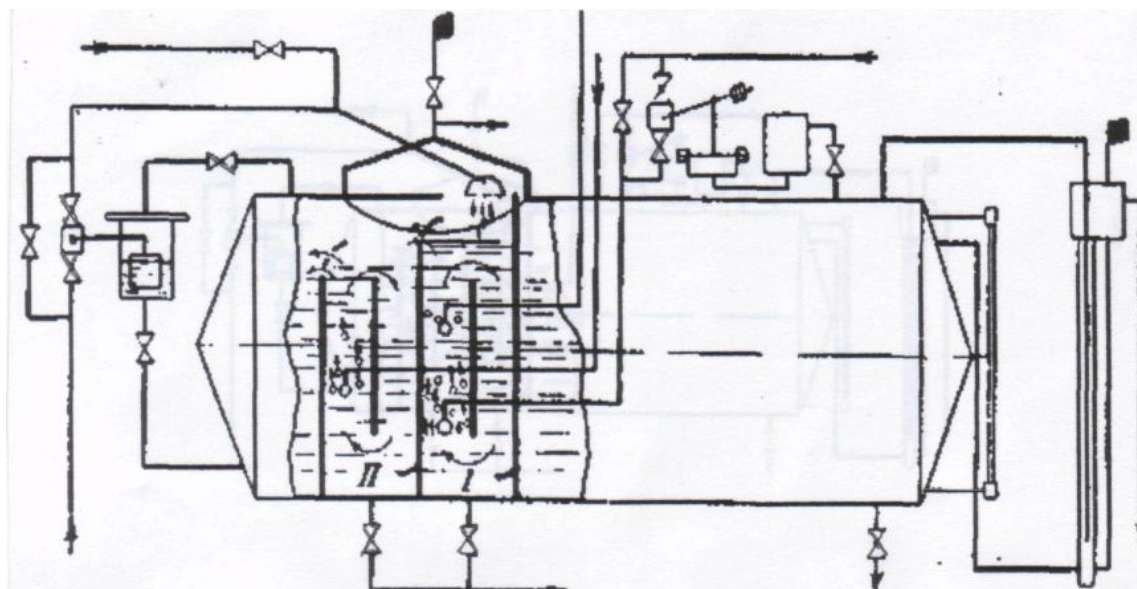


Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Институт инженерно-экологических систем и сооружений
Кафедра теплогазоснабжения

Коррозия в пароводяном тракте котельной установки и методы её предотвращения

Методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения специальностей
140104 «Промышленная теплоэнергетика» и
270109 «Теплогазоснабжение и вентиляция»



Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ННГАСУ)

Кафедра теплогазоснабжения



**СТАНДАРТ
КАФЕДРЫ**

**СТО ННГАСУ
3.1-XX-2008**

**СИСТЕМА ДОКУМЕНТАЦИИ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ННГАСУ**

**Коррозия в пароводяном тракте котельной
установки и методы её предотвращения**

Нижний Новгород
2008

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет» (ННГАСУ), кафедрой теплогазоснабжения (Г.М. Климов)

2 РАССМОТРЕН И РЕКОМЕНДОВАН К УТВЕРЖДЕНИЮ

на заседании кафедры теплогазоснабжения

Зав. кафедрой, профессор

А.Г. Кочев

На заседании НМС ИИЭСиС «_____» _____ 2008 г.

Председатель научно-методического совета ИИЭСиС
доцент

Ж.А. Шевченко

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом ректора ННГАСУ от

«_____» _____ 2008 г. № _____

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

©ННГАСУ, 2008

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального документа без разрешения ННГАСУ

1 КОРРОЗИЯ

1.1 Общие сведения

Коррозия является одним из видов разрушения металла паровых котлов. Различают два вида коррозионных процессов: *химические* и *электрохимические*. В первом случае происходит процесс химического взаимодействия металла с окружающей средой, во втором - коррозия является результатом действия гальванических (коррозионных) пар, возникающих на поверхности металла при контакте его с водной средой.

Коррозия металла носит общий и локальный характер. При коррозии общей вся соприкасающаяся с агрессивной средой поверхность нагрева подвергается разъеданию, равномерно утоняясь с внутренней или наружной стороны труб. В случае локальной коррозии разрушение металла происходит на отдельных участках поверхности. Локальная коррозия в котлах может быть язвенной, точечной, межкристаллитной и транскристаллитной. В табл. 1 приведены данные по оценке скорости коррозии общей и локальной. При протекании локальной коррозии оборудование значительно быстрее выходит из строя, чем при общей равномерной коррозии, несмотря на меньшие по абсолютному значению потери металла.

Таблица 1 Шкала оценки скорости коррозии

Характеристика коррозии	Скорость локальной коррозии, мм/год		Скорость общей коррозии, мм/год	
	Среднее давление	Высокое давление	Среднее давление	Высокое давление
Коррозия очень слабая	0-0,05	0-0,05	0-0,02	0-0,02
Коррозия допустимая	0,10-0,15	0,20-0,30	0,04-0,05	0,08-0,10
Коррозия сильная	0,15-0,60	0,30-1,20	0,05-0,20	0,10-0,40



Рис 1. Систематизация основных видов коррозии поверхностей нагрева котлов [3]

Коррозии подвержены обе стороны поверхности: *внутренняя* — со стороны рабочей среды (воды, пара, воздуха) и *наружная* — со стороны дымовых газов (теплоносителя). Так как видов коррозии, наблюдаемых в эксплуатации, множество, то в методических целях сделана попытка их систематизации.

Для наглядности можно с некоторыми допущениями основные разновидности коррозии внутренних и внешних поверхностей нагрева представить в виде схемы на рис. 1.

Продукты коррозии конструкционных материалов (оксиды железа, меди) частично остаются на прокорродировавшем металле, а частично переходят в воду и при определенных условиях откладываются на других элементах оборудования. Эти отложения зачастую представляют значительные термические сопротивления, вследствие чего температура металла под ними может подниматься до недопустимого уровня.

1.2 Коррозия оборудования [5]

В практике эксплуатации теплосилового оборудования электростанций наиболее часто встречается коррозия, вызываемая электрохимическими процессами, состоящими в том, что на участках, именуемых анодами, металл будет переходить в раствор в виде двухвалентного иона Fe^{2+} :



Остающиеся в металле свободные электроны «e» будут по металлу перемещаться на **участки с более положительным потенциалом**, которые называются катоды. Для протекания электрохимического процесса коррозии необходимо, чтобы свободные (нескомпенсированные)

электроны непрерывно удалялись с катодных участков. В противном случае происходит выравнивание потенциалов электродов, и процесс коррозии прекращается.

Уменьшение начальной разности потенциалов электродов гальванического коррозионного элемента, приводящие к уменьшению интенсивности коррозии, называется поляризацией. Электродные процессы, уменьшающие поляризацию, то есть интенсифицирующие коррозию, называются деполяризацией, а вещества, способствующие деполяризации, деполяризаторами. Роль деполяризаторов могут выполнять окислители различного рода, то есть вещества, способные присоединять электрон. В условиях водного режима электростанции роль деполяризаторов чаще всего выполняют растворённые в воде кислород (кислородная деполяризация): $O_2 + 4e + 2H_2O \longrightarrow 4OH^-$ (2)

или ионы водорода (водородная деполяризация): $2H^+ + 2e \longrightarrow 2H \longrightarrow H_2$ (3)

Чаще всего эти катодные процессы протекают параллельно, если для этого существуют необходимые условия.

Как показывает опыт эксплуатации, роль деполяризатора могут выполнять и нитриты, то есть соли азотистой кислоты HNO_2 . Вероятное течение процессов может быть описано в следующей реакции: $NO_2^- + H_2O + e \longrightarrow NO + 2OH^-$ (4)

Возможны и другие схемы протекания процесса деполяризации, в котором принимают участия нитриты. Деполяризатором могут явиться также ионы меди $Cu^{2+} + 2e \longrightarrow Cu$ и железа $Fe^{3+} + e \longrightarrow Fe^{2+}$

Система, состоящая из анода и катода, представляет собой гальваническую пару (гальванических элементов). В таких системах, как и в обычных гальванических элементах, в растворе электролита происходит движение катионов к катоду и анионов к аноду, что делает электрическую цепь элемента замкнутой. Следовательно, **для протекания электрохимического коррозионного процесса необходимо возникновение гальванической пары,** то есть двух участков на поверхности металлов с различными потенциалами, **а так же электролита, в который погружены эти участки металла и деполяризаторов.** Если не выполнено хотя бы одно из этих условий, то возможность протекания процессов коррозии исключается.

Результатом электрохимической коррозии с кислородной деполяризацией является образование гидроксиды железа $Fe(OH)_2$, которая растворённым в воде кислородом переводится в гидроокись: $2Fe(OH)_2 + 1/2 O_2 + H_2O = 2Fe(OH)_3$ (5)

Примером химического процесса коррозии является реакция перегретого пара с железом:



Скорость коррозии может быть выражена массой металла, разрушенного за 1 год (8760 ч) на 1 м² его поверхности. Ее можно также выразить глубиной проникания коррозионных повреждений в толщу металла за 1 год, Π , мм/год. При равномерной коррозии для чёрных металлов действительно соотношение $\Pi = 1,12 K$. Среди различных видов электрохимической коррозии наибольшую опасность для паровых котлов представляет межкристаллитная коррозия, отличительной особенностью которой является то, что металл разрушается по границам кристаллитов (зёрен). Эти разрушения проявляются вначале в виде весьма мелких не видимых невооруженным глазом трещин, проходящих по границам кристаллитов. **Межкристаллитная коррозия возникает при одновременном действии следующих трех факторов: высоких растягивающих напряжений в металле; неплотностей в заклепочных швах и вальцовочных соединениях; агрессивных свойств котловой воды.** Если один из этих факторов отсутствует, то межкристаллитная коррозия маловероятна.

Агрессивность котловой воды зависит от состава растворённых в ней веществ и их концентрации. Среди этих веществ наиболее важную роль играет едкий натр. Агрессивность котловой воды в отношении хрупких разрушений при прочих равных условиях в значительной мере зависит от относительной щелочности, %, котловой воды, которую можно определить по формуле:

$$\text{Щ}_{\text{от}} = \left(\text{Щ}_{\text{к.в.}} - 0,02 C_{\text{PO}_4^{3-}} \right) \cdot 40 \cdot 100 / S_{\text{к.в.}}, \% \quad (7)$$

где $S_{\text{к.в.}}$ — солесодержание котловой воды, мг/кг;

CPO_4^{3-} — концентрация фосфатов в котловой воде, если фосфатирование проводится тринатрийфосфатом, мг/кг; $\text{Щ}_{\text{кв}}$ — щелочность котловой воды, мг-экв./кг.

Для котлов, работающих без фосфатирования, формула приобретает более простой вид:

$$\text{Щ}_{\text{от}} = (40 \text{Щ}_{\text{к.в.}}) \cdot 100 / S_{\text{к.в.}}, \% \quad (8)$$

Принято считать, что допустимое значение относительной щелочности котловой воды $\text{Щ}_{\text{от}}$ не должно превышать 50%. Если в питательную систему добавляют умягченную воду, то относительная щелочность воды зависит от состава исходной воды и метода ее обработки. Для некоторых методов обработки могут быть выведены следующие зависимости:

а) прямоточное Na-катионирование

$$S_{\text{U.B.}} \geq (100 \cdot \mathcal{J}_{\text{к}} \mathcal{E}) / \text{Щ}_{\text{от}}; \quad \text{где } \mathcal{J}_{\text{к}} - \text{ жесткость} \quad (9)$$

б) известкование и содоизвесткование карбонатная сырой

$$S_{\text{U.B.}} \geq (100 \text{Щ}_{\text{X}} \mathcal{E}) / \text{Щ}_{\text{от}} + \mathcal{E}' \mathcal{J}_{\text{к}}; \quad \text{воды, мг-экв./кг.} \quad (10)$$

в) H-Na-катионирование

$$S_{U.B} \geq (100Ш_x Э) / Ш_{от} + Э' уЖ_K ; ; \quad (11)$$

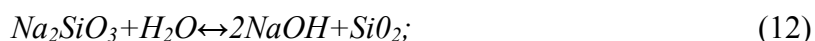
где $Ш_x$ — щелочность умягченной воды, мг-экв/кг; $S_{U.B}$ — сухой остаток исходной воды, мг/кг; $Э$ — эквивалент для NaOH; $Ш_{от}$ — относительная щелочность котловой воды, %; $у$ — доля воды, поступающей на Н-катионитные фильтры; $Э'$ — снижение сухого остатка исходной воды, приходящееся на 1 мг-экв/кг удалённой карбонатной жёсткости, мг.

Следовательно, произведения $ЭЖ_K$ и $Э'уЖ_K$ характеризуют общее снижение сухого остатка исходной воды в результате её обработки. **При ориентировочных расчётах значение $Э'$ можно принимать равным 45 мг.** Как следует из приведенных зависимостей, чтобы относительная щелочность котловой воды не превышала предельного значения, сухой остаток исходной воды не должен быть меньше некоторого определенного значения.

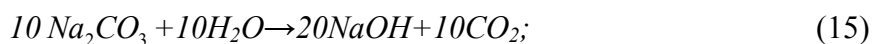
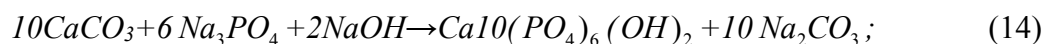
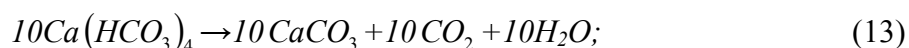
Наиболее радикальной мерой борьбы с агрессивностью котловой воды является полное удаление из неё свободной натриевой щелочи. Режим котловой воды, при котором в ней отсутствует свободный NaOH, получил название нуль-каустического режима, или режима чисто фосфатной щелочности. Он может быть практически осуществлен при питании котлов конденсатом и применяется на установках высокого давления.

В пароконденсатном тракте электростанции протекают процессы, в результате которых образуется свободный едкий натр. К таким процессам можно отнести следующие:

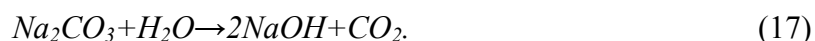
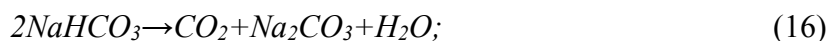
а) гидролиз силиката натрия, если SiO_2 выпадает из раствора в осадок:



б) попадание в турбинный конденсат охлаждающей воды; бикарбонаты кальция и магния в результате реакции с фосфатами в котловой воде образуют едкий натр:



в) поступление в питательную систему котлов с умягченной водой карбоната или бикарбоната натрия и распад их в котле:



Таким образом, при осуществлении, режима чисто фосфатной щелочности необходимо в большей или меньшей мере вести связывание, т. е. нейтрализацию едкой щелочи.

Из реакции образования гидросилапатита следует, что 1 мг-экв. жёсткости, если считать её всю кальциевой, связывает 0,1 мг-экв NaOH и 0,9 мг-экв или 0,3 мг-иона PO_4^{3-} . Если

гидратная щелочность питательной воды равна $Щ_{н.в.}$, мг-экв/кг, то нейтрализоваться должно

$$M = Щ_{н.в.} - 0,1Ж_0. \quad (18)$$

Количество фосфат-ионов PO_4^{3-} мг/кг, вводимых в питательную воду, будет во всех случаях определяться формулой: $PO_4^{3-} \rightarrow 28,5 Ж_0 + pvi.$ (19)

Тогда доза различных вводимых в котел фосфатов может быть рассчитана, например, для сочетания реагентов $NaH_2PO_4 + Na_2HPO_4$ при помощи следующих равенств:

$$2m + n = Щ_{н.в.} - 0,1 - Ж_0 = M; \quad (20)$$

$$m + n = (28,5Ж_0 + pvi)/95 = \Phi, \quad (21)$$

откуда

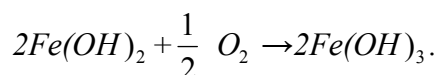
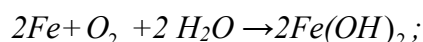
$$m = (M - \Phi); \quad (22)$$

$$n = (2\Phi - M); \quad (23)$$

где m, n — концентрации соответственно NaH_2PO_4 и Na_2HPO_4 , мг-моль/кг.

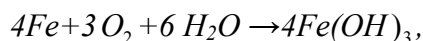
Примеры

1. Процесс электрохимической коррозии с кислородной деполяризацией может быть представлен следующими реакциями:



Определить количество кислорода, необходимое для разрушения слоя металла толщиной в 0,1 мм на площади в 1 м² с образованием $Fe(OH)_3$, и количество образующегося Fe_2O_3 .

Решение. Приведенные две реакции можно заменить одной результирующей



исходя из которой можно определить расход кислорода на 1 г прокорродированного железа:

$$q_{O_2} = \frac{3O_2}{4Fe} = \frac{3 \cdot 32}{4 \cdot 55,8} = 0,43 \frac{г}{г}$$

Масса слоя железа толщиной 0,1 мм на площади 1 м² равна: $m_{Fe} = 0,01 \cdot 10000 \cdot 7,8 = 780 г$

Следовательно, требуемое количество кислорода составит $780 \cdot 0,43 = 336 г$. Количество образующейся Fe_2O_3 можно определить из отношения:

$$(q_{Fe_2O_3} \cdot m_{Fe}) / (2Fe) = (159,7 \cdot 780) / (2 \cdot 55,8) = 1116 г$$

При выводе этого отношения принято во внимание, что формулу гидроокиси железа можно представить в следующем виде: $2Fe(OH)_3 = Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$.

2. По условиям примера 1 определить количество образующегося водорода в предположении, что коррозия происходит с участием ионов водорода, т. е. с водородной деполяризацией.

Решение. Основное уравнение процесса коррозии с водородной деполяризацией может быть представлено в следующем виде: $Fe + 2H^+ \rightarrow Fe^{2+} + H_2$.

Оно позволяет составить пропорцию, решение которой дает следующее выражение:

$$(q_{H_2} m_{Fe}) / q_{Fe} = (2 \cdot 780) / 55,8 = 28,2 \text{ г, что составит 310 л в нормальных условиях.}$$

1.3 Краткие сведения о современных способах предотвращения коррозии [3...7]

Известные способы предотвращения коррозии можно разделить на три группы:

- **активные**, влияющие на природу металла и электролита или изменяющие механизм и кинетику коррозионных процессов. К ним относятся: специальное легирование для повышения коррозионной стойкости металла; устранение причин, вызывающих коррозию; применение электрохимической (катодной и анодной) защиты, изменяющей механизм и уменьшающей скорость коррозионных процессов; уменьшение агрессивности коррозионной среды путём изменения её состава или введения ингибиторов коррозии;

- **пассивные**, не влияющие на природу металла и механизм коррозии и осуществляемые путём изоляции конструкций от коррозионной среды с помощью лакокрасочных и других неметаллических покрытий;

- **пассивно-активные**, не влияющие на природу металла и осуществляемые путём изоляции конструкций от коррозионной среды с помощью металлических и неметаллических неорганических покрытий.

Специальное легирование предусматривает повышение коррозионной стойкости металлов за счёт введения в них элементов, обеспечивающих повышение термодинамической устойчивости металла или образование на поверхности защитной (оксидной) пленки. Во многих случаях применение коррозионностойких металлов является единственным способом предотвращения коррозии. Однако этот перспективный способ пока ещё не нашёл широкого распространения. Во-первых, весьма сложно одновременно обеспечить необходимые прочностные свойства металла и высокую коррозионную стойкость; во-вторых, легирование не может полностью предотвратить коррозию, при местном разрушении защитной пленки возможно язвенное разрушение металла; в-третьих, из-за несовершенства защитной плёнки не

исключается необходимость применения дополнительных методов защиты; в-четвёртых, не для всех сред возможно создание пассивирующихся металлов; в-пятых, применение высоколегированных металлов не всегда экономически оправдано.

К устранению причин, вызывающих коррозию, относятся: рациональное проектирование конструкций — правильный выбор материалов, формы и расположения элементов, **исключение опасных контактов между разнородными металлами; предотвращение утечки тока через поверхность раздела металлическая поверхность конструкции — агрессивная среда; защита от блуждающих токов.** Этот способ не требует специальных затрат и является обязательным при создании и эксплуатации конструкции. Следует отметить, что устранение причин коррозии не исключает необходимости применения средств защиты, но упрощает (облегчает) их осуществление.

Электрохимическая (катодная и анодная) защита, переводящая металл в нереакционноспособное состояние путём поляризации, применяется в основном в достаточно электропроводных электролитах. Защита с помощью катодной поляризации используется в сочетании с лакокрасочными и другими изоляционными покрытиями. При этом обеспечивается сдвиг потенциала металла в отрицательную сторону на величину, предотвращающую процесс коррозии. **Анодная защита является, как правило, самостоятельным способом, обеспечивающим предотвращение коррозии путём формирования и поддержания на поверхности склонного к пассивации металла защитной пленки.** Рассматриваемые способы относятся к наиболее простым и получили широкое распространение для защиты от коррозии крупногабаритных и часто труднодоступных конструкций (например, корпусов морских судов, нефтегазопроводов, различных подземных и подводных коммуникаций).

Уменьшение агрессивности среды достигается деаэрацией (удалением растворенных газов-окислителей), изменением рН электролитов, замещением агрессивной газовой среды инертными газами; введением в газовую или жидкую среду ингибиторов, обеспечивающих подавление коррозии в результате их адсорбции на поверхности и её изоляции или изменения механизма и кинетики коррозионных процессов. Рассматриваемый способ имеет несомненный интерес и получает распространение. Однако он также не является универсальным и может быть рекомендован, прежде всего, для защиты внутренних поверхностей ограниченных объёмов (цистерн, резервуаров), некоторых трубопроводов и систем.

Изоляция конструкций от коррозионной среды с помощью лакокрасочных и других неметаллических (полимерных) покрытий — самый древний и наиболее универсальный способ защиты металлов. Однако имеется много случаев, когда применение изоляционных

покрытий тесно связано с рядом неудобств и трудностей или они не могут быть рекомендованы. При работе металлов с изоляционными покрытиями в электролитах (например, в морской воде или почве) не исключено их местное разрушение даже в период гарантированного срока службы покрытий. Оголенные от покрытий участки становятся активными анодами по отношению к поверхности с не разрушенным покрытием и подвержены интенсивной язвенной коррозии, скорость которой значительно превосходит скорость коррозии незащищенного «покрытием металла». В этих случаях применение изоляционных покрытий часто не может считаться надежным способом предотвращения коррозии и требуется использование дополнительного (вспомогательного) способа защиты оголенных участков поверхности (например, электрохимической).

Изоляция конструкций от коррозионной среды с помощью металлических (например, гальванических) и неметаллических неорганических (например, оксидных) покрытий во многих случаях является единственно приемлемым способом защиты металла. Особенно это касается химической аппаратуры, где не допускается образование каких-либо побочных продуктов, способных нарушить технологический процесс, а также в тех случаях, когда конструкционные материалы совершенно нестойки и должны перекрываться металлом, не подверженным коррозии в данной агрессивной среде. Область применения рассматриваемых покрытий достаточно широка. В основном они используются для небольших весьма разнообразных деталей и конструкций.

Таким образом, **все известные способы защиты металлов от коррозии, имея определенные отличительные особенности и преимущества, не являются универсальными.** Для выбора оптимального из них для каждого конкретного случая необходимо рассматривать всю совокупность их свойств. Предпочтение тому или иному способу может быть отдано только на основе анализируемых требований к защите определенной конструкции с учётом особенностей её эксплуатации и технико-экономического обоснования.

2 ДЕАЭРАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

Заключительной стадией технологического процесса приготовления питательной воды для паровых котлов является удаление растворённых в ней агрессивных газов, в первую очередь кислорода, а также диоксида углерода, вызывающих коррозию металла теплосиловых установок. Кислородная коррозия является наиболее опасной, так как она проявляется на отдельных участках поверхности металла в виде небольших язвин и развивается в глубину металла вплоть до образования сквозных свищей. Для современных паровых котлов большой паропроизводительности даже самая незначительная концентрация растворённого в питательной воде кислорода может быть причиной нарушения нормальной работы и выхода из строя отдельных элементов их, из которых в первую очередь обычно подвергается коррозии водяной экономайзер.

Таким образом, для обеспечения надёжной эксплуатации современных паровых котлов необходимо стремиться к практически полному отсутствию в питательной воде растворённого кислорода.

Процесс удаления из воды растворённых газов носит название дегазации или деаэрации. В настоящее время известно несколько способов деаэрации— термический и химический [3,5,6].

2.1 Наибольшее распространение получил термический способ деаэрации воды. Этот способ основывается на том, что растворимость в воде газов с повышением её температуры уменьшается, а при температуре, равной температуре кипения, газы почти полностью удаляются из воды. **Таким способом газы удаляются из воды в специальных устройствах, которые принято называть термическими деаэраторами.** Для дегазации воды применяются преимущественно деаэраторы атмосферного типа, работающие при абсолютном давлении 0,1 МПа (1 кгс/см²), и вакуумные деаэраторы, работающие при абсолютном давлении от 0,0007 до 0,05 МПа (от 0,075 до 0,5 кгс/см), т. е. при температурах деаэрированной воды от 40 до 80 °С. **Деаэрация воды основана на законе Генри,** согласно которому количество газа, растворённого в единице объёма воды, пропорционально парциальному давлению этого газа в газовой или парогазовой смеси над поверхностью воды. **Для полного удаления газов из воды необходимо создать условия, при которых парциальные давления этих газов над поверхностью воды будут равны нулю,** что возможно при температуре кипения воды, т. е. при доведении её до температуры насыщения при давлении в деаэраторе и отводе газов из парового пространства деаэратора.

В паровых котельных наибольшее применение получили деаэраторы атмосферного

типа — ДСА (рис. 2). Двухступенчатый барботажный деаэратор состоит из малогабаритной деаэрационной колонки 10 и бака аккумулятора 1 со встроенным барботажным устройством и перегородками, образующими специальные отсеки. Деаэрационная колонка 10 имеет две тарелки с отверстиями, через которые вода стекает в бак-аккумулятор 1. На первой по ходу воды тарелке смонтировано устройство для лучшего перемешивания поступающих в деаэратор потоков конденсата и химически обработанной воды. Эти потоки поступают во внешнее кольцо смесительного устройства, после чего вода через два водослива попадает на перфорированную часть первой тарелки.

После колонки деаэрируемая вода поступает в бак-аккумулятор 1, в нижней части которого у противоположного торца размещается затопленное барботажное устройство. Греющий пар по трубе подается в паровую коробку 11 и через отверстия дырчатого листа барботирует через слой воды, медленно движущейся над листом в сторону патрубка для отвода воды из деаэрата. Вода, выходящая из барботажного устройства, поступает в подъёмную шахту. Вскипание объясняется наличием небольшого перегрева воды относительно температуры насыщения, которая соответствует давлению в паровом пространстве бака-аккумулятора. Перегрев определяется высотой столба жидкости над барботажным листом.

Пар, проходящий через барботажное устройство и столб воды, попадая в паровое пространство, движется над поверхностью воды в сторону колонки. Размещение колонки на противоположной стороне от барботажного устройства обеспечивает чётко выраженное противоточное движение потоков воды и пара и хорошую вентиляцию парового

Пар, необходимый для деаэрации, подается в барботажное устройство от регулятора давления: давления пара перед регулятором 0,6—0,7 МПа (6—7 кгс/см²), после регулятора — 0,05—0,07 МПа (0,5—0,7 кгс/см²). На деаэраторах производительностью более 50 т/ч предусмотрен патрубок для подвода низкотемпературного пара с давлением 0,02—0,03 МПа (0,2—0,3 кгс/см²) (от расширителей непрерывной продувки, от поршневых паровых насосов, турбонасосов) непосредственно в паровое пространство деаэрата для лучшей вентиляции парового объёма деаэрата и на первую ступень деаэрации в деаэрационной колонке.

Выпар из деаэрационной колонки отводится в охладитель выпара 8 и из него в канализацию, а газы — через воздушник в атмосферу. Деаэраторы комплектуются гидрозатворами 13 для защиты от превышения давления.

Деаэраторы атмосферного типа рассчитаны на работу при давлении 0,01—0,02 МПа (0,1—0,2 кгс/см²) и температуре воды 102—104 °С. Согласно ГОСТ 16860-71

«Деаэраторы термические» изменение подогрева воды в деаэраторах должно быть не более 10—40°С [4]

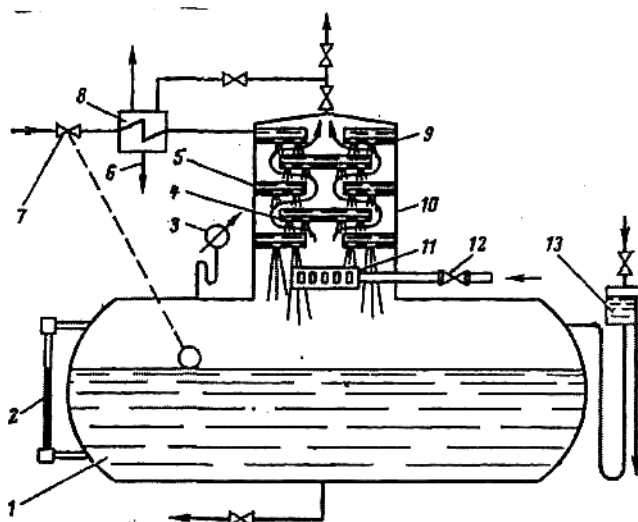


Рис.2. Схема атмосферного деаэрирующего бака смешивающего типа:

1—бак-аккумулятор деаэрированной воды; 2—водоуказательное стекло; 3—манометр; 4,5 — тарелки; 6 — конденсат из охладителя; 7— регулирующий клапан питательной воды; 8 — охладитель выпара; 9 — кольцеобразное распределительное устройство; 10 — деаэрационная колонка; 11— распределитель пара; 12 — клапан; 13 — гидравлический затвор; см. также Рис.5; 14 – отбор питательной воды.

НПО ЦКТИ разработана новая конструкция двухступенчатых барботажных деаэраторов (типа ДА) атмосферного типа. Эти деаэраторы отличаются тем, что барботажное устройство в них располагается в нижней части деаэрационной колонки. Колонка устанавливается на деаэрационный бак старой конструкции. Подвод химически очищенной воды и конденсата осуществляется в верхнюю часть колонки, пар подводится в паровое пространство деаэрационного бака со стороны, противоположной колонке. Такой подвод пара обеспечивает надёжную вентиляцию парового объёма бака. Отвод воды из деаэратора осуществляется со стороны, противоположной колонке.

Преимущества новых деаэраторов сравнительно с деаэраторами типа ДСА: повышенная заводская готовность, снижение металлоёмкости, упрощение монтажа, повышение эксплуатационной надёжности, уменьшение коррозии деаэрационных баков. Общая высота по сравнению с ДСА увеличилась на 600— 700 мм.

Вакуумные деаэраторы применяются в основном в водогрейных котельных [3,5,6].

Вакуумная деаэрационная установка представляет собой вакуумную колонку

(деаэратор) и аккумуляторный бак, находящийся под атмосферным давлением.

Вакуумная, колонка имеет две ступени дегазации: струйную и барботажную.

Подогретая вода поступает на верхнюю тарелку, которая секционирована с таким расчётом, что при минимальных нагрузках работает только часть отверстий во внутреннем секторе. При увеличении нагрузки в работу включаются дополнительные ряды отверстий, это позволяет избежать гидравлических перекосов по воде и пару при колебаниях нагрузки. Под барботажный лист подаётся пар или перегретая вода (120—140 °С), при вскипании которой образуется паровая подушка и происходит процесс парового барботажа.

Вакуумные деаэратеры укомплектованы охладителями выпара, водоводяными эжекторами, системой автоматического регулирования и контроля и соответствующими регулирующими клапанами.

Дегазация воды химическим способом осуществляется путём сульфитирования, т. е. введения в нагретую (до 80 °С) питательную воду раствора сульфита натрия Na_2SO_3 . Этот способ по сравнению с термической дегазацией более дорогой и поэтому не получил широкого распространения.

Способ обработки воды для конкретной котельной установки должен определяться специализированной (проектной, наладочной) организацией. **Согласно требованиям [1,2] все котлы паропроизводительностью 0,7 т/ч и более должны быть оборудованы установками для докотловой обработки воды.**

В котельных с котлами паропроизводительностью менее 0,7 т/ч установка водоподготовительных устройств не обязательна, но периодичность проведения очистки котлов должна быть такой, чтобы к моменту останова котла на очистку толщина отложений на наиболее теплонапряженных участках его поверхности нагрева не превышала 0,5 мм.

Для каждой котельной с котлами паропроизводительностью 0,7 т/ч и выше должна быть разработана проектной, наладочной или другой специализированной организацией и утверждена администрацией предприятия инструкция (режимные карты) по водоподготовке. В инструкции должны быть указаны нормы качества питательной и котловой воды для данной котельной установки, режим непрерывной и периодической продувок, порядок выполнения анализов котловой и питательной воды и обслуживания водоподготовительного оборудования, сроки останова котла на очистку и промывку, и порядок осмотра остановленных котлов. В необходимых случаях в инструкции следует предусматривать также проверку агрессивности котловой воды.

Чтобы исключить случаи питания котла сырой водой, на резервных линиях сырой

воды, присоединенных к линиям питательной воды, должны устанавливаться два запорных органа и контрольный кран между ними. Запорные органы следует опломбировать в закрытом положении (контрольный кран открыт), а каждый, случай питания котла сырой водой записывать в журнал по водоподготовке с указанием причин.

В котельных с водогрейными котлами часто устанавливаются вакуумные деаэратеры. Однако вакуумные деаэратеры требуют при эксплуатации тщательного надзора, поэтому в ряде котельных предпочитают устанавливать деаэратеры атмосферного типа.

Применяемые схемы включения вакуумных деаэратеров и деаэратеров атмосферного типа показаны на рис. 3 [8,с.134]

На рис. 3, а показан деаэратор, работающий при абсолютном давлении 0,03 МПа. Вакуум в нем создается водоструйным эжектором. Подпиточная вода после химводоочистки подогревается в водоводяном подогревателе горячей водой из прямой линии с температурой 130—150 °С. Выделившийся пар барботирует поток деаэрируемой воды и направляется в охладитель выпара. Температура воды после деаэратора 70 °С.

На рис. 3, б показана схема деаэрации при давлении 0,12 МПа, т. е. выше атмосферного. При этом давлении температура воды в деаэраторе 104 °С. Перед подачей в деаэратор химически очищенная вода предварительно подогревается в водоводяном теплообменнике.

На рис. 3, в показана аналогичная схема деаэрации подпиточной воды, отличающейся от описанной тем, что после деаэрационной колонки вода поступает в охладитель деаэрированной воды, подогревая химически очищенную воду. Затем химически очищенная вода направляется в теплообменник, установленный перед деаэратором. Температура воды после охладителя деаэрированной воды обычно принимается равной 70 °С.

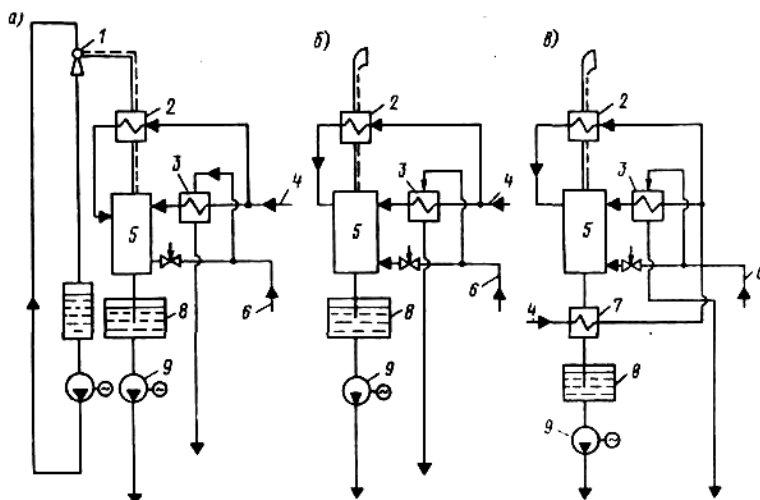


Рис. 3. Схемы включения деаэраторов: а—вакуумного; б — атмосферного; в — атмосферного с охладителем деаэрированной воды [8]

1 — водоструйный эжектор; 2 — охладитель выпара; 3 — водоводяной теплообменник; 4 — химически очищенная вода; 5 — деаэратор; 6 — горячая вода из прямой линии; 7 — охладитель деаэрированной воды; 8 — бак деаэрированной воды; 9 — подпиточный насос

2.2 Классификация и типовые конструкции деаэраторов [4...9]

Термические деаэраторы воды выполняют на ТЭЦ несколько функций, основной является удаление из воды растворённых агрессивных газов (кислорода и углекислоты). Деаэраторы служат также для регенеративного подогрева основного конденсата и являются местом сбора и хранения запаса питательной воды. Известно много типов деаэраторов, их можно классифицировать по рабочему давлению и по способу создания поверхности контакта деаэрируемой воды с греющим паром.

В зависимости от рабочего давления термические деаэраторы - согласно ГОСТ 16860 - 77 делятся на *вакуумные* (тип ДВ, рабочее, давление 0,0075 — 0,05 МПа, температура насыщения 40—80 °С), *атмосферные* (тип ДА, рабочее давление 0,12 МПа, температура насыщения 104 °С) и *повышенного давления* (тип ДП, рабочее давление 0,6—0,7 МПа, реже 0,8— 1,2 МПа, температура насыщения 158— 167 °С и соответственно 170— 188°С).

В вакуумных деаэраторах давление ниже атмосферного и для отсоса выделяющихся из воды газов требуется эжектор. Имеется опасность повторного «заражения» воды кислородом из-за присоса атмосферного воздуха в тракт перед насосом. Вакуумные деаэраторы применяются, когда требуется деаэрировать воду при температуре ниже 100 °С (подпиточная вода тепловых сетей, вода в тракте химической водоподготовки). К ним относятся также деаэрационные приставки конденсаторов.

Атмосферные деаэраторы работают с небольшим избытком внутреннего давления над атмосферным (приблизительно 0,02 МПа), необходимым для самотечной эвакуации выделяющихся газов в атмосферу. Преимуществом атмосферных деаэраторов является минимальная толщина стенки корпуса (экономия металла).

В настоящее время атмосферные деаэраторы применяются главным образом для добавочной воды ТЭЦ, питательной воды испарителей и подпиточной воды тепловых сетей.

Деаэраторы повышенного давления применяются для обработки питательной воды энергетических котлов с начальным давлением пара 10 МПа и выше. Применение

деаэраторов типа ДП на ТЭЦ позволяет при более высокой температуре регенеративного подогрева воды ограничиться в тепловой схеме небольшим количеством последовательно включенных ПВД (не более трёх), что способствует повышению надёжности и удешевлению установки и благоприятно сказывается при эксплуатации ввиду меньшего сброса температуры питательной воды при отключении ПВД. По способу создания поверхности контакта фаз деаэраторы подразделяются на *струйные*, *плёночные* и *барботажные*. Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭС) нормируется содержание в воде растворённого кислорода:

Таблица 2. Нормированное содержание в воде растворённого кислорода [2]

Вода	Содержание растворённого кислорода, мг/кг
Питательная вода энергетических котлов на рабочее давление до 10 МПа	20
То же более 10 МПа	10
Питательная вода испарителей и паропреобразователей	20
Подпиточная вода тепловых сетей	50

Свободная углекислота в воде после деаэратора должна отсутствовать, а показатель рН (при 25°С) питательной воды должен поддерживаться в пределах $9,1 \pm 0,1$.

На рис. 4 показана общая схема деаэрационной установки. Основными элементами деаэратора являются его колонка, где происходит основной подогрев и деаэрация воды, и аккумуляторный бак для хранения запаса деаэрированной воды; (см. также рис.5,9]

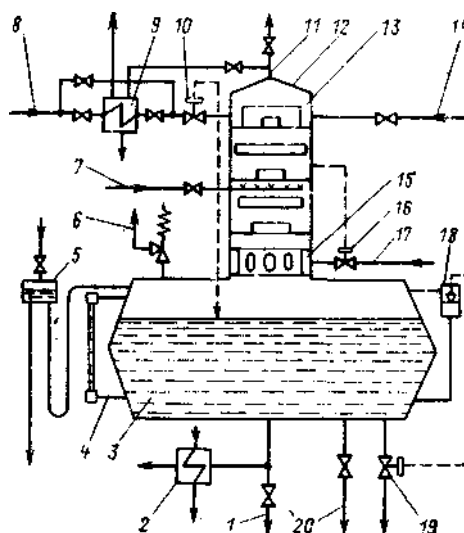


Рис. 4. Схема деаэрационной установки:

- 1 – деаэрированная вода к питательному насосу; 2 – холодильник для отбора проб питательной воды;
- 3 – аккумуляторный бак деаэратора; 4 – водоуказательное стекло; 5 – гидравлический затвор и перелив (при деаэраторе атмосферного давления); 6 – предохранительный клапан (при деаэраторе

повышенного давления); 7 – горячие дренажи из ПДВ; 8 – добавочная вода; 9 – охладитель выпара; 10 – регулятор уровня воды в деаэраторе; 11 – линия выпара; 12 – колонка деаэрата; 13 – водораспределитель; 14 – основной конденсат; 15 – парораспределитель; 16 – регулятор давления пара в деаэраторе; 17 – греющий пар; 18 – регулятор перелива (у деаэрата повышенного давления); 19 – клапан регулятора перелива; 20 – слив воды из деаэрата.

В верхней части деаэрационной колонки располагается водораспределитель смешения потоков поступающей воды и равномерного распределения её по сечению. Горячие потоки воды, подверженные вскипанию при вводе в деаэратор, и дополнительный пар подаются на промежуточные ступени колонки. В нижней части колонки размещается парораспределитель для равномерного распределения поступающего в неё греющего пара.

Конструкции водо- и парораспределителей могут быть различные. Между ними размещается активная зона колонки, которая в зависимости от типа деаэрата выполняется также по-разному. Здесь происходят подогрев воды и её деаэрация (массообмен).

В самой верхней части колонки имеется штуцер, к которому присоединяется линия выпара. **Выпаром называется смесь выделившихся из воды газов и небольшого количества пара, подлежащая эвакуации из деаэрата. Выпар обеспечивает вентиляцию колонки и для нормальной работы деаэрата его расход (по пару) должен составлять не менее 1—2 кг, а при наличии в исходной воде значительного количества свободной или связанной углекислоты — 2—3 кг на 1 т деаэрируемой воды.**

Для уменьшения потерь теплоты и теплоносителя выпар деаэрата поступает в охладитель выпара 9, где большая часть содержавшегося в нем пара конденсируется и возвращается в цикл ТЭС.

Теплота конденсации выпара используется для подогрева одного из потоков поступающей в деаэратор воды, температура которой на входе в охладитель выпара не должна превышать 60—70 °С. В противном случае не будет обеспечена эффективная конденсация выпара, поскольку его охладитель имеет свободный выход в атмосферу и давление в его корпусе лишь немного превышает атмосферное.

2.2.1 Деаэратор струйный одноступенчатый, атмосферного типа [5]

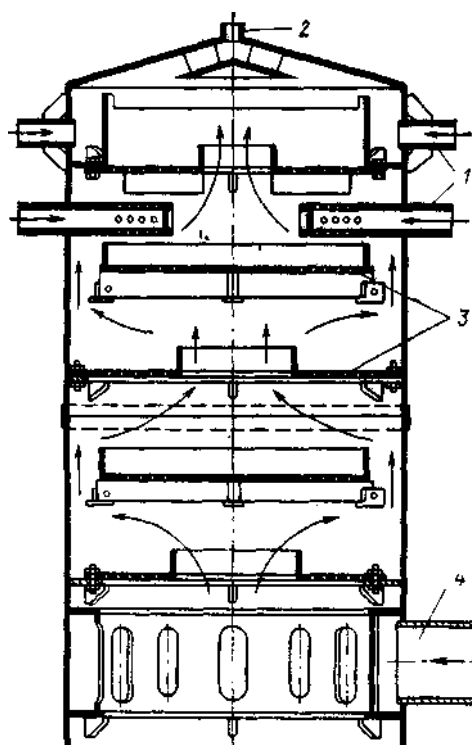


Рис. 5. Колонка струйного деаэратора

атмосферного давления:

1 — подвод деаэрируемой воды; 2 — отвод
выпара; 3 — тарелки; 4 — подвод греющего
пара

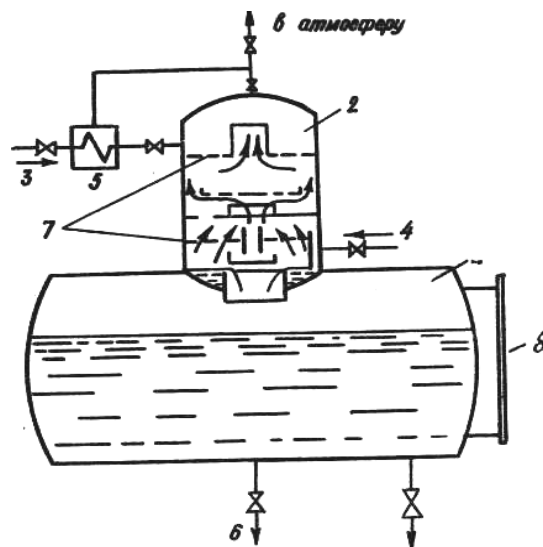


Рис.6. Принципиальная схема деаэратора, струйного

одноступенчатого атмосферного типа: 1 - бак-
аккумулятор; 2 - деаэрационная колонка; 3 - подвод химически
обработанной воды; 4 - поток греющего пара; 5 - охладитель
выпара; 6 – выход деаэрированной воды; 7 - деаэрационные
тарелки; 8 - водомерное стекло

Колонка деаэратора струйного типа с дырчатыми тарелками изображена на рис. 5. Вода через верхний ряд боковых штуцеров поступает в смесительную камеру, совмещённую с водосливом. Дробление воды на струи осуществляется с помощью дырчатых тарелок, площадь отверстий в которых составляет около 8 % общей площади тарелки в плане. Приведенная плотность орошения (количество воды, поступающей в единицу на 1 м^2 площади горизонтального сечения колонки) для деаэраторов струйного типа не должна превышать $17 - 28 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [$60 - 100 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$]

Применяются тарелки двух типов устанавливаемые поочередно: с центральным проходом для пара (кольцеобразные) и с проходом по периферии (в виде сплошного круга). Расстояние по вертикали между соседними тарелками принимается $300 - 400 \text{ мм}$, высота борта $50 - 100 \text{ мм}$, диаметр отверстий $4 - 7 \text{ мм}$. Число каскадов тарелок зависит от начального и требуемого конечного содержания кислорода в деаэрируемой воде и может достигать $5 - 10$ шт.

Деаэраторы струйного типа наряду с преимуществами — простота конструкции и малое паровое сопротивление — имеют недостаток — сравнительно низкую интенсивность деаэрации воды.

Вследствие этого колонки струйного типа имеют большую высоту (3,5—4 м и более), и их изготовление связано с повышенной затратой металла. При большой высоте колонок затрудняется их ремонт.

Крепление тарелок в колонках может осуществляться на кронштейнах, на подвесках (тягах), попарным скреплением приварными листами с опиранием на кольцевые выступы. Во избежание перекосов в распределении потока воды при не вполне горизонтальной установке тарелок в них делают секционирующие перегородки.

Парораспределители могут иметь различное конструктивное оформление. Помимо изображенного на **рис. 5** кольцевого парораспределителя с овальными окнами или вертикальными щелями применяют также заглушенные на конце перфорированные патрубки. Последние предпочтительны, когда греющий пар перегрет, (см. также рис.8)

Деаэрирующие устройства струйного типа с дырчатыми тарелками в настоящее время используются в качестве первой ступени обработки питательной воды котлов в двухступенчатых деаэраторах струйно-барботажного типа

В деаэраторах с колонками плёночного типа необходимая поверхность контакта с паром обеспечивается расчленением потока воды на пленки, обволакивающие насадку (заполнитель), по поверхности которой вода стекает вниз. Применяется насадка двух типов: упорядоченная и неупорядоченная. Упорядоченную насадку выполняют из вертикальных, наклонных или зигзагообразных листов, а также из укладываемых правильными рядами колец, концентрических цилиндров или других элементов. Преимущества упорядоченной насадки — возможность работы с высокими плотностями орошения — $55—83 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ [$200—300 \text{ т}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$] при значительном подогреве воды ($20—30 \text{ }^\circ\text{C}$) и возможность деаэрации неумягченной воды. Недостаток — неравномерность распределения потока воды по насадке.

Неупорядоченная насадка выполняется из небольших элементов определенной формы, засыпаемых произвольно в выделенную часть колонки (кольца, шары, сёдла, омегаобразные элементы)

Колонки деаэраторов, работающие с высокими добавками химически обработанной воды, для облегчения ревизий целесообразно снабжать фланцевым разъемом. Последний наиболее удобно располагать между второй и третьей тарелками колонки. Эффективным средством улучшения работы термических деаэраторов струйного и плёночного типов является устройство в их аккумуляторах второй ступени деаэрации путем барботажа пара через весь объем воды. Это мероприятие при равновеликом размере выпара позволяет в несколько раз понизить остаточное содержание кислорода и увеличить степень удаления свободной и полусвязанной

углекислоты.

Особенно полезным оказывается барботаж при возникновении каких-либо повреждений во внутреннем устройстве колонки. Роль выпара и барботажа в конечном эффекте удаления кислорода в деаэраторе струйного типа с повреждёнными элементами распределительных сит иллюстрируют данные соответствующего испытания, проведённого Уралэнергометаллургпромом (УЭМП) (табл. 3) [5,6]

Таблица 3.

Режим работы деаэратора	Остаточное содержание O ₂ , мкг/кг, при размере выпара кг/т		
	3	0,3	0,03
Без барботажа	76	120	200
С барботажем пара в Размере 30% от общего расхода	12	16	20

В промышленных котельных, где дросселирование пара не связано с потерями в выработке электроэнергии, через барботажные устройства целесообразно пропускать весь поток пара, подаваемый в деаэратор.

На **рис. 7** показаны два варианта устройств для барботажной додеаэрации воды в аккумуляторе деаэратора, предложенных УЭМП. Первый вариант (*а*) предназначен для корректировки работы деаэрационной колонки. Барботажное устройство размещено непосредственно под колонкой, что гарантирует пропуск через него всего потока воды, поступающей из струйной колонки в аккумуляторный бак. Второй вариант (*б*) предназначен для достижения максимального эффекта термического распада бикарбонатов. Барботажное устройство обеспечивает как равномерный охват барботажем всего водяного объема аккумуляторного бака, так и максимальную длительность контакта воды с шаром. В обоих вариантах организована многократная рециркуляция питательной воды внутри аккумуляторного бака с использованием принципа естественной циркуляции в полужамкнутом контуре. Оба варианта показали в промышленной эксплуатации высокую эффективность.

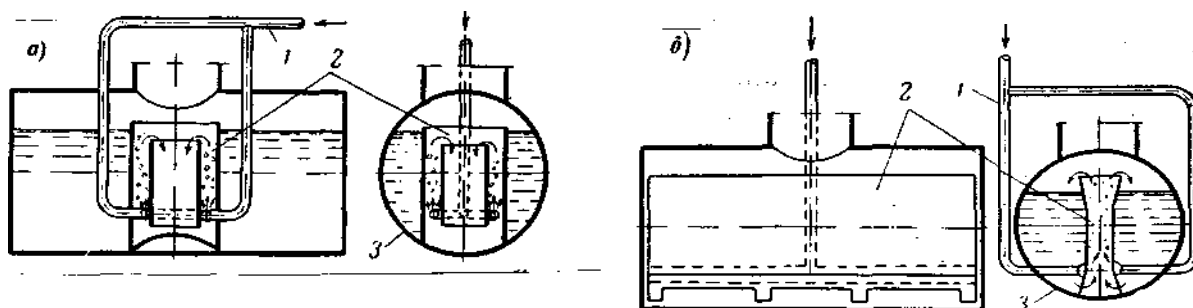


Рис. 7 Барботажные устройства конструкции УЭМП

а – для корректировки работы колонки; б – для достижения максимального распада бикарбонатов; 1 – подвод пара; 2 – контур многократной циркуляции; 3 – аккумулятор деаэрата.

Деаэратор (рис. 6) имеет дегазационную колонку 2, приваренную к закрытому баку-аккумулятору 1. Химочищенная вода подаётся в верхнюю часть колонки 2, откуда, проходя последовательно через дырчатые тарелки, струйками сливается в бак. Пар подаётся снизу колонки 4, и, направляясь вверх подогревает воду до кипения, одновременно конденсируясь. Выделившиеся из воды газы вместе с остатком пара выбрасывают в атмосферу. Величина выпара составляет $\approx 3\%$ количества подаваемого пара. Температура смеси выбрасываемых газов и несконденсировавшихся остатков пара (выпар) колеблется около 95° . Выпар направляется в охладитель 5, который представляет собой теплообменник поверхностного типа. В охладителе происходит нагрев химочищенной воды 3, подаваемой в деаэратор. После охладителя газы направляют в атмосферу, а конденсат пара поступает в сборочный бак. Деаэрированная вода собирается в баке-аккумуляторе 1, снабженном водомерным стеклом 8. Уровень воды в баке поддерживается с помощью поплавкового механизма, регулирующего положение задвижки трубопровода питательной воды.

2.2.2 Деаэратор двухступенчатый барботажный (рис.8) [5]

Процесс деаэрации осуществляется двумя способами: конвективной диффузией и дисперсным выделением пузырьков газа из толщи воды.

Конвективная диффузия происходит в течение всего процесса деаэрации, а процесс дисперсного выделения начинается только с момента достижения водой состояния насыщения.

По данным исследований ЦКТИ, **интенсивность процесса выделения дисперсного кислорода в воде, поступающей в бак-аккумулятор, может достигать 70% начальной концентрации кислорода, т.е. после прохождения воды через деаэрационную колонку /первой ступени деаэрации/ в воде остается до 30% первоначального содержания кислорода. Для осуществления более глубокого процесса деаэрации необходимо применение второй ступени - барботажа воды паром.**

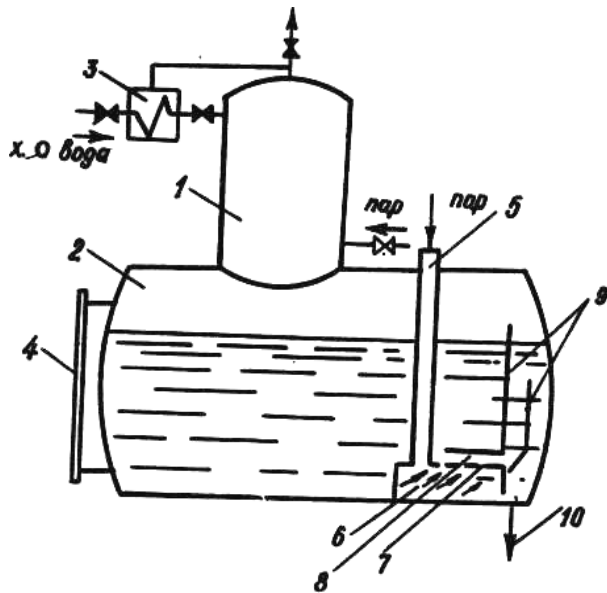


Рис. 8. Принципиальная схема двухступенчатого деаэратора барботажного типа ДСА;

1 - деаэрационная головка, 2 - бак-аккумулятор;
3 - теплообменник; 4 - водомерное стекло;
5 - подвод барботирующего пара; 6 – барботажное устройство;
8, 9 -листы, образующие канал, в котором вода поддерживается “на кипу”; 10 - отвод деаэрированной воды

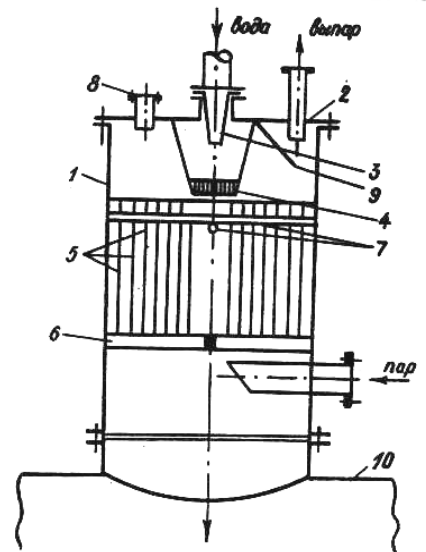


Рис. 9. Деаэратор пленочного типа:

1- корпус; 2 - крышка; 3 - сопло; 4 - розетка;
5 - стальные листы; 6 - опорная крестовина;
7 -связные штыри; 8 - патрубок для предохранительного клапана; 9 - отбойный лист для предотвращения выноса влаги; 10 -бак -аккумулятор

Кроме того, при барботировании воды в бак-аккумуляторе паром происходит разложение бикарбоната натрия. Время пребывания воды в дегазационной головке – 0,5-0,75 мин - недостаточно для глубокого разложения бикарбоната натрия. Попадая в питательный тракт, NaHCO_3 подвергается разложению с выделением углекислоты, которая вызывает коррозию металла.

В двухступенчатом деаэраторе барботажного типа разложение бикарбонатов и дегазация происходят в дегазационной колонке и аккумуляторном баке. Для этой цели греющий пар подводят в аккумуляторный бак через несколько эжектирующих сопел 6, обеспечивающих интенсивное перемешивание дегазируемой воды с пузырьками барботируемого пара. Поддержание воды в бак-аккумуляторе 2 "на кипу" способствует интенсивному разложению бикарбонатов и полному удалению остатков O_2 и CO_2 . По данным испытаний ВТИ, в бак-аккумуляторе 2 барботажного типа в течение 30 мин

разрушается 50% NaHCO_3 , причём количество пара, подводимого на барботаж, составляет 20-30% общего количества пара, расходуемого на дегазацию. Греющий пар частично конденсируется и смешивается с деаэрированной водой, а часть его вместе с выделившимся из воды газами попадает в паровое пространство бака и движется к колонке 1 над поверхностью воды. При этом обеспечивается хорошая вентиляция парового пространства бака от выделившихся из воды газов. Попав в деаэрационную колонку 1, пар поднимается по ней вверх и омывает стекающие с тарелок струи воды. Несконденсировавшийся пар и газы удаляются из деаэратора и поступают в охладитель выпара. В охладителе выпара 3 пар конденсируется, а выделившиеся газы удаляются в атмосферу.

2.2.3 Деаэратор пленочного типа (рис.9)

Деаэрируемая вода поступает через сопло 3, ударяется о розетку 4, разбрызгивается и стекает пленками по вертикальным стальным листам 5. Пар поступает снизу навстречу воде по отсекам, образованным стальными листами, нагревая воду и обогащаясь газами. Остатки пара вместе с газами удаляется через выпарную трубу. Пленочный деаэратор отличается компактностью; его легко чистить от накипи и шлама химическими и механическими методами.

2.2.4 Вакуумный дегазатор

Он применяется для дегазации подпиточной вода в водогрейных котельных, где отсутствует теплоноситель пар. Двухступенчатый вакуумный дегазатор горизонтального типа (рис. 10) представляет собой горизонтально расположенный цилиндр. Химочищенная вода поступает на первую дырчатую тарелку 14, затем последовательно стекает на дырчатые тарелки 2, 12, 11 и на барботажный лист 6.

Горячая вода с температурой 70-150°C подается в деаэратор по трубопроводу 3. В деаэраторе с помощью эжектора создается разрежение порядка 0,12-0,2 кгс/см², и подаваемая горячая вода вскипает. Жалюзи 4 разделяют вскипевшую воду и пар. Пар поступает по каналу 5 под барботажные листы, а сконденсировавшаяся вода по каналам 7 и 8 отводится вместе с деаэрированной водой из деаэратора через трубопровод 9. Между тарелками 11 и 12 происходит подогрев воды до температуры насыщения. При разрежении 0,12 и 0,2 ат насыщение достигается при 50-60°C. Выделившиеся газы вместе с несконденсировавшимся паром удаляются из деаэратора через трубопровод 13.

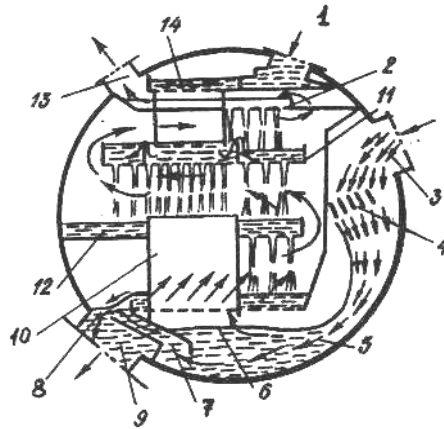


Рис. 10. Вакуумный деаэратор

1 - подача химочищенной вода; 2, 11, 12, 14 - деаэрационные тарелки; 3 - подача горячей вода; 4 - жалюзи; 5 - канал; 6 - барботажный лист; 7,8,9-отвод деаэрированной воды; 10 - короб; 13 - трубопровод для удаления газов и несконденсировавшихся паров.

2.2.5 Бесколонковые барботажные деаэраторы [5,6]

Существенным достоинством аппаратов этого типа, предложенных в 1958 г. Г. П. Сутоцким и М. Ф. Деминым и получивших в настоящее время достаточно широкое распространение в промэнергетике, являются малые размеры по высоте и допустимость работы с высоким диапазоном гидравлических нагрузок. Отличительной особенностью конструкции деаэратора (рис.11) является многократный барботаж в двух непосредственно включенных полузамкнутых циркуляционных контурах внутри питательного бака.

Вода через распределительную трубу и корыто поступает в верхнюю часть барботажного устройства, будучи разбитой на тонкие струи. Пройдя через паровую часть высотой 350 мм, она попадает в опускной канал циркуляционного контура первой ступени барботажного отсека. Опустившись вниз, вода меняет направление движения на 180° и по подъёмному каналу поднимается вверх за счёт движущего напора естественной циркуляции, создаваемой разностью весов воды в опускной и пароводяной смеси в подъёмной ветвях контура. Кромки

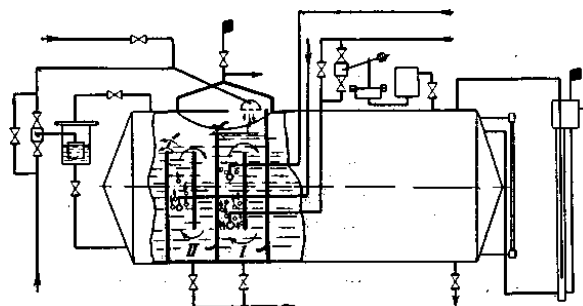


Рис.11. Барботажный деаэратор конструкции УЭМП.

центральных перегородок обоих барботажных отсеков выполнены на 100 мм ниже верхнего края разделительной стенки между двумя ступенями барботажа. За счет этого большая часть поднявшейся воды вновь возвращается в повторный цикл циркуляции. Только 2,5—3% от общего потока через специальные отверстия в верхней части разделительной стенки между двумя ступенями барботажа направляется во второй барботажный отсек.

После второго цикла многократной циркуляции вода, освобожденная от газов за счёт продувки свежим паром, через наружную перегородку второго барботажного отсека поступает в аккумулятор деаэратора. Барботажное устройство расположено у одного из торцов аккумулятора и не препятствует свободному сообщению обеих частей бака по воде и по пару. Отвод деаэрированной воды из аккумулятора осуществляется из его дальнего конца, чем обеспечивается полное освобождение воды от газовых пузырей, захваченных потоком воды из барботажных отсеков. Надёжность работы деаэратора обеспечивается наличием комбинированного предохранительного самозаливающегося гидрозатвора с петлей высотой 3,5 м, включающего в себя и переливную трубу с высотой замыкающего затвора 5 м.

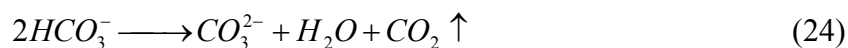
Барботажный деаэратор позволяет работать без существенного снижения эффекта деаэрации в широком диапазоне гидравлических и тепловых нагрузок (10 - 120% от номинального значения). Аппарат может использоваться как в комбинации с водоводяным теплообменником, так и без него. В первом случае деаэратор освобождает от агрессивных газов воду с любой начальной температурой и может устанавливаться на отметке +3 м над осью питательных насосов. Во втором случае поступающая вода должна иметь для номинальной производительности температуру не менее 50°C, а деаэратор устанавливается на отметке не ниже +7 м над осью питательных насосов. Предприятием УЭМП разработаны рабочие чертежи серии типоразмеров деаэратора на производительность 5, 10, 15, 25, 50, 75 т/ч.

Предотвращение углекислотной коррозии

А. Защита питательного тракта [5, с.216...218;6]

Полное удаление свободной углекислоты из питательной воды в промышленных котельных достигается или интенсификацией работы термических деаэраторов за счёт организации барботажной додеаэрации воды, или связыванием CO_2 каким-либо щёлочным соединением. Если в схеме водоподготовки имеется термическая деаэрация в аппарате атмосферного типа, то предпочтение следует отдать первому способу. Он

основан на том, что при длительном энергичном кипячении воды в аккумуляторе деаэратора происходит термический распад бикарбоната натрия по уравнению:



с удалением CO_2 в паровую фазу. Образующийся карбонатный ион по обратной реакции связывает остаточное количество свободной углекислоты. Таким образом, здесь действуют параллельно два дополняющие друг друга процесса: десорбция и химическое связывание.

Скорость реакции (24) увеличивается с возрастанием начальной концентрации в воде бикарбонатных ионов и длительности барботажного контакта воды с водяным паром. При бикарбонатной щёлочности питательной воды выше 1,0 мг-экв/кг полное удаление углекислоты удаётся получить в обычных струйных деаэраторах атмосферного типа даже без барботажа. При щёлочности воды ниже 1 мг-экв/кг полное удаление углекислоты требует применения барботажа. Высокий эффект по термическому распаду бикарбонатов достигается в конструкции УЗМП, использующей принцип многократной естественной циркуляции пароводяной смеси в полузамкнутом контуре (см. рис. 7). Если дросселирование пара не связано на данной установке с энергетическими потерями, то рекомендуется через барботажное устройство подобного типа пропускать весь пар, подаваемый в деаэратор. При щёлочности порядка 1 мг-экв/кг обычно удаётся разрушить около 40% начальной концентрации бикарбонатов (до Na_2CO_3).

При нетермических методах обескислороживания, а также в установках вакуумной деаэрации удаление свободной углекислоты из питательной воды приходится осуществлять связыванием её химическим путем. Экономически наиболее выгодно для данной цели использовать щёлочную котловую воду путём рециркуляции части продувочной воды в питательный бак. Обычно оказывается достаточным вернуть в питательный цикл 5 — 10% от общего количества продувочной воды. Однако в установках с десорбционным обескислороживанием, где происходит обогащение питательной воды углекислотой, размер необходимой рециркуляционной продувки может достигать 20 — 30% от её общего расхода. При наличии в котельной нескольких котлов с различной нормативной щёлочностью котловой воды рециркуляцию воды в питательный бак из соображений сокращения тепловых потерь следует осуществлять из котла, работающего с наименьшей щёлочностью котловой воды.

Б. Защита пароконденсатного тракта [6;5, с.218...231]

Наибольшие затруднения в эксплуатации промышленных котельных обычно

вызывает углекислотная коррозия элементов пароконденсатного тракта (сетевые подогреватели, теплообменники, обратные конденсатопроводы). Очагами наиболее интенсивных повреждений стальных и латунных поверхностей обычно являются участки оборудования, где происходит конденсация пара. На большинстве промышленных предприятий срок службы этих элементов из-за коррозионного износа не превышает 2—3 лет. В конденсате, получаемом из тепло-обменных аппаратов, содержание продуктов коррозии (железа, цинка и меди) достигает сотен и даже тысяч микрограммов на каждый килограмм сконденсированного пара. Между тем организация рационального водно-химического режима пароконденсатных систем позволяет резко снизить интенсивность коррозии.

Обработка питательной воды аммиаком или солями аммония, организация индивидуальной вентиляции всех пароиспользующих теплообменных аппаратов от неконденсирующихся газов и внедрение закрытой системы сбора и возврата конденсата в питательную систему котлов позволяют понизить интенсивность коррозионных процессов в 5—10 раз. **Опыт эксплуатации установлена целесообразность организации аминирования для всех котельных вне зависимости от параметров пара при достаточно разветвлённой системе пароконденсатного тракта и допустимости содержания аммиака в паре в пределах 2—4 мг/кг.**

При таких его концентрациях наблюдается значительное замедление интенсивности коррозии. Это обусловлено тем, что при вводе в пар, содержащий угольную кислоту, даже незначительного количества аммиака значение pH конденсата возрастает. Часто для аминирования применяют сульфат аммония. **Его раствор следует подавать специальным плунжерным насосом в катионированную воду. В котельных, осуществляющих централизованное фосфатирование, удобно совмещать оба процесса.** Для приготовления и дозирования общего раствора тринатрийфосфата и сульфата аммония можно использовать одно и то же оборудование (растворный бак, дозаторы).

Важнейшим условием эффективности аминирования является стабильность значения pH. При колебаниях этой величины может происходить разрушение защитной окисной плёнки на внутренних поверхностях оборудования, способствующее интенсификации процесса коррозии. Ввод сульфата аммония в очищенную воду должен осуществляться непрерывно в количестве, пропорциональном расходу воды. При осуществлении аминирования повышенная концентрация аммиака создается в конденсате охладителей выпара деаэраторов и в конденсате парогазовой смеси систем вентиляции теплообменных аппаратов. **В связи с этим для энергетических установок,**

в которых осуществляется аминирование, рекомендуется охладители выпара деаэраторов и охладители вентиляционного пара теплообменных аппаратов изготавливать из нержавеющей стали.

При предварительных расчётах расхода реагента можно принимать, что в деаэраторах и вентиляционных системах теплообменников теряется около 10% всего аммиака, циркулирующего в пароводяном цикле котельной. К этому количеству должны быть прибавлены его потери с потоком пара, отдаваемым безвозвратно потребителям.

2.2.6 Эксплуатация технических дегазаторов [6,8,9]

На эффект термической дегазации воды в термических дегазаторах влияет комплекс мероприятий режимного и конструктивного характера. Конструкции термических дегазаторов должны удовлетворять следующим основным требованиям и обеспечить:

1. **Надёжный нагрев воды до температуры кипения**, соответствующей давлению в деаэраторе. Эффект деаэрации зависит от постоянства температуры деаэрируемой воды. Недогрев воды на 1°C уже приводит к значительному повышению концентрации газов в деаэрируемой воде;

2. **Тонкое разбрызгивание воды** с целью создания максимальной поверхности для выделения газов;

3. **Достаточное время пребывания воды в деаэраторе для выделения газов и разложения бикарбоната натрия.** Вода, прошедшая термическую обработку, прежде чем поступить на питательные насосы, находится ещё некоторое время в баке-аккумуляторе. В этот период из объёма воды продолжается выделение пузырьков газа. Таким образом, на эффект деаэрации влияет время пребывания воды в баке-аккумуляторе: с увеличением времени остаточная концентрация кислорода в воде уменьшается. Обычно ёмкость бака-аккумулятора принимают равной расходу питательной воды в течение 20-30мин;

4. **Удаление из деаэратора скапливающихся в колонке и паровом пространстве бака-аккумулятора несконденсировавшегося пара и выделившихся из воды газов для выполнения основного условия качественной дегазации: минимальное значение парциального давления удаляемых газов.** Это требование обеспечивается непрерывной вентиляцией парового пространства, т.е. организацией выпара. Количество выпара влияет на эффект дегазации до определенного предела (рис. 12). При увеличении выпара до 1,5 кг/т концентрация кислорода в деаэрируемой воде резко снижается и дальнейшее увеличение выпара не влияет заметно на эффект дегазации;

5. **Организацию барботажа пара через объём деаэрируемой воды в баке-аккумуляторе.** В затопленных барботажных устройствах производится основной нагрев воды до температуры насыщения, при которой происходит основное выделение газа из воды. Несконденсировавшийся пар, поднимаясь вверх через слой воды, вызывает дополнительный нагрев и дегазацию воды в головке деаэратора. Эффект дегазации зависят от количества пара, подаваемого на барботаж (рис. 13), повышаясь с увеличением расхода пара до определенного предела. **Максимальное выделение кислорода из деаэрированной воды происходит при удельном расходе пара на барботаж 15-20 кг/т.** С дальнейшим ростом, удельного расхода пара концентрация кислорода практически не уменьшается.

6. **На всем протяжении процесса деаэрации между паром и водой в деаэраторе должен обеспечиваться четко выраженный противоток.**

В деаэраторе не должно быть застойных зон ни по воде, ни по пару.

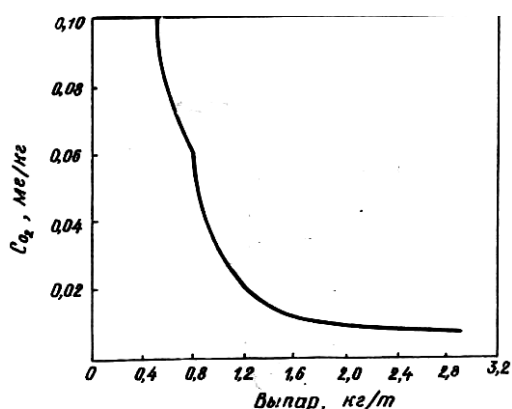


Рис. 12. Зависимость концентрации кислорода в деаэрированной воде от расхода выпара

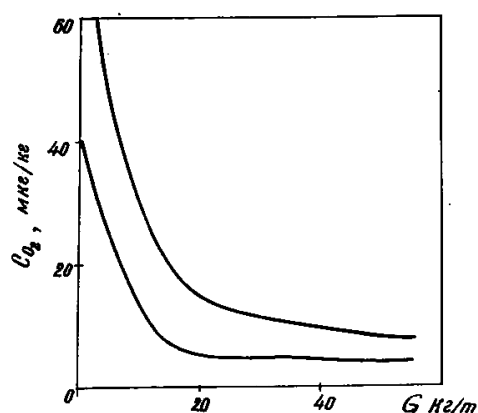


Рис. 13. Зависимость концентрации кислорода в деаэрируемой воде от удельного расхода пара на барботаж

3. УДАЛЕНИЕ СВОБОДНОЙ УГЛЕКИСЛОТЫ МЕТОДОМ АЭРАЦИИ

В некоторых случаях на водоподготовительных установках проводят удаление из воды свободного оксида углерода CO_2 . Сущность метода аэрации заключается в продувке через воду воздуха, свободного от CO_2 . При использовании данного метода так же, как и при термической деаэрации над поверхностью обрабатываемой воды создается атмосфера, в которой парциальное давление CO_2 ничтожно мало по сравнению с парциальным давлением CO_2 в воде.

Процесс удаления CO_2 называется декарбонизацией и проводится он в

аппаратах-декарбонизаторах. Декарбонизаторы (рис. 14) представляют собой цилиндрический стальной бак 1, внутри которого находится насадка 2 из колец Рашига, представляющих собой керамические кольца размером 25х25х3 мм. Вода подаётся в декарбонизатор 1 сверху. Со щита 6 через распределительные сопла 5 она сливается на поверхность насадки 2 и омывает элементы насадки тонким слоем. Навстречу воде продувают воздух 7, подаваемый в декарбонизатор вентилятором. Удаляемый из жидкости CO_2 переходит в воздух и вместе с ним выводится из декарбонизатора 1 в атмосферу 3. Прошедшая очистку вода 8 стекает в поддон декарбонизатора и через гидравлический затвор поступает в бак декарбонизированной воды. При правильной организации процесса использование декарбонизатора позволяет снизить концентрацию растворенной углекислоты до 3-7 мг/кг.

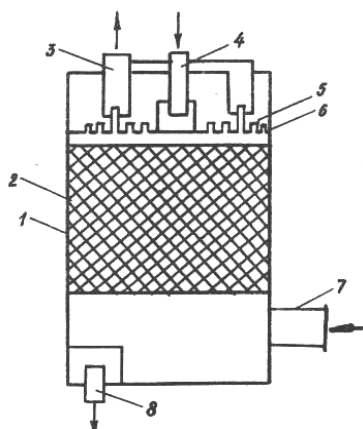


Рис. 14. Принципиальная схема декарбонизатора.

1 - корпус; 2 – насадка из колец Рашига; 3 – патрубок для отвода выделяемого; CO_2 4 – подвод воды; 5 – распределительные сопла; 6 - щит; 7 – подача воздуха; 8 – отвод воды.

4.ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБЕСКИСЛОРОЖИВАНИЯ ВОДЫ [5,7]

Как правило, химическое обескислороживание осуществляется после термической дегазации. Оно даёт возможность связать остатки кислорода, появляющиеся в воде при разладке режима работ термического деаэратора или при нарушении герметичности питательного тракта (ликвидация проскока O_2).

В качестве реагентов применяют сульфит натрия Na_2SO_3 , гидразин-гидрат $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$, гидразин-сульфат $N_2H_4 \cdot H_2O$, обладающие сильными восстановительными свойствами.

Сульфат натрия Na_2SO_3 применяют для обескислороживания питательной воды парогенераторов низкого и среднего давления, преимущественно на электростанциях, работающих на органическом топливе. При взаимодействии с кислородом сульфит натрия

окисляется до хорошо растворимого сульфата натрия: $2Na_2SO_3 + O_2 \longrightarrow 2Na_2SO_4$

При 70-процентном избытке реагента реакция проходит в течение 2 мин при любой температуре воды. Обычно сульфит натрия дозируют в питательный тракт в виде 10-процентного раствора, поскольку реакция его с кислородом при температуре 100°C идёт очень быстро и нет необходимости использовать более сложную схему. Теоретическая потребность химически чистого сульфита Na рассчитывается по формуле: $G_s = 7,9 \cdot a \cdot B, z/ч$ (25)

где а - концентрация O_2 в воде после деаэрата, г/м³; В - расход воды, м³/ч.

Несмотря на полную безвредность сульфита, эффективное взаимодействие с кислородом и простоту схемы дозирования, этот метод применяется только для парогенераторов среднего и низкого давления, так как сульфитирование ухудшает качество котловой воды, вводя значительное количество солей натрия.

Гидразин применяют в виде гидразингидрата $N_2H_4 \cdot H_2O$ или гидразин-сульфата. $N_2H_4 \cdot H_2SO_4$.

Гидразингидрат - бесцветная жидкость с температурой кипения 118,5°C и температурой замерзания 2°C; гидразин токсичен: пары гидразина вызывают раздражение дыхательных путей, повреждение органов зрения, раствор гидразина, попадая на кожу, вызывает дерматиты.

Гидразин-сульфат - твёрдое вещество, менее ядовитое. Взаимодействие гидразина с кислородом описывается уравнением: $N_2H_4 \cdot H_2O + O_2 \rightarrow N_2 + 3H_2O$ (26)

Скорость протекания этой реакции зависит от избытка гидразина, температуры, рН, наличия катализатора, концентрации растворенного кислорода. Существуют зависимости, на основании которых можно установить влияние этих факторов. При температуре 200°C, рН = 9-10 в присутствии катализатора меди реакция протекает практически мгновенно. Обработка питательной воды заключается в непрерывном дозировании гидразина в количестве, равном 2-3- кратному количеству остаточного кислорода (0,03 мг/кг). Раствор гидразина вводится в бак-аккумулятор или непосредственно в питательную магистраль за баком-аккумулятором.

4.1. Обескислороживание воды на редокситах

Обескислороживание воды можно проводить в динамических условиях при фильтровании её через специально приготовленные **высокомолекулярные, нерастворимые в воде полимеры, в составе которых имеются группы, способные к обратимому окислению или восстановлению. Эти соединения получили название редокситов или электроннообменников.** Электроннообменники получают методом

конденсации ароматических соединений. К таким веществам относятся, например, гидрохинон, пирокатехин, пирогаллол. Основные физико-химические факторы, определяющие реакционную способность электронообменников, - их ёмкость, нормальный окислительный потенциал, скорость реакции. Ёмкость определяет количество эквивалентов какого-либо вещества (в частности, кислорода), которое может быть восстановлено или окислено данным количеством редоксита. Нормальный окислительный потенциал определяет вещества, которые могут быть окислены или восстановлены смолой. Скорость реакции показывает время, необходимое для окисления и восстановления при данных условиях.

4.2 Схемы обескислороживания воды в теплоэнергетических установках

Для удаления из питательной воды промышленных и отопительных котлов растворённого кислорода к настоящему времени получили довольно широкое распространение следующие методы: сульфитирование, сталестружечное и десорбционное обескислороживание, а также различные варианты термической деаэрации в аппаратах атмосферного и вакуумного типа. Общими недостатками первых трёх способов являются: циклический характер протекания процесса и необходимость использования химикатов: сульфита натрия, стальной стружки, древесного угля. Вместе с тем каждый из этих методов имеет и свои достоинства. Сульфитирование наиболее легко осуществимо по первоначальным капитальным затратам. Сталестружечное обескислороживание воды применимо для агрегатов периодического действия. Фильтр при неработающей схеме выполняет роль гидравлического затвора между питательным баком и докотловым водопитательным трактом. Десорбционное обескислороживание требует незначительного подогрева воды (40°C).

На рис.15 приведены схемы рассматриваемых химических методов обескислороживания. В этих схемах 1-двухсекционный закрытый питательный бак, обе секции которого связаны между собой водоперепускным соплом 2. В левый отсек бака в схемах *a* и *б* поступают все потоки воды, за исключением непрерывной продувки котлов, которая подаётся в правую секцию бака. Вода непрерывной продувки котлов химически связывает CO_2 и повышает рН питательной воды до 8,5.

В схеме *в* смешение всех потоков воды осуществляется в специальном дополнительном предвключённом баке 7, установленном на более низкой отметке. Постоянный уровень воды в питательном баке поддерживается в схемах *a* и *б* регулятором гидравлической нагрузки, в схеме *в* - переливной трубой. До необходимой

температуры вода подогревается в левом отсеке, на выходе из которого устанавливается термометр сопротивления.

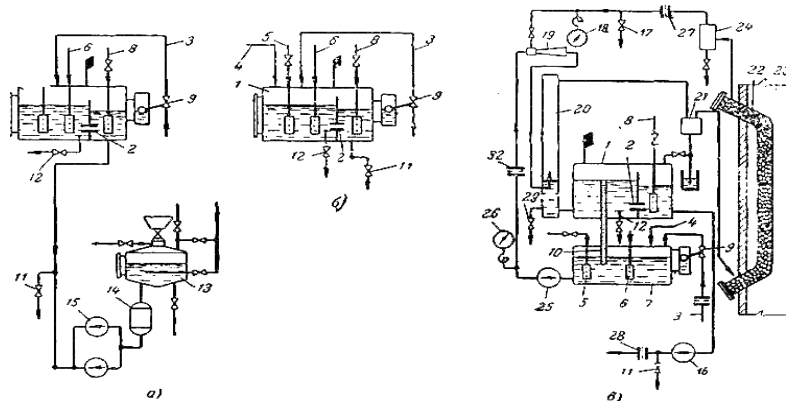


Рис. 15 Схемы обескислороживания воды: *а*-сульфитирование; *б*-сталестружечное обескислороживание; *в*-десорбционное обескислороживание [5,7]

1 – питательный бак; 2 – водоперепускное сопло; 3 – химически обработанная вода; 4 – конденсат; 5 – пар; 6 – рециркуляция питательной воды; 7 – предвключённый бак; 8 – рециркуляция продувки котлов; 9 – регулятор гидравлической нагрузки; 10 – переливная труба; 11,12, и 29 – пробоотборные точки; 13 – растворитель сульфита натрия; 14 – матерчатый фильтр; 15 – насос-дозатор; 16 – насос; 17 – газоотборная точка; 18 – мановакуумметр; 19 – водоструйный эжектор; 20 – десорбер; 21 – влагоотделитель; 22 – реактор; 23 – стенка газохода котла; 24 – пылеотделитель; 25 – перекачивающий насос; 26 – манометр; 27, 28, и 32 – расходомеры; 30 – мановакуумметр; 31 – газоотборная точка.

Для удобства регулирования процесса и сведения к минимуму инерционности объёма величина подогревательного отсека не должна превышать 20% общего объёма питательного бака. Степень подщелачивания воды за счёт частичной рециркуляции котловой воды в питательный бак контролируют по щелочности в пробах, отбираемых из точек 11 и 12.

Термическая деаэрация – наиболее универсальный способ удаления из питательной воды агрессивных газов. Важными достоинствами этого метода является непрерывность процесса, простота обслуживания и удобство автоматизации. К недостаткам этого метода относятся: слишком высокая температура питательной воды, снижающая экономичность водяных экономайзеров, и значительная высота здания, что диктуется необходимостью создать пьезометрический напор над питательным насосом.

Оба эти недостатка устраняются установкой регенеративного водоводяного теплообменника. Однако это связано с необходимостью применения трубчатых поверхностей нагрева из коррозионностойких материалов (например, латунь Л-68).

При деаэрации под вакуумом также устраняются указанные недостатки, однако при

этом схема усложняется за счёт установки эжектора парогазовой смеси, что снижает эффект обескислороживания и создаёт трудности поддержания герметичности вакуумной системы.

Из различных вариантов конструкций термических деаэраторов работами ЦКТИ и УЭМП [Л. 2, 3, 4] показана целесообразность применения комбинированных аппаратов струйнобарботажного типа. Через барботажную часть деаэратора целесообразно в промышленных котельных подавать всё количество греющего пара, если это не связано с дополнительными его потерями. **Некоторое распространение в водогрейных котельных получило использование обычных струйных колонок атмосферного типа с вакуумным режимом работы, при температуре 65-70°С, по схеме, предложенной Моспроектom (рис. 16).** Оригинальной особенностью этой схемы является организация внутриаккумуляторного парообразования за счёт пропуска через специальный встроенный поверхностный теплообменник 7 части прямой сетевой воды. До настоящего времени эксплуатируется большое количество котельных без деаэраторов с питательными баками, имеющими плоские стенки, не приспособленные для работы даже под незначительным избыточным давлением. При наличии достаточной высоты помещения таких котельных целесообразна установка параллельно с открытым питательным баком малогабаритной деаэрационной приставки барботажного типа в комбинации с водоводяным регенеративным теплообменником [Л. 5]. **На рис. 17** изображен разрез такого аппарата производительностью от 2 до 15 т/ч, прошедшего длительную производственную проверку в нескольких заводских котельных.

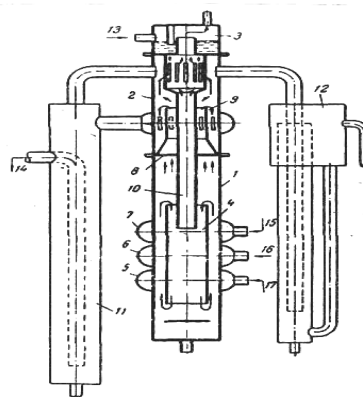
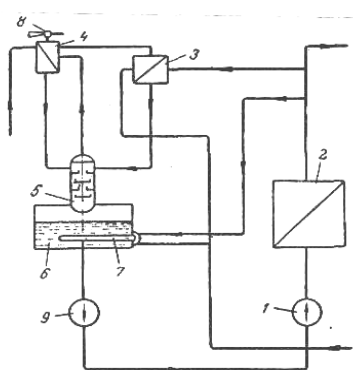


Рис. 16 Схема вакуумной деаэрации, предложенная Моспроектom.

Рис. 17 Малогабаритная деаэрационная приставка, [5,9]

1-сетевой насос; 2-водогрейный котел; 3-водоводяной теплообменник; 4-охладитель; 5-струйная колонка; 6, 7-барботёры; 8-успокоительный щит; 9-водосборное устройство паровоздушной смеси;

1, 2, 3-нижняя, средняя и верхняя части; 4-концентрическая вставка; 5, 6, 7-барботёры; 8-успокоительный щит; 9-водосборное устройство; 10-охладитель выпара; 11-гидрозатвор, паротделитель;

6-аккумулятор; 7-встроенный теплообменник; 12-предохранительный гидрозатвор; 13-подвод химически обработанной воды; 14-выход деаэрированной воды; 15-подвод конденсата; 16-пар от расширителя; 17-основной греющий пар.

Многочисленность возможных методов организации обескислороживания питательной воды вызывает известные трудности при выборе наиболее рационального способа удаления кислорода для конкретной энергетической установки. В связи с этим в **табл. 5** для сопоставимости во всех случаях приняты равновеликие запасы воды в аккумуляторе аппарата, примерно одинаковая степень автоматизации процесса и максимально возможное удаление агрессивных газов. Наряду с уже отмеченными достоинствами и недостатками каждого из методов данные таблицы оттеняют преимущества термической деаэрации в аппаратах атмосферного типа перед другими способами обескислороживания по степени удаления агрессивных газов (O_2 и CO_2), а также по простоте автоматизации контроля процесса. **Приведённые материалы позволяют для отдельных типов энергетических установок рекомендовать к преимущественному использованию методы обескислороживания, указанные в табл. 4.**

Таблица 4. Рекомендуемый метод деаэрации воды в зависимости от типа энергетической установки [7]

Тип энергетической установки.	Метод деаэрации воды.
Паровые котлы, котлы-утилизаторы ОКГ с экономайзерами из стальных труб	Термическая деаэрация в аппаратах атмосферного типа
Теплоснабжающие установки с паровыми и водогрейными котлами или теплофикационными экономайзерами при непосредственном разборе воды из сети Паровые котлы с экономайзерами из чугунных труб при производительности больше 3 т/ч Теплосеть без непосредственного водоразбора.	Термическая деаэрация с регенеративными водоводяными теплообменниками. Для действующих котельных производительностью от 3 до 10 т/ч-использование малогабаритных деаэрационных приставок конструкции УЭМП
Водогрейные котельные Утилизационные установки, выдающие горячую воду	Вакуумная деаэрация при температуре 70°C с частичной барботажной рециркуляцией перегретой воды. Десорбционное обескислороживание с электрообогревом выносных реакторов
Котельные при производительности ниже 3 т/ч. Котельные любой производительности при периодическом действии	Сталестружечное обескислороживание
Временные котельные и передвижные установки	Сульфитирование

В последнее время стремятся применять деаэрацию при глубоком вакууме для больших количеств воды, поступающих на прямоточные водоподготовительные установки, где коагулируют воду с использованием сульфата алюминия. Деаэрация воды

в этом случае снижает коррозию внутренних поверхностей оборудования установки. **На рис.18** приведена соответствующая схема с указанием конструктивных особенностей деаэратора, разработанного УЭМП. Безъёмкостный деаэратор-подогреватель 1 имеет в первой ступени деаэрации струйно разбрызгивающее устройство 2, а во второй – полузамкнутый контур многократной барботажной додеаэрации 3. Вакуум-насос или пароструйный эжектор отсасывает парогазовую смесь через охладитель выпара 5. Раствор коагулянта, а в случае необходимости и щёлочи дозируется в трубопровод до аппарата насосом 6. Таким образом, деаэратор одновременно выполняет функции подогревателя смешивающего типа и реактора-смесителя. Вода из деаэратора подаётся в напорные механические фильтры.

Перспективно для воды, пропускаемой через тракт водоподготовительной установки, применять десорбцию растворённого кислорода барботированием техническим азотом, являющимся отходом кислородных станций [Л. 6]. Азот, содержащий 1-2% кислорода, может понизить содержание растворённого кислорода в воде в 10-20 раз.

Практически полного удаления растворённого кислорода из воды можно достичь десорбционной обработкой её природным газом. Экспериментально установлена возможность получения воды с содержанием кислорода менее 0,02 мг/кг O_2 при удельных расходах природного газа в пределах 5 м³/т воды. Однако этот метод требует дальнейшего изучения и разработки средств надёжного и рационального аппаратного оформления [].

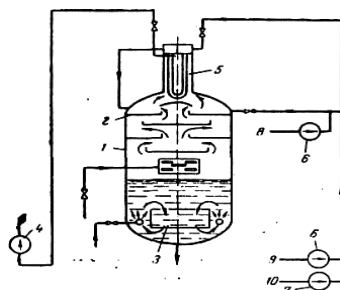


Рис.18 Безъёмкостный вакуумный деаэратор конструкции УЭМП [5]

1 – деаэратор; 2 – разбрызгивающее устройство; 3 – контур многократной циркуляции; 4 – вакуум-насос; 5 – охладитель выпара; 6 – насос-дозатор; 7 – насос; 8 – коагулянт; 9 – щёлочь; 10 – вода

Таблица 5. Составление различных методов обескислороживания воды [5, с.213...216]

Способ обескислороживания	Температура, °С	Необходимое избыт. давление раб. пара, МН/м ²	Уд.расход реагентов(г) или пара(кг) на 1 т пит. воды	Необход. избыт. Р перед аппаратом, МН/м ²	Ср.остаточная концентрация удаляемых газов, мг/кг		Необход. строит. высота помещен ия, м	Первоначаль- ные за- траты металла*, кг	Возмож- ность непрерыв- ной работы	Регуляторы, не- обходимые для полной автомат. работы(кроме регулятора гидрав- лической нагрузки)	Необходимые параметры для систематического контроля(кроме эпизодического опред. O_2)
					O_2	CO_2					
Сульфити- рование	70-80	0,05	Сульфата натрия 50	0,10	0,10	Не удаляет	7,5	500	Перезарядка дозаторов 1-3 раз/сутки	Регулятор темпе- ратуры. Дозатор сульфита натрия	t воды. Доза сульфата нат- рия. Момент выра- ботки дозатора
Сталестру- жечный	70-90	0,05	Стальной стружки 20	0,10	0,20	Не удаляет	7,5	6500	Перезарядка фильтров 1-3 раз/мес	Регулятор температуры	Температура воды
Десорбцион- ный с электро реактором	30-40	Пар не расходу- ется	Древесного угля 10	0,40	0,10	Несколько превышает	6,0	1500	Перезарядка реакторов ч-з 2-5 дней	Соотношение расхода воды и газа , газа и элэнергии	Расход инертного газа. Состав инертного газа. Момент сбрасы- вания угля в реакторе
Термический в колонковом деаэраторе атмосферного типа	102- -103	0,05	Пара 2	0,15	0,03	Полное удаление	14,5	1500 и латуни 10	Возможна непрерывная работа	Регулятор давления пара	Избыточное давление в деаэраторе

То же при барботажном деаэраторе с регенеративным ТО	60-70	0,20	То же	0,15	0,03	Полное Удаление	7,5	1500 и латуни 350	То же	Регулятор давления пара	Избыточное давление в деаэраторе
Вакуумный в аппарате типа ЦКТИ	60-70	0,20	Пара 10	0,10	0,10	Частичное удаление	12,0	2000 и латуни 50	То же	Регулятор давления пара и регулятор расхода пара на эжектор	Температура подогрева Глубина вакуума

Примечание.* на установку производительностью 50 т/ч

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

ДЕАЭРАТОРЫ ТИПА ДА

ЦКТИ им. Ползунова разработана новая конструкция деаэраторов типа ДА, двухступенчатых барботажных атмосферного давления. Эти деаэраторы отличаются тем, что барботажное устройство в них располагается в нижней части деаэрационной колонки. Колонка устанавливается на деаэрационный бак старой конструкции.

Подвод химически обработанной воды и конденсата осуществляется в верхнюю часть колонки, пар подводится в паровое пространство деаэрационного бака со стороны, противоположной колонке. Такой подвод пара обеспечивает надежную вентиляцию парового объема деаэрационного бака. Для присоединения комбинированного предохранительного устройства в баке предусматривается переливная воронка, а в паровом пространстве — патрубок. Отвод деаэрированной воды осуществляется со стороны, противоположной колонке. Преимущества новых деаэраторов сравнительно с деаэраторами типа ДСА: 1) повышенная заводская готовность; 2) снижение металлоёмкости; 3) упрощение монтажа; 4) повышение эксплуатационной надёжности; 5) уменьшение коррозии деаэрационных баков.

Ниже приведены габаритные размеры деаэраторов типа ДА.

Таблица П1. Габаритные размеры деаэраторов

Размер, мм	Типы деаэраторов						
	ДА-5	ДА-10	ДА-15	ДА-25	ДА-50	ДА-75	ДА-100
Общая высота	3598	3950	3950	4262	4354	4522	4612
Диаметр бака	1200	1600	1600	2000	2000	2200	2200
Высота опор до оси бака	808	1016	1016	1208	1216	1324	1324
Высота опор до наинизшего уровня воды	1156	1476	1476	1788	1764	1964	1964

Как видно из сравнения габаритных размеров деаэрационных установок нового типа с деаэраторами типа ДСА, общая высота их увеличилась на 600—700 мм.

Это увеличение, не имеющее принципиального значения при установке деаэраторов в зданиях высотой 12—14 м и более, а также при открытой установке деаэраторов, может вызвать серьезные осложнения при компоновке в зданиях высотой до строительных конструкций 6—8 м. В таких зданиях размещаются все котельные с котлами ДКВР для работы на газе и мазуте, а также с газомазутными котлами новых конструкций серии ДЕ, КЕ

Для решения этого вопроса одновременно с разработкой деаэраторов типа ДА, ЦКТИ им. Ползунова совместно с заводом-изготовителем рассмотрели возможность работы центробежных питательных насосов типа ЦНСГ с уменьшением подпора на всасывающих патрубках насосов. **В результате исследования этого вопроса принято решение о возможности уменьшения подпора на всасывающих патрубках насосов типа ЦНСГ до 4 м без учёта гидравлических сопротивлений всасывающих магистралей. Это решение дает возможность при**

установке деаэраторов типа ДА вместо предусмотренных разработанными ранее типовыми проектами котельных деаэраторов типа ДСА, снизить высоту установки деаэраторов.

Выше приведены данные по деаэраторам типа ДА производительностью от 5 до 100 т/ч. В связи с тем, что разработка рабочих чертежей деаэраторов ДА-150; ДА-200 и ДА-300 не закончена, данные по этим деаэраторам не приводятся. Однако следует иметь в виду, что их высота также увеличивается на 600— 800 мм.

Производство деаэраторов нового типа на Таганрогском котельном заводе начато одновременно со снятием с производства деаэраторов типа ДСА.

Изготовление деаэраторных баков, не входящих в объём заводской поставки, не намечается. Для изготовления баков силами монтажных организации или местных заводов нестандартизированного оборудования чертежи следует запрашивать на заводах-поставщиках деаэраторов.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Таблица П2. Рекомендация к выбору метода дегазации [5,7]

Тип установки	Возможный метод дегазации
Паровые котлы с экономайзерами из стальных труб Теплофикационные экономайзеры из стальных труб при горячем водоразборе	Термическая дегазация
Паровые котлы с экономайзерами из чугунных труб Теплофикационные экономайзеры из стальных труб без горячего водоразбора Парогенерирующие утилизационные установки без стальных экономайзеров	Термическая дегазация. Десорбционное обескислороживание
Подпитка теплосети бойлерных установок	Термическая дегазация. Сталестружечное обескислороживание
Отопительные водяные котлы Утилизационные установки, выдающие горячую воду Временные котельные. Установки периодического действия	Десорбционное обескислороживание Сульфатирование

Термическая деаэрация воды основана на законе Генри, по которому растворимость в воде газа прямо пропорциональна парциальному давлению P_G этого газа: $P_G = K_G \cdot P_G = K_G (P_0 - P_{H_2O})$, кг (27)

где K_G - коэффициент пропорциональности (растворимости) газа, $(\text{кг} / (\text{кг} \cdot \text{кгс} / \text{м}^2))$;

P_0, P_{H_2O} - давление над водой полное и водяных паров, (кгс/см²)

При нагревании воды давление водяных паров будет расти и в состоянии кипения $P_0 = P_{H_2O}$, а следовательно, растворимость газов будет равна нулю.

В связи с тем, что численное значение давления, под которым находится вода в деаэраторе, не влияет на качество деаэрации, последняя может осуществляться при давлении как ниже, так и выше атмосферного.

По величине давления деаэраторы разделяются на вакуумные (давление $P < 1 \text{ атм.}$), атмосферные

($P=1,05-1,5 \text{ кгс/см}^2$.) и повышенного давления ($P=1,5-12 \text{ кгс/см}^2$.).

Расход греющего пара на деаэратор смешивающего типа определяется по формуле:

$$D = (W(h' - h_{cp}\eta)) / (h\eta - h') + D_{\text{вып}}, \text{ кг/час} \quad (28)$$

где W-расход деаэрируемой воды, кг/час; h' -теплосодержание выходящей из деаэратора воды, ккал/кг; h_{cp} -среднее теплосодержание потоков деаэрируемой воды, ккал/кг; h -теплосодержание греющего пара, ккал/кг; η - к.п.д. деаэратора, равный 0,98-0,99 (учитывает потерю тепла через поверхность); $D_{\text{вып}}$ - потеря пара с выпаром, кг/час, принимаемая равной до 10 кг на 1 т воды при отсутствии охладителя выпара и 1-2 кг на 1 т воды при наличии охладителя выпара.

Таблица П3. Деаэраторы термические

Атмосферные
Давление 1,2 кгс/см ² абс. или 0,12 МПа; t = 104 ÷ 107°C Подогрев на 10—50 °С* Расход выпара <1,5 кг/т Обозначение: Деаэратор ДА—300/75 по ГОСТ 16860—77 Марка***: ДА-1/1; ДА-3/1,5; ДА-5/2; ДА-15/4; ДА-25/8; ДА-50/15; ДА-100/30; ДА-200/50; ДА-300/75
Вакуумные
Давление 0,075—0,5 кгс/см ² или 0,0075— 0,05 МПа абс.; t = 40 ÷ 80°C Подогрев на 15—25 °С* Расход выпара <5 кг/т Обозначение: Деаэратор ДВ—800 по ГОСТ 16860—77 Марка**: ДВ-5; ДВ-15; ДВ-25; ДВ-50; ДВ-75; ДВ-100; ДВ-150; ДВ-200; ДВ-300; ДВ-400; ДВ-800; ДВ-1200; ДВ-1600; ДВ-2000-ДВ-2400

* Подогрев-разность между температурой насыщения при давлении в деаэраторе и средней температурой потоков поступающей воды.

** Цифра при марке обозначает его производительность (т/ч) и равна сумме всех расходов воды и пара.

*** Знаменатель-при марке. Общий объём деаэраторного бака. Полезный объём деаэраторного бака = 85% общего объёма

Характеристика деаэрационных колонок этих деаэраторов приведена в таблице П4.

Таблица П4. Деаэрационные колонки типа ДС на $P_{\text{раб}}=0,2 \text{ атм, кг/см}^2$

Тип	Производительность, т/час	Диаметр, мм	Высота, мм	К-во штуцеров для воды	Вес без автоматики, кг	Тип колонки, автоматики
ДС-25-2*	25	1112	2530	2	902	КРДД-О
ДС-25-4	25	1112	2530	4	922	Колонка с редуктором и электродвигателем, штангой к редуктору, магнитным пускателем, указывающим при-
ДС-75-2	75	1292	2760	2	1160	
ДС-75-4	75	1292	2760	4	1185	
ДС-100-2	100	1492	2790	2	1405	
ДС-100-4	100	1492	2790	4	1460	

ДС-150-2	150	1712	2950	2	1730	бором, переключателем с кнопками. Для работы автоматики необходимы два источника: постоянного тока 110В и переменного-220В
ДС-150-4	150	1712	2950	4	1785	

Наиболее удобным в эксплуатации являются смешивающие деаэратеры атмосферного типа, изготавливаемые Барнаульским котельным заводом (БКЗ) на давление 1,2 атм.

Таблица П5. Размеры атмосферных термических деаэратеров по каталогу

НИИЭнформэнерго маш «Теплообменное оборудование» [4,6]

Марка	Колонка без бака			Марка	Колонка без бака		
	Диаметр и толщина стенки, мм	Высота общая, мм	Масса металла, кг		Диаметр и толщина стенки, мм	Высота общая, мм	Масса металла, кг
ДА-1	1110x8	1665	630	ДА-75	1200x6	1330	520
ДА-3	1110x8	2105	340	ДА-100	1200x6	1354	520
ДА-5	530x8	1093	194	ДА-150	1400x6	1608	750
ДА-10/15	700x8	1010	265	ДА-200	1410x6	1610	750
ДА-25	800x8	1010	370	ДА-300	1800x6	1728	1120
ДА-50	1200x8	1330	520				

Примечание. Цифра при марке означает производительность, т/ч

Таблица П6. Размеры вакуумных деаэратеров (по каталогу НИИЭнформэнерго маш)

Марка	Колонка без бака			Поверхность Охладителя выпара, м ²	Номер водяных эжекторов для данного деаэратера
	Диаметр и толщина стен, мм	Высота общая, мм	Масса металла, кг		
ДВ-5	600x8	2400	475	2	1 или 2
ДВ-15	700x8	2400	534	2	1 или 2
ДВ-25	800x8	2500	680	2	2 или 3
ДВ-50	1000x8	2600	1094	8	2 или 4

Таблица П7. Характеристика работы термических деаэратеров [6]

Остаточное содержание кислорода O_2 , мкг/кг			Остаточное содержание свободной углекислоты CO_2 , мг/кг			
Тип	Исходное содержание кислорода, мг/кг	Остаточное содержание кислорода, мкг/кг	Тип деаэратера	Исходное содержание свободной CO_2 , мг/кг	Бикарбонатная щёлочность, мг-экв/кг	Остаточное содержание CO_2 , мг/кг
ДВ	Соответствует насыщению при тисх воды	50	ДВ, ДА, ДП	20	>0,7	отсутствие
ДА, ДП	при тисх воды	20	ДА, ДП	10	0,4-0,7	отсутствие
			ДВ	10	0,4-0,7	0,5
ДП	1 мг/кг	10	ДА, ДП	5	0,2-0,4	отсутствие

			ДП	1	<0,2	0,5
--	--	--	----	---	------	-----

Примечания: 1. Внутри деаэрационные элементы (ситы, насадки) должны быть изготовлены из коррозионно-стойкой стали. Трубки охладителей пара изготавливаются из коррозионно-стойкой стали, сплава МНЖ-5-1 или латуни ЛО-70-1. 2. Устойчивая работа деаэраатора при $Q=30 \div 100\%$; $Q_{\min}=30\%$; $Q_{\max}=120\%$, при $Q>50$ т/ч; $Q_{\min}=15\%$, при этом подогрев 40-70 °С

Химическое обескислороживание основано на связывании растворённого в воде кислорода химическими реагентами. К последним, нашедшим наибольшее применение, относят сульфит натрия ($\text{Na}_2 \text{SO}_3$) и гидразин (N_2H_4).

Сульфитирование. При сульфитировании воды сульфит натрия, окисляясь кислородом, восстанавливается в сульфат натрия ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$) по уравнению: $2\text{Na}_2 \text{SO}_3 + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{Na}_2 \text{SO}_4$

Количество необходимого сульфита определяется по формуле: $G_{\Gamma} = (7,9C_{\text{O}_2} + a) \cdot W \cdot 1000 / b, \text{ кг/ч}$ (29)

где C_{O_2} — концентрация кислорода в деаэрируемой воде, мг/кг;

a — избыток в деаэрируемой воде $\text{Na}_2 \text{SO}_3$, допускается не более 2 мг/кг; W — количество деаэрируемой воды, т/час; b — концентрация раствора $\text{Na}_2 \text{SO}_3$, мг/кг.

Таблица П.8. Водяные эжекторы [7]

Номер	Производительность, кг/ч		Рабочая вода при 15°С	
	Сухой воздух	Парогазовая смесь	Давление, МПа	Расход, т/ч
1	-/1	-/60	0,5	4,15
2	1/3	60/200	0,5	12,5
3	2/6	100/400	0,5	25
4	3/12	200/800	0,5	50
5	6/25	400/1600	0,5	100
6	12/50	800/3200	0,5	210
7	24/75	1600/4800	0,5	310
8	48/150	3200/9000	0,5	615
9	60/200	5000/14400	0,5	830

Примечание. В числителе – при абсолютном давлении парогазовой смеси на входе эжектора 0,06 кгс/см² (0,006 МПа), в знаменателе – то же при давлении 0,2 кгс/см² (0,02 МПа)

Количество технического сульфита $\text{Na}_2 \text{SO}_3 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (с учётом кристаллизационной влаги) следует принимать вдвое больше против расчётного.

Полное связывание кислорода требует контакта с реагентом не менее 2 минут и температуры воды не ниже 80° С. Сульфит должен подаваться в виде 3—6% раствора с помощью шайбовых дозаторов

Схема приготовления раствора сульфита показана на **рис.19**

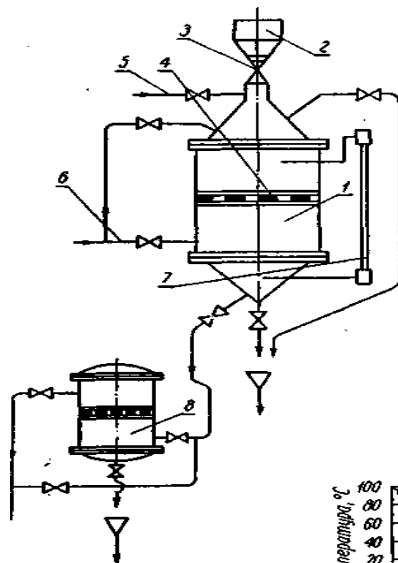


Рис.19. Схема установки приготовления раствора сульфита:

1-растворитель;2-загрузочная воронка; 3-затвор;4-решётка; 5-водопровод для заполнения растворителя;6-паропровод для продувки растворителя и подогрева раствора;7-водомерное стекло; 8-матерчатый фильтр

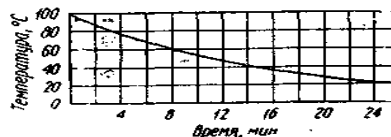


Рис.20. Кривая зависимости времени пребывания воды в сталестружечном фильтре от температуры

Большим недостатком сульфитирования является увеличение сухого остатка питательной воды примерно на 12 мг на 1 мг растворённого кислорода. При хранении и приготовлении раствора необходимо принимать меры к изоляции Na_2SO_3 от воздуха, так как он интенсивно поглощает влагу и переходит в инертный сульфат.

Сталестружечный способ основан на принципе связывания растворённого в воде кислорода в процессе электрохимической коррозии железа [7, с.169...171].

Зависимость времени пребывания воды в сталестружечном фильтре от температуры показана на рис. 20. Определяющие величины при расчёте сталестружечных фильтров находятся по формулам:

- **высота слоя стружек:** $h_{ст} = v_{ф} \cdot \tau_{к} / 60, м$

где $v_{ф}$ - скорость фильтрования, принимаемая равной 15-20 м/ч; $\tau_{к}$ - время контакта, мин., принимается по кривой (рис.20)

- **объём загружаемых стружек:** $V_{ст} = (Q_{ср} \cdot C_{O_2} \cdot \tau_0 \cdot z) / (10^3 \cdot 10^3), м^3$ (30)

$$V_{ст} = Q_n \cdot \tau_{к} / 60, м^3 \quad (31)$$

где: $Q_{ср}, Q_n$ - соответственно средний и максимальный расход воды, м³/ч; C_{O_2} - концентрация кислорода в воде, поступающей в фильтр, мг/кг; τ_0 - число часов работы фильтра за период между сменами стружек; z-загрузка стружек, приходящаяся на один кг удаляемого O_2 , принимается равной 4-5 кг.

Из двух значений $V_{ст}$ принимается наибольшее.

- **вес загружаемых стружек:** $G_{ст} = \gamma_{ст} \cdot V_{ст} \cdot m$, (32)

где: $\gamma_{ст}$ - насыпной вес стружек, принимается равным 1-1,2 т/м³

Один из вариантов устройства сталестружечных фильтров показан на рис.21. В бак 1 загружаются

тюки 2 из спрессованных стельных стружек, скреплённых стальной проволокой. Тюки изготавливаются в виде параллелепипедов размером 280x280x400 мм и весом 8 кг. Такой способ значительно сокращает затраты времени на загрузку и выгрузку стружки

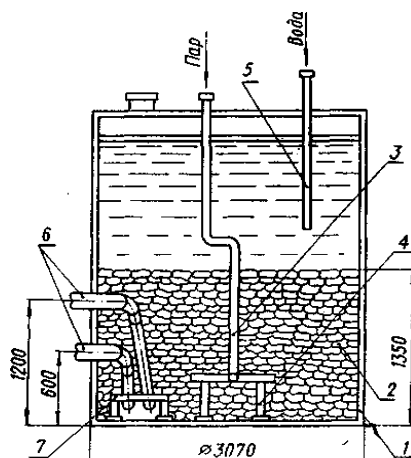


Рис.21. Устройство сталестружечного фильтра:

- 1-бак; 2-тюки спрессованных стружек; 3-паропровод; 4-паровая гребёнка;
5-водопровод; 6-водопровод откачки; 7-защитный кожух

Десорбционное обескислороживание воды состоит в связывании раскалённым слоем древесного угля кислорода, выделившегося в процессе диффузионного обмена из обрабатываемой воды [7, с.170...174; 5,6].

Принципиальная схема установки для десорбционного обескислороживания воды показана на рис. 22. Обескислороживаемая вода под давлением 3—4 *атм* подается в эжектор, в котором благодаря интенсивному перемешиванию с засасываемым из реактора газа происходит основной процесс обескислороживания, заканчивающийся в десорбере. Освобождённый в сепаратор (ловушке) 4 от воды, обогащённый кислородом газ поступает в реактор 6, где и происходит связывание O_2 .

При температуре угля 800°C и выше O_2 связывается с образованием окиси углерода (CO). При температурах 500-600°C наблюдается образование преимущественно углекислоты (CO_2). Удельный расход угля составляет 0,4 кг на 1 кг поглощаемого кислорода. Догрузку реактора углём производят через каждые 4-5 дней.

кг на 1 кг поглощаемого кислорода. Догрузку реактора углём производят через ка. На результаты обескислороживания значительное влияние оказывает давление воды перед эжектором. Если оно снижается до 1,5-2 *атм*, наблюдается проскок O_2 . При давлении перед эжектором 3-4 *кгс/см²* и температуре воды 35-40°C остаточное содержание в воде кислорода не превышает 0,03-0,05 мг/л. Подогрев питательной воды до температуры более 60°C обеспечивает практически полное удаление O_2 . Для предохранения от насыщения обескислороженной воды воздухом на поверхности воды в сборном баке рекомендуется помещать деревянный (из сосны) щит (поплавок) 11. Подвешивается он на роликах с противовесами с зазором между стенами бака 15—20 мм. **Основные расчётные данные и технические параметры обескислороживателей (рис. 23) показаны в таблице П9. Для всех семи типоразмеров обескислороживающих установок изготавливается один типоразмер реактора.**

Установка реактора допускается:

- а) вертикальная с допустимым уменьшением высоты вертикальной части до 1,5 м; б) наклонная под углом не

d8	мм	25x4	1"	38x3	45x3,5	2"	2"	2 1/2
d0	мм	20	27	34	37	47	47	62
l1	мм	210	215	250	310	360	370	445
l2	мм	224	235	275	346	400	416	504
h1	мм	140	176	206	300	360	400	480
l4	мм	119	122	125	148	149,5	155	164
h2	мм	110	110	120	130	160	170	200
h3	мм	55	70	100	110	130	130	200
l7	мм	110	110	100	130	130	130	150
штуцер Ду	мм	50	50	50	70	80	80	100
D1	мм	110	110	110	130	150	150	170
4 отверстия								
d	мм	14	14	14	14	18	18	18
B	мм	90	95	100	105	115	115	130
Вес металла вместе с реактором	кг	190	203	215	283	325	350	419

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

НОВЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ МЕТОД УДАЛЕНИЯ СВОБОДНОЙ УГОЛЬНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ВОДЫ [5]

На электростанциях для удаления диоксида углерода CO_2 из питательной воды энергетических котлов с целью предупреждения коррозионных разрушений пароконденсатного тракта используются физические и химические способы декарбонизации. Физические методы декарбонизации значительно дешевле, чем химические, так как не требуют для их осуществления применения специальных реагентов.

Удаление свободного CO_2 в декарбонизаторах, получивших широкое распространение на тепловых электростанциях [4], основано на стремлении растворенного в воде CO_2 в соответствии с законом Генри-Дальтона прийти в равновесие с парциальным давлением этого газа в продуваемом воздухе. Если концентрация CO_2 в воде выше той, которая соответствует указанному закону, то происходит выделение свободной; угольной кислоты из воды в воздух.

Выделение CO_2 из воды протекает тем интенсивнее, чем большая достигается поверхность контакта с водой, что может быть обеспечено при высокой степени дробления потока воды на элементарные струйки. В рассматриваемом случае эффективность режима декарбонизации будет определяться, по-видимому, скоростью выделения CO_2 из воды.

С этой точки зрения нельзя признать декарбонизаторы оптимальным конструктивным решением для осуществления процесса удаления свободного CO_2 из обрабатываемой воды, так как

имеющаяся в них насадка, состоящая из колец Рашига, не может обеспечить достаточно высокую степень дробления потока воды, а следовательно, обеспечить оптимальную поверхность контакта воды и воздуха.

Авторами [5] предложен новый метод удаления свободного CO_2 из воды в многоступенчатом эжекторе, в котором создаются условия для непрерывного дробления капель в потоке эжектируемого воздуха до состояния водовоздушной эмульсии.

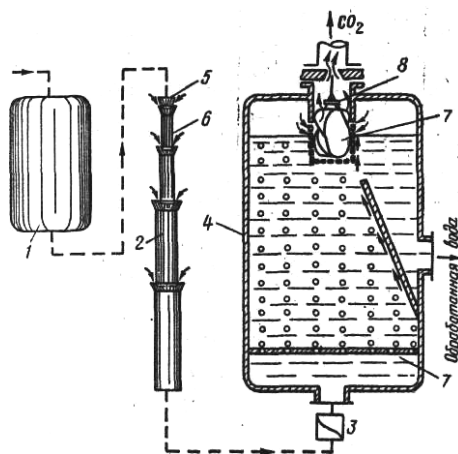


Рис. 24. Принципиальная схема удаления CO_2 из воды

1 — барьерный фильтр; 2 — эжектор; 3 — специальное устройство, придающее потоку вращательно-поступательное движение; 4 — воздухоотделитель; 5 — сопло; 6 — камера смешения; 7 — поплавок; 8 — регулируемый затвор.

На рис 24 представлена принципиальная схема нового метода удаления CO_2 из воды. Вода, насыщенная CO_2 (например, после барьерного фильтра), подается в эжектор 2, в котором используется эффект удаления свободного CO_2 в момент образования капли [Л. 2—4]. Созданы условия для непрерывного дробления капель в потоке эжектируемого воздуха (до состояния водовоздушной эмульсии), т. е. для непрерывного и интенсивного перехода CO_2 из воды в воздух.

Вначале поток инжектируемой воды подается в сопло, а затем он проходит через несколько последовательно расположенных ступеней, состоящих из конфузора и камеры смешения. Каждая последующая ступень имеет диаметр и длину камеры смешения несколько больше, чем у предыдущей.

Водовоздушный поток, проходя через ступени эжектора, становится всё более диспергированным. Достигнув состояния эмульсии, он приобретает чрезвычайно большую поверхность контакта мелкодробленых капель воды с воздухом (до 100 тыс. m^2/m^3 и более), что является оптимальным условием для интенсивного перехода свободного CO_2 из воды в воздух. Помимо того действуют дополнительные факторы, усиливающие процесс массопередачи: волновой характер струи при выходе из сопла [Л. 3,4], сохраняющийся во всех ступенях эжектора; вихревые токи, порождающие пульсирующий характер потока; внутренняя циркуляция в каплях, увеличивающая коэффициент массопередачи в 2,5 раза и более; деформация и колебания капель, также интенсифицирующие процесс массопередачи [Л. 2—4].

Процесс дробления капель в потоке всегда сопровождается обратным ему процессом коалесценции. Наблюдения показали, что если в первых ступенях эжектора дробление является преобладающим процессом и массопередача протекает эффективно, то в последующих ступенях интенсивность дробления уменьшается, а коалесценция возрастает. Схематически это явление показано на рис. 25

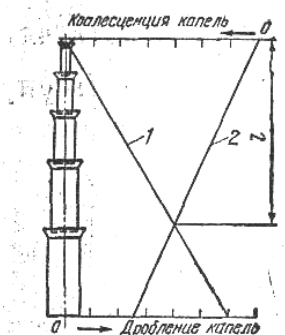


Рис. 25. Схема определения количества ступеней эжектора

Как видно из рис. 25 положение точки пересечения линий дробления (2) и коалесценции капель (1) фактически определяет необходимую длину участка l (количество ступеней) эжектора. Кроме того, значение l пропорционально исходному давлению потока. Это позволяет проводить расчет оптимального количества ступеней эжектора с сохранением необходимого эффекта декарбонизации в рабочем диапазоне нагрузок.

Освобождение воды от находящегося в потоке воздуха, насыщенного CO_2 , производится в воздухоотделителе 4 (рис. 24) специальной конструкции [5]. Для ускорения отделения воздуха перед воздухоотделителем устанавливается устройство 3, придающее потоку вращательно-поступательное движение. Под действием центробежных сил мельчайшие пузырьки воздуха перемещаются к оси потока и объединяются в более крупные фракции, что увеличивает подъемную силу и облегчает их удаление из воды.

Наличие поплавка 7 и регулируемого затвора 8 позволяет отводить из воздухоотделителя свободную углекислоту, но препятствует повторному насыщению ею декарбонизированной воды.

Испытания нового метода удаления CO_2 из воды в химцехе Волгоградской ТЭЦ-2 на установке производительностью 50 т/ч показали, что эффективность удаления CO_2 достаточно высокая. Как видно из рис. 26, степень удаления CO_2 из подпиточной воды, характеризуемая отношением массы остаточной углекислоты $G_{CO_2}^{ост}$ к исходному её значению $G_{CO_2}^{нач}$ возрастает при увеличении давления и температуры воды перед эжектором.

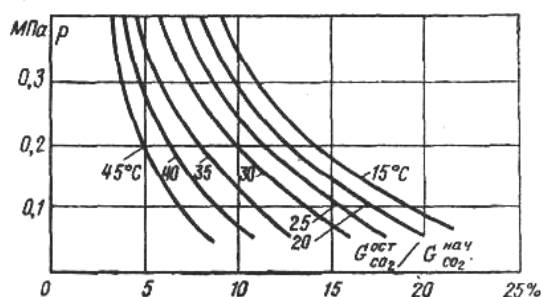


Рис. 26. Зависимость степени удаления CO_2 из подпиточной воды от давления и температуры перед эжектором.

Как видно из таблицы П10, эжектор для удаления CO_2 позволяет обеспечить значительно большую плотность орошения при существенно меньшем удельном расходе воздуха по сравнению с традиционными конструкциями декарбонизаторов.

Таблица П10

Вид дегазаторов	Допустимая плотность орошения, $m^3/(m^2 \cdot ч)$	Удельный расход воздуха, m^3/m^3
Дегазаторы, загруженные кольцами Рашига (25x25x3 мм)	60	15
Дегазаторы с деревянной насадкой из досок	40	20
Многоступенчатый эжектор	13000	0,5-1,5

Предлагаемый способ декарбонизации имеет дополнительные преимущества по сравнению с существующими способами: более высокую эффективность процесса; более простую технологическую схему (отпадает необходимость в собственно карбонизаторах и вентиляторах). Кроме того, снижается металлоёмкость, уменьшается необходимая производственная площадь, снижаются потери теплоты из обрабатываемой воды и ремонтные затраты.

Конструкция эжектора (рис. 27) представляет собой несколько последовательно расположенных ступеней, состоящих из конфузора и камеры смешения. Каждая последующая ступень эжектора больше предыдущей ступени как по диаметру, так и по длине камеры смешения.

Водовоздушный поток, проходя через ступени эжектора, подвергается всё большему и большему измельчению, достигая состояния эмульсии, благодаря чему создается весьма значительная поверхность контакта раздробленных капель воды с воздухом.

Достигаемая при этом поверхность контакта около 100 тыс. m^2/m^3 и более является оптимальным условием для интенсивного выделения, свободного CO_2 из воды в газовую фазу. Несомненным преимуществом предлагаемого метода удаления свободного CO_2 перед декарбонизаторами является простота его в монтаже и эксплуатации.

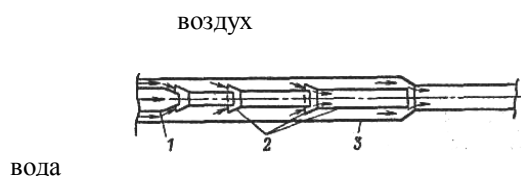


Рис. 27. Конструкция многоступенчатого эжектора

1 – сопло; 2 – конфузор с камерой смешения; 3 – кожух

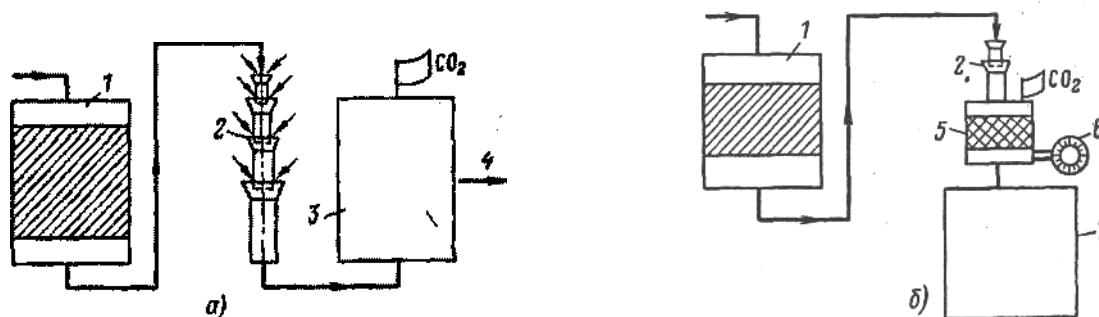


Рис. 28. Схема включения многоступенчатого эжектора

а — схема работы многоступенчатого эжектора без декарбонизатора; б — схема работы многоступенчатого эжектора с декарбонизатором. 1 — фильтр; 2 — многоступенчатый эжектор; 3 — воздухоотделитель; 4 — обработанная вода к потребителю; 5 — декарбонизатор; 6 - вентилятор; 7 — бак.

Как это видно из рис. 28, предлагаемый метод может быть использован самостоятельно или в комбинации с декарбонизатором. В тех случаях, когда метод многоступенчатой эжекции применяется самостоятельно, например, при отсутствии декарбонизаторов в схеме обессоливания воды, каскадный эжектор монтируется в трубопровод, идущий в бак частично обессоленной воды. В этом случае количество ступеней эжектора необходимо рассчитывать из начальных и конечных условий режима декарбонизации.

Если же предлагаемый метод применяется в сочетании с декарбонизатором с целью улучшения условий его работы, то количество ступеней эжектора может быть ограничено в зависимости от желаемого эффекта частичной декарбонизации воды после эжектора. Промышленная проверка этого метода на установке Волгоградской ТЭЦ-2 по приготовлению подпиточной воды теплосети методом Н-голой регенерации показала вполне удовлетворительные результаты. Остаточное содержание CO_2 в воде составляло 1 — мг/кг.

На Михайловской ТЭЦ был осуществлен вариант согласно рис. 28, б на водоподготовительной установке приготовления добавочной воды котлов, работающей по схеме Н-Na-катионирования. Комбинированный метод удаления свободной углекислоты позволил в 2—3 раза улучшить эффект декарбонизации по сравнению с проектной схемой. При этом 80% общего содержания CO_2 в обрабатываемой воде удалялось после ступенчатого эжектора, а остальная доля на декарбонизаторе. Остаточное содержание CO_2 в воде не превышало 1—3 мг/л.

Источники ПВ

1. Комарчев И. Г., Комарчева Н. И. Устройство для увлажнения воздуха. А. С. № 387191 (СССР). Оpubл. в бюл. «Открытия. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1973, № 27.
2. Рамм В. М. Абсорбция газов. М., «Химия», 1976.
3. Джон Г. Перри. Справочник инженера-химика. М., «Химия», 1969, т. I, II.
4. Оликер И. И., Пермяков В. А. Термическая деаэрация воды на тепловых электростанциях. М. — Л., «Энергия», 1971.
5. Комарчев И. Г., Нестеренко Б.М., Захаров А. А., Деаэратор. А. С. № 457312 (СССР) Оpubл. в бюл. «Открытия Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки», 1976, № 2

СТО ННГАСУ 3.1-XX-2008

Геннадий Матвеевич Климов

**Коррозия в пароводяном тракте котельной
установки и методы её предотвращения**

Методическая разработка к практическим занятиям, к курсовому и дипломному проектированию для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 140104.65 Промышленная теплоэнергетика, 270109.65 Теплогазоснабжение и вентиляция, 280101.65 Безопасность жизнедеятельности в техносфере, направления 140100.62 Теплоэнергетика, направления 280200 Защита окружающей среды.

Подписано в печать _____ Формат 60x9^{1/16}

Бумага печатная. Печать офсетная. Уч. изд. л. 2.7.

Усл. печ. л. ____ Тираж 300 Заказ № ____

Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет
(ННГАСУ) 603950, Н. Новгород, Ильинская, 65

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, Н. Новгород, Ильинская, 65