**Водный режим котла и качество пара**

**Образование накипи.**

Вместе с питательной водой в котлы поступают различные минеральные примеси, в том числе соединения кальция и магния, оксиды железа, алюминия, меди и пр. Все примеси, находящиеся в воде, делятся на трудно- и легкорастворимые. К числу труднорастворимых примесей относятся соли и гидроксиды Са и Mg, а также оксиды конструкционных материалов.

Накапливаясь в котле по мере испарения воды, эти примеси после наступления состояния насыщения начинают из нее выпадать. Прежде всего состояние насыщения наступает для солей жесткости $Ca\left(HCO\_{3}\right)\_{2}$, $Mg\left(HCO\_{3}\right)\_{2}$, $CaCO\_{2}$, $MgCO\_{2}$ и др., и они начинают выпадать из воды в виде кристаллов.

Центрами кристаллизации служат шероховатости на поверхностях нагрева, а также взвешенные и коллоидные частицы, находящиеся в воде котла. Вещества, кристаллизующиеся на поверхности нагрева, образуют плотные и прочные отложения - **накипь**. Вещества, кристаллизирующиеся в объеме воды, образуют взвешенные в ней частицы - **шлам**. Образование накипи на поверхностях нагрева объясняется процессами взаимодействия между противоположно заряженными частицами накипеобразователей и металлической стенкой. Образовавшаяся **первичная накипь** является основой для отложения **вторичных видов накипи -** прикипевшего шлама, отложений продуктов коррозии металла.

**Непрерывная и периодическая продувка**

В барабанных котлах с естественной и многократной принудительной циркуляцией для исключения возможности образования накипей необходимо, чтобы концентрация солей в воде была ниже критической, при которой начинается их выпадение из раствора. С целью поддержания требуемой концентрации солей из котла продувкой выводится некоторая часть воды и вместе с ней удаляются соли в таком количестве, в каком они поступают с питательной водой. В результате продувки количество солей, содержащееся в воде, стабилизируется на допустимом уровне, исключающем их выпадение из раствора.

Применяют **непрерывную** и **периодическую** продувки котла.

**Непрерывная продувка** обеспечивает равномерное удаление из котла накопившихся растворенных солей и осуществляется из места наибольшей их концентрации в верхнем барабане.

**Периодическая продувка** применяется для удаления шлама, осевшего в элементах котла, и производится из нижних барабанов и коллекторов котла через каждые 12 - 16 часов.

Схема непрерывной продувки котлов показана на рис.12.5. Вода непрерывной продувки подается в расширитель, где поддерживается давление меньшее, чем в котле. В результате часть продувочной воды испаряется и образовавшийся пар поступает в деаэратор. Оставшаяся в расширителе вода удаляется через теплообменник и после ее охлаждения сливается в дренажную систему.



**Уравнение солевого баланса. Процент продувки**

Непрерывная продувка *р*, %, устанавливается по допустимой концентрации в воде котла растворимых примесей, чаще всего по общему солесодержанию, и выражается в процентах паропроизводительности котла

$$p=\frac{D\_{пр}}{D}∙100, (1)$$

где $D\_{пр} и D$ - расходы продувочной воды и номинальная паропроизводительность котла, кг/ч.

Расход питательной воды $D\_{п.в}$ при наличии непрерывной продувки составляет

$$D\_{п.в}=D+D\_{пр}. (2)$$

Количество воды, удаляемое непрерывной продувкой, устанавливается из уравнения солевого баланса котла

$$D\_{п.в}∙S\_{п.в}=D∙S\_{п}+D\_{пр}∙S\_{пр}+D∙S\_{отл}, (3)$$

где $D\_{п.в}$— расход питательной воды, кг/ч; $S\_{п.в}, S\_{п} иS\_{пр}$ - солесодержания питательной воды, пара и продувочной воды, кг/кг; $S\_{отл}$— количество веществ, отлагающихся на поверхностях нагрева, отнесенное к 1 кг получаемого пара, мг/кг.

В котлах низкого и среднего давления количество солей, уносимых паром, незначительно, и член $D∙S\_{п}$ в уравнении (3) можно приравнять нулю. Отложение солей на поверхностях нагрева при нормальном водном режиме котла не допускается, и член $D∙S\_{отл}$ в этом уравнении также должен быть равен нулю. Тогда количество воды, удаляемое с продувкой,

$$D\_{пр}=\frac{D\_{п.в}∙S\_{п.в}}{S\_{пр}}=D∙\frac{S\_{п.в}}{S\_{пр}-S\_{п.в}}, (4)$$

Подставляя значение $D\_{п.в}$ из выражения (2) с учетом формулы (1), определяем продувку, %

$p=\frac{S\_{п.в}}{S\_{пр}-S\_{п.в}}100. (5)$

В котлах высокого давления уносом солей паром вследствие растворимости $SiO\_{3}^{2-}$, пренебрегать нельзя и величину продувки следует определять из уравнения (3) по формуле

$$p=\frac{S\_{п.в}-S\_{п}}{S\_{пр}-S\_{п.в}}, (6)$$

**Ступенчатое испарение. Схемы ступенчатого испарения**

Применение непрерывной продувки, являющейся основным средством поддержания требуемого качества воды барабанного котла, связано с увеличением расхода питательной воды и тепловыми потерями. На каждый килограмм продувочной воды расходуется теплота, кДж/кг,

$$q=\frac{h\_{пр}-h\_{п.в}}{η\_{к}},$$

где $h\_{пр} и h\_{п.в}$— энтальпии продувочной и питательной воды, кДж/кг; $ η\_{к}$ -КПД котла.

В целях уменьшения потерь теплоты с продувкой следует стремиться к уменьшению количества выводимой из котла воды. Эффективным методом снижения продувки является **ступенчатое испарение воды**.

Сущность ступенчатого испарения или ступенчатой продувки состоит в том, что испарительная система котла разделяется на ряд отсеков, соединенных по пару и разделенных по воде. Питательная вода подается только в первый отсек. Для второго отсека питательной водой служит продувочная вода из первого отсека. Продувочная вода из второго отсека поступает в третий отсек и т. д.

Продувку котла осуществляют из последнего отсека—второго при двухступенчатом испарении, третьего—при трехступенчатом испарении и т.д. Так как концентрация солей в воде второго или третьего отсека значительно выше, чем в воде при одноступенчатом испарении, для вывода солей из котла требуется меньший процент продувки.

Применение ступенчатого испарения эффективно также как средство уменьшения уноса кремниевой кислоты вследствие высокой гидратной щелочности, возникающей в солевых отсеках. Системы ступенчатого испарения и продувки обычно выполняют из двух или трех отсеков.

При двухступенчатом испарении система делится на две неравные части — чистый отсек, куда подается вся питательная вода и вырабатывается 75—85% пара, и солевой отсек, где вырабатывается 25—15 % пара.



На рис. 12.6, а показана схема испарительной системы с двухступенчатым испарением с солевыми отсеками, расположенными внутри барабана котла, в его торцах, а на рис. 12.6,б — с выносными циклонами, которые вместе с включенными в них экранами образуют солевые отсеки котла.

**Коррекционный метод обработки воды в парогенераторе**

Избежать появления накипи на поверхностях нагрева барабанного котла только путем улучшения качества питательной воды и продувки котла не всегда удается. Дополнительно применяют коррекционный метод обработки воды в котле, при котором соли Са и Mg переводят в соединения, нерастворимые в воде. Для этого вводят в воду реагенты —коррекционные вещества, анионы которых связывают и осаждают в виде шлама катионы кальция и магния.

В котлах при давлении более 1,6 МПа в качестве корректирующего реагента применяют тринатрийфосфат $Na\_{2}SO\_{4}∙12H\_{2}O$. При введении этого реагента происходит реакция с кальциевыми и магниевыми соединениями

$6Na\_{2}PO\_{4}+10CaSO\_{2}+2NaOH=3Ca\_{3}(PO\_{4})\_{2}+Ca(OH)\_{2}+10Na\_{2}SO\_{4}$*.*

Получившиеся вещества $Ca\_{3}(PO\_{4})\_{2}, Ca(OH)\_{2}, Na\_{2}SO\_{4}$ обладают малой растворимостью и выпадают в виде шлама, удаляемого периодической продувкой.

Для коррекции качества воды барабанных котлов с давлением выше 6,0 МПа в последнее время в ряде случаев в питательную воду дозируются либо аммиак с гидразином, либо комплексон.

При гидразинно-аммиачном водном режиме оставшийся после термической деаэрации кислород связывается гидразином. Остатки углекислоты связываются дозируемым в питательную воду аммиаком, который полностью нейтрализует $CO\_{2}$ и повышает рН среды до 9,1 ±0,1, что способствует уменьшению скорости коррозии.

**Сепарация пара**

**Требования к пару.**

В насыщенном водяном паре могут находиться различные примеси: газы $N\_{2}$, $NH\_{3}$, $CO\_{2}$, $H\_{2}$, соли и кислоты минеральных и органических веществ, оксиды металлов, взвешенные или растворенные в паре.

Минеральные примеси могут отлагаться в трубах пароперегревателя, в арматуре паропроводов и в проточной части турбины в количестве, недопустимом для их нормальной работы. К качеству насыщенного пара барабанных котлов предъявляются жесткие требования, установленные на основе опыта эксплуатации оборудования и данных теплохимических испытаний. Предельные нормы качества пара для барабанных котлов приведены в табл. 12.2.

Загрязняющие примеси поступают в насыщенный пар в основном из питательной воды. Содержание продуктов коррозии при нормальных условиях незначительно. В прямоточных котлах высокого и сверхвысокого давления определяющее значение в загрязнении пара имеют растворенные в нем минеральные неорганические примеси, в основном $SO\_{2}$, оксиды *Fe* и *Си*, а также соединения натрия.



Некоторые из вынесенных паром примесей откладываются затем на испарительных поверхностях или в турбине.

 Таким образом, в прямоточных котлах качество насыщенного пара определяется только характеристикой питательной воды. В котлах с естественной и многократной принудительной циркуляцией отделение пара от воды происходит в барабане. В котлах низкого и среднего давления загрязнение насыщенного пара происходит преимущественно вследствие выноса вместе с паром капель воды, содержащих минеральные примеси. При высоком давлении пара и его незначительной влажности выносятся растворенные в нем примеси, в основном соединения кремния, гидроксиды металлов.

**Требования к сепарационным устройствам. Гравитационная сепарация**

 В современных барабанных котлах применяются в отдельности или в различных сочетаниях различные сепарационные устройства, схемы которых показаны на рис. 12.10. Эти устройства должны погасить кинетическую энергию поступающей в барабан пароводяной смеси с минимальным образованием мелкодисперсных капель влаги, обеспечить равномерное распределение паровой нагрузки по площади зеркала испарения и потока пара в объеме барабана, осуществить выделение из потока пара капель влаги.



В сепарационных устройствах используются следующие принципы сепарации капель влаги из пара.

 **Гравитационная сепарация**. Отделение капель влаги от пара осуществляется при горизонтальном и вертикальном подъемном движении пара со стабилизированной малой скоростью. Эффективность гравитационной сепарации пропорциональна разности плотности воды и пара, т. е. зависит от давления, а также размеров капель воды, скорости потока пара и длины его пути до выхода из барабана.

**Инерционная сепарация**. Отделение более крупных капель воды от пара может быть осуществлено при резком ускорении горизонтального или вертикального потока пара и последующем уменьшении его скорости, а также за счет центробежных сил, действующих на каплю при изменении направления движения или направления закручивания потока влажного пара. Инерционный принцип сепарации используется в различных конструкциях сепарационных устройств, основные из которых, как было указано ранее, показаны на рис. 12.10.

 Простейшим инерционным сепаратором являются **глухие или дырчатые стальные листы**, размещенные вертикально или наклонно, которые одновременно используются для гашения кинетической энергии пароводяной смеси и отделения основной массы воды от пара (схема рис. 12.10,б). Скорость пароводяной смеси на входе под отбойный щит не должна превышать 2—2,5 м/с. Скорость пара на выходе из-под щита в барабан принимается обычно 0,7—1 м/с. Применяемые для равномерного распределения пара по площади зеркала испарения дырчатые щиты устанавливаются примерно на 75—100 мм ниже нижнего уровня воды в барабане. Минимальная скорость пара в отверстиях щита размером 8—12 мм должна быть 0,95 м/с при 4 МПа и 0,5 м/с при 10 МПа.

 **Пленочная сепарация** основана на использовании способности налипания мелких капель воды, не обладающих инерционными свойствами, на увлажненную развитую поверхность при соприкосновении с ней потока влажного пара. При ударе потока влажного пара о такую поверхность в результате слияния мелких капель на ней образуется сплошная водяная пленка, которая достаточно прочна и не срывается паром, но в то же время беспрепятственно и непрерывно дренируется в водяное пространство барабана.

 Пленочная сепарация используется в циклонных, а также в швеллерковых сепараторах. В них пленочная сепарация сочетается с инерционной за счет отбрасывания более крупных капель воды при прохождении влажного пара по каналам между швеллерами с четырехкратным поворотом на 90°. Такая конструкция достаточно эффективно отделяет мелкие капли от пара. Допускаемая скорость пара в швеллерковых сепараторах при давлении в барабане 11 МПаО,2 м/с.

**Промывка пара**

Механические способы сепарации позволяют удалить из пара относительно крупные частицы. От веществ, находящихся в паре высокого давления в виде молекулярных и коллоидных растворов, пар может быть очищен промывкой его чистой водой. Практически промывка пара осуществляется пропуском его через слой воды.

На рисунку 12.11 показано пристрій для промивання пара.

 У паровому просторі барабана розміщується щит, наякий подається живильна вода, що стікає потім в водяний простір барабана.

 Щит виконується у вигляді системи корит або з перфорованими по його площі отворами. Пар, проходячи крізь шар води в коритах або через отвори в щиті, частково очищається від солей, насичуючи ними воду.



Рисунок 12.11. Схема сепараційного пристрою з промиванням пара:

1 - щит з промивальним коритцами;

2 -жалюзійний сепаратор;

3 - пароприймальний щит;

4 - розподільний щит;

5 - підведення живильної води;

6 - труби випаровної поверхні нагрівання;

7 -опускні труби;

8 -паровідвідні труби.

 Основною метою промивки пара при високому тиску є зниження виносу кремнієвої кислоти.

 При промиванні пара внаслідок недосконалості його контакту з водою домішки видаляються не в повному обсязі;

У прямоточному котлі з промивально-сепараційним пристроєм промивка пара здійснюється шляхом вприскування води в злегка перегріта пара з доведенням його вологості до 2 %. При цьому домішки, наявні в парі, розчиняються у воді. Далі волога відділяється від пара в відцентровому сепараторі і після використання частини її тепла видаляється у дренаж.