

ОБРАБОТКА ВОДЫ НА АЭС

ЛЕКЦИЯ №9

Тайлашева Татьяна Сергеевна
Доцент НОЦ И.Н. Бутакова ИШЭ ТПУ

ТЕМА 6. ДЕГАЗАЦИЯ ВОДЫ

2

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3

Дегазация - процесс удаления из воды растворенных в ней газов (диоксид углерода, кислород, сероводород, реже метан), обуславливающих или усиливающих коррозионные свойства воды, а в некоторых случаях придающих ей неприятный запах.

Выбор метода дегазации определяется в основном видом и содержанием удаляемого газа в исходной воде.

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

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

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

4

Процессы выделения газов из воды (**десорбция**) и растворения газов в воде (**абсорбция**) подчиняются общим законам массопередачи в системе жидкость - газ и протекают до тех пор, пока не будет достигнуто равновесия, зависящее от температуры, давления и концентраций в обеих фазах. В условиях равновесия процессы десорбции и абсорбции подчиняются **закону Генри**, который утверждает, что при данной температуре концентрация растворенного газа в жидкости пропорциональна давлению этого газа над жидкостью:

$$C_{\Gamma} = k_{\Gamma} \cdot P_{\Gamma}$$

где C_{Γ} - концентрация газа в воде, моль/дм³; P_{Γ} - давление данного газа над водой, Па; k_{Γ} - коэффициент абсорбции (величина обратная константе Генри). Коэффициент абсорбции характеризует объем газа, растворяющегося при стандартных условиях в единице объема раствора

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5

Из **закона Генри** следует, что для осуществления массообмена между водой и газом, **парциальное давление в газовой фазе должно либо уменьшаться, либо увеличиваться** в зависимости от требуемого направления массообмена. Если газ взаимодействует с водой (CO_2 , NH_3), то физически растворенная часть газа должна быть связана как с **законом Генри**, так и с той частью газа, которая образует ионные формы согласно закону действующих масс.

На практике обычно вода находится в контакте не с одним каким-либо газом, а со смесью газов, например, с воздухом. Парциальное давление газа в смеси определяется **законом Дальтона**, который гласит, что полное давление газовой смеси P_0 равно сумме парциальных давлений составляющих смесь газов P_1 , P_2 , P_3 и т.д., то есть каждый газ в смеси ведет себя так, как если бы он один заполнял весь объем:

$$P_0 = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$$

Из уравнений видно, что полное удаление газов ($C_G = 0$) можно достичь при $P_G = 0$ или, что то же самое, при $P_0 = 0$ или $P_0 = P_{\text{H}_2\text{O}}$. Это достигается созданием над поверхностью воды вакуума, либо атмосферы, не содержащей удаляемого газа, в частности путем нагрева воды до кипения, когда парциальное давление паров воды становится равным общему давлению ($P_0 = P_{\text{H}_2\text{O}}$), что равносильно снижению парциального давления удаляемого газа до нуля

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

6

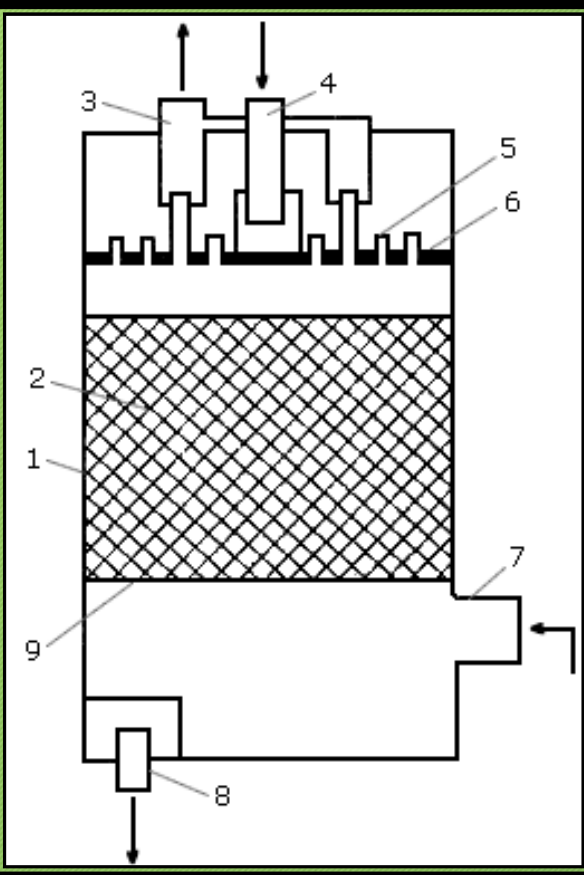
При обработке воды возникает необходимость удаления свободной углекислоты с целью наиболее полного и эффективного протекания процесса очистки. Кроме того, углекислота относится к числу коррозионно-активных газов и оказывает непосредственное влияние на показатель стабильности воды.

Для удаления из воды углекислого газа применяют дегазаторы (пленочные, с принудительной или естественной вентиляцией, барботажные, пенные и вакуумные).

Способ удаления из воды свободной CO_2 в декарбонизаторах методом аэрации широко применяется на ВПУ. На примере работы декарбонизатора легко показать, что можно не только десорбировать из воды одновременно все газы, растворенные в ней, но также осуществлять избирательную десорбцию какого-либо газа. Это достигается согласно **закону Генри** снижением парциального давления данного газа над водой без снижения общего давления и подогрева воды, что уменьшает энергетические потери. Практически это реализуется продувкой воды газом (или смесью газов), в составе которого **десорбируемый газ** или отсутствует, или, что чаще, его концентрация чрезвычайно низка.

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

7



Декарбонизатор представляет собой колонну, заполненную насадкой (*деревянная, керамические кольца Рашига и др.*) для дробления потока воды, подаваемой сверху на стекающие пленки, что увеличивает поверхность контакта воды и воздуха. Воздух, нагнетаемый вентилятором, движется в насадке навстречу потоку воды и затем вместе с выделившимся CO_2 выводится через верхний патрубок. Расход воздуха принимается равным 20 м^3 на 1 м^3 воды.

Схема конструкции декарбонизатора:

- 1 - цилиндрический корпус;
- 2 - насадка; 3 - отвод газовой смеси;
- 4 - подвод воды;
- 5 - распределительные трубки для подачи воды на насадку;
- 6 - верхний щит;
- 7 - подвод воздуха;
- 8 - отвод декарбонизированной воды;
- 9 - нижний поддерживающий насадку щит



ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

8

Теоретически растворимость CO_2 в воде при 40°C при контакте с атмосферным воздухом, парциальное давление CO_2 в котором равно 30 Па (0,03% по объему), составляет $0,4 \text{ мг/дм}^3$, практически содержание CO_2 в декарбонизированной воде значительно выше (в среднем 4 - 5 мг/дм^3). Это объясняется, в первую очередь, значительным отклонением процесса десорбции от равновесия. Кроме физических факторов большое значение на эффективность процесса декарбонизации оказывает величина pH, которая регулирует соотношение форм угольной кислоты в воде ($\text{CO}_2 + \text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$). С уменьшением pH доля CO_2 возрастает и увеличивается эффективность декарбонизации воды. При $\text{pH} > 8,5$ CO_2 полностью переходит в ионные формы, поэтому в декарбонизаторе не удаляется.

Кроме декарбонизаторов с насадками и вентиляторами в химических цехах эксплуатируются декарбонизаторы струйного типа (ДКС), в которых растворенная углекислота удаляется за счет контакта капель воды, получаемых при распыливании ее в форсунках, с подсасываемым в эжектирующем устройстве воздухом.

ДЕКАРБОНИЗАТОР СТРУЙНОГО ТИПА

9

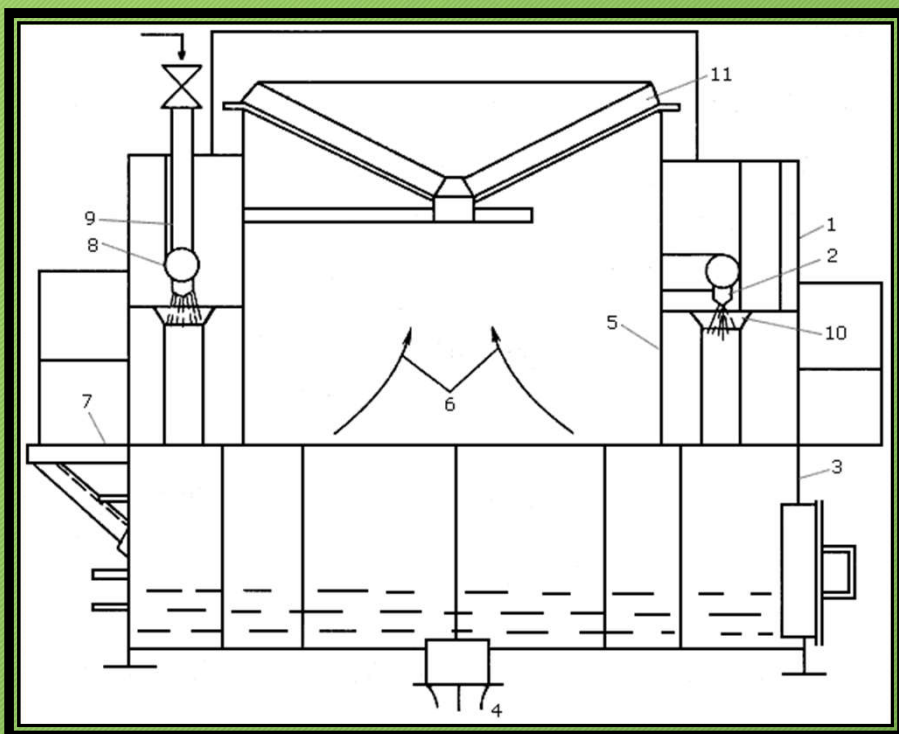


Схема декорбонизатора струйного типа

- 1 - корпус
- 2 - устройство с форсунками для распыления воды
- 3 - бак для сбора
- 4 - бак отвода декарбонизованной воды
- 5 - внутренняя обечайка
- 6 - отвод воздуха
- 7 - наружная обечайка
- 8 - кольцевой коллектор
- 9 - подвод обрабатываемой воды
- 10 - эжектирующее устройство
- 11 - жалюзийная решетка

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗОВ В ДЕАЭРАТОРАХ

10

Термическая деаэрация - это процесс десорбции газа, при котором происходит переход растворенного газа из жидкости в находящийся с ней в контакте пар. Наличие такого процесса возможно при соблюдении законов равновесия между жидкой и газовой фазами. Совместное существование этих двух фаз возможно только при условии динамического равновесия между ними, которое устанавливается при длительном их соприкосновении. При динамическом равновесии (при определенных давлении и температуре) каждому составу одной из фаз соответствует равновесный состав другой фазы. Доведение воды до состояния кипения, когда $P_0 = P_{H_2O}$, не является достаточным для полного удаления из нее растворимых газов. Удаление газов при термической деаэрации происходит в результате **диффузии и дисперсного выделения**. При этом должны быть созданы условия перехода газов из воды в паровое пространство. Одним из таких условий является **увеличение площади поверхности контакта** воды с паром, чтобы максимально приблизить частицы потока деаэрируемой воды к поверхности раздела фаз. Это достигается дроблением потока воды на тонкие струи, капли или пленки, а также при барботаже пара через тонкие слои воды.

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗОВ В ДЕАЭРАТОРАХ

11

Деаэраторы различают по рабочему давлению, при котором происходит выделение газов из воды:

- **деаэраторы повышенного давления** (0,6 - 1,2 МПа) типов ДСП-1600, ДСП-1000 и другие с подогревом воды на 10 - 40°C;
- **деаэраторы атмосферные** (с давлением 0,12 МПа) типов ДА-300, ДА-150 и другие с подогревом воды на 10 - 50°C;
- **деаэраторы вакуумные** (с давлением 0,0075 - 0,05 МПа) типа ДВ-2400, ДВ-2000 и другие с подогревом воды на 15 - 25°C (числа в типоразмерах указывают производительность, т/ч).

Под номинальной производительностью деаэратора понимается расход всех потоков воды, подлежащих деаэрации и количество сконденсировавшегося в деаэраторе пара.

По типу контакта воды с паром: **пленочные, струйные, капельные, барботажные.**

При этом часто используются комбинированные схемы контакта (например, струйно-барботажные).

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗОВ В ДЕАЭРАТОРАХ

12



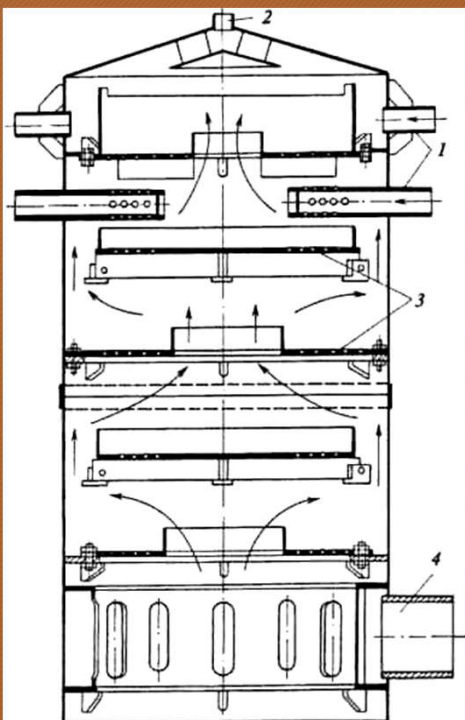
Большинство деаэраторов выполняется в виде вертикальной **цилиндрической колонки**, которая размещается над **баком-аккумулятором**.

Бак-аккумулятор предназначен в основном для аккумуляции запаса питательной (подпиточной) воды. Кроме того, в нем заканчивается процесс дегазации воды (выделение дисперсных газов и разложение гидрокарбонатов).

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗОВ В ДЕАЭРАТОРАХ

13

Конструкция колонки атмосферного деаэратора струйного типа



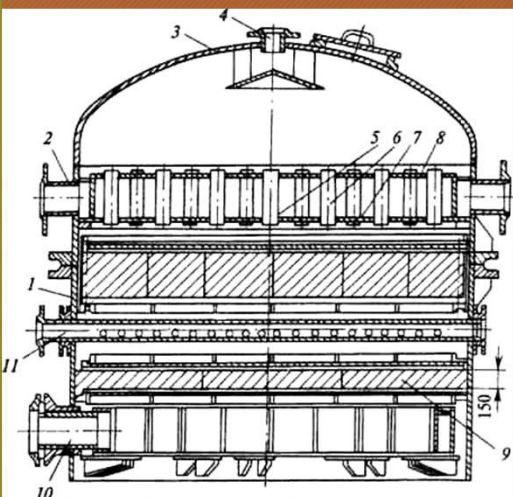
- 1 — подвод воды;
- 2 — отвод выпара;
- 3 — дырчатые тарелки;
- 4 — подвод греющего пара

Важной характеристикой всех типов деаэраторов является **приведенная плотность орошения** (отношение расхода воды к площади поперечного сечения колонки). Для колонок струйного типа эта величина составляет 60 - 100 т/(м²·ч)

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗОВ В ДЕАЭРАТОРАХ

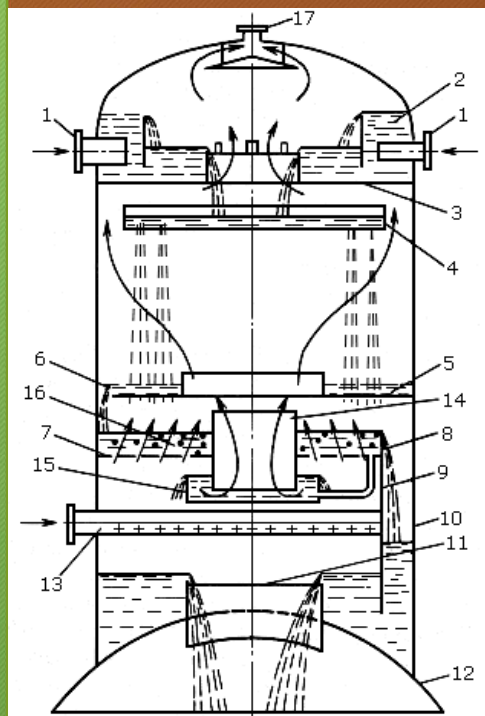
14

*Конструкция деаэрационной колонки
пленочного типа*



- 1 — корпус;
- 2 — подвод воды;
- 3 — крышка;
- 4 — отвод выпара;
- 5 — отверстия для слива воды;
- 6 — патрубки для выпара;
- 7,8 — нижний и верхний листы водораспределительной камеры;
- 9 — орошаемая насадка;
- 10 — подвод пара;
- 11 — подвод дренажа

*Конструктивная схема деаэрационной колонки
струйно-барботажного типа*

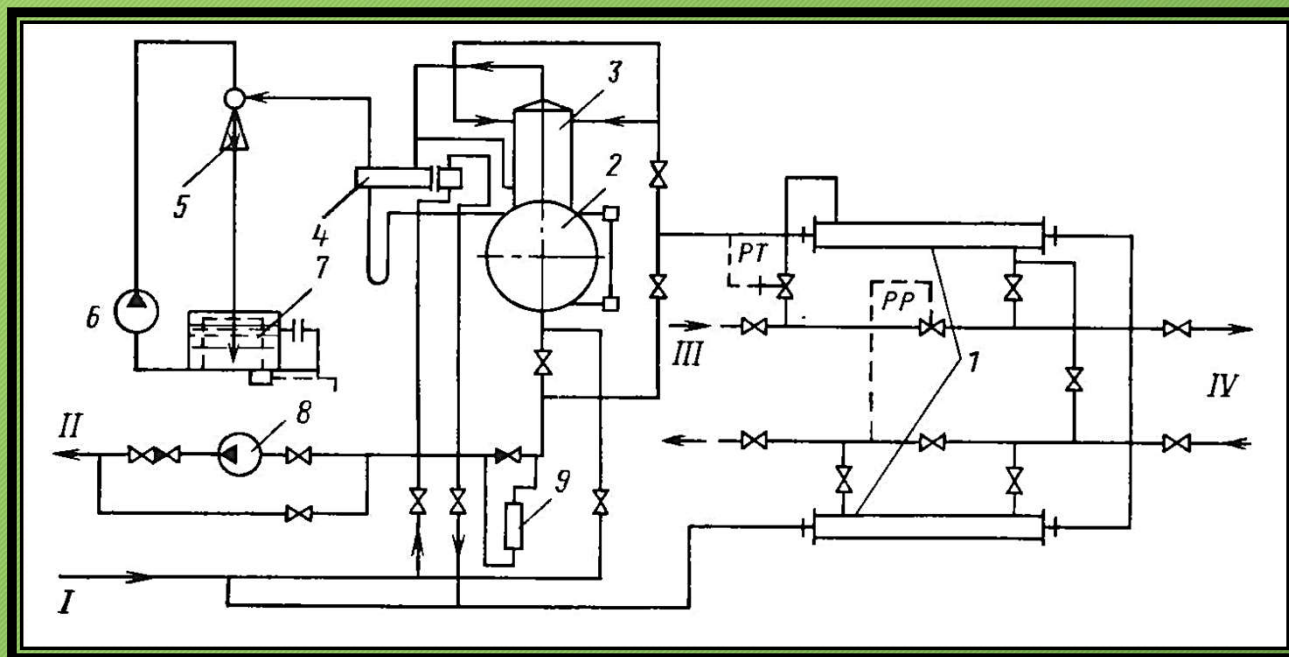


- 1 — подвод воды;
- 2 — смешительное устройство;
- 3 — переливное устройство;
- 4 — дырчатая тарелка;
- 5 — пароперепускная тарелка;
- 6 — сливной канал;
- 7 — барботажная тарелка;
- 8 — переливной порог;
- 9, 15 — гидрозатворы;
- 10 — корпус;
- 11 — водослив;
- 12 — бак-аккумулятор;
- 13 — подвод пара;
- 14 — пароперепускная труба;
- 16 — барботажный слой;
- 17 — отвод выпара

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗОВ В ДЕАЭРАТОРАХ

15

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА ВАКУУМНОЙ ДЕАЭРАЦИИ



- 1 - секционный подогреватель горячего водоснабжения;
- 2 - бак деаэрационный;
- 3 - деаэрационная колонка;
- 4 - охладитель выпара;
- 5 - водоструйный эжектор;
- 6 - насос для эжектора;
- 7 - бак эжектора;
- 8 - насос горячей воды;
- 9 - шайбовый дозатор силиката натрия;
- I - холодная вода;
- II - нагретая вода;
- III - прямая линия сетевой воды;
- IV - обратная линия сетевой воды;
- PP - регулятор расхода воды;
- PT - регулятор температуры

ТЕХНОЛОГИЯ УДАЛЕНИЯ ГАЗОВ В ДЕАЭРАТОРАХ

16

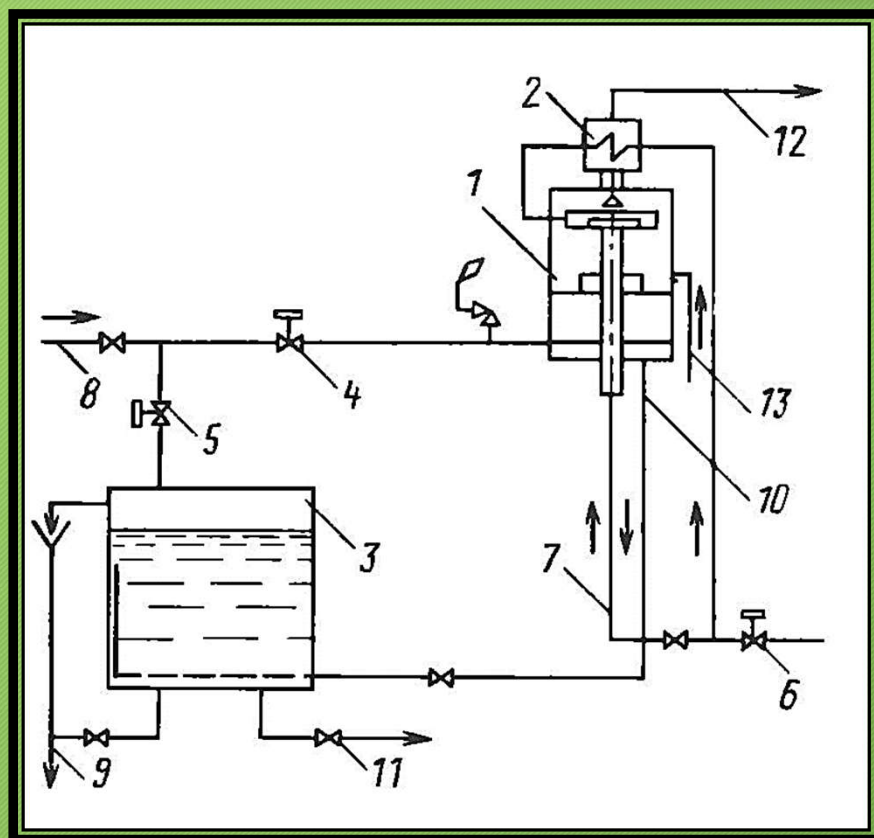


СХЕМА УСТАНОВКИ С ВАКУУМНЫМ БАРБОТАЖНЫМ
ДЕАЭРАТОРОМ

- 1 – деаэратор;
- 2 – охладитель выпара;
- 3 – бак- аккумулятор;
- 4 – регулятор подачи пара;
- 5 – регулятор давления в баке аккумулятора;
- 6 – регулятор подачи умягченной воды;
- 7 – подвод умягченной воды;
- 8 – подвод пара;
- 9, – дренаж;
- 10 – отвод воды из деаэратора;
- 11 – подача воды к питательным насосам;
- 12 – выпар;
- 13 – подвод конденсата

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СВЯЗЫВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА

17

Строгое нормирование кислородосодержания в контурах ТЭС и АЭС определило необходимость использования не только физических методов дегазации, но и химических методов дообескислороживания, основанных на окислительно-восстановительных процессах с использованием кислорода и специальных восстановителей. К числу используемых восстановителей относятся сульфит натрия Na_2SO_3 и гидразин-гидрат $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Обработка воды сульфитом натрия основана на реакции окисления сульфита растворенным в воде кислородом:



Реакция протекает достаточно быстро при температуре воды не менее 80°C и $\text{pH} > 8$. При сульфитировании воды ее солесодержание увеличивается в количестве $10 - 12 \text{ мг/дм}^3$ на 1 мг/дм^3 растворенного кислорода. При температуре свыше 275°C (давление насыщения 6 МПа) сульфат натрия разлагается, поэтому он может быть использован только для обескислороживания воды агрегатов среднего давления ($3 - 6 \text{ МПа}$), испарителей и для подпиточной воды тепловой сети. Раствор сульфита натрия концентрацией $3 - 6\%$ готовят в баке, защищенном от контакта с атмосферой, и затем с помощью дозатора вводят в обрабатываемую воду с избытком $2 - 3 \text{ г/м}^3$ против стехиометрического количества.

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СВЯЗЫВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА

18

Для агрегатов высоких и сверхвысоких давлений применяется дообескислороживание воды гидразином в форме гидразин-гидрата, который взаимодействует с кислородом, окисляясь в итоге до воды и азота, т.е. не повышая солесодержания воды:



Скорость реакции зависит от температуры, pH среды, избытка гидразина в соответствии с законом действия масс, а также присутствия катализаторов. При $t < 30^\circ\text{C}$ гидразин практически не взаимодействует с O_2 , но при $t = 105^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 9 - 9,5$ и избытке гидразина около 0.02 мг/дм^3 время практически полного связывания кислорода составляет несколько секунд.

Гидразин вводится в воду в виде 0,1 - 0,5%-ного раствора с избытком против стехиометрического количества с учетом того, что часть его расходуется на восстановление высших оксидов железа и меди из отложений на трубках.

ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СВЯЗЫВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА

19

Для предотвращения углекислотной коррозии оборудования конденсатно-питательного тракта ТЭС с барабанными котлами применяется способ связывания свободной углекислоты путем ввода в конденсат турбин или питательную воду щелочного реагента - водного раствора аммиака. Основной задачей такой обработки является повышение pH воды и конденсата на участках пароводяного тракта, что надежно обеспечивает защиту оборудования от коррозии.

Дозировка аммиака определяется его количеством, необходимым для связывания диоксида углерода в гидрокарбонат аммония. Небольшой избыток NH_3 сверх этого количества образует уже карбонат аммония и повышает pH воды до значений выше 8.5:



Из приведенных уравнений следует, что для связывания 1 мг/дм³ CO_2 достаточно 0,26 мг/дм³ аммиака. Аммиак обычно вводится в обрабатываемую воду в виде 1 - 5%-ного раствора NH_4OH с помощью насосов-дозаторов, автоматизированных по расходу воды.