячего водоснабжения р
да городов (Запорожье, Харьков, Ижевск, Донецк и др.). К бол
шинству деаэраторов подводится вода с температурой 60—70 °С
применяются одноступенчатые колонки различных конструкций, в
куум в деаэраторе поддерживается водоструйными эжекторами.

Деаэрационные установки в г. Запорожье, разработанные спе
циалистами предприятия «Запорожтеплосеть», имеют некоторы
особенности. Деаэрационная колонка, охладитель выпара и водо
струйный эжектор установлены вне помещения теплового пункта н
специальной вышке. Последняя служит опорной конструкцией
обеспечивает самотечное поступление деаэрированной воды в ба
ки-аккумуляторы, сообщающиеся с атмосферой. В деаэраторе име
ется три ряда дырчатых нержавеющих тарелок, расположенных н
расстоянии 470 мм одна от другой. Деаэрируемая вода сначала по
падает на верхнюю тарелку, секционированную таким образом, что
бы при минимальных нагрузках работала часть отверстий при уров
не воды на тарелке 40 мм. С увеличением нагрузки деаэратора вклю
чаются в работу дополнительные ряды отверстий. Последовательное
прохождение через несколько дырчатых тарелок обеспечивает хоро
шее разделение потока воды на тонкие струи. Благодаря размеще
нию разбрызгивающих устройств на значительном расстоянии по
высоте увеличивается время деаэрации воды и соответственно эф
фект ее дегазации. Через патрубок в нижнем днище вода поступа
ет в бак-аккумулятор. Паровоздушная смесь отводится через верх
ний патрубок в охладитель выпара. Работа водоструйного эжекто

улучшена благодаря включению в контур теплообменника,
орый поддерживает в циркуляционном тракте постоянную тем-
атуру 28—32 °С. Это позволило устранить периодические охлаж-
ия воды и ликвидировать сливы воды и потери тепла.

Длительный опыт эксплуатации установок вакуумной деаэра-
горячей воды на ЦТП г. Запорожья доказал их высокую эф-
тивность. По данным «Запорожтеплосети» при теплохимических
ытаниях установки вакуумиой деаэрации производительиостью
т/ч в широком диапазоне измерения расходов воды (36—
% номинальной производительности) остаточное содержание
створенного кислорода в деаэрированной воде было не выше
мкг/л, свободная углекислота отсутствовала.

В г. Харькове по данным эксплуатационных наблюдений вода
сле деаэрационных установок имеет худшие показатели по содер-
нию растворенного кислорода и свободной углекислоты. Так,
держание кислорода после деаэратора колеблется от 100 до
мкг/л, углекислоты — от 2,2 до 6,6 мг/л. Менее глубокая де-
зация водопроводной воды в г. Харькове обусловлена несколькими
причинами. В качестве вакуумных деаэраторов там использова-
устаревшие колоики атмосферного типа, ие выпускаемые в нас-
ящее время. Первая разбрызгивающая тарелка не секционирована.
бразующиеся карбонатные отложения закупоривают отверстия в
релках, что ухудшает условия дробления воды на отдельные тон-
е струи. После кислотной промывки тарелок деаэратора его ра-
та заметно улучшилась. Так, если до чистки тарелок остаточное
держание растворенного кислорода составляло 350—400, то после
истки оно колебалось от 25 до 75 мкг/л. В дальнейшем снова
оисходил занос тарелок карбонатными отложениями и увеличе-
е содержаиия кислорода в деаэрированной воде. По сравнению
Запорожьем водопроводная вода в Харькове характеризуется
льшей склонностью к накипеобразованию.

При испытаниях деаэратора в г. Харькове было отмечено, что
еменами перегрев воды был близок к иулю. Эффективность
аботы колонки при этом резко снижалась, содержание кислорода
еличивалось в 3—5 раз.

Анализ состояния трубчатых образцов, установлен-
ых в трубопровод до и после деаэратора на 9 мес, по-
азал, что скорость коррозии в деаэрированной воде сни-
илась всего в 2 раза — с 0,127 до 0,065 г/(м²·ч). При
спользовании вакуумных деаэраторов этого недоста-
очно.

На ряде ЦТП г. Ижевска вакуумная деаэрация выполнена по
хеме, приведенной на рис. 6.9. Вакуумный деаэратор, разработаи-
ый институтом Удмуртгражданпроект, представляет собой верти-
альный цилиндр диаметром 1,4 и высотой 16 м. Собственно колои-
а деаэратора высотой 0,8 м размещается в верхней части и пред-
тавляет собой насадку из керамических колец размером
25×25×0,8 мм. Остальная часть цилиндра служит аккумуляторным
баком и одновременно несущей конструкцией. В связи с очень ма-
ой вместимостью деаэраторного бака (около 26 м³, запас воды
римерно на 10 мин) исключительно важную роль в этом деаэраторе
грает автоматическое поддержание уровня воды. Система автома-

тизации и контроля также разработана институтом Удмуртгражпроект.

Город Ижевск снабжается водопроводной водой, отличающейся сильной коррозионной активностью из-за очень высокого содержания хлоридов и сульфатов (200—300 мг/л). На водопроводной станции проводится ее подщелачивание содой с повышением pH в холодной воде до 7,3—7,5. После подогрева и обработки воды в вакуумных деаэраторах pH возрастает до 8,3—8,5, свободная углекислота либо отсутствует, либо содержится в небольших количествах (менее 1,0 мг/л).

Работа вакуумных деаэраторов с керамической насадкой в г. Ижевске в целом оценивается как удовлетворительная. Остаточное содержание растворенного кислорода в деаэрированной воде по данным химслужбы Удмуртэнерго, менее 200 мкг/л. По данным измерений коррозии с помощью образцов, установленных на 10—11 мес в трубопроводы нагретой воды до деаэраторов и после них, скорость коррозии в деаэрированной воде снижается в 3—4 раза. Это обеспечивает защиту трубопроводов от интенсивной внутренней коррозии с образованием свищей. Результаты осмотра деаэраторов после года эксплуатации показали, что состояние его хорошее. Колца были покрыты ничтожным налетом отложений, и промывки для снижения гидравлического сопротивления насадки не требовалось.

Заканчивая рассмотрение вопроса о применении вакуумных деаэраторов, необходимо отметить, что не все конструкции одноступенчатых деаэраторов, применяемых на ЦТП, могут обеспечить глубокую дегазацию воды, особенно это касается удаления свободной углекислоты. эффективность работы деаэраторов зависит от качества исходной водопроводной воды, влияющего на процесс образования карбонатных отложений на тарелках и на насадочных кольцах; применение в струйно-барботажных деаэраторах перегретой сетевой воды возможно только в зимнее время при ее температуре выше 100 °С, и это связано со значительным возрастанием расходов химически очищенной воды ТЭЦ на подпитку тепловой сети.

Вакуумные деаэраторы следует использовать преимущественно для крупных установок горячего водоснабжения со средним расходом воды не менее 50 т/ч при водах с карбонатной жесткостью менее 2 мг-экв/л и высоким содержанием хлоридов и сульфатов (более 50 мг/л).

Силикатная обработка. Из большого числа известных ингибиторов коррозии к использованию в системах горячего водоснабжения допущены только фосфаты и силикаты щелочных металлов [47, 48]. Последние более предпочтительны, если учесть возможность поддержания на сравнительно высокой допустимой концентрации.

Силикатная обработка воды является самостоятельным методом снижения кислородной и углекислотной коррозии в системах горячего водоснабжения при закрытой схеме теплоснабжения.

Достоинствами рассматриваемого метода являются: малые габариты установок; простые схемы дозирования; дешевизна и недефицитность реагента, а также сохранение в соответствии со стандартами на питьевую воду органолептических показателей воды после обработки.

Защитный эффект обработки воды силикатами натрия (или калия) определяется снижением агрессивности нагретой воды в результате ее подщелачивания и образованием на стенках труб защитной ферросиликатной пленки, которая экранирует металл от воздействия растворенного кислорода и влияния углекислоты.

Силикатная обработка может использоваться для водопроводных вод малой и средней минерализованности при суммарном содержании хлоридов и сульфатов до 400 мг/л и кремнесодержании до 15 мг/л в пересчете на SiO_3^{2-}. В обработанной воде кремнесодержание не должно превышать по нормативным требованиям [47] 20 мг/л. Наиболее эффективна силикатная обработка мягких вод с $J \leqslant 0$ и небольшой концентрацией хлоридов и сульфатов ($Cl^- + SO_4^{2-} \leqslant 50$ мг/л). Состав вод, для которых рекомендуется силикатная обработка, приведен ниже:

при 60 °С	—1,5÷—0,1	0,1—0,6
Щелочность, мг-экв/л	0,5—2	2—4
Жесткость, мг-экв/л	0,7—3	3—5
Солесодержание, мг/л	100—200	200—600
pH	6,5—7,1	7,2—7,7
Содержание $Cl^- + SO_4^{2-}$, мг/л	0—50	50—200
Кремнесодержание в пересчете на SiO_3^{2-}, мг/л	15	15

Силикатную обработку предпочтительнее использовать для проектируемых и новых систем горячего водоснабжения с небольшим сроком эксплуатации и незначительной внутренней коррозией. Для систем, сильно пострадавших от коррозии, ее рекомендуется применять только после капитальных ремонтов.

В зависимости от состава воды (щелочности, pH, концентрации хлоридов и сульфатов) и дозы вводимого реагента защитный эффект, связанный с подщелачиванием воды, будет меняться. Для сравнительно мягких вод,

имеющих отрицательный индекс насыщения и малы концентрации хлоридов и сульфатов, одним лишь введе нием силиката можно стабилизировать воду и обеспечи вать снижение коррозии.

Рекомендуемая доза силиката натрия меняется в за висимости от состава исходной воды (табл. 6.4).

Таблица 6.4. **Рекомендуемые дозы силиката натрия при средней годовой концентрации в холодной воде соединений кремния 0—15 мг/л (в пересчете на SiO_3^{2-}) и любом количестве растворенного кислорода**

Показатели качества исходной водопроводной воды (средние за год)		Доза вводимого силиката натрия в пересчете на SiO_3^{2-}, мг/л
J при 60 °С	Концентрация в холодной воде $Cl^- + SO_4^{2-}$, мг/л	
$-0,5 < J \leqslant 0$	$\leqslant 50$	15
$-1,5 \leqslant J \leqslant -0,5$	$\leqslant 50$	35
$J > 0$	50—100	25
$J > 0$	100—200	35
$J > 0$	50	15

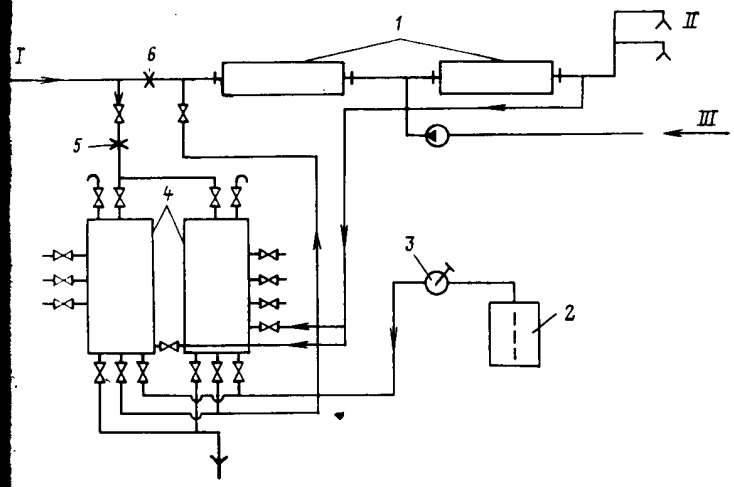
Технический сили кат натрия выпускает ся промышленностью двух формах — жидко и твердой. Жидкое на триевое стекло отвеча ет требованиям ГОС 13078-67; твердый си ликат выпускается виде глыбы или гран лята (ГОСТ 13079-67) Для обработки вод обычно пользуют жидким силикатом, та как он имеет следую щие существенные пре имущества по сравне нию с твердым реаген том: возможность вво да реагента как в хо лодную, так и в нагре тую воду; более высокая санитарная надежность; отсут ствие трудоемкой операции дробления глыбы и доведе ния твердой дозы реагента до нужного фракционного со става, а также отсутствие отходов, образующихся в про цессе растворения твердого силиката. При вынужденно использовании твердого реагента предпочтительнее при менять гранулят, а не глыбу, что упрощает подготовк реагента (отсутствует операция дробления).

Установки силикатной обработки воды, как правил предназначены для размещения на центральных тепло вых пунктах. Однако, учитывая незначительные габар ты этих установок, их можно также монтировать в ин дивидуальных тепловых пунктах и даже в отдельны зданиях в случае размещения там подогревателей горя чего водоснабжения.

Схемы ввода жидкого реагента имеют много вариан тов, но основными, получившими достаточно широко

аспространение являются две: с насосами-дозаторами напорными шайбовыми дозаторами.

Схемы с насосами-дозаторами завода «Ригахиммаш» пока полу ли распространение только в открытых системах теплоснабжения м. § 7.3). Для использования их в закрытых системах требуется язательное автоматическое регулирование подачи насоса, так как и отсутствии автоматики в условиях переменных нагрузок горяче-



ис. 6.10. Принципиальная схема установки силикатной обработки ды с вытеснительным шайбовым дозатором без разделительной перегородки.

— подогреватель горячего водоснабжения; *2* — емкость жидкого стекла; *3* — чной насос перекачки реагента; *4* — напорная емкость; *5* — ограничительная айба; *6* — рабочая шайба; *I* — холодная вода; *II* — нагретая вода в систему горячего водоснабжения; *III* — циркуляционная вода.

водоснабжения концентрация силиката в воде может существенно клоняться от заданных значений; в ночные часы, когда нет водо забора, насос должен автоматически или вручную отключаться.

В системах горячего водоснабжения при закрытой еме нашли применение напорные шайбовые дозаторы, оторые подают рабочий раствор реагента пропорцио ально расходу обрабатываемой воды. Раствор жидкого текла вытесняется в трубопровод водопроводной водой напорной емкости (корпуса дозатора), верхняя и ниж яя части которой подключены соответственно перед и осле рабочей дроссельной шайбы, устанавливаемой на рубопроводе водопроводной воды (рис. 6.10).

Существуют шайбовые дозаторы двух типов: без раз делительной перегородки между водой и рабочим рас-

твором реагента и с разделительной перегородкой. В ка
честве эластичной перегородки могут использоваться спе
циальные резины или эластичная пленка. В ПНР дл
дозирования ингибиторов «Силеналь» применяют доза
торы с упругой разделительной перегородкой из резин
большой толщины. Опыт эксплуатации шайбовых доза
торов в СССР показывает, что на жидком стекле хорош
работают дозаторы без разделительной перегородки
В них не происходит перемешивания рабочего раствор
и воды практически до полного вытеснения рабоче
раствора силиката, даже при сравнительно малой ег
плотности (1,08 г/см³), из корпуса дозатора.

Место ввода жидкого стекла выбирается в зависимо
сти от накипеобразующих показателей воды, схемы го
рячего водоснабжения и типа применяемого подогрева
теля. Для водопроводных вод со щелочностью до
3,5 мг-экв/л и при наличии циркуляционного насоса до
зирование осуществляется в холодную воду перед подо
гревателем. В системе без циркуляционного насоса реа
гент может вводиться как в холодную, так и в нагретую
воду. При секционных двухступенчатых водоводяных
подогревателях и циркуляционном насосе дозирование
может выполняться в рассечку между I и II ступенями
подогревателя до места поступления циркуляционного
расхода. Введение реагента после I ступени целесообр
разно при недостаточном напоре водопроводной воды и
больших потерях напора в подогревателе (не менее 2 м).

При дозировании реагента с помощью шайбового до
затора определяющее влияние на концентрацию соеди
нений кремния в горячей воде, поступающей к потреби
телям, оказывает место ввода силиката по отношению
циркуляционной линии. Известно, что расход воды чере
II ступень подогревателя выше расхода через I ступен
на размер циркуляционного расхода (во время работы
циркуляционного насоса). Рассмотрим, как изменится
кремнесодержание воды в прямой и циркуляционной
линиях при работе насоса, в следующих случаях: 1) точ
ка ввода силиката находится после ввода циркуляцион
ной линии (независимо от того, расположена она перед
II ступенью или после нее); 2) точка ввода силиката на
ходится до циркуляционной линии.

В первом случае работа циркуляционного насоса при
водит к повышению кремнесодержания воды и в прямой
и в циркуляционной линии, так как дозирование ведется

пропорционально расходу воды через I ступень и прибав
ляется циркуляционный расход, а циркуляционная вода
возвращается с дозой силиката и вновь подвергается об
работке. При этом кремнесодержание может возрасти
до предельно допустимого значения и будет продолжать
расти до выключения насоса. Во втором случае работа
циркуляционного насоса, наоборот, приведет к понижe
нию кремнесодержания в прямой воде и повышению его
в циркуляционной, но не выше заданного значения, так
как в этом случае дозирование ведется пропорционально
расходу воды через I ступень, а доза силиката распро
страняется и на циркуляционную воду. После выключе
ния насоса кремнесодержание в прямой воде поднима
ется до заданного.

Влияние работы циркуляционного насоса на кремне
содержание в системе проверялось на ЦТП в нормаль
ных эксплуатационных условиях при автоматическом
включении и выключении насоса. Результаты подтвердили
изложенное. Поэтому точку ввода силиката всегда
следует располагать до циркуляционной линии.

Нормальной работой дозирующей системы считается
автоматическое поддержание заданной концентрации со
единений кремния в воде во всем диапазоне изменения
расходов воды на горячее водоснабжение. В шайбовом
дозаторе помимо рабочей шайбы (поз. *6* на рис. 6.10) в
указанных целях на линии подачи холодной воды в до
затор устанавливают игольчатый вентиль или ограничи
тельную шайбу *5*. Исследования ВТИ показывают, что
заданная концентрация соединений кремния в воде с
игольчатым вентилем может быть обеспечена только при
значительном разведении жидкого стекла (примерно в
0 раз) и малом открытии клапана вентиля (0,5 оборо
та). Указанное обстоятельство затрудняет применение
игольчатых вентилей, кроме случаев, когда кремнесодер
жание может быть переменным, достигая предельно до
пустимых значений при максимальных расходах воды.
Вместе с тем следует отметить и определенное преиму
щество этого элемента установки — возможность регу
лирования концентрации в процессе эксплуатации.

Поддержание заданной концентрации силиката в
обработанной воде надежно обеспечивается применени
ем калиброванных ограничительных шайб вместо венти
ля (рис. 6.11). Однако следует иметь в виду местополо
жение корпуса дозатора по отношению к трубопроводу

с рабочей шайбой. При размещении дозатора выше тр
бопровода, в который вводится реагент, даже при уст
новке в схеме дозирующей системы ограничительны
шайб может иметь место увеличение концентрации с
ликата в воде. Это видно из рис. 6.12. Если при расход
воды более 10 м³/ч концентрация силикатов сохраняет
постоянной, то при меньших расходах она увеличивае
ся, причем тем больше, чем меньше расход воды. Нар

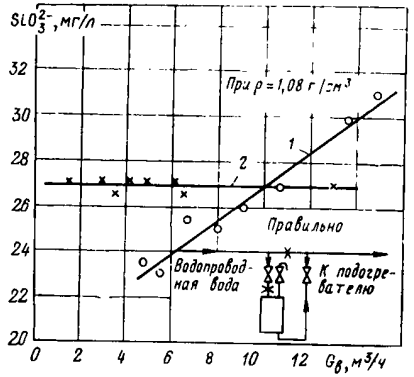


Рис. 6.11. Концентрация с
единений кремния в обраб
танной воде.

1 — при игольчатом вентил
2 — при ограничительной шай
(d=0,5 мм); точка ввода реаге
та расположена выше дозатор

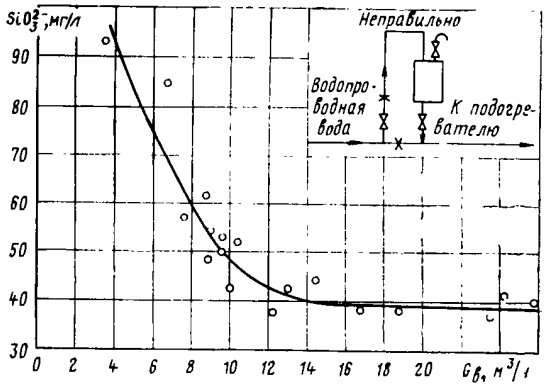


Рис. 6.12. Концентрация соединений кремния в обработанной во
при ограничительной шайбе; точка ввода реагента расположена н
же дозатора.

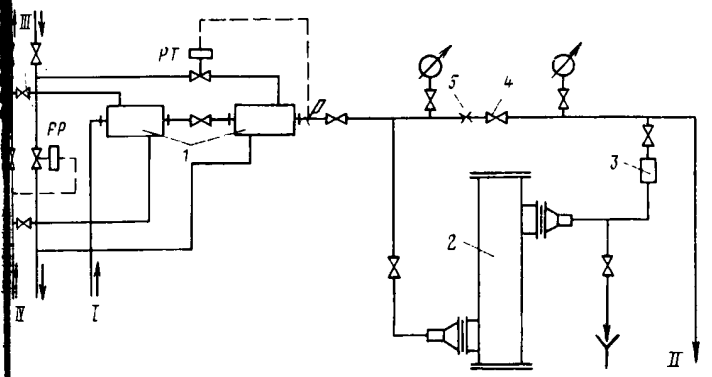
шение пропорционального дозирования реагента в это
случае связано с влиянием гравитационного напора.

Для поддержания постоянной дозы реагента при все

сходах воды шайбовый дозатор всегда необходимо
змещать ниже трубопровода, в который подается
агент.

Переменный уровень реагента в корпусе дозатора
актически не оказывает влияния на изменение концен-
ации силиката в обработанной воде.

При работе шайбовых дозаторов без разделительной
регородки возникает опасность перемешивания рабо-
го раствора с вытесняющей его водой и снижения кон-
нтрации реагента в напорной емкости. Результаты
следования однозначно показывают, что даже при силь-
м разведении жидкого стекла (в 5 раз), когда плот-
ость рабочего раствора (1,072 г/см³) незначительно
евышает плотность воды, дозатор обеспечивает выдер-



с. 6.13. Схема включения фильтра-дозатора на твердом силикате.

— подогреватель горячего водоснабжения; *2* — фильтр-дозатор конструкции
ти; *3* — грязевик; *4* — регулировочная задвижка; *5* — дроссельная шайба;
— холодная вода; *II* — нагретая вода в систему горячего водоснабжения;
— сетевая вода прямая; *IV* — сетевая вода обратная; *PT* — регулятор тем-
ературы; *PP* — регулятор расхода.

живание заданной концентрации силикатов в обработан-
ой воде в течение всего цикла работы — от момента его
аполнения до полного вытеснения жидкого стекла. Это-
у способствуют исключительно низкие скорости в доза-
ре (менее 0,01 м/ч).

На рис. 6.13 показана схема установки силикатной
работки воды с твердым реагентом. Установка включа-
ется в линию нагретой воды после подогревателя *1*.
на предназначена для небольших систем горячего водо-
набжения с расходами воды до 500 м³/сут. Часть пото-
нагретой воды (20—25 % общего расхода) поступает

снизу в фильтр-дозатор *2* и проходит слой загруженного твердого силиката. В дозаторе происходит растворение силиката натрия.

Выходящая из него вода с повышенной концентрацией силикатов смешивается с необработанной водой и поступает в систему горячего водоснабжения. Перед дозатором и после него установлены решетки с узкими щелевыми отверстиями (шириной 3—5 мм), чтобы предупредить вынос частиц силиката из дозатора и попадание грубой взвеси в систему. Для задержания более мелких частиц силиката и отработавших частиц, которые прошли через решетку, предусмотрен грязевик *3*. Соотношение потоков обработанной и необработанной воды, определяющее концентрацию силикатов на выходе из установки, регулируется размером отверстия дроссельной шайбы *5*. Более точное регулирование заданной концентрации силикатов осуществляется регулировочной задвижкой *4*, размещаемой рядом с шайбой.

Установки на твердом реагенте могут применяться только при автоматическом поддержании температуры воды на уровне 60—65 °С, отсутствии режима циркуляции в системе и наличии избыточных напоров водопроводной воды (2—5 м). Более подробные сведения о работе установок на твердом силикате приведены в [49, 50].

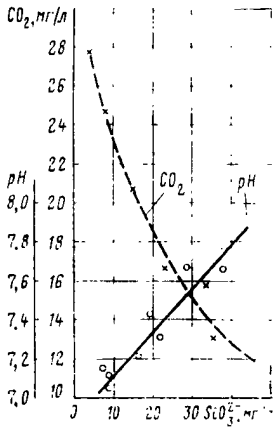


Рис. 6.14. Изменение pH и содержания углекислоты в воде в зависимости от дозы силиката натрия.

Введение в обрабатываемую воду силиката натрия приводит к изменению ее солевого состава, pH и органолептических показателей. Как видно из данных рис. 6.14, при дозировании волжскую водопроводную воду около 30 мг/л реагента pH повышается примерно на 0,7, а содержание свободной углекислоты снижается на 12 мг/л. В результате подщелачивания снижается агрессивность воды, а при малом содержании хлоридов и сульфатов также и коррозионная активность. При обработке силикатами водопроводных вод с содержанием хлоридов и сульфатов более 50 мг/л самым ценным является создание на поверхности стали прочного защитного слоя из ферросиликатов ($Fe_3O_4 \times \times FeSiO_3$), который экранирует металл от действия растворенного кислорода и свободной углекислоты, а также ионов Cl^- и SO_4^{2-}. По-видимому, ферросиликат, образующийся совместно с магнетитом, частично, а иногда и полностью закрепляет на поверхности металла продукты коррозии, заполняет дефекты в структуре пленок и таким образом обеспечивает экранирующий эффект.

Исследования ВТИ и эксплуатационные испытания эффективности силикатной обработки воды в системах горячего водоснабжения во многих городах дали положительные результаты. Особенно широко этот метод обработки воды внедрялся на крупных тепловых пунктах г. Харькова, где он пришел на смену малоэффективной обработке воды сульфитом натрия. Наблюдения за эффективностью силикатной обработки проводились с помощью трубчатых и пластинчатых образцов.

На трубчатых образцах в обработанной воде наблюдалось снижение скорости коррозии с 0,12 до 0,05 г/(м²·ч) при продолжительности испытаний 4500 и 13 500 ч. Данные измерений коррозии по снижению массы образцов хорошо согласовались с результатами их осмотров до и после удаления отложений (рис. 6.15). Образец, установленный до силикатной обработки, имел сплошные коррозионные отложения (*Iа*), под которыми после их снятия были обнаружены многочисленные язвины (*Iб*). Иной вид имели образцы из трубопровода с водой, обработанной силикатом (*II* и *III*). На неочищенных поверхностях этих образцов просматривается довольно равномерный слой отложений (*IIа* и *IIIа*), под которым хотя и имеются коррозионные повреждения, но они носят значительно более равномерный характер (*IIб* и *IIIб*).

Длительный период эксплуатации установок силикатной обработки воды в г. Харькове показал, что образование многочисленных свищей, имевших место до введения силикатной обработки, прекратилось.

В ПНР для защиты систем теплоснабжения от внутренней коррозии и образования отложений на трубах были разработаны ингибиторы под общим названием «силенали». Для горячего водоснабжения был использован силеналь П, основу которого составляет силикат натрия с добавлением полифосфата. При дозировании этого реагента содержание кремния в воде поддерживали на уровне 30 мг/л в пересчете на SiO_2, содержание фосфатов не превышало 5 мг/л (P_2O_5).

Исследования, проведенные в Варшаве в коррозионной воде в течение 6 мес, подтвердили сравнительно вы-

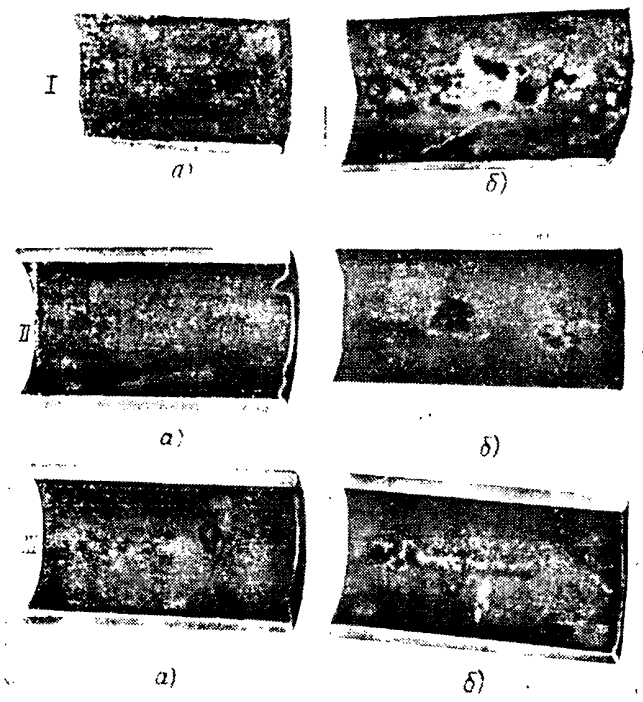


Рис. 6.15. Состояние внутренней поверхности трубчатых образцов. *I* — нагретая необработанная вода; *II* — нагретая вода, обработанная силикатом натрия (трасса); *III* — то же (жилой дом); *а* — образец с отложениями; *б* — образец со снятыми отложениями.

сокую эффективность силеналя П. Эти исследования были проведены в трех системах горячего водоснабжения, выполненных из оцинкованных труб, при температуре воды 55±2 °С. В двух системах осуществлялось дозирование ингибитора, а третья была контрольной. Эффективность оценивалась по установленным в нагретой воде образцам с цинковым покрытием; их вынимали и обрабатывали каждые 10 дней в течение 70 дней. Защитный эффект ингибитора был оценен в 67—75 %, что соответствует снижению скорости коррозии в обработанной воде по сравнению с исходной в 3—4 раза. Следует отметить, что обработка воды с помощью силеналя П еще не получила большого распространения.

Глава седьмая

ПРОТИВОКОРРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА ПОДПИТОЧНОЙ ВОДЫ НА ТЭЦ И ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ ОТ КОРРОЗИИ

7.1. Методы удаления агрессивных газов

Присутствие кислорода и свободной углекислоты в воде вызывает коррозию трубопроводов и оборудования, снижая надежность их работы.

Для удаления агрессивных газов могут быть применены методы химической, электрохимической и термической деаэрации. Последний метод нашел наибольшее распространение как относительно простой и достаточно эффективный.

Термическая деаэрация воды представляет собой сложный процесс неизотермической десорбции газа, сопровождающийся конденсацией пара на поверхности жидкой фазы и переходом растворенного газа или нескольких газов из жидкости в газовую (паровую) среду, если концентрация какого-либо газа в жидкой фазе выше равновесной.

Для идеальных растворов, температура которых выше критической температуры газа, равновесие в системе жидкость — газ определяется законом Генри

$$p = mx, \qquad (7.1)$$

где p — парциальное давление газа над раствором; x — мольная доля газа в растворе; m — коэффициент Генри, измеряемый в единицах давления.

В связи с тем, что концентрация кислорода и свободной углекислоты в деаэрируемой воде низки, растворы этих газов можно считать бесконечно разбавленными и условия равновесия описывать законом Генри. На его основе равновесная концентрация газа в воде может быть определена по уравнению

$$c = \alpha \rho_г p_г \cdot 10^6 / \rho_ж p_0, \qquad (7.2)$$

где α — коэффициент адсорбции при данной температуре воды, м³/м³; $\rho_г$ — плотность газа, кг/м³; $\rho_ж$ — плотность воды, кг/м³; $p_г$ — парциальное давление газа над поверхностью воды, Па; p_0 — атмосферное давление, Па.

Значения коэффициентов адсорбции можно найти в [52].

Из закона Генри следует, что при повышении температуры во
ды до температуры насыщения при данном давлении растворимост
газов должна быть равна нулю, так как их парциальное давлени
в газовой (паровой) фазе снижается до нуля. Следует, однако, пом
нить, что закон Генри описывает равновесную систему. Представле
ние о том, что для полного удаления газов достаточно нагреть вод
до температуры насыщения, неправильно, поскольку не учитывае
кинетики процесса, т. е. времени, необходимого для установлени
равновесия.

В деаэраторах вследствие ограниченности поверхности контакт
фаз и особенно малого времени соприкосновения воды с паром рав
новесное состояние, как правило, не достигается.

Когда в деаэратор поступает вода с температурой ниже тем
пературы насыщения, происходит процесс теплообмена — нагре
воды греющим паром до температуры насыщения и процесс масс
обмена — переход растворенных в воде газов в паровую фазу. По
догрев воды сопровождается снижением растворимостн газов и вы
делением их в паровую фазу, находящуюся над жидкостью или
ее объеме в виде газовых пузырьков. В условиях затрудненного
массообмена большая часть выделившихся газов находится в вод
в виде мелких пузырьков.

В отличие от кислорода и азота, которые присутствуют в воде только в молекулярной форме, углекислота может быть в молекулярной и ионной формах, между которыми существуют определенные количественные соотношения (см. § 2.2).

Удаление из воды молекулярной двуокиси углерода приводит к разложению имеющихся бикарбонат-ионов. Процесс разложения бикарбонатов происходит тем интенсивнее, чем выше температура и больше продолжительность пребывания воды в деаэраторе.

На основании изложенного можно сформулировать следующие требования к конструкции термических деаэраторов.

1. Конструкция деаэратора должна исключать возможность проскока необработанной воды помимо деаэрирующих ступеней; не должно быть застойных зон, особенно в паровом пространстве.

2. Должно быть организовано движение потоков воды и пара навстречу друг другу («противоток» между водой и паром).

3. Должна обеспечиваться хорошая вентиляция аппарата; расход выпара для деаэраторов атмосферного типа должен составлять 2 кг/т, а для вакуумных деаэраторов — 4—5 кг/т деаэрируемой воды. Пар, подаваемый в деаэратор, должен содержать минимальное количество газов, удаляемых из воды.

4. Конструкция деаэратора должна обеспечивать максимально развитые поверхности контакта воды с паром.

5. Для увеличения эффективности деаэрации необходимо увеличивать выдержку воды при температуре насыщения.

6. Деаэрационная установка должна быть автоматизирована с целью поддержания заданного давления в аппарате и уровня воды в баке-аккумуляторе.

7. Должна быть исключена возможность контакта деаэрированной воды с воздухом во избежание повторного загрязнения ее кислородом и углекислотой.

В течение длительного времени для деаэрации подпиточной воды тепловых сетей использовались одноступенчатые деаэраторы атмосферного давления струйного типа. Схема такого деаэратора,

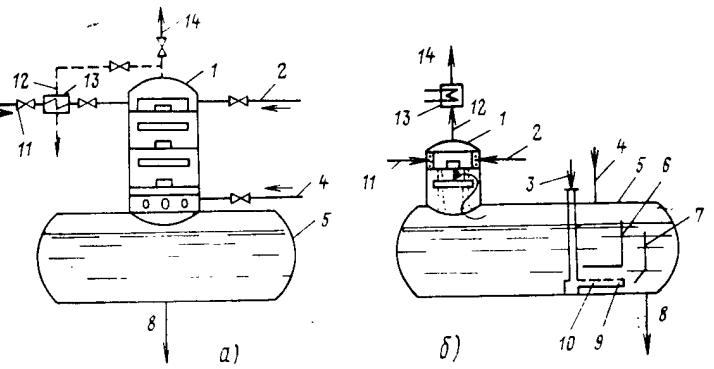


Рис. 7.1. Термические деаэраторы атмосферного давления.
а — одноступенчатый; *б* — двухступенчатый; *1* — деаэрационная колонка со струйными водораспределительными тарелками; *2*, *11* — подвод воды; *3* — подвод пара на барботаж; *4* — подвод греющего пара; *5* — бак-аккумулятор; *6*, *7* — перегородки; *8* — отвод деаэрированной воды; *9* — паровая коробка; *10* — барботажный лист; *12* — отвод выпара; *13* — охладитель выпара; *14* — выхлоп в атмосферу.

выпускавшегося Черновицким машиностроительным заводом, приведена на рис. 7.1, *а*. Опыт эксплуатации этих деаэраторов показал, что они не обеспечивали требуемого качества подпиточной воды, особенно удаления свободной углекислоты. В связи с тем, что единичная производительность деаэраторов не превышала 300 т/ч, на крупных ТЭЦ приходилось включать в параллельную работу большое количество установок. Это вызывало трудности в поддержании давления пара и уровня воды, а также затрудняло равномерное распределение нагрузки по отдельным аппаратам, что ухудшало эффективность деаэрации.

В деаэраторах подпиточной воды с подводом греющего пара из отборов турбины имеют место значительные потери пара (конденсата) из основного цикла ТЭЦ. Другой причиной, препятствующей использованию отборного пара для деаэрации подпиточной во-

ды тепловых сетей с открытым водоразбором, является то, что на многих современных ТЭЦ в основной цикл вводится гидразингидрат. Его попадание в воду тепловой сети недопустимо по санитарным нормам. Во избежание этого на ряде ТЭЦ атмосферные деаэраторы эксплуатировались как деаэраторы перегретой воды. Подлежащая деаэрации вода подогревалась в специальном теплообменнике до 105—108 °С, а затем подавалась в атмосферный деаэратор. Происходило вскипание воды, и из нее выделялись газы. При работе по такой схеме наблюдалась коррозия теплообменника, при недостаточном перегреве воды ухудшалась вентиляция объема деаэратора, что снижало эффективность дегазации.

В связи с этим возникла необходимость модернизации деаэраторов атмосферного давления. Она была проведена НПО ЦКТИ.

Модернизированный деаэратор (рис. 7.1, *б*) имеет две ступени деаэрации; струйную, расположенную в малогабаритной колонке *1*, и барботажную, затопленную в баке-аккумуляторе *5*. Подогрев воды и выделение большей части газов происходят в колонке, имеющей две струйные тарелки. Дальнейшее освобождение воды от пузырьков газа идет в аккумуляторном баке, паровой объем которого вентилируется паром. Удаление остатков растворенного кислорода, свободной и связанной углекислоты происходит в барботажном устройстве. Перегородки *6* и *7* служат для предотвращения попадания не прошедшей барботажное устройство воды в отводящий трубопровод *8* и для организации подъема пароводяной смеси в образованной перегородками шахте. Удлинены пути воды к месту ее отвода, что способствует лучшей дегазации.

Как показывает опыт эксплуатации и испытания двухступенчатых деаэраторов ЦКТИ, они отвечают требованиям к деаэрации подпиточной воды. Однако недостатки, присущие атмосферным деаэраторам, питаемым отборным паром, у них сохраняются.

Для деаэрации подпиточной воды тепловых сетей наиболее пригодны вакуумные деаэраторы перегретой воды. В ряде случаев, например в отопительных котельных с водогрейными котлами, осуществить термическую деаэрацию воды можно только в деаэраторах указанного типа. Вакуумные деаэраторы позволяют избавиться от охлаждения в специальных теплообменниках деаэрированной воды, идущей на подпитку систем горячего водоснабжения.

Рассмотрим конструкции двух вакуумных деаэраторов, разработанных ЦКТИ в последние 10—15 лет.

На рис. 7.2, *а* представлена схема вакуумного деаэратора струйного типа, состоящего из колонок *1* и *2*. (Имеется модификация деаэратора, в которой малая колонка размещена внутри большой.) Обе колонки представляют собой вертикальные цилиндрические сосуды, по оси которых проходят трубы *4* и *8* для подвода воды. Эти же трубы служат опорой для плоских днищ колонок и

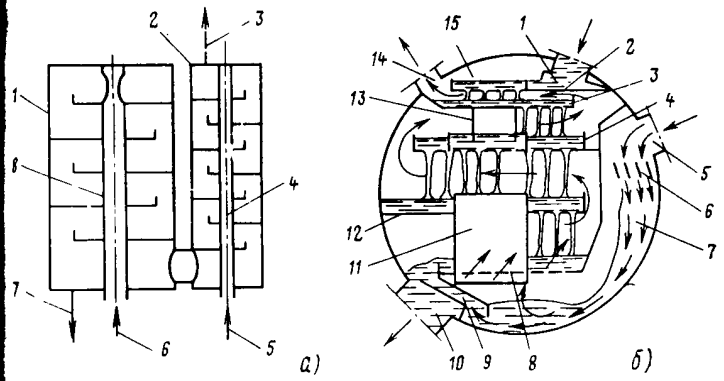


Рис. 7.2. Принципиальные схемы вакуумных деаэраторов.
а — одноступенчатого; *б* — двухступенчатого.

струйных тарелок. Основной поток деаэрируемой воды *6* (до 90 % общего расхода) перегревается в предвключенных подогревателях до 75—80 °С (на 5—8 °С выше температуры насыщения) и подается в первую колонку на верхнюю тарелку. Вода вскипает, выделяя определенное количество парогазовой смеси. Далее она движется вниз по тарелкам, а параллельно ей перемещается парогазовая смесь. Пройдя колонку *1*, парогазовая смесь поступает в нижнюю часть колонки *2*, на верхнюю тарелку которой подаются остатки (около 10 %) деаэрируемой воды *5* при температуре 15—20 °С. Проходя вниз по тарелкам колонки *2*, холодный поток воды нагревается до температуры насыщения и деаэрируется. Образовавшийся в колонке *1* пар конденсируется, а выделившиеся газы отводятся через штуцер *3*. Деаэрированная вода через патрубок *7* попадает в теплосеть или в аккумуляторные баки.

Деаэраторы струйного типа имеют и недостатки. В колонке *1* деаэрация идет при прямотоке воды и пара, а поступающий в колонку *2* пар содержит много газов, которые должны удаляться из воды. Опыт эксплуатации таких деаэраторов показывает, что они требуют большего внимания персонала. Небольшие колебания в нагреве воды или распределений ее по колонкам приводят к ухудшению удаления не только углекислоты, но и кислорода. В настоящее время такие деаэраторы серийно не выпускаются.

Наиболее удачна конструкция двухступенчатого струйно-барботажного вакуумного деаэратора (рис. 7.2, б). Саратовский завод тяжелого машиностроения

серийно изготовляет аппараты производительностью 400, 800, 1200 т/ч. Деаэраторы меньшей производительности серийно не выпускаются, но при необходимости могут быть изготовлены монтажными организациями. Корпус деаэратора производительностью 400 т/ч и выше выполняется в виде горизонтального цилиндра диаметром 3 м. Длина секции 2 м. Рабочее давление в деаэраторе 7,35—49 кПа (0,075—0,5 кгс/см²), температура деаэрированной воды 40—80 °С.

Умягченная вода по трубе *1* поступает в распределительный коллектор *2* на верхнюю тарелку *15*, рассчитанную на пропуск минимального расчетного количества воды. При увеличении расхода вода по коробу *13* перепускается на третью тарелку *4*. Вторая тарелка *3* также рассчитана на пропуск минимального расхода воды. Тарелки *3* и *15* выполняют функцию встроенного в деаэратор контактного охладителя выпара. При малой нагрузке на третьей тарелке *4* работает лишь часть отверстий, расположенных по краям. Однако при этом струи воды перекрывают все сечение колонки по ходу пара. С третьей тарелки вода поступает на перепускную тарелку *12*, с которой сливается на барботажное устройство *8*, выполненное в виде беспровальной барботажной тарелки. После барботажного устройства вода отводится по трубе *10*. Греющая среда—пар или перегретая вода—подводится в корпус аппарата через патрубок *5*. Используемая в качестве греющей среды перегретая вода должна быть деаэрированной и нагретой до 80—150 °С в зависимости от давления в деаэраторе. При подаче перегретой воды в отсек *7* она вскипает, жалюзи *6* способствуют разделению воды и пара. Пар поступает под барботажный лист, а оставшаяся вода по каналу *9* уходит, смешиваясь с водой, стекающей с барботажного листа. Избыток пара (при больших тепловых нагрузках деаэратора) через короб *11* поступает под тарелку *4* и служит для подогрева воды. Выделившиеся из воды газы с небольшим количеством пара отсасываются через патрубок *14*. В качестве отсасывающего устройства рекомендуются паровые эжекторы ЭП-3-25/75 ХТГЗ. Если нет пара для эжекторов, могут применяться водоструйные эжекторы или водокольцевые насосы необходимой подачи.

Описанная конструкция вакуумного деаэратора обеспечивает требуемую эффективность удаления кислорода

углекислоты в широком диапазоне изменения гидравлической нагрузки и давления.

В зависимости от типа деаэратора и области его применения деаэрация подпиточной воды тепловых сетей ТЭЦ, отопительной отельной с паровыми или водогрейными котлами и т. д.) схемы деаэрационных установок и ровень их автоматизации могут быть весьма разнообразными. Подробное рассмотрение этих схем не входит в задачу данной книги. В качестве примера на рис. 7.3 приводится схема установки вакуумной деаэрации подпиточной воды тепловой сети котельной с водогрейными котлами. Исходная вода после химического умягчения и подогрева в водо-водяном подогревателе до 0—55 °С прямой водой теплосети по трубопроводу *2* подается в вакуумный двухступенчатый деаэратор *1*. Греющей средой *3* служит прямая сетевая вода с температурой 110—150 °С, отбираемая непосредственно за котлом. Давление в деаэраторе и соответственно расход горячей воды поддерживается регулятором давления *4*. Деаэрированная вода *8* слнвается в бак-аккумулятор *6*, откуда насосом *7* направляется в тепловую сеть. Паровоздушная смесь *9* отсасывается эжектором. Уровень воды в баке-аккумуляторе поддерживается регулятором *5* подачи воды в деаэратор.

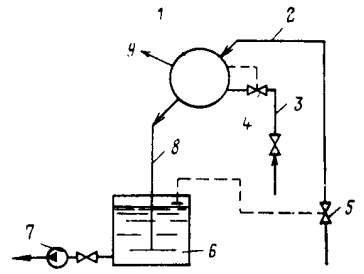


Рис. 7.3. Схема установки для деаэрации подпиточной воды тепловых сетей котельных с водогрейными котлами.

При разработке компоновки деаэрационных установок с вакуумными деаэраторами для обеспечения надежной и устойчивой их работы необходимо размещать вакуумную колонку на высоте, гарантирующей слив деаэрированной воды в аккумуляторный бак самотеком. При этом вся арматура должна располагаться ниже низшего уровня воды в этом баке и все элементы установки, находящиеся ниже этого уровня, должны изготовляться на сварке без фланцевых соединений. Выполнение этих требований позволит полностью исключить возможность вторичного загрязнения воды кислородом и углекислотой вследствие присосов воздуха через узлы установки, находящиеся под разрежением.

7.2. Предупреждение вторичного загрязнения подпиточной воды тепловых сетей с непосредственным водоразбором и защита баков от коррозии

В современных открытых системах теплоснабжения с непосредственным разбором воды из тепловой сети, достигающим в часы максимального потребления на горячее водоснабжение нескольких тысяч тонн в час, обязательным элементом оборудования являются баки-аккумуляторы, предназначенные для выравнивания суточных нагрузок. Их устанавливают на ТЭЦ или в водогрейных котельных, а также на трассах тепловой сети. В качестве баков-аккумуляторов повсеместно применяются металлические резервуары большой вместимости (до 10 000 м³), изготовляемые по типовым проектам ЦНИИпроектстальконструкции. В их конструкции не предъявлены специфические требования, связанные с хранением нагретой деаэрированной воды, а также с процессами коррозии, протекающими при эксплуатации этих баков.

В результате контакта зеркала деаэрированной воды с атмосферным воздухом, поступающим через вестовую трубу при снижениях уровня, верхние слои воды в баках насыщаются растворенным кислородом [54]. Как правило, внутренняя поверхность баков имеет крайне несовершенную антикоррозионную защиту. Если учитывать, что баки иногда заполняются водой, содержащей растворенный кислород, существует реальная опасность коррозии. Специфической особенностью работы баков является цикличность наполнения и опорожнения с непеременным омыванием стенок водой и паровоздушной смесью. Последнее способствует усилению процессов коррозии, особенно в зоне переменного смачивания водой. Аварии с баками, вызванные коррозией, приводят к тяжелым последствиям. При выводе баков в капитальный ремонт приходится вести частичную подпитку тепловой сети с нарушение правил технической эксплуатации необработанной и недеаэрированной водой.

Учитывая высокую стоимость сооружения баков-аккумуляторов (при объеме 5000 м³ около 70 тыс. руб., при объеме 10 000 м³ — 115 тыс. руб), малую эффективность ремонта, возможность загрязнения в них подпиточной воды продуктами коррозии, ухудшающими органолептические показатели, все баки-аккумуляторы независимо от способа водоподготовки подпиточной воды должны

проектироваться и эксплуатироваться с соответствующей защитой от внутренней коррозии и устройствами, предупреждающими аэрацию воды. Опыт эксплуатации баков из железобетона, защищенных покрытиями, при заполнении их горячей водой в настоящее время отсутствует.

Аэрация воды в баках и способы ее предупреждения. Процесс аэрации воды в баках, т. е. растворение в деаэрированной воде газов, содержащихся в воздухе, существенным образом зависит от способа подачи воды в баки и режима их работы. Деаэрированная вода во избежание интенсивного насыщения ее кислородом должна подаваться снизу. Для предупреждения перемешивания в баке верхних слоев воды, содержащих повышенное количество кислорода, с нижними поступление и отвод воды должны осуществляться по специальным коллекторам с отверстиями и успокоительными кожухами. Такая схема организации подвода воды уменьшает, но не устраняет возможность заражения ее кислородом, особенно в условиях глубокого охлаждения деаэрированной воды (до 20—30 °С), когда аэрация резко усиливается.

В ВТИ были проведены следующие лабораторные опыты. Два сосуда — один с эмалевым покрытием, другой стальной без защитного покрытия — были заполнены деаэрированной водой, в которой периодически определялось содержание растворенного кислорода и железа. При охлаждении с 70 до 32 °С содержание кислорода в воде в эмалированном сосуде (рис. 7.4) за 3 ч возросло со 100 до 450 мкг/л, в стальном почти не увеличилось, поскольку кислород взаимодействовал с незащищенным металлом, на что указывает рост содержания железа. В эмалированном сосуде концентрация железа в воде практически не изменилась.

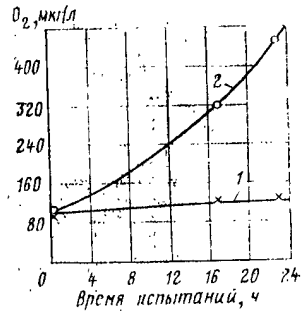


Рис. 7.4. Изменение содержания растворенного кислорода в воде в зависимости от времени испытаний.
1 — стальной сосуд; 2 — эмалированный сосуд.

О протекании процессов аэрации воды в аккумуляторных баках свидетельствуют данные замеров содержания растворенного кислорода. В подпиточной воде после баков наблюдалось увеличение концентрации кислорода в 2—3 раза по сравнению с деаэрированной водой, поступающей в баки. При температуре воды 70—80 °С аэрация затруднена, так как имеется естественная па-

ровая подушка, но и при этой температуре прос кислорода могут происходить. Они связаны с ре снижением уровня воды в баках в результате увел ния ее расхода на подпитку тепловой сети.

Чтобы предохранить воду, находящуюся в бака кумуляторах, от загрязнения кислородом, требу специальные методы защиты от аэрации. Аэрацию м но исключить созданием нулевого парциального да ния кислорода над водой в баке либо газонепроницае области раздела на поверхности воды. Первый ме заключается в замене воздуха над поверхностью в водяным паром или каким-либо инертным газом, нап мер азотом.

При подаче пара в верхнее пространство бака ч частично конденсируется, а частично удаляется в атм сферу через вестовую (воздушную) трубу. В проце разрядки и зарядки бака водой необходимо поддержи вать небольшое избыточное давление пара [4,9—9,8 кПа (0,05—0,1 кгс/см²)]. Для предупреждения образования вакуума или недопустимого повышения давления обя зательным элементом установки является регулятор да ления. Этот способ можно применять на ТЭЦ и в паро вых котельных. В водогрейных котельных или при уста новке баков-аккумуляторов на транзитных магистрал тепловых сетей паровая подушка может быть создана только при вскипании перегретой воды. Так как темпе ратура воды выше 100 °С в тепловой сети поддерживае ся ограниченное время в году (при низких наружных температурах воздуха), практическая реализация этого способа в указанных случаях затруднена.

Защита воды в баке от аэрации созданием газонепроницаемой зоны раздела на границе вода — воздух может быть реализована различными способами, напри мер с помощью газонепроницаемых пленок, плавающи поплавков или шариков. В последнее время для этой цели успешно применяют некоторые герметизирующие материалы. Преимуществом этих материалов перед пла вающими поплавками или шариками является совмещ ние защиты воды от аэрации и баков от коррозии. Более подробно этот способ защиты рассмотрен ниже.

Коррозия баков-аккумуляторов и способы их защиты

Коррозия стальных баков с подпиточной деаэрированной водой носит электрохимический характер. Главным образом она протекает на стенках баков, на дне и

крыше коррозионные повреждения обычно отсутствуют. Такой избирательный характер коррозии обусловлен тем, что крыша бака и стенки в самой его верхней части не омываются водой и подвергаются воздействию паро воздушной среды. Самая нижняя зона бака, включая дно, находится постоянно в деаэрированной воде.

Опыт эксплуатации баков на различных ТЭЦ и в ко тельных показывает, что значительное число повреждений баков обусловлено коррозионным износом, вызыва ющим образование глубоких язвин в основном металле и в зоне сварных швов.

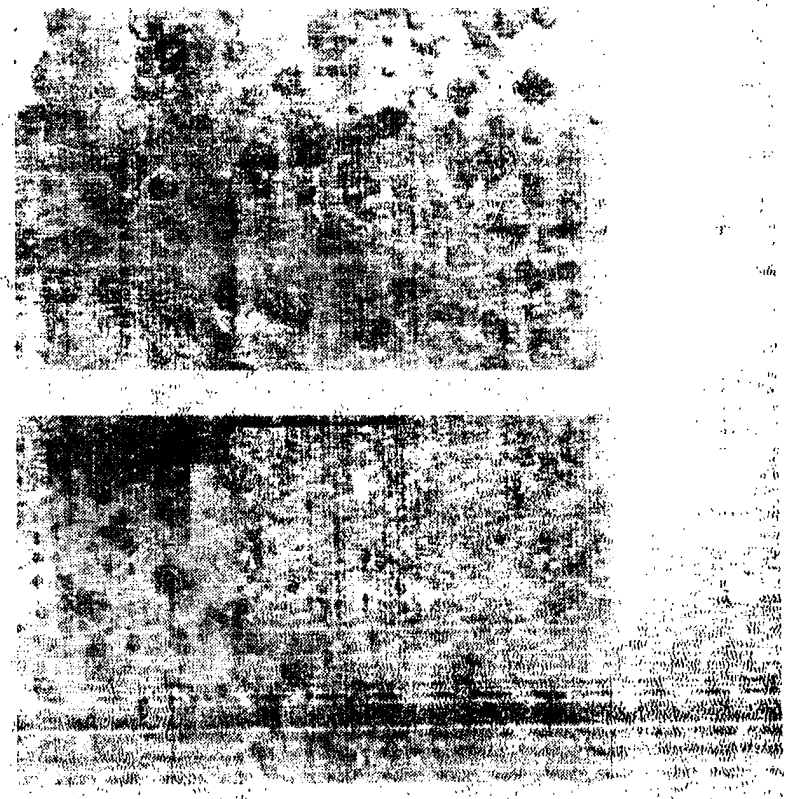


Рис. 7.5. Вид участка стенки аккумуляторного бака (без добавки герметика).
а — с отложениями; *б* — после удаления отложений.

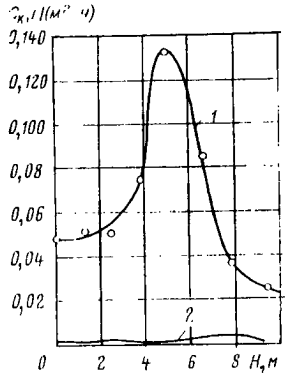


Рис. 7.6. Скорость коррозии образцов $c_к$ в баках-аккумуляторах без добавки герметика и с добавкой герметика (срок испытаний 5784 ч).

1 — без добавки герметика; *2* — под слоем герметика.

Так, на внутренней поверхности незащищенных стенок баков ТЭЦ Лодейного после нескольких лет эксплуатации выявлена значительная коррозия, особенно сильная в зоне переменного смачивания. На фотографии рис. 7.5 видно, что стенки бака покрыты бугристыми отложениями. После снятия отложений было обнаружено большое количество язвин глубиной до 1,5 мм.

Опытные данные о скорости коррозии образцов, размещенных на разных отметках по высоте бака, приведены на рис. 7.6. Легко видеть, что скорость коррозии стальных образцов имеет резко выраженный пик в средней зоне бака на отметке 5 м. Эти данные относятся к воде с малым содержанием растворенного кислорода (20—50 мкг/л) и нулевой концентрацией свободной углекислоты. На более коррозионно-активной воде с содержанием кислорода 200 –300 мкг/л в присутствии 1—2 мг/л углекислоты скорость коррозии в средней зоне (переменного смачивания) увеличивается примерно в 2,5 раза. Учитывая столь высокие скорости коррозии, соответствующие сильной и даже аварийной, необходимо противокоррозионную защиту выполнять в первую очередь в этой зоне.

Вместе с тем местная защита бака от коррозии не надежна, так как в нижней и верхней зонах она также носит (по данным наблюдений) язвенный характер. Это существенно снижает надежность баков-аккумуляторов и требует организации защиты внутренних поверхностей всего бака, кроме крыши и дна.

Способы защиты баков от коррозии можно подразделить на две группы. К первой группе относятся различные лакокрасочные и металлические покрытия, а также смазки, ко второй — катодная защита.

Ко всем материалам, применяемым для защиты баков, предъявляется требование сохранения норм качества горячей воды по ГОСТ 2874-73 «Вода питьевая». Ассортимент материалов, отвечающих этому требованию, весьма ограничен.

Для защиты от коррозии баков-аккумуляторов горячего водоснабжения можно применять силикатное покрытие на основе цинксиликатной краски ВЖС-41 [55], разработанной НПО «Пигмент».

Краску ВЖС-41 наносят в три слоя распылителем или кистью на очищенную от ржавчины, окалины и загрязнений поверхность бака из расчета 200—230 г/м² на один слой. Дополнительно наносят отвердитель — ортофосфорную кислоту (ГОСТ 10678-76).

Силикатное покрытие имеет ряд преимуществ перед другими покрытиями, в частности перед хлорсульфированным полиэтиленом. Сравнительные испытания в баке-аккумуляторе стальных образцов с различными покрытиями (табл. 7.1) проводились Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники им. В. Е. Веденеева.

Таблица 7.1. **Технология нанесения покрытий на образцы**

Покрытие	Количество слоев	Продолжительность межслойной сушки, ч	Общая толщина покрытия, мкм	Время выдержки до испытаний, сут
ЭКЖС-40	4	0,6	180	3
ЭП-755	4	24	—	7
Эпоксидная эмаль	3	24	300	7
ВЖС-41	3	2	180	6

Состояние покрытий оценивалось ежегодно путем осмотров образцов и покрытий ЭКЖС-40, ЭП-755 и ВЖС-41 и по изменению удельного электрического сопротивления ρ, измеряемого методом «мягкого» электрода [56].

Результаты длительных испытаний этих покрытий приведены на рис. 7.7. Удельное сопротивление ρ покрытий ЭП-755 и ЭКЖС-40 до испытаний было значительно выше, чем у краски ВЖС-41. Однако после года испытаний значение ρ покрытий ЭП-755 и ЭКЖС-40 резко снизилось и стало близко к ρ краски ВЖС-41. В дальнейшем имело место плавное снижение ρ покрытий ЭП-755 и ЭКЖС-40 и резкое повышение этого показателя краски ВЖС-41; к концу третьего года у ВЖС-41 его значение стало равно первоначальному значению ρ у покрытий ЭП-755 и ЭКЖС-40.

Снижение значений ρ хорошо корреспондируется с внешним состоянием покрытий, которые начали разрушаться уже через год. К концу третьего года покрытие ЭП-755 разрушилось на 70 %, а ЭКЖС-40 — на 20 %, причем особенно сильные разрушения произошли в зоне переменного смачивания стенок бака (соответственно 70 и 50 %). Упрочение покрытия ВЖС-41 с течением времени объясняется химическими процессами, происходящими в нем с мо-

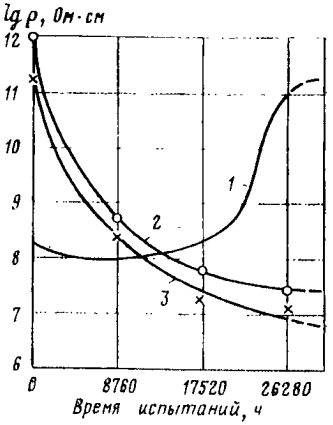


Рис. 7.7. Зависимость удельного сопротивления покрытий ρ от времени испытаний.

1 — ВЖС-41; *2* — ЭП-755; *3* — ЭКЖС-40.

мента нанесения краски. В первое время покрытие обладает высокой электрической проводимостью благодаря цинковой составляющей. Водорастворимый силикат калия, вступая в реакцию с цинком, образует нерастворимый силикат цинка. Кроме того, осаждается кремнезем и образуется гидрат окиси цинка. Структура пленки при этом уплотняется, ее сплошность и защитные свойства повышаются.

Достоинство покрытия ВЖС-41 не ограничивается наилучшими защитными свойствами по сравнению с другими покрытиями. Краска ВЖС-41 имеет ряд технологических преимуществ. Она без запаха, не токсична, взрыво- и пожаробезопасна, не требует специального растворителя и разводится водой, время сушки каждого слоя всего 2 ч, требуется меньшее количество слоев. Наконец, по сравнению с другими материалами (хлорсульфированный полиэтилен ЭП-755) краска ВЖС-41 имеет более низкую стоимость — 960 руб за 1 т.

В последние годы для защиты различного оборудования и сооружений от коррозии получают распространение металлизационные покрытия (см. гл. 6). Обладая определенными технологическими преимуществами, этот метод защиты имеет и недостатки. Для обеспечения высокого защитного эффекта покрытие должно состоять из нескольких слоев и иметь достаточную толщину (не менее 200 мкм). Перед нанесением покрытия необходима качественная подготовка поверхности металла путем дробеструйной или пескоструйной очистки. В связи с этим стоимость этих покрытий высокая.

Для защиты баков-аккумуляторов горячего водоснабжения в настоящее время используется покрытие из алюминия, как наиболее дешевого и менее дефицитного металла по сравнению с нержавеющей сталью и латунью. Имеющийся опыт применения металлизации баков алюминием пока недостаточен, чтобы судить о долговечности такого покрытия.

Общим недостатком всех видов покрытий является необходимость дополнительных затрат на периодические ремонтно-восстановительные работы. Этого недостатка лишены герметизирующие жидкости.

Герметизирующие жидкости для баков-аккумуляторов горячего водоснабжения должны быть не токсичны, не растворимы в воде, обладать высокой газонепроницаемостью для исключения аэрации и одновременно обеспечивать защиту внутренних поверхностей от коррозии. Разработанные отечественные составы ПГ-2, АГ-3А в основном отвечали этим требованиям, но не обладали достаточной стабильностью свойств при контакте с водой, нагретой до 70—95 °С. В дальнейшем Всесоюзным научно-исследовательским институтом нефтяного машиностроения (ВНИИнефтемаш) был разработан новый антиаэрационный герметик АГ-4. Герметик АГ-4 представляет собой структурированную вязкоподвижную эластичную жидкость со свойствами пленкообразующего покрытия.

В соответствии с ТУ 26-02-592-75 по своим качественным показателям герметик АГ-4 должен соответствовать требованиям и нормам, указанным в табл. 7.2.

Таблица 7.2. **Показатели качества герметика АГ-4**

Показатель	Норма	Методы испытаний
Внешний вид и цвет	Вязкоподвижная жидкость желтого цвета	Визуальный
Запах	Слабый запах минерального масла	Органолептический
Однородность состава	Однородный без комков и сгустков	Фильтрации
Плотность при 20 °С, г/см³, не более	0,92	По ГОСТ 3900-47
Вязкость при 20 °С по шариковому вискозиметру, с	40±10	По ГОСТ 8420-74
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не менее	150	По ГОСТ 4333—48
Содержание механических примесей	Отсутствуют	По ГОСТ 6370—59
Содержаиие водорастворимых кислот и щелочей	»	По ГОСТ 6307—75

Благодаря низкой массовой плотности, высокой газонепроницаемости и вязкоподвижным свойствам герметик создает на поверхности зеркала испарения воды постоянно плавающий защитный слой. Его толщину рекомендуется принимать 30—50 мм. Герметик предназначен для эксплуатации при температурах воды до 100 °С.

Лабораторные исследования, проведенные ВНИИнефтемашем (Д. А. Яковлев), показали более высокие антиаэрационные и антикоррозионные свойства герметика АГ-4 по сравнению с ранее выпускавшимся герметиком АГ-3А. Так, при испытаниях в водопроводной воде с температурой 70 °С скорость коррозии стальных прямоугольных образцов, предварительно обмазанных герметиком АГ-4, оказалась в 3 раза ниже, чем образцов, покрытых герметиком АГ-3А.

Лабораторные санитарно-гигиенические исследования герметика АГ-4, включавшие органолептические, санитарно-химические и санитарно-токсикологические исследования воды, проведенные Институтом санитарии и гигиены им. Эрисмана, показали, что он физиологически безвреден. Результаты исследований позволили рекомендовать герметик АГ-4 для применения в системах горячего водоснабжения.

Ценное свойство герметика — его способность при периодическом опускании и подъеме воды в баке образовывать на внутренней металлической поверхности самовосстанавливающуюся жидкую смазку, тормозящую развитие процесса коррозии. В эксплуатационных условиях на одной из ТЭЦ г. Ленинграда были проведены длительные комплексные исследования герметика АГ-4. Они включали наряду с коррозионными испытаниями санитарно-химические и органолептические исследования воды, находящейся в контакте с герметиком, а также наблюдения за показателями качества самого герметика. Исследования носили сравнительный характер и проводились одновременно на двух баках-аккумуляторах: бак *1* работал с герметиком *2*, бак *3* контрольный — без герметика (рис. 7.8). Для определения скорости коррозии применялись стальные пластинчатые образцы

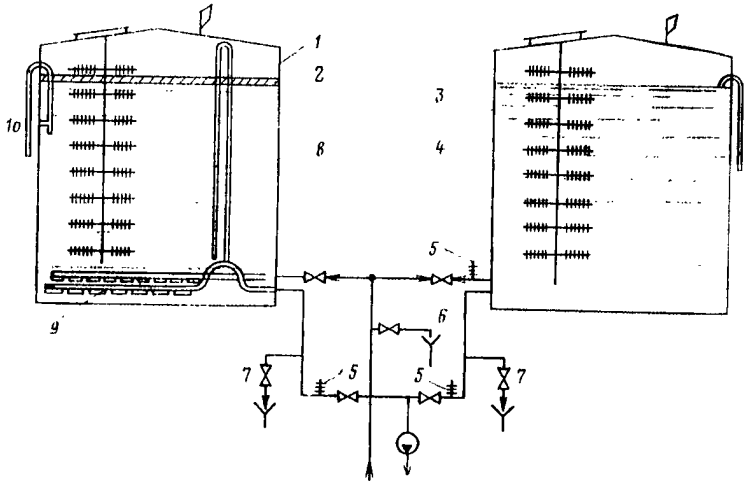


Рис. 7.8. Схема расположения образцов в баках-аккумуляторах с герметиком и без герметика.

4, которые устанавливались на разных уровнях по высоте баков. Образцы *5* помещались также до и после обоих баков. Наряду с этим имелись точки отбора проб воды до бака *6* и после бака *7*, позволявшие периодически контролировать качество воды. Результаты коррозионных испытаний выявили общую закономерность коррозионных процессов металла с герметиком и без него, суть которой сводится к следующему. Скорость коррозии по высоте бака с герметиком практически постоянна и близка к нулю (рис. 7.6), в баке без герметика она сильно меняется по высоте. В нижней зоне бака (отметки меньше 2 м), где находится только вода, и в верхней зоне (отметки выше 8 м), где имеется паровоздушная смесь, скорость коррозии значительно меньше, чем в средней зоне, наиболее опасной из-за периодического оголения металла и смачивания его водой. По образцам, стоявшим в баке 2200—12 600 ч, выявили аварийную скорость коррозии в средней зоне. Она в 3—6 раз превышала скорость коррозии в нижней и верхней зонах, которая находилась в допустимых пределах [0,02—0,05 г/(м²·ч)].

На основе результатов испытаний был сделан вывод, что применение герметика АГ-4 снижает скорость коррозии металла баков в 20—50 раз.

Эффективность защиты металла баков от коррозии герметиком АГ-4 хорошо иллюстрируется внешним состоянием образцов, помещенных в оба бака (рис. 7.9). Все образцы в баке с герметиком были покрыты сплошной тонкой пленкой жидкой смазки герметика, включая штангу для их размещения. После снятия смазки и соответствующей обработки образцы имели первоначальный металлический блеск и даже были видны риски от резца, сделанные при их изготовлении (рис. 7.9, *б* и *в*). На образцах из бака без герметика (рис. 7.9, *а*), простоявших тот же срок, просматриваются язвины, особенно на образцах из средней зоны бака.

Эффективность герметика как средства защиты деаэрированной воды от аэрации хорошо прослеживается с помощью образцов, установленных в трубопроводы до и после баков. На рис. 7.10 видно, что верхний *а* и нижний *в* ряды образцов до и после бака с герметиком имеют блестящую, совершенно чистую поверхность (заметны риски от резца при изготовлении образцов). Образцы в среднем ряду *б* (слева и справа) после бака без гер-

метика имеют многочисленные язвины коррозионного характера. Там же в середине ряда показан для сравнения образец, поверхность которого не подвергалась очистке. Он имеет интенсивные коррозионные отложения черного цвета.

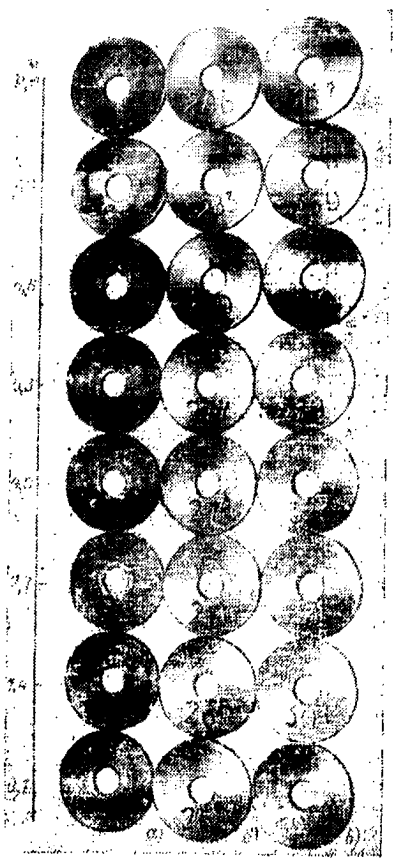


Рис. 7.9. Общий вид образцов, стоявших на разных уровнях баков-аккумуляторов, после снятия отложений.

При сравнении скорости коррозии образцов, которые стояли в трубопроводах на выходе из баков, были получены следующие данные. Независимо от продолжительности испытания скорость коррозии образцов, помещенных после бака, сообщающегося с атмосферой, была в 2,0—2,5 раза выше, чем у образцов из трубопровода до бака. Эти результаты четко демонстрируют влияние аэрации. Образцы, помещенные до бака и после бака с герметиком, имели практически одинаковую скорость коррозии, что подтверждает высокую газонепроницаемость герметика АГ-4 при толщине его слоя около 30 мм.

Концентрация растворенного кислорода в воде не является определяющим показателем для оценки размера аэрации, поскольку кислород расходуется на коррозию незащищенного металла баков, особенно в их средней зоне.

Исследования свойств герметика после года его эксплуатации в баках с деаэрированной водой подтвердили стабильность его свойств и соответствие их техническим условиям.

Исследованиями Ленинградского санитарно-гигиенического института было показано, что вода, находящаяся в контакте с герметиком АГ-4, не меняет своих свойств по запаху, цветности и мутности. Санитарно-химические исследования, включающие определение перманганатной окисляемости и бромирующих веществ, свидетельствующих о присутствии полимерных компонентов герметизирующей жидкости в воде, не выявили различия этих показателей в воде после баков с герметиком и без него. Эти результаты подтвердили, что и в эксплуатационных условиях контакт герметика АГ-4 с водой не ухудшает ее качества.

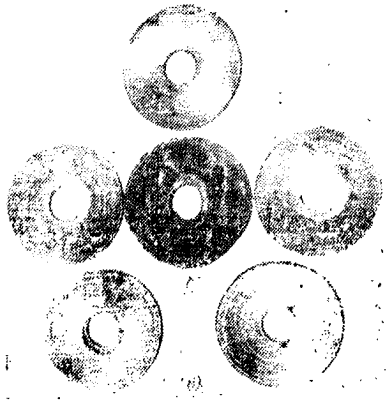


Рис. 7.10. Общий вид образцов, находившихся в трубопроводах подпиточной воды.

Герметик АГ-4 — сравнительно дорогой материал (600 руб/т). Для создания слоя на поверхности воды толщиной 40 мм, а на стенках бака и на днище — толщиной 1 мм расчетное количество материала меняется в зависимости от объема типовых баков (высотой 12 м) в соответствии со следующими данными:

Вместимость бака, м³ .	1000	2000	5000	10 000
Диаметр бака, мм . .	10 430	15 180	20 920	28 500
Необходимое количество герметика, т . . .	8	11	20	37

Важнейшим условием применения герметика должно быть исключение его попадания во всас насосов подпиточной воды и далее в тепловую сеть при понижении уровня воды в баках ниже минимального, а также исключение переливов в канализацию при переполнении бака. Несмотря на наличие у баков различного рода

Пономырькина Н.П Водоподготовка и ВХР тех. семей

сигнализаций и блокировок на случай их отказа, баки с герметиком необходимо оборудовать аварийно-предупредительным устройствами, обеспечивающими останов подпиточных насосов. Для этого всасывающий коллектор 9 (см. рис. 7.8) в баке выполняется с петлей того же диаметра, к верхней точке которой приваривается труба в виде сифона *8*. Конструкция такого устройства разработана ВНИПИэнергопромом и осуществлена на ряде баков электростанций. При понижении уровня воды ниже предельно допустимого (1,5 м от дна) через трубу-сифон во всасывающий коллектор подпиточного насоса попадает воздух, что приводит к срыву насоса и прекращению откачки воды из бака. Во избежание потери герметика вместе с водой через переливную трубу *10* последняя опускается внутрь бака на 2 м ниже установленного верхнего предела уровня воды в баках.

Загрузка герметика в баки, его выгрузка из них и хранение требуют организации специальных устройств, включающих емкости для хранения герметика и систему трубопроводов. Загрузка герметика в баки-аккумуляторы из емкостей для хранения осуществляется его выдавливанием сетевой водой, которая подводится снизу к баку хранения из бака-аккумулятора или линии резервного подвода воды.

Перегрузка герметика из бочек непосредственно в баки-аккумуляторы выполняется с помощью сжатого воздуха. Из-за высокой вязкости герметика при низких температурах наружного воздуха (ниже —5 °С) его загрузка затрудняется и ее не следует проводить при этих условиях.

Герметик АГ-4 обеспечивает комплексную защиту баков от коррозии и аэрации при использовании деаэрированных вод любого состава. Нельзя не учитывать также уменьшение охлаждения воды в баках с герметиком, что дает определенную экономию расхода топлива. Защита баков герметиком возможна при любых схемах размещения оборудования и разном теплоносителе на теплогенерирующих установках (ТЭЦ, водогрейные, котельные, баки на транзите или в конце тепловой сети).

При организации катодной защиты [57] обязательна дополнительная защита от аэрации с помощью паровой подушки, поэтому катодная защита не может быть реализована в водогрейных котельных и вне ТЭЦ. Сравнительные технико-экономические расчеты, проведенные с учетом всех факторов, выявили преимущества герметика АГ-4 по сравнению с катодной защитой.

В заключение необходимо отметить, что те или иные способы защиты баков-аккумуляторов от коррозии не только не исключают необходимости качественной деаэрации, а предъявляют повышенные требования к ней, поскольку при проскоках кислорода в баки растворенный кислород, не взаимодействуя с защищенным металлом баков, транзитом поступает в тракт подпиточной воды и способствует более интенсивной коррозии тепловой сети, обогащению подпиточной воды окислами железа и увеличению ее цветности.

7.3. Силикатный метод коррекционной обработки воды

Силикатная обработка подпиточной воды на ТЭЦ не исключает необходимости качественной деаэрации, уплотнения систем, выполнения защитных покрытий аккумуляторных баков и других мероприятий, обеспечивающих максимальную защиту оборудования от коррозии. Силикат натрия является ингибитором коррозии и его использование следует рассматривать как средство, повышающее надежность водно-химического режима тепловой сети.

Высокие ингибиторные свойства силикатов по отношению к различным металлам при температуре свыше 110 °С впервые были обнаружены при исследовании кремнеземистых геотермальных вод [58]. Дальнейшее изучение показало, что силикаты — это высокотемпературные ингибиторы, способные подавлять углекислотную, кислородную и подшламовую коррозию. Как уже указывалось ранее (см. § 6.3), на поверхности стали силикаты щелочных металлов создают прочный, плотный, но достаточно тонкий (20 мкм) защитный слой в виде соединения $Fe_3O_4 \cdot FeSiO_3$ [59, 60]. Выявлены факторы [61], влияющие на формирование защитных силикатных пленок (при повышенной температуре), а именно: pH и окислительно-восстановительный потенциал среды E_h.

Степень коррозии и защитные свойства пленок на металле (Ст 3) оценивались по значению поляризационного сопротивления $R_п$, возникающего на границе металл — электролит, а также по кривым анодной поляризации. В условиях естественной аэрации основой защитного действия силикатов в мягкой воде являются ионы SiO_3^{2-} и не щелочная среда, создающаяся в результате гидролиза силиката натрия. Из кривых рис. 7.11 видно, что в растворе без силиката натрия наблюдается постепенное снижение защитных свойств пленки; в то же время в присутствии этого ингибитора защитные свой-

ства образующейся пленки со временем заметно улучшаются. Из кривых рис. 7.12 видно, что в растворе с добавкой силикат-ионов происходит параллельный сдвиг анодной кривой поляризации в положительную сторону по сравнению с кривой, полученной без силикатов. Выявленная закономерность подтверждает образование защитных пленок и происходящее при этом блокирование части поверхности металла.

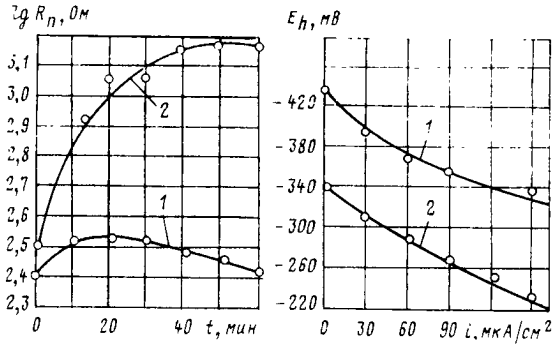


Рис. 7.11. Кинетика образования защитной пленки на стали Ст3 в условиях естественной аэрации и перемешивания раствора 0,001 Н Na_2SO_4 (pH=10, $t_в$=60 °С), $C_{Fe^{+3}}/C_{Fe^{2+}}$=0,5.

1 — без SiO_3^{2-}; *2* — содержание SiO_3^{2-} равно 25 мг/л.

Рис. 7.12. Анодные потенциодинамические поляризационные кривые для армкожелеза в 0,001 HNa_2SO_4 (pH=10, $t_в$=60 °С), снятые со скоростью 0,6 В/ч в условиях естественной аэрации.

1 — без SiO_3^{2-}; *2* — содержание SiO_3^{2-} 50 мг/л.

При силикатной обработке теплосети в зависимости от содержания растворенного кислорода механизм образования защитных пленок может быть различным. По тракту до деаэратора образование сплошных пленок ферросиликатов на металле в мягких водах маловероятно. Локальное их образование происходит при коррозии металла и интенсивном поступлении ионов Fe^{2+}, что способствует уменьшению E_h среды около поврежденных участков металла. Появления более совершенных сплошных пленок можно ожидать при силикатной обработке воды в тракте после деаэратора при низком содержании кислорода.

В [62] отмечается, что взаимодействие ионов железа с кремниевой кислотой в водных растворах возможно лишь при pH образования гидроокислов и выше. Реакция между кремниевой кислотой и металлами в растворе происходит до ее полимеризации. В противном случае возникали бы аморфные силикаты. Образование тонких экранирующих пленок, состоящих из соединений кремния, железа и кальция, было зафиксировано не только на металлах, но и на поврежденных лакокрасочных покрытий [58].

Защитные свойства силикатов были изучены в агрессивных минерализованных растворах, содержащих сероводородные соединения, применительно к условиям работы геотермальных установок, а также теплосетей, где появление сероводорода обусловлено жизнедеятельностью бактерий [63].

В практике коррекционной обработки воды тепловых сетей обычно применяется силикат натрия в виде жидкого стекла (30—32 % SiO_2, 10—12 % Na_2O, плотность 1,45—1,5 г/см³). Жидкое стекло для ТЭЦ с большим водоразбором (1000—3000 т/ч) поступает обычно в железнодорожных цистернах с нижним сливом. Слив производится в типовую ячейку для мокрого хранения реагентов (рис. 7.13). В зимний период загустевшее жидкое стекло перед разгрузкой разогревают острым паром непосредственно в цистерне.

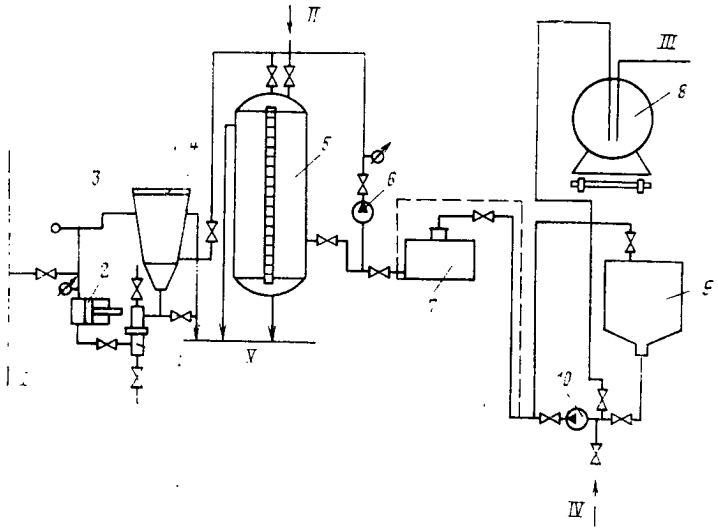


Рис. 7.13. Схема приготовления, хранения и ввода жидкого стекла в подпиточный тракт теплосети.

1 — сетчатый механический фильтр; *2* — насос-дозатор; *3* — предохранительный клапан; *4* — мерник суточного расхода; *5* — бак запаса; *6* — насос для перекачки и перемешивания жидкого стекла; *7* — емкость для перевозки жидкого стекла; *8* — железнодорожная цистерна; *9* — ячейка хранения жидкого стекла; *10* — насос перекачки жидкого стекла; *I* — трубопровод подпиточной воды; *II* — трубопровод умягченной воды (сетевой); *III* — трубопровод пара; *IV* — трубопровод подвода воды для промывки линий; *V* — трубопровод дренажа.

Место ввода силиката натрия в подпиточный тракт необходимо выбирать с учетом схемы химводоочистки. При малой жесткости исходной воды ($Ж_с$=0,5÷0,7 мг-экв/л) силикат натрия обычно вводится в сырую воду перед механическими фильтрами или в водопроводную воду. Следует избегать ввода силиката натрия перед

катионитными фильтрами, так как при этом снижается емкость поглощения катионита.

Перед началом обработки подпиточной воды силикатом натрия трубки теплообменных аппаратов должны быть очищены от отложений. До и в период силикатной обработки желательно провести полные химические анализы подпиточной сетевой воды в следующих точках тракта: на линии сырой воды, после водо-водяных подогревателей, после основного сетевого подогревателя, после деаэратора, после водо-водяного охладителя, на линиях прямой и обратной воды теплосети. В этот же период необходимо измерять температурные напоры и присосы в сетевых подогревателях и конденсаторах, так как состояние поверхности теплообменных аппаратов непосредственно отражается на выработке электроэнергии и водном режиме котлов. При больших присосах воды и трудности их устранения необходимо следить за содержанием кремниевой кислоты, чтобы не превысить нормы ПТЭ по этому показателю.

Силикатный метод обработки был первоначально разработан и внедрен на ряде ТЭЦ с открытым водоразбором и подпиткой теплосети речной и водопроводной водой с общей жесткостью 0,5 — 0,7 мг-экв/л и щелочностью 0,5 мг-экв/л [66].

До введения силикатной обработки за сравнительно небольшой период испытаний на ТЭЦ отмечалась высокая скорость коррозии образцов из латуни Л-68 (рис. 7.14, *а*), установленных после конденсатора (на речной воде) и особенно после водо-водяного и основного подогревателей. Скорость коррозии образцов, установленных после конденсатора с ухудшенным вакуумом, была в 4 раза меньше, чем образцов, установленных после конденсатора, охлаждаемого речной водой, но в то же время на них обнаружились следы обесцинкования. Латунь ЛО-70-1 и медь имели несколько большую коррозионную стойкость, чем Л-68. Индикаторы коррозии, изготовленные из углеродистой стали, подверглись наибольшему разрушению после деаэратора (скорость коррозии более 0,2 мм/год). Их поверхность покрылась неровным слоем бугристых игольчатых отложений в местах непосредственного разрушения металла; под отложениями образовались язвы глубиной 0,2 — 0,3 мм. Значительные отложения имели место на поверхности образцов после водоохладителя. Индикаторы коррозии, изготовленные из нержавеющей стали, показали высокую коррозионную стойкость во всех точках питательного тракта. Во всех сетевых подогревателях наблюдался занос внутренних поверхностей трубок продуктами коррозии железа (толщина слоя до 0,5 — 1 мм), что повышало температурный напор с 15 до 34 °С.

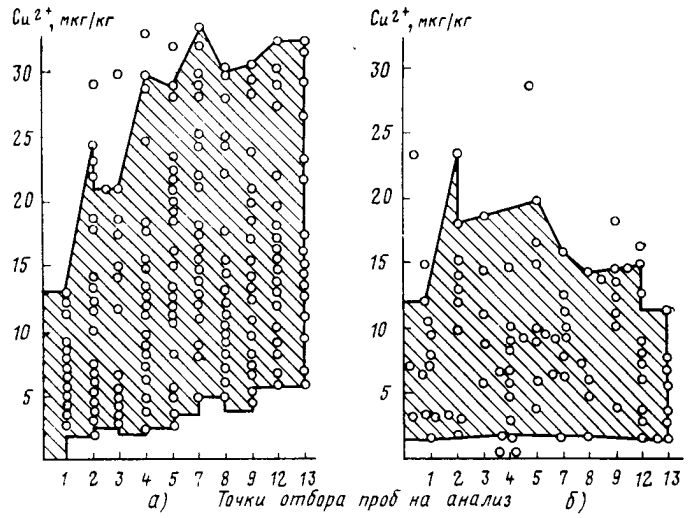


Рис. 7.14. Содержание меди по тракту.

а — до ввода силиката натрия; *б* — после ввода силиката натрия; *1* — речная вода; *2* — вода после конденсатора; *3* — после механического фильтра; *4* — после водо-водяного подогревателя; *5* — после основного сетевого подогревателя; *7* — после пикового подогревателя; *8* — смесь подпиточной и сетевой воды; *9* — после конденсатора; *12* — после сетевого подогревателя; *13* — прямая сетевая вода.

Силикат натрия (в виде жидкого стекла $N_2O \cdot 3SiO_2$) начали вводить в сырую воду перед механическими фильтрами в количестве 10 — 15 мг/л в пересчете на SiO_3^{2-}. Об эффективности обработки судили по степени обогащения воды железом, продуктами коррозии латуни и потерям массы образцов, установленных по тракту.

Как видно из рис. 7.14 и 7.15, в период обработки силикатом натрия произошла некоторая стабилизация содержания меди и цинка в подпиточной и сетевой воде, исчезли пики, характеризующие интенсивную коррозию теплообменных аппаратов. Содержание в воде продуктов коррозии латуни после конденсатора, работающего на сырой необработанной воде, осталось практически без изменений. Концентрация железа по тракту после полугодовой обработки силикатом уменьшилась в 2 раза и составляла примерно 400 мкг/л, а во многих случаях 300 мкг/л, что соответствовало нормам для систем с открытым водоразбором.

Температурный напор в сетевых подогревателях и подогревателях горячего водоснабжения снизился на 4 — 6 °С.

Коррозионные потери стальных образцов, установленных в тех же точках питательного тракта, уменьши-

лись примерно в 7 раз. Образцы после деаэратора покрылись плотной ровной пленкой, похожей на искусственное покрытие. Образцы после водоохладителя имели блестящую поверхность с точечными отложениями. На поверхности образцов из нержавеющей стали не было обнаружено никаких признаков разрушения.

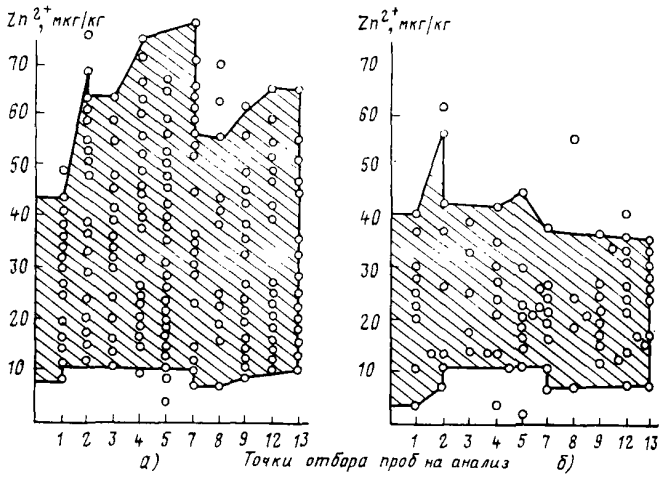


Рис. 7.15. Содержание цинка по тракту.
а — до ввода силиката; *б* — после ввода силиката; *1—13* — то же, что на рис. 7.14.

Приведенные выше данные свидетельствуют о целесообразности использования силикатной обработки воды для надежной защиты тракта после деаэратора в условиях проскока кислорода, обычно наблюдающегося при переменных гидравлических режимах подпитки теплосети.

Показателем коррозии подпиточного тракта до деаэратора служит уменьшение содержания растворенного кислорода. При отсутствии силикатной обработки воды на сравнительно коротком участке и средней подпитке 500 — 600 т/ч происходит заметное уменьшение содержания растворенного кислорода. Так, при начальной концентрации 13,4 мг/л содержание кислорода снижается до 6,6 мг/л, а при начальной концентрации 9,4 — до 4,9 мг/л. Через 40 — 50 дней после начала силикатной

обработки наблюдается стабилизация содержания кислорода. При периодических перерывах дозирования жидкого стекла, как показывает практика эксплуатации тепловых сетей, при низких pH исходной воды концентрация железа постепенно растет (рис. 7.16).

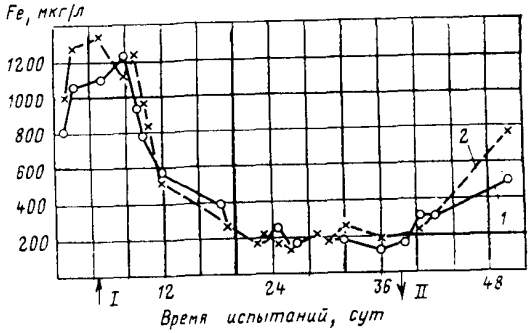


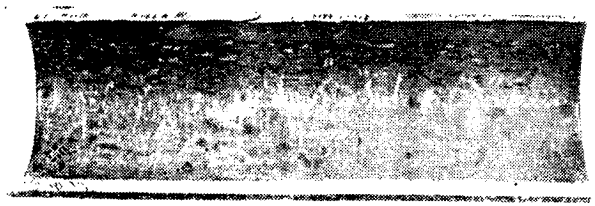
Рис. 7.16. Содержание окислов железа в воде теплосети при вводе в подпиточный тракт SiO_3^{2-} в количестве 14—16 мг/л.
I — ввод силиката; II — ввод силиката прекращен; *1* — прямая вода; *2* — обратная вода.

При исследованиях на опытно-промышленной установке одноступенчатого высокотемпературного теплоснабжения со скрубберным водогрейным котлом было доказано, что обработка силикатом натрия Na-катионированной воды при температуре вплоть до 200 °С является надежным средством предупреждения различных видов коррозии (подшламовой, кислородной, углекислотной) [67, 68]. Опыт эксплуатации ряда ТЭЦ с подпиткой теплосети водой с общей жесткостью не выше 0,5 мг-экв/л показал, что коррозионные процессы резко снижаются и накипь в водогрейных котлах и теплообменниках при силикатной обработке отсутствует. Внедрение этого метода для обработки вод с более высокой жесткостью потребовало разработки соответствующего режима эксплуатации водоподготовительного оборудования во избежание накипеобразования в сетевых подогревателях и водогрейных котлах.

На одной ТЭЦ, оборудованной водогрейными котлами ПТВМ, в период внедрения силикатной обработки подпиточной воды наблюдали за состоянием поверхностей нагрева котлов. Исходная водопроводная вода ($Ж_о = 4{,}5 \div 8$ мг-экв/л, $SO_4^{2-} = 80 \div 250$ мг/л, солесодержание 400—600 мг/л) подвергалась частичному умягчению. При стабильной работе городского водопровода по качеству воды в схеме Н-катионирования с голодной регенерацией фильтров карбонатную щелочность после буферных фильтров выдерживали в пределах 0,1—0,5 мг-экв/л. Дозировкой силиката натрия увеличивали pH с 7,2 до 8,4 — 8,8 (при этом увеличивали гидратную щелочность на 0,1 мг-экв/л). В этих условиях требовалось 7—9 мг/л SiO_3^{2-} для до-

стижения указанных pH. Контрольные вырезки образцов труб котлов были сделаны до и в период снликатной обработки подпиточной воды.

Осмотр вырезок (рис. 7.17, *а*) из экранной части котла показал, что имеются небольшое количество плотных отложений толщиной до 0,1 мм коричневого цвета, равномерных по поверхности, а также язвы глубиной до 0,5 мм, образовавшиеся ранее и закрытые тонким слоем плотных отложений. До силнкатной обработки удельная



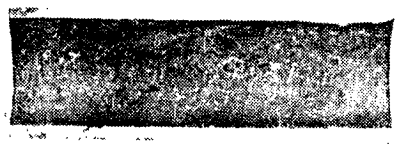


Рис. 7.17. Вырезки из водогрейного котла после силикатной обработки.

а — фронтовой экран, район горелок (водогрейный котел ПТВМ-100); *б* — конвективная часть водогрейного котла ПТВМ-100 (12-й пакет).

загрязненность экранной трубы равнялась 1743 г/м² (после 3 мес эксплуатации), в период силикатной обработки — 513 г/м² (спустя 1,5 года после кислотной промывки). Конвективный пучок имел удельную загрязненность соответственно после 2100 ч эксплуатации 768 и после 8600 ч 708 г/м² (рис. 7.17, *б*). Произошло изменение характера отложений в конвективном пучке. До силикатной обработки отложения легко снимались катодным травлением; под ними имелись многочисленные язвы. При силикатной обработке наблюдались двухслойные отложения; их верхний слой катодным травлением снимался легко, а нижний не снимался. Язв под слоем отложений не было.

Межпромывочный период эксплуатации водогрейного котла целесообразно устанавливать по удельной загрязненности поверхностей нагрева: она должна быть не выше 1000 г/м². На рассматриваемой ТЭЦ при силикатной обработке и контроле за сульфатами и жесткостью подпиточной воды межпромывочный период водогрейных котлов был оценен в 12—14 тыс. ч.

При постоянной дозировке силиката натрия улучшается работа вакуумных деаэраторов. Это связано с тем, что силикаты, увеличивая щелочность воды, переводят

свободную углекислоту в бикарбонаты и тем самым снижают объем газов, удаляемых деаэратором, т. е. увеличивают его производительность по кислороду. Кроме того, силикаты стабилизируют соединения двухвалентного железа (переносчика кислорода). При силикатной обработке содержание кислорода стабилизировалось в обратной воде на уровне 20 — 40 мкг/л. Цветность воды в прямой и обратной линиях теплосети снизились в 2 — 3 раза.

ВТИ разработаны рекомендации по ведению режима силикатной обработки подпиточной и сетевой воды на ТЭЦ.

При обработке вод с низким содержанием сульфатов (не более 2 мг-экв/л) соотношение в подпиточной воде кальциевой жесткости и общей щелочности для указанного интервала температуры и значений pH должно быть:

а) $Ж_{Ca} Щ_o \leqslant 1{,}5$ мг-экв/л при $pH = 8{,}5 \pm 0{,}1$ и $t = 101 \div 150$ °С;

б) $Ж_{Ca} Щ_o \leqslant 1{,}2$ мг-экв/л при $pH = 8{,}5 \pm 0{,}1$ и $t = 151 \div 200$ °С.

При силикатной обработке вод с высокой кальциевой жесткостью и повышенным содержанием сульфатов соотношение в подпиточной воде кальция, сульфатов и силикатов должно быть таким, чтобы исключить возможность выпадения из растворов твердой фазы $CaSO_4$, $CaSiO_3$. Концентрация SiO_3^{2-} в обрабатываемой воде должна выбираться в зависимости от состава исходной воды и схемы водоподготовки. При высокой жесткости $Ж_{Mg}$ (выше 0,7 мг-экв/л) во избежание образования отложений на трубах водогрейных котлов серпентина ($3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$) необходимо ограничить дозу силиката до 8 мг/л и понизить модуль жидкого стекла до 2 — 2,4 добавлением щелочи. При дозировке силиката натрия содержание кремниевых соединений в исходной воде можно не учитывать. Во многих случаях достаточно с помощью силиката натрия добиться окраски подпиточной воды по фенолфталеину. Это уже в несколько раз замедляет коррозионные процессы.

Для поддержания рекомендаций по щелочности и жесткости должна применяться водоподготовка по одной из схем Na- или H- Na-катионирования, позволяющих снизить общую жесткость и щелочность подпиточной воды.

В аварийных ситуациях, когда для подпитки системы пользуются сырой водой, необходимо выдержать нормы по $Ж_{Ca}$ $Щ_o$, указанные выше, путем соответствующего изменения режима работы установок водоподготовки. Если это невозможно по эксплуатационным причинам, следует временно отключить силикатную обработку до восстановления нормального качества сетевой воды по $Ж_{Ca}$ и $Щ_o$.

Эффективность метода силикатной обработки воды подпиточного и сетевого трактов может быть оценена по следующим показателям:

1) продлению срока службы латунных трубок теплообменных аппаратов, в том числе конденсаторов турбин с режимом ухудшенного вакуума, подогревателей подпиточной воды и сетевых;

2) увеличению срока службы внутристанционного трубопровода подпитки теплосети;

3) снижению заноса отложениями подогревателей подпиточной воды и сетевых, что уменьшает температурный напор на 4 — 6 °С и сокращает число механических и кислотных очисток;

4) снижению заноса отложениями конденсаторов турбин, работающих в режиме ухудшенного вакуума, и водогрейных котлов;

5) снижению содержания железа и цветности в подпиточной и сетевой воде и доведению их до норм ГОСТ «Вода питьевая».

Силикатная обработка сетевой воды приводит к возрастанию удельных затрат на 0,1 — 0,5 коп/м³. Удорожание существующих систем водоподготовки составляет при этом 2 — 5 % в зависимости от производительности установок.

Затраты на организацию противокоррозионного мероприятия следует сопоставить с суммарными расходами на восстановление пораженных коррозий трубопроводов и оборудования систем теплоснабжения. В эти расходы должны включаться не только стоимость восстановления конструкций, но и ущерб, вызванный частичным или полным прекращением теплоснабжения потребителей. Экономический эффект от внедрения метода силикатной обработки воды оценивается в 60 — 100 тыс. руб/год по системе теплоснабжения с непосредственным водоразбором мощностью 350 — 580 МВт (300 — 500 Гкал/ч).

7.4. Консервация оборудования подпиточного тракта и теплосетей

Образование железоокисных отложений в значительной степени обусловлено тем, что не выполняется консервация оборудования в период его остановки.

Различают несколько видов остановок оборудования теплосети: вывод котлов в резерв на короткий период (до 3 сут); остановка котлов на ремонт; вывод водогрейных котлов после отопительного сезона в длительный резерв (более 3 сут); остановка оборудования теплосети на капитальный ремонт.

В первом случае котел ставится «на проток» сетевой водой. При этом 1 раз в сутки из котла через воздушники удаляют скопившиеся газы. Во втором вода из котла дренируется полностью. Образующиеся в процессе консервации защитные пленки имеют малую стойкость.

При длительной остановке, а также по окончании отопительного сезона должна проводиться консервация водогрейных котлов. При консервации водогрейных котлов раствором силиката натрия следует обратить особое внимание на возможность коагуляции силикатов под действием солей жесткости, находящихся в сетевой воде. Так, в растворе силиката натрия 1000 мг/л в пересчете на SiO_3^{2-} с модулем 3 ($Na_2O \cdot 3SiO_3$) легкая опалесценция появляется при кальциевой жесткости мг-экв/л; при увеличении жесткости раствора до мг-экв/л наблюдается образование мелкодисперсной взвеси, а при кальциевой жесткости 3 мг-экв/л происходит интенсивное выделение хлопьевидного осадка.

Растворы силиката натрия с модулем 1 и 2 представляют собой почти чистокристаллизационные системы, в то время как растворы с модулем выше 2 уже имеют явно выраженный коллоидный характер. Когда исходный раствор жидкого стекла разбавляют сетевой водой с кальциевой жесткостью выше 0,5 мг-экв/л, следует понижать модуль жидкого стекла прибавлением к раствору едкой щелочи или приготовлять консервирующий раствор на конденсате. Защитная концентрация силикатов для непроточных систем должна быть не менее 1000 мг/л (в пересчете на SiO_3^{2-}) [69]. Для консервации водогрейного котла, например ПТВМ-100 с водяным объемом 30 м³, расход силиката натрия (жидкое стекло) составит 85 — 103 кг.

Основное условие успешной консервации — тщательное заполнение защищаемого оборудования консервирующим раствором заданной концентрации.

Для приготовления и подачи консервирующего раствора используется прямоточный или емкостный способ. В первом способе (рис. 7.18) раствор жидкого стекла из реагентного бака насосом-дозатором подается в трубопровод, используемый для заполнения защищаемого оборудования.

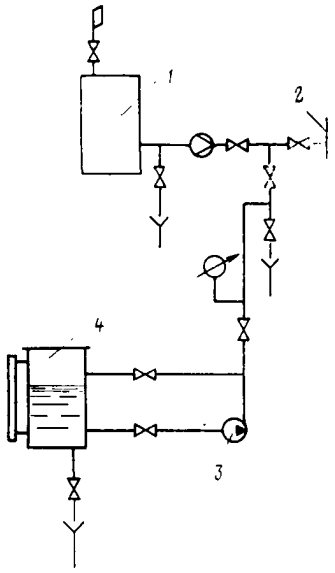


Рис. 7.18. Прямоточная схема консервации.

1 — защищаемое оборудование; *2* — трубопровод теплосети; *3* — насос-дозатор; *4* — реагентный бак.

Применение прямоточной схемы приготовление консервирующего раствора наиболее рационально при консервации систем с большим водяным объемом и отсутствии баков достаточной вместимости. В схеме консервации водогрейных котлов насос-дозатор часто заменяется эжектором (рис. 7.19). Сетевые подогреватели (основные и пиковые) можно консервировать силикатом натрия лишь по линии сетевой воды (загрязнение пара силикатами недопустимо). Схема консервации может быть аналогична той, которая применяется для водогрейных котлов.

Емкостная схема приготовления рабочего консервирующего раствора имеет определенные преимущества: постоянство концентрации концентрирующего раствора, возможность рециркуляции консервирующего раствора обратно в емкость. Выбор емкостей и насосов зависит от вида защищаемого оборудования и в целом аналогичен их выбору для схем кислотной промывки. В части вспомогательного оборудования рекомендуется совмещать схемы химической очистки и консервации. Например, на одной ТЭЦ в указанных целях пользуются баком вместимостью 30 м³ (в нем готовится рабочий раствор силиката 3000 мг/л в пересчете на SiO_3^{2-}) и насосом.

На рис. 7.19 показана схема консервации водогрейных котлов. Котел отделяется от рабочей схемы, заполняется раствором и ставится на рециркуляцию, которая проводится в течение 1 — 2 сут без подогрева (t=30 °С); через воздушники 1 раз в смену удаляются накопившиеся газы. Рециркуляция обязательна, когда для разбавления жидкого стекла пользуются сетевой водой с повы-

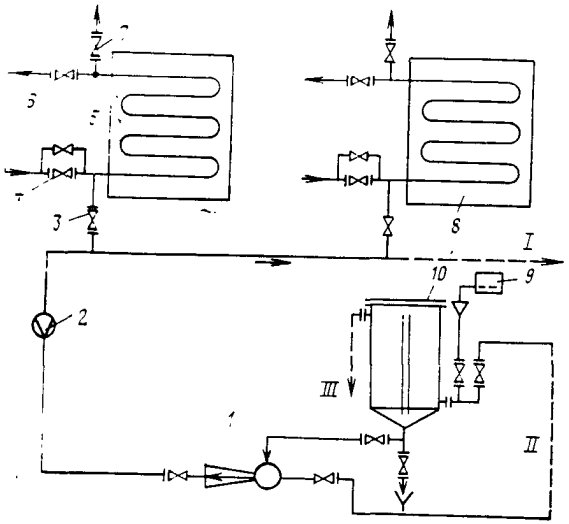


Рис. 7.19. Схема консервации водогрейных котлов ПТВМ-100 и ПТВМ-180 силикатом натрия.

1 — эжектор; *2* — расходомерная шайба; *3* — подвод силиката натрия; *4* — задвижка на входе сетевой воды в котел; *5* — байпас; *6* — задвижка на выходе из котла; *7* — воздушник; *8* — водогрейный котел; *9* — бочка с силикатом натрия; *10* — бак-мерник вместимостью 650 л; *I* — трубопровод к водогрейным котлам; *II* — трубопровод сетевой воды; *III* — переливная линия.

ленной общей жесткостью (выше 1 мг-экв/л), особенно магниевой, во избежание локального отложения силикатов.

Котлы, работающие в качестве основных источников теплоснабжения, на летний период в средней полосе Советского Союза останавливаются обычно на 5 — 6 мес, пиковые котлоагрегаты — примерно на 7 мес.

В ряде случаев при выводе водогрейных котлов в длительный резерв, обычно в летний период, когда работают только сетевые подогреватели, котлы ставятся на «проток» сетевой воды. Более надежна схема запол-

нения котлов консервирующим раствором (не менее 1000 мг/л в пересчете на SiO_3^{2-}) с периодически включаемой рециркуляцией на 1,5 — 2 ч в сутки.

При остановке теплосетей на капитальный ремонт водогрейные котлы консервируются по одной из описанных схем.

После проведения кислотно-щелочной промывки целесообразно ставить водогрейные котлы на рециркуляцию раствором силиката натрия 1000 мг/л на 2 ч с температурой 70 — 80 °С (без огневого подогрева). Расконсервация котла осуществляется путем дренирования раствора или его вытеснения в теплосеть небольшими порциями по 5 м³/ч в течение 5 — 6 ч.

В начале отопительного сезона теплосети включаются на циркуляцию без тепловой нагрузки по котлам ПТВМ. В этот период (1 — 2 нед) целесообразно создавать в тракте теплосети концентрацию силиката натрия в 2 — 3 раза выше норм, установленных для схем водоподготовки.

7.5. Улучшение качества воды в тепловых сетях с непосредственным водоразбором

Одним из главных недостатков открытых систем теплоснабжения является нестабильное качество воды по органолептическим показателям в точках водоразбора у потребителей. Это обусловлено многими причинами.

При использовании исходной водопроводной воды, которая должна всегда применяться для открытых систем теплоснабжения с непосредственным водоразбором, известны случаи ухудшения качества воды у потребителей по цветности и запахам. Это характерно для поверхностных источников водоснабжения (например, для невской воды), часто содержащих растворенные органические вещества. Появление в сетевой воде гнилостных и сероводородных запахов в основном связано с жизнедеятельностью микроорганизмов, развивающихся в отопительных радиаторах и обратных трубопроводах тепловой сети [70]. Массовому развитию микроорганизмов благоприятствуют отсутствие растворенного кислорода, низкие температуры (40 — 70 °С) и малые скорости движения воды (в радиаторах менее 0,1 м/с). Когда используются в качестве источника водоснабжения артезианские скважины, вода которых не содержит органических веществ,

запахи и ухудшение цветности в сетевой воде не наблюдаются.

Запахи в воде, появляющиеся в результате развития микрофлоры, можно устранить тщательной гидропневматической промывкой и последующей кратковременной термической обработкой (стерилизацией) отопительных систем путем подачи в них через обратные линии сетевой воды с температурой 105 — 110 °С [71]. Несмотря на эффективность этого способа, он не получил массового применения из-за большой трудоемкости и высоких эксплуатационных затрат.

К основным загрязнениям сетевой воды относятся окислы железа, которые появляются в подпиточной и сетевой водах в результате коррозии подпиточного тракта до деаэраторов, попадания кислорода и свободной углекислоты в подпиточную воду после деаэраторов и далее в тепловую сеть при нарушении режима работы деаэраторов. (Вопросы загрязнения воды окислами железа более подробно рассмотрены в гл. 8.) Ухудшению качества воды способствуют аэрация в баках-аккумуляторах, а также попадание воздуха в системы отопления при их оголении в результате нарушения гидравлических режимов тепловой сети, вызванных водоразбором из обратной линии.

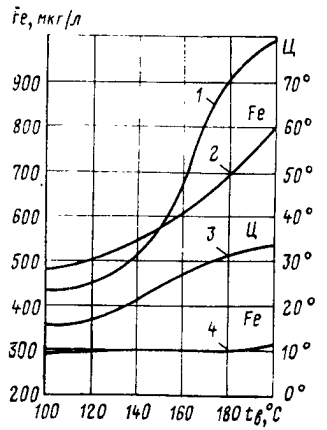


Рис. 7.20. Цветность Ц и содержание железа Fe в зависимости от температуры воды $t_в$.

1, 2 — соответственно цветность и железо до дозирования силиката натрия; *3, 4* — то же при дозировании 20 мг/л силиката натрия (по SiO_3^{2-}).

Особую актуальность в системах с непосредственным водоразбором приобретает исправление недостатков водно-химического режима (при проскоках в подпиточную воду растворенного кислорода и свободной углекислоты).

Дозирование силиката натрия в подпиточную воду позволяет существенно улучшить качество сетевой воды довести ее до требований ГОСТ, в частности по цветности [68]. Увеличение цветности воды, значительно

Лапотникина Н.П Водоподготовка и ВХР тех. сетей

превышающее установленную норму (20 °), обычно наблюдается при ее нагреве выше 120 °С. Кривые на рис. 7.20 показывают, как изменяются цветность и содержание железа при нагревании волжской воды, умягченной по схеме Na-катионирования, в отсутствие и при наличии силикатной обработки.

Внедрение силикатной обработки подпиточного и сетевого трактов на ряде ТЭЦ Ленэнерго позволило резко снизить эти показатели и довести их практически до нормируемых значений [49].

По кривой *1* на рис. 7.21 четко прослеживается влияние отопительных систем на цветность воды в тепловой

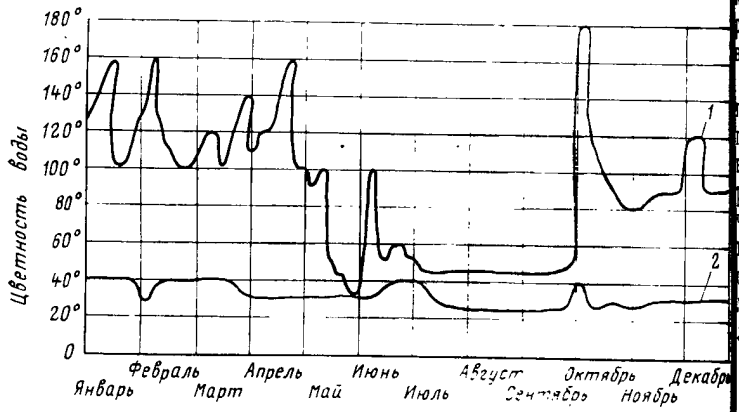


Рис. 7.21. Цветность воды в тепловых сетях от разных ТЭЦ г. Ленинграда.

1 — сетевая вода на ТЭЦ-15; *2* — то же на ТЭЦ одного из заводов.

сети от ТЭЦ-15 Ленэнерго (данные за 1975 г). Отключение в летний период систем отопления приводит к резкому снижению цветности, которая, однако, остается значительно выше нормы. Кривая *2*, относящаяся к тому же периоду, характеризует цветность воды в более «благополучной» тепловой сети от ТЭЦ одного из заводов. Источником подпиточной воды на обеих ТЭЦ является вода из городского водопровода. Обращает на себя внимание стабильная цветность воды в зимний и летний периоды и сравнительно низкая цветность воды теплосети от ТЭЦ завода в течение года. Эти показатели были дос-

тигнуты при внедрении комплекса мероприятий по улучшению качества воды в системе: деаэрации воды, коррекционной силикатной обработки, защиты бака-аккумулятора от коррозии и воды в нем от аэрации. Эти результаты показывают, что даже при такой неблагоприятной исходной (невской) воде можно добиться улучшения качества сетевой воды.

Одним из путей повышения качества воды систем горячего водоснабжения при непосредственном водоразборе является переход на независимую схему присоединения местных систем отопления через водо-водяные подогреватели. При этой схеме один из главных источников ухудшения качества сетевой воды, идущей на водоразбор, — отопительные системы — отделяется от тепловой сети.

Другой возможный способ улучшения качества воды при зависимой схеме присоединения систем отопления — применение при массовом жилищном строительстве конвекторных отопительных приборов вместо металлоемких радиаторов. Использование конвекторов наряду со значительным экономическим эффектом способствует повышению качества разбираемой воды, так как конвекторы обеспечивают высокие скорости движения теплоносителя и, следовательно, не являются отстойниками для железоокисного шлама в отличие от радиаторов.

Глава восьмая

ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

8.1. Основные положения и задачи

При проектировании и эксплуатации теплофикационных систем серьезное внимание уделяется организации их рационального водно-химического режима. Он должен обеспечивать нормативные показатели качества добавочной и сетевой воды, поддержание которых должно предотвратить накипе- и шламообразование, а также коррозионные повреждения в оборудовании и по всему тракту сетей. Нормы на качество добавочной и сетевой воды установлены на основании исследований химических процессов, происходящих при нагревании воды, а

также результатов многолетней эксплуатации теплофикационных систем разного типа. Нормативные показатели воды тепловых сетей даны в ПТЭ и должны соблюдаться при эксплуатации любых тепловых сетей Советского Союза. Нормы на качество подпиточной и сетевой воды прежде всего должны обеспечить безнакипную работу наиболее требовательных к воде агрегатов — водогрейных котлов.

Для предотвращения карбонатного накипеобразования ограничивается концентрация ионов кальция и бикарбонатов.

Нормы качества подпиточной воды служат проектным организациям руководящим материалом при выборе схем водоподготовки для каждой конкретной теплосети. Практика эксплуатации тепловых сетей закрытого типа выявила необходимость учитывать при определении объема добавляемой в теплосеть воды (производительности химводоочистки) как объем присоса необработанной воды через неплотности в подогревателях, так и потери воды из теплосети из-за неорганизованного водоразбора. Присосы и потери следует учитывать также при выборе качества исходной и схемы очистки подпиточной воды.

Если качество воды, добавляемой в теплосеть любого типа, определяется схемой установки водоподготовки и правильной ее эксплуатацией, а также нормальной работой деаэрационного узла, то качество сетевой воды во многом зависит от работы теплофикационного оборудования и подогревателей, находящихся в ведении потребителей и службы теплосети. Между тем безнакипная и вообще нормальная бесперебойная работа водогрейных котлов в той степени, в какой на нее влияет водно-химический режим, определяется качеством именно сетевой воды, поскольку в котел поступает как вода, возвращаемая от потребителей (вода обратной магистрали), так и вода, добавляемая для покрытия водоразбора и потерь в сети (открытая система) или только потерь (закрытая система). Ухудшение качества сетевой воды в результате присосов сырой воды и примесей, выносимых из местных отопительных приборов, оказывает отрицательное влияние на работу водогрейных котлов. Иначе говоря, забота о поддержании водно-химического режима в пределах норм, указанных в ПТЭ, является задачей не только работников ТЭЦ и районных котельных (источники тепла и воды), но и работников тепловых сетей, обслуживающих теплотрассы и тепловые пункты. Мероприятия для повышения надежности водно-химического режима тепловых сетей, которые должны осуществляться потребителями тепла и воды, изложены ниже (см. § 8.2, и 8.3).

8.2. Источники загрязнения воды тепловых сетей окислами железа

Многолетняя эксплуатация ряда систем теплоснабжения с котлами типа ПТВМ показала, что при соблюдении норм качества подпиточной воды и отсутствии пристенного кипения в водогрейных котлах отложения на поверхностях их нагрева отсутствуют (ТЭЦ и котельные Ленэнерго, Мурманскэнерго, Иркутскэнерго). Однако в большинстве случаев на объектах, использующих исходные воды средней минерализованности и оборудованных деаэрационными установками, появляется значительное количество окислов железа в сетевой воде, что отрицательно сказывается на работе водогрейного оборудования.

Количественная оценка источников загрязнения окислами железа сетевой воды, выполненная на основании испытаний и сбора данных по некоторым системам теплоснабжения, дана в табл. 8.1 [72].

Действующие нормы на качество подпиточной воды тепловых сетей ограничивают содержание в ней кислорода 50 мкг/л и требуют полного отсутствия свободной углекислоты. В практике эксплуатации нередки длительные нарушения этих норм в связи с неполной деаэрацией (при перегрузках) или заражением воды воздухом в баках-аккумуляторах при неправильно организованном подводе в них деаэрированной воды. Даже незначительные отклонения от норм приводят к существенному загрязнению сетевой воды окислами железа, а также к интенсивной коррозии металла водогрейных котлов и отводящей прямой магистрали.

Окисление железа в присутствии свободной углекислоты в случае ее неполного удаления из воды можно представить следующим образом: образование бикарбоната железа и далее образование окислов железа:

$$Fe - 2e^- \rightarrow Fe^{2+};$$

$$H_2CO_3 \rightleftarrows H^+ + HCO_3^-;$$

$$2e^- + 2H^+ \rightarrow H_2\uparrow;$$

$$\frac{Fe^{2+} + 2HCO_3^- \rightleftarrows Fe(HCO_3)_2}{4Fe(HCO_3)_2 + O_2 = 2Fe_2O_3 + 8CO_2 + 4H_2O}.$$

При этом каждая единица массы кислорода в присутствии свободной остаточной углекислоты будет соответствовать

$$4Fe/O_2 = 4 \cdot 56/32 = 7 \text{ ед. массы Fe.}$$

При содержании кислорода в подпиточной воде 50 мкг/л в сетевую воду поступит 0,35 мг/л железа. Это значение почти соответствует требованию ГОСТ 2874-73 на воду, поступающую на горячий водоразбор (0,3 мг/л).

Рассмотрим случай отклонения от нормы качества подпиточной воды по содержанию кислорода в схеме с непосредственным водоразбором. При расходе подпиточной воды 1000 т/ч и концентрации кислорода 100 мкг/л (результат нарушений режима деаэрации и т. п.) в сетевую воду будет поступать 100 г/ч кислорода. При наличии в воде остаточной свободной углекислоты в результате коррозии будет образовываться ежечасно 700 г окислов железа (в пересчете на Fe). За 1000 ч работы оборудования образуется около 1 т окислов железа (в пересчете на Fe_2O_3). Это количество, отнесенное к поверхности нагрева водогрейного котла ПТВМ-100 (3000 м²), дает удельную загрязненность около 300 г/м². В течение одного отопительного сезона (2000—4000 ч) накопление железоокисных отложений, как показывает практика эксплуатации, вызывает повышение гидравлического сопротивления котла и ухудшение качества сетевой воды. Принимая скорость коррозии под действием данной агрессивной воды, равной 0,1 г/(м²·ч), приходим к выводу, что воздействие агрессивных составляющих подпиточной воды непосредственно проявляется на водогрейном котле и подающей магистрали. Действительно, 700 г окислов железа, образующихся ежечасно, появляются при корродировании 7000 м² поверхности труб. При одновременной работе двух котлов ПТВМ-100 большая часть кислорода будет расходоваться на коррозию их поверхностей нагрева, а остальная — на коррозию отводящей магистрали (1000 м²) на длине 500 м (при диаметре трубы 600 мм).

Из приведенного примера легко сделать вывод о том, что даже небольшие отклонения от заданного качества подпиточной воды по содержанию кислорода приводят к значительному загрязнению сетевой воды окислами железа, а также к интенсивной коррозии водогрейных котлов. Особенно ярко влияние указанных нарушений проявляется в системах с непосредственным водоразбором, где подпитка достигает нескольких тысяч тонн воды в час и в часы максимального водоразбора требуется строгий контроль за режимом работы деаэратора.

Пути загрязнения сетевой воды продуктами коррозии стали от местных отопительных систем и потребителей горячей воды следующие: 1) поступление в систему сырой жесткой, богатой кислородом воды из-за поврежде-

Таблица 8.1. Основные источники попадания окислов железа в сетевую воду

Источник загрязнения сетевой воды окислами железа	Количественная оценка загрязнения, мг/л	Мероприятия по установлению нарушения	Примечания
Исходная вода	0,1—0,3	Применять водопроводящую питьевую воду. При использовании речной воды необходимы коагуляции, обезжелезивание на механических фильтрах. При частичном Н-катионировании в большинстве случаев надобность в механических фильтрах отпадает	При использовании артезианских вод в ряде случаев необходима предварительная аэрация с последующим обезжелезиванием исходной воды на механических фильтрах
Подпиточная вода	0,5—1,0	Применение деаэратора с барботажем пара Правильная подача деаэрированной воды в баки-аккумуляторы Предохранение от заражения воды атмосферным кислородом в баках (паровая подушка), если температура хранения воды ниже 75 °С	В закрытых схемах теплоснабжения иногда источником загрязнения окислами железа является исходная вода, попадающая через присосы в домовых подогревателях
Вода из местных систем отопления (зависимые схемы теплоснабжения)	1,5	Ежегодные водовоздушные промывки не менее 30 % общего количества местных систем отопления	Этот фактор проявляется в начале отопительного сезона (2—6 нед)

ния подогревателей местных систем горячего водоснабжения; 2) поступление в теплосеть продуктов коррозии, накопившихся в отопительных приборах в результате стояночной коррозии и из-за отсутствия систематических промывок местных отопительных систем.

Влияние присосов сырой воды в систему на увеличение содержания железа в сетевой воде показано на рис. 8.1. Содержание железа в этих условиях нарастает пропорционально присосам сырой необработанной воды, поскольку с увеличением размера присосов увеличивается поступление в систему растворенного кислорода и свободной углекислоты. О размере присосов судят по повышению жесткости сетевой воды.

Окислы железа, которые выносятся из местных отопительных систем, служат основной причиной появления железоокисных отложений в водогрейных котлах.

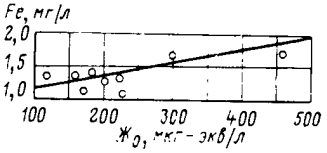


Рис. 8.1. Содержание железа в воде теплосетей закрытого типа в зависимости от присосов исходной воды, выраженных через общую жесткость.

В том случае, когда потребители не проводят промывки местных систем перед включением их в работу, в первые 2—6 нед отопительного сезона содержание железа в сетевой воде в 3—5 раз превышает средние сезонные показатели. При количестве циркулирующей в системе сетевой воды 10 тыс. т/ч и содержании железа 2 мг/л в течение 2 нед (примерно 400 ч) работы через водогрейный котел пройдет вода, содержащая 8 т окислов железа в пересчете на Fe, или 12 т в пересчете на F_2O_3. При оседании только 5 % этого количества взвеси на поверхности нагрева водогрейного котла ПТВМ-100 (3000 м²) образуется около 130 г/м² отложений в пересчете на Fe. За несколько сезонов работы оборудования только по этой причине (в водогрейных котлах, сетевых подогревателях, а также в конденсаторах турбин с ухудшенным вакуумом, когда они охлаждаются сетевой водой) образуется 300—500 г/м² отложений в пересчете на Fe.

Основная причина скопления окислов железа в отопительных системах — стояночная коррозия присоединенных магистралей, в которых корродирует влажная поверхность труб под действием атмосферного кислорода. Оценка скорости стояночной коррозии, проведенная по данным [13], показывает, что при 20 °С она составляет 1,5—2,0 г/(м²·ч), т. е. стояночная коррозия интенсивнее коррозии, протекающей в период эксплуатации, в 15—20 раз. Период между отопительными сезонами длится 4—

мес и характеризуется неоднократными заполнениями опорожнениями присоединенных систем. Все это приводит к тому, что к началу отопительного сезона накапливается значительное количество окислов железа, которые затем «проскакивают» в теплосеть, оседая на поверхностях нагрева и загрязняя горячую воду, идущую потребителям.

8.3. Повышение надежности водно-химического режима теплосетей

Для снижения агрессивности добавочной воды и улучшения качества сетевой воды по цветности и содержанию железа необходимо проводить ряд мероприятий [72].

1. Следует осуществлять подвод воды в нижнюю часть баков-аккумуляторов на высоте около 1 м над днищем через разветвленную систему труб (V-образную или кольцеобразную) со щелями; частота и размер щелей должны обеспечить равномерность распределения воды по сечению бака.

2. Для предотвращения заражения атмосферным кислородом воды в баках-аккумуляторах целесообразно выполнять паровую герметизацию (не подводя пара в объем бака во избежание появления избыточного давления).

Применение насыщенного пара или перегретой воды для создания «паровой подушки» в баках-аккумуляторах может получить широкое распространение в открытых системах теплоснабжения большой производительности. Для баков-аккумуляторов крупных габаритов, например 5000 м³, названный способ защиты может быть целесообразнее, чем использование покрывающих жидких пленок.

Необходимое количество пара G, которое должно полностью занять паровое пространство бака, чтобы не допустить проникновения воздуха, может быть рассчитано по следующей формуле:

$$G = \frac{F}{\left(v_1'' - v_p''\right)} \frac{\Delta H}{\tau},$$

где F — сечение бака-аккумулятора, м²; v_1'' и v_p'' — удельный объем насыщенного пара соответственно при атмосферном давлении и давлении p, м³/кг; $\Delta H/\tau$ — скорость изменения уровня воды, м/ч.

При данном давлении насыщенного пара искомая величина G будет определяться скоростью опорожнения бака. Для часов пик, максимального водоразбора, G будет максимальным и может составлять 300—400 кг/ч (в остальное время 20—40 кг/ч).

Специальные наблюдения, проведенные в котельной г. Зеленограда в 1970—1971 гг., за качеством воды, поступающей из баков-аккумуляторов (температура 70 °С, емкость 1000 м³) в теплосеть, показали, что «паровая подушка» позволяет предохранить воду от заражения атмосферным кислородом.

3. Нормы качества подпиточной воды по кислороду и свободной углекислоте надежно могут быть обеспечены с помощью двухступенчатых вакуумных деаэраторов (с барботажем пара).

4. В ряде случаев как временная мера для коррекции водного режима тепловых сетей может быть применено подщелачивание подпиточной воды. При повышении pH сетевой воды снижается содержание железа и связывается свободная углекислота, остающаяся в воде из-за неполного ее удаления в деаэраторах или поступающая с воздухом из аккумуляторных баков.

Корректирующим реагентом может служить едкий натр. В соответствии с реакцией.

$$NaOH + CO_2 \rightarrow NaHCO_3$$

для нейтрализации 44 мг CO_2/л требуется 40 мг NaOH/л, стехиометрический коэффициент 0,9.

Подачу насоса-дозатора, л/ч, перекачивающего раствор щелочи, следует определять из соотношения

$$q = kGC_{CO_2}/C_{NaOH},$$

где k — стехиометрнческий коэффициент, равный 0,9; G — количество добавочной воды, м³/ч; C_{CO_2} — содержание свободной углекислоты, г/м³; C_{NaOH} — концентрация нейтрализующего раствора щелочи, г/л.

Осуществление этого способа обработки подпиточной воды на одной из ТЭЦ позволило снизить содержание свободной углекислоты в подпиточной воде в 3—4 раза, а в сетевой — почти в 2 раза при повышении pH до 8,5. Значение pH контролировалось регистрирующими приборами ПВУ-5256 и М-160 с проточным датчиком ДПр-5315.

5. Для предотвращения периодического появления продуктов коррозии в сетевой воде рекомендуется проводить ежегодные водовоздушные промывки местных систем отопления. Опыт применения этих промывок в системе Ленэнерго подтверждает их целесообразность. Необходимо подвергать промывкам по крайней мере 30 % общего количества местных систем отопления.

6. Обеспечение надежного водного режима тепловых сетей зависит от организации химического контроля за качеством подпиточной и сетевой воды. Пробоотборные линии (и охладители проб) должны быть изготовлены из нержавеющей стали.

8.4. Особенности водно-химического режима при эксплуатации водогрейных котлов, сжигающих мазутное топливо

При продолжительной работе водогрейных котлов, сжигающих мазут, наблюдались случаи образования значительных отложений (несколько килограммов на квадратный метр) на внутренней поверхности конвективных и экранных труб. Анализ причин этого серьезного нарушения показал, что при сжигании мазута возникают высокие тепловые напряжения и как следствие пристенное кипение воды, чему способствуют: сокращение расхода воды через котел ниже номинального, снижение давления воды в котле [$10 \cdot 10^5$ Па (10 кгс/см² и менее)], наладженный топочный режим, приводящий к тепловым перекосам в панелях котла, а также гидравлические развертки в трубах, особенно при сниженных расходах воды.

Для котлов ПТВМ-100 при двухходовой схеме его включения номинальный расход воды составляет 2140, минимальный 1500 т/ч. Большая разница между этими расходами воды, указанными в паспорте котла, создает условия для психологического оправдания — «временно проработать» на сниженной нагрузке, например при 1200 т/ч с температурой нагрева воды до 140—150 °С. При сжигании мазута, создающего наиболее высокие удельные тепловые потоки, такой режим работы неминуемо приведет к образованию накипи на внутренних поверхностях нагрева водогрейных котлов при всех типовых схемах водообработки, кроме Na-катионирования.

Причиной накипеобразования в этой ситуации является возникновение пристенного кипения, т. е. такого кипения, при котором паровые пузыри, образующиеся на тепловыделяющей поверхности, при отрыве конденсируются в объеме недогретой до насыщения воды. Этот вид кипения, который иногда называют поверхностным, является следствием перехода теплоэнергетики на высокофорсированные поверхности теплообмена с высокими

удельными тепловыми потоками. Но это не означает, что высокие удельные тепловые потоки обязательно должны приводить к пристенному кипению. Для его возникновения необходимо нарушение сочетания ряда физических факторов: удельного теплового потока, скорости движения среды, давления среды, недогрева среды до температуры насыщения.

Авторами водогрейных котлов [19] был предусмотрен выбор их эксплуатационных параметров, обеспечивающих отсутствие пристенного кипения, которое интенсифицирует массообмен и требует высокого качества теплоносителя для бесперебойной работы тепловыделяющих поверхностей. Было показано, что если сжигается газ, отсутствие этого вида кипения при номинальных нагрузках возможно при давлении в котле $10 \cdot 10^5$ Па. Опыт эксплуатации подтвердил правильность выбора параметров работы водогрейных котлов, если в качестве топлива используют газ.

В последние годы на ряде объектов в связи с переходом на сжигание мазута отмечены случаи интенсивного накипеобразования в экранных трубах (в зоне «холодной воронки» и в зоне максимальных тепловых потоков) и конвективных трубах нижнего конвективного пучка (в первом по ходу газов ряду труб нижнего конвективного пакета). За отопительный сезон на каждом квадратном метре поверхности образовывалось несколько килограммов накипи, содержащей соединения кальция, магния, кремнекислоты, сульфатов и железа. Если в качестве подпиточной применяли подкисленную серной кислотой воду, то сульфатов было больше, чем при использовании воды, обработанной посредством Н-катионирования с голодной регенерацией.

В многолетней практике эксплуатации водогрейных котлов не встречалось ранее отложений подобного рода. При редких нарушениях в технологии очистки добавочной воды появлялись отложения карбонатного и железокарбонатного типов, однако в них отсутствовали соединения магния, кремнекислоты и сульфатов, которые хорошо растворимы в воде в условиях работы водогрейных котлов. При кипении воды происходит интенсивное концентрирование примесей и создаются условия для образования труднорастворимых соединений, не удаляемых при обычных промывках растворами соляной кислоты.

Проведенные Белэнергоремналадкой испытания водо-

рейного котла ПТВМ-100 на Минской ТЭЦ-2 при нагрузках, близких к номинальной, и сжигании мазута показали, что в течение 3 нед работы образовались отложения в количестве 0,4—2,0 кг/м², в составе которых содержались кремнекислота, сульфаты и магний. Замеры температуры внутренней стенки экранных и конвективных труб показали, что она достигает 190—204° С при средней температуре воды на выходе из котла 150 °С. Важным «открытием» явилось и то, что в этих условиях температура воды на выходе из труб первого ряда нижнего конвективного пакета составляла 160 °С. Аналогичные результаты испытаний котла ПТВМ-100 несколько ранее были получены на алма-атинской ТЭЦ-1 Уральским и Среднеазиатским отделениями Союзтехэнерго [73, 74]. Указанные испытания, а также обследования показали, что эксплуатация подавляющего числа водогрейных котлов осуществляется при рабочем давлении в котлах максимум $10 \cdot 10^5$ Па, ему соответствует температура насыщения 180 °С. Большие удельные тепловые потоки при сжигании мазута и недостаточно высокие давления и расходы воды через котел приводят к образованию паровых пузырей при нагрузках, близких к номинальной.

Поверхностное кипение, характеризующееся высокой интенсивностью массообмена у стенки обогреваемой трубы, способствует высокому концентрированию раствора в центрах парообразования. Концентрирование растворов на границе раздела фаз происходит у корня парового пузыря [75].

Уменьшению интенсивности пристенного кипения способствует: повышение давления и скорости движения воды, снижение температуры воды до 150 °С и менее, а отказ от мазута и переход на другой вид топлива может полностью устранить его.

Важно отметить, что пристенное кипение воды в водогрейных котлах приводит к выпадению практически всех солей жесткости в виде карбонатов, сульфатов и силикатов.

Для решения проблемы надежной работы водогрейных котлов необходимо предотвратить возникновение пристенного кипения, ограничить неорганизованный разбор горячей воды в закрытых системах теплоснабжения, а проектным организациям обоснованно выбирать схемы водоподготовки для тепловых сетей.

Глава девятая

ОТДЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ВЫБОРА СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ И СХЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ ДЛЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

9.1. Общие положения выбора схем водоподготовки

Схема подготовки добавочной воды для открытых и закрытых тепловых сетей выбирается с учетом параметров их работы, типа основного водогрейного оборудования (водогрейные котлы или скоростные пароводяные подогреватели) и требований к качеству воды для поддержания безнакипного состояния поверхностей нагрева оборудования. Должны учитываться также качество исходной воды, санитарные требования к сбросам после химводоочистки. Окончательный выбор делается по результатам технико-экономического сравнения конкурирующих схем обработки воды для каждого конкретного случая.

При определении расчетной производительности водоподготовительной установки для закрытых тепловых сетей учитываются потери теплоносителя, которые не должны превышать 0,5 % объема воды в тепловой сети и присоединенных к ней системах теплопотребления в час. Если химводоочистка, выполненная по схеме катионирования или по методу подкисления, имеет производительность свыше 400 м³/ч, то предусматривается параллельное включение оборудования с разбивкой его на блоки производительностью 200—500 м³/ч.

В случае применения схемы водоподготовки по методу известкования целесообразно проводить его совместно с коагуляцией в осветлителях. ВТИ с установкой механических фильтров после осветлителей. Все реагентное хозяйство и сами осветлители выбираются по наименее благоприятному качеству исходной воды. Кроме того, осветлители должны быть снабжены системой автоматизации в объеме, предусмотренном проектом СКБ ВТИ, для поддержания нормированных температуры воды, производительности, шламового режима, режимов приготовления и дозирования реагентов.

В связи с постепенным введением ужесточенного режима по сбросу отработанных растворов в водоемы любого размера и назначения при выборе схем водоподготовки для тепловых сетей отдается предпочтение бесточным схемам или схемам, осиованным на методах очистки, дающих твердые отходы, состоящие из малорастворимых соединений (карбонат кальция, гидрат окиси магния), которые могут быть использованы или помещены в надежные шламоотвалы.

С учетом изложенных требований к сбрасываемым отходам и в зависимости от качества исходной воды в табл. 9.1 приведены примерные схемы водоподготовки для тепловых систем большой производительностью с непосредственным водоразбором.

Таблица 9.1. **Схемы водоподготовки для крупных открытых теплосетей с водоразбором 1000 м³/ч и выше**

Характеристика исходной воды	Химический состав исходной воды, мг-экв/л	Конкурнрующие схемы водоподготовки
Малая минерализованность	$Ж_к < Ж_0$ $Ж_0 \leqslant 4$ $Ж_{Ca} \leqslant 3$ $SO_4^{2-} < 0{,}3$ $Cl^- < 0{,}3$	Подкисление H_2SO_4 Известкование+коагуляция
Средняя минерализованность	$Ж_к < Ж_0$ $8 \geqslant Ж_0 \geqslant 4$ $Ж_{Ca} \leqslant 3$ $1{,}5 > SO_4^{2-} > 0{,}3$ $Cl^- < 0{,}3$	Известкование+коагуляция Подкисление соляной кислотой
Высокая минерализованность	$Ж_к < Ж_0$ $12 \geqslant Ж_0 \geqslant 8$ $5 \geqslant Ж_{Ca} > 3$ $2{,}5 > SO_4^{2-} \geqslant 1{,}5$ $Cl^- > 0{,}3$	Известкование + частичное умягчение Подкисление + частичное умягчение Содоизвесткование

Результаты технико-экономического сравнения конкурирующих схем в каждом конкретном случае будут служить обоснованием выбора наиболее целесообразной из них. По качеству очищенной воды схемы, рассмотренные для каждого типа исходной воды, можно считать идентичными. Иначе говоря, очищенная вода по любой из предлагаемых схем очистки отвечает нормам, предусмотренным ПТЭ для добавочной и сетевой воды тепловых сетей.

9.2. Влияние качества воды систем горячего водоснабжения и их надежности на выбор типа системы теплоснабжения

Как известно, выбор системы теплоснабжения — открытой или закрытой — должен определяться технико-экономическим обоснованием с учетом качества исходной воды и степени обеспеченности ею [76]. При выборе типа системы теплоснабжения приходится принимать во внимание ряд факторов, связанных с обеспечением надежной и качественной работы всех ее элементов. К числу таких факторов относятся: способ подготовки подпиточной воды; устойчивость гидравлического режима системы теплоснабжения; наличие пиковых водогрейных котлов и продолжительность их работы в течение года; тип применяемых отопительных приборов.

Вместе с тем на стадии проработки технико-экономического обоснования и дальнейшего проектирования не всегда уделяется должное внимание оценке показателей качества исходной воды. Последние должны одновременно обеспечивать соответствие качества горячей воды в точках водоразбора у потребителей ГОСТ 2874-73 и надежную эксплуатацию системы (защиту от внутренней коррозии и накипеобразования).

При закрытой системе теплоснабжения нагретая вода у потребителей практически всегда соответствует ГОСТ, что подтверждается данными санитарного контроля. При открытой системе теплоснабжения нередки случаи ухудшения качества горячей воды по ряду органолептических показателей (цветность, прозрачность, содержание железа, иногда запахи), реже по бактериологической оценке. Это подтверждается результатами обследования систем горячего водоснабжения в 51 городе с закрытой системой теплоснабжения и в 37 городах с открытой системой [77].

Как показывает опыт эксплуатации, обеспечение ТЭЦ или котельной исходной водопроводной водой в полном объеме еще не решает в открытой системе проблему получения потребителем воды надлежащего качества. В отличие от городского водопровода, который работает в тупиковом режиме, теплосети работают в режиме непрерывной циркуляции с многократным прохождением горячей воды через многочисленные отопительные приборы. Последние являются источником загрязнения и

худшения качества сетевой воды по органолептическим показателям: цветности, содержанию железа и запахам.

Влияние местных систем отопления на показатели отбираемой из сети воды по цветности и содержанию железа четко прослеживается в период массового включения отопительных приборов в начале отопительного периода, а также при сравнении показателей воды в тепловой сети при включенных и отключенных отопительных системах.

При выборе открытой системы теплоснабжения всегда необходимо учитывать микробиологический состав исходной водопроводной воды. По данным исследований лаборатории ВНИПИэнергопрома (канд. техн. наук Л. М. Красовский) в радиаторах систем отопления имеются благоприятные условия для развития сульфатвосстанавливающих микроорганизмов. Условием для их жизнедеятельности является сравнительно высокое содержание органических веществ, характеризуемых окисляемостью подпиточной воды выше 4—5 мг О/л [78]. Интенсивное развитие микрофлоры приводит к образованию органических осадков (ила) в радиаторах, их выносу в систему, появлению запаха и повышению цветности сетевой воды.

Так как в эксплуатационных условиях с этими явлениями бороться трудно, при проектировании новых систем теплоснабжения нецелесообразно выбирать открытые системы при окисляемости исходной водопроводной воды не выше 4 мг О/л.

Переходя к оценке закрытой и открытой систем теплоснабжения в отношении обеспечения надежной работы системы горячего водоснабжения, необходимо отметить следующее. Под надежной работой системы горячего водоснабжения понимается постоянное снабжение потребителей горячей водой. В открытой системе это условие практически всегда выполняется, учитывая работоспособность установок по обработке воды на ТЭЦ или котельных. При закрытой системе в результате поступления в систему горячего водоснабжения, как правило, необработанной водопроводной воды может иметь место коррозия трубопроводов или образование отложений накипи в подогревателях горячего водоснабжения. В результате наблюдаются периодические перерывы в подаче горячей воды потребителям вследствие необходимости проведения текущих ремонтов системы.

Таблица 9.2. Области применения систем теплоснабжения

Характеристика карбонатного накипеобразования	J при 60 °С	Содержание хлоридов и сульфатов, мг/л	Характеристика коррозионной активности	Загрязнение органическими соединениями, мг О/л		
				$B<4$	$4 \leqslant B \leqslant 7$	$B>7$
Отсутствует	$J<0$	$Cl^- + SO_4^{2-} \leqslant 50$	Средняя	О или ЗС	ЗС или ОН	ЗС
		$Cl^- + SO_4^{2-} > 50$	Высокая	О или ЗД	ЗД или ОН	ЗД
Слабое	$0 \leqslant J \leqslant +0,5$	$Cl^- + SO_4^{2-} \leqslant 50$	Низкая	З или ОС	З или ОН	З
		$50 \leqslant Cl^- + SO_4^{2-} \leqslant 200$	Средняя	О или ЗС	ЗС или ОН	ЗС
		$Cl^- + SO_4^{2-} > 200$	Высокая	О или ЗД	ОН или ЗД	ЗД
Интенсивное	$J > +0,5$	$Cl^- + SO_4^{2-} \leqslant 50$	Низкая	О или ЗМ	ЗМ или ОН	ЗМ
		$50 < Cl^- + SO_4^{2-} \leqslant 200$	Средняя	О или ЗМС	ЗМС или ОН	ЗМС
		$Cl^- + SO_4^{2-} > 200$	Высокая	О или ЗМ	ЗМД или ОН	ЗМД

Условные обозначения: О — открытая; ОН — открытая независимая или с неемкими приборами; З — закрытая; ЗС — закрытая с силикатной обработкой; ЗД — закрытая с вакуумной деэрацией; ЗМ — закрытая с магнитной обработкой; ЗМС — закрытая с магнитной и силикатной обработкой; ЗМД — закрытая с магнитной обработкой и вакуумной деэрацией. Жирными буквами выделен предпочтительный вариант.

Примечание. ОН применяется для вновь проектируемых систем теплоснабжения.

В настоящее время отсутствует детальная классификация водопроводных вод по степени их пригодности для закрытых и открытых систем теплоснабжения. Разработки, осуществленные в настоящее время ВТИ и НИПИэнергопромом позволяют наметить примерные области применения закрытых и открытых систем теплоснабжения (табл. 9.2). Кроме того, следует учитывать, что закрытая система теплоснабжения должна преимущественно применяться при таком качестве водопроводной воды, когда не требуется ее дополнительная обработка в тепловых пунктах потребителей, или возможно использование упрощенных методов противокоррозионной (силикатной) и противонакипной (магнитной) обработки воды. Показатели воды, при которых можно применять упрощенные способы, см. в табл. 5.2 и 6.3. При очень мягкой или сильноминерализованной исходной водопроводной воде следует преимущественно проектировать открытые системы теплоснабжения.

Оглавление

Стр.

Предисловие 3

Глава первая. **Природные воды, используемые в системах теплоснабжения и горячего водоснабжения** 5

1.1. Характеристика природных вод, применяемых в тепловых сетях 5
1.2. Основные показатели качества воды 11
1.3. Требования к качеству воды, добавляемой в теплосеть, и сетевой воды, циркулирующей в них 18

Глава вторая. **Образование отложений в водогрейном оборудовании** 21

2.1. Основные сведения о низкотемпературных отложениях 21
2.2. Условия выделения карбоната кальция из раствора 24
2.3. Образование отложений при нагревании воды в трубчатых теплообменниках 32
2.4. Процессы образования накипи в водогрейных котлах 38
2.5. Организация химического контроля и оценка интенсивности накипеобразования в водогрейном оборудовании 42

Глава третья. **Коррозия оборудования подпиточного и сетевого трактов** 49

3.1. Коррозия трубопроводов и водогрейных котлов . . . 49
3.2. Коррозия трубок теплообменных аппаратов 52

Глава четвертая. **Водоподготовка в тепловых сетях с непосредственным водозабором** 56

4.1. Основные положения 56
4.2. Подготовка добавочной воды методом Na-катионирования с голодной регенерацией 61
4.3. Снижение карбонатной жесткости (щелочности) подаваемой воды методом подкисления 71
4.4. Декарбонизация воды методом аэрирования 77
4.5. Na-катионирование добавочной воды 79
4.6. Магнитная противонакипная обработка добавочной воды 80

Глава пятая. **Подготовка воды для закрытых тепловых сетей, местных систем горячего водоснабжения и отопительных систем теплоснабжения** 93

Стр.

5.1. Подготовка добавочной воды для закрытых тепловых сетей 93
5.2. Подготовка воды для местного водоснабжения 95
5.3. Подготовка воды для отопительных систем теплоснабжения 99

Глава шестая. **Коррозия систем горячего водоснабжения и меры ее предупреждения** 102

6.1. Оценка коррозионного состояния действующих систем горячего водоснабжения и причины коррозии 102
6.2. Применение коррозионно-стойких материалов и защитных покрытий 110
6.3. Обработка воды для снижения интенсивности коррозии 120

Глава седьмая. **Противокоррозионная обработка подпиточной воды на ТЭЦ и защита оборудования от коррозии** 143

7.1. Методы удаления агрессивных газов 143
7.2. Предупреждение вторичного загрязнения подпиточной воды тепловых сетей с непосредственным водоразбором и защита баков от коррозии 150
7.3. Силикатный метод коррекционной обработки воды 163
7.4. Консервация оборудования подпиточного тракта и теплосетей 173
7.5. Улучшение качества воды в тепловых сетях с непосредственным водоразбором 176

Глава восьмая. **Водно-химический режим тепловых сетей** 179

8.1. Основные положения и задачи 179
8.2. Источники загрязнения воды тепловых сетей окислами железа 181
8.3. Повышение надежности водно-химического режима теплосетей 185
8.4. Особенности водно-химического режима при эксплуатации водогрейных котлов, сжигающих мазутное топливо 187

Глава девятая. **Отдельные вопросы выбора систем теплоснабжения и схем водоподготовки для тепловых сетей** 191

9.1. Общие положения выбора схем водоподготовки . . 191
9.2. Влияние качества воды систем горячего водоснабжения и их надежности на выбор типа системы теплоснабжения 192

Список литературы 196

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лурье Ю. Ю.** Справочник по аналитической химии. — М.: Химия, 1971. — 181 с.

2. **Сонжев М. Е.** Номограмма для определения pH равновесного насыщения воды карбонатом кальция. — Водоснабжение и санитарная техника, 1965, № 10, с. 29—30.

3. **Руководство** по химическому и технологическому анализу воды. — М.: Стройиздат, 1973. — 272 с.

4. **Марзынова О. И., Васина Л. Г., Богловский А. В.** Моделирование процессов образования твердой фазы при упаривании воды. — Тр. МЭИ, 1979, вып. 405, с. 65—72.

5. **Васина Л. Г., Большакова И. С.** К методике расчета веществ, по щелочным накипеобразователям. — Тр. МЭИ, 1979, вып. 405, с. 65—72.

6. **Гаррельс М., Крайст Ч. Л.** Растворы, минералы, равновесия. — М.: Мир, 1968. — 368 с.

7. **Малинин С. Д.** Физическая химия гидротермальных систем углекислотой. — М.: Наука, 1979. — 110 с.

8. **Клячко В. А., Апельцин И. Э.** Очистка природных вод. — М.: Стройиздат, 1971. — 579 с.

9. **Бодварь Ю. Ф.** Выбор критерия для оценки накипеобразующих свойств охлаждающей воды. — Теплоэнергетика, 1979, № 7, с. 65—68.

10. **Пшеменский А. А.** Водный режим теплофикационного оборудования. — В кн.: Доклады III конференции ППОЭ. ОНТИ ВТИ им. Дзержинского, 1970, с. 55—59.

11. **Акользин П. А., Богачев А. Ф.** Предупреждение коррозии металла подпиточного и сетевого трактов теплосети. — Тр. ВТИ, 1975, вып. 5, с. 63—70.

12. **Хаазе Л. В.** Коррозия и образование защитных покрытий на меди в водной среде. — Металл, 1971, вып. 25, № 11, с. 1252—1256.

13. **Снижение** коррозии латунных трубок теплообменных аппаратов с помощью силикатной обработки подпиточной воды теплосети / П. А. Акользин, А. Ф. Богачев, Н. И. Гришанина, В. М. Курносова. — Теплоэнергетика, 1972, № 8, с. 57—60.

14. **Bruch E. V., Pearl W. L.** Corrosion and corrosionproduct release in neutral feeduater. — Corrosich, 1972, vol. 28, №4, p. 129—136.

15. **Водоподготовка.** Процессы и аппараты/Под ред. О. И. Мартыновой. — М.: Атомиздат, 1977.—352 с.

16. **Алекин О. А.** Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1970.—440 с.

17. **Прохорова А. М., Алексеева Т. В.** Об основных технологических характеристиках отечественных карбоксильных катионитов в условиях Н-катионирования воды. — Тр. ВТИ, 1976, вып. 9, с. 25—29.

18. **Справочник** химика-энергетика. Т. 1. — М.: Госэнергоиздат, 1960. — 633 с.

19. **Жирнов Н. И., Кроль Л. Б., Шифрин М. С.** Теплофикационные водогрейные котлы большой мощности. — М.: Энергия, 1965. — 168 с.

20. **Руководящие** указания по известкованию воды на электростанциях. — М.: Энергонот ОРГРЭС, 1973. — 95 с.

21. **Ремпель С. И., Бураков М. Р.** О механизме явлений при магнитной и высокочастотной водоподготовке. — Тр. АКХ им. Памфилова, 1964, т. 30, с. 187—197.

22. **Лапотышкина Н. П.** Применение [illegible] методов в технике водоприготовления для б[illegible] накипеобразованием. — Журнал Всесоюзного химического об[illegible] Д. И. Менделеева, 1960, т. V, № 6, с. 661—664.

23. **Миненко В. И.** Магнитная [illegible] вододисперсных систем. — Киев: Техника, 1970. — 165 с.

24. **Тебенихин Е. Ф., Кишневский** [illegible] магнитного [illegible] и окислов железа в механизме выде[illegible] твердой фазы накипеобразователей. — В кн.: Вопросы теории и [illegible] магнитной обработки воды и водных систем. — Новоче[illegible]-Черкасский политехнический институт, 1975, с. 166—168.

25. **Тебенихин Е. Ф.** Безреагентные [illegible] обработки воды в энергоустановках. — М.: Энергия, 197[illegible].

26. **К механизму** влияния магнит[illegible] обработки воды на процессы накипеобразования и коррозии/О. И. Мартынова, А. С. Копылов, Е. Ф. Тебенихин, В. Ф. Очков. — Теплоэнергетика, 1979, № 6, с. 67—69.

27. **Очков В. Ф.** Исследование процессов и разработка технологии магнитной обработки воды в теплоэнергетических установках. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. М., 1979 (МЭИ).

28. **Цыплакова Г. В.** Гигиеническая оценка метода магнитной обработки воды систем горячего водоснабжения. — Гигиена и санитария, 1977, № 5, с. 8—12.

29. **Руководящие** указания по водоподготовке и водно-химическому режиму тепловых сетей. — М.: Энергонот ОРГРЭС, 1973.—50 с.

30. **Лапотышкина Н. П., Сазонов Р. П., Мусарова Г. М.** Водоподготовка на центральных тепловых пунктах, использующих артезианскую воду. — Электрические станции, 1970, № 2, с. 38—41.

31. **Технические** указания на проектирование и эксплуатацию станций обезжелезивания воды фильтрованием с упрощенной системой аэрации. — М.: АКХ им. Памфилова, 1975. — 13 с.

32. **Лосев В. Л., Сазонов Р. П.** Повышение долговечности систем горячего водоснабжения. — М.: Энергия, 1972. — 72 с.

33. **Сазонов Р. П.** Повышение коррозионной стойкости трубопроводов горячего водоснабжения в закрытых системах. — Теплоэнергетика, 1972, № 4, с. 23—27.

34. **Инструкция** по эксплуатации тепловых сетей. — М.: Энергия, 1972, с. 200—202.

35. **Теаро Э. Н., Спирде Э. К.** Меры борьбы с коррозией трубопроводов горячего водоснабжения жилых домов Таллина. — Водоснабжение и санитарная техника, 1968, № 8, с. 24—26.

36. **Хасуи А.** Техника напыления. — М.: Машиностроение, 1975.—288 с.

37. **Жолудев М. Д., Проскурин Е. В., Горбунов И. С.** Покрытие для защиты от коррозии систем горячего водоснабжения. — Защита металлов, 1969, № 6, т. V, с. 675—676.

38. **Влияние** легирующих добавок [illegible] структуру и коррозионную [illegible] / И. С. Горбунов, Л. Д. [illegible] // Защита металлов. 1974, № 2, с. 45—48.

39. **Защита** труб в системах горячего водоснабжения силикатными эмалями/В. М. Гладуш, С. М. Богданович, Л. Н. Кобылева, Р. П. Сазонов. — Водоснабжение и санитарная техника, 1974, № 9.

40. **Лосев В. Л.** Электрохимическое обескислороживание воды в системах горячего водоснабжения. — Водоснабжение и санитарная