

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

ЛЕКЦИЯ №11-14

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

ТЕМА. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

2

НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

3

Теплообменным аппаратом (теплообменником) называется устройство, в котором происходит передача теплоты от одной среды к другой. Среда, участвующая в теплообмене, называется **теплоносителем**. В качестве теплоносителей могут использоваться **пары различных веществ, газы, жидкости и жидкие металлы**. **Теплоноситель**, отдающий теплоту и имеющий более высокую температуру, называется **первичным**, а воспринимающий теплоту теплоноситель с более низкой температурой называется **вторичным**.



НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

4

По типу передачи тепла

Контактные

*Смешивающие
Барботажные*

Поверхностные

*Рекуперативные
Регенеративные*

*Классифицировать аппараты можно и **по роду протекающих через них теплоносителей** на водоводяные, пароводяные, газовоздушные и др., а также и **по признаку наличия или отсутствия изменения агрегатного состояния** одного или обоих теплоносителей. По этому признаку можно выделить аппараты **без изменения агрегатного состояния**, а также с изменением агрегатного состояния теплоносителей — кипением или конденсацией. Другим принципом классификации теплообменных аппаратов является **их функциональное назначение**, по которому аппараты подразделяются на **конденсаторы, подогреватели, охладители.***

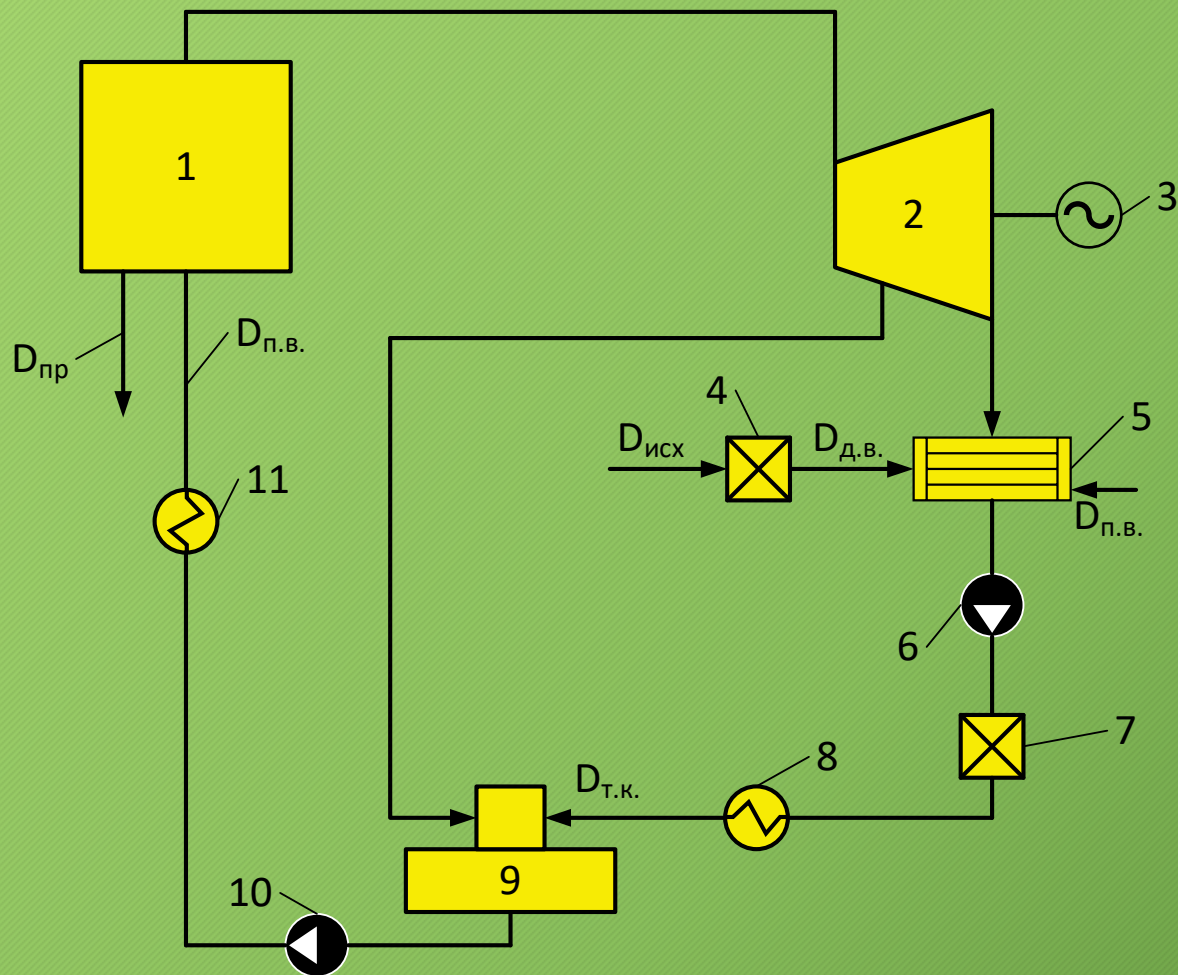
НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

5

Передача теплоты может осуществляться при непосредственном контакте обоих теплоносителей, либо через твердую поверхность, разделяющую среды. По этому признаку теплообменные аппараты соответственно подразделяются на **контактные и поверхностные**. Контактные аппараты в свою очередь подразделяются на **смешивающие**, в которых теплообмен происходит при смешении обоих теплоносителей, и **барботажные**, где один из теплоносителей прокачивается через другой без смешения. **В смешивающих аппаратах теплообмен происходит одновременно с массообменом.**

ТЕПЛОВАЯ СХЕМА КЭС

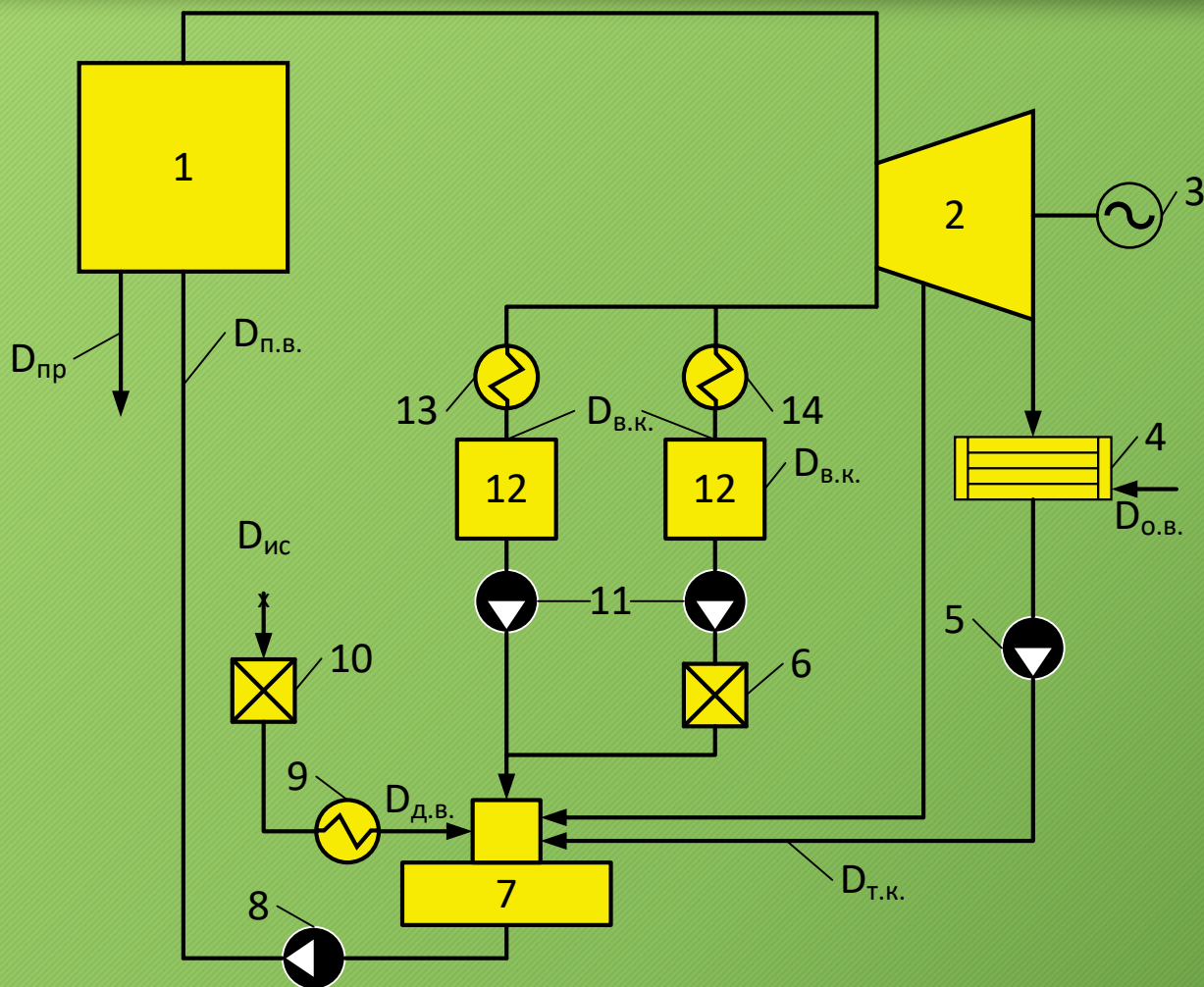
6



- 1 - котел, кипящий реактор; парогенератор;
- 2 - конденсационная турбина;
- 3 - электрогенератор;
- 4 - водоподготовительная установка (ВПУ);
- 5 - конденсатор турбины;
- 6 - конденсатный насос;
- 7 - блочная обессоливающая установка (БОУ);
- 8 - ПНД (подогреватель низкого давления);
- 9 - деаэратор;
- 10 - питательный насос;
- 11 - ПВД (подогреватель высокого давления)

ТЕПЛОВАЯ СХЕМА ТЭЦ

7



- 1 - котел;
- 2 - турбина с отборами пара;
- 3 - электрогенератор;
- 4 - конденсатор;
- 5 - конденсатный насос;
- 6 - установка очистки возвратного конденсата;
- 7 - деаэратор;
- 8 - питательный насос;
- 9 - подогреватель добавочной воды;
- 10 - ВПУ (водоподготовительная установка);
- 11 - насосы возвратного конденсата;
- 12 - баки возвратного конденсата;
- 13 - теплофикационный потребитель пара;
- 14 - производственный потребитель пара

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА

8

По давлению нагреваемой воды аппараты подразделяются следующим образом:

- группа аппаратов низкого давления (подогреватели низкого давления – **ПНД, сальниковые подогреватели, охладители паровых эжекторов, деаэраторы**), в которых нагреваемая вода находится под давлением, создаваемым конденсатными насосами (основной конденсат);
- подогреватели высокого давления (**ПВД**), в которых нагреваемая вода находится под давлением, создаваемым питательными насосами (питательная вода).



ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В АППАРАТАХ

9

Тепловые процессы в теплообменных аппаратах протекают при взаимодействии по крайней мере **двух теплоносителей с различными температурами**, причем теплота переносится от первичного теплоносителя с большей температурой к вторичному теплоносителю с меньшей температурой.

Теплоносители, используемые в теплообменных аппаратах, подразделяются **по агрегатному состоянию** на **жидкие** (циркуляционная, сетевая и питательная вода, конденсат, масло) и **газообразные** (водяной пар, воздух, газовая смесь).



ТЕМА. ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕАЭРАЦИЯ ДЕАЭРАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

10

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

11

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

12

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 ГАЗОВ В ДЕАЭРАТОРАХ

13

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.

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕАЭРАЦИЯ

14

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).

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕАЭРАЦИЯ

15



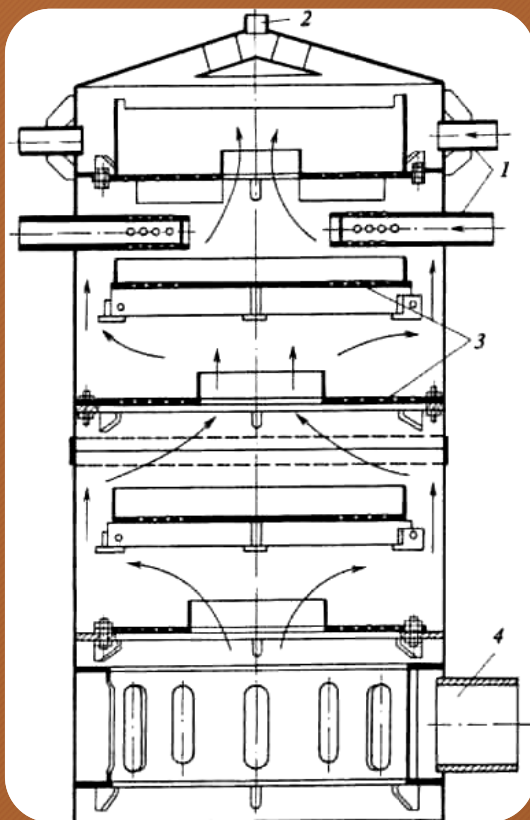
Большинство деаэраторов выполняется в виде вертикальной **цилиндрической колонки**, которая размещается над **баком-аккумулятором**.

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).

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕАЭРАЦИЯ

16

Конструкция колонки атмосферного деаэратора струйного типа



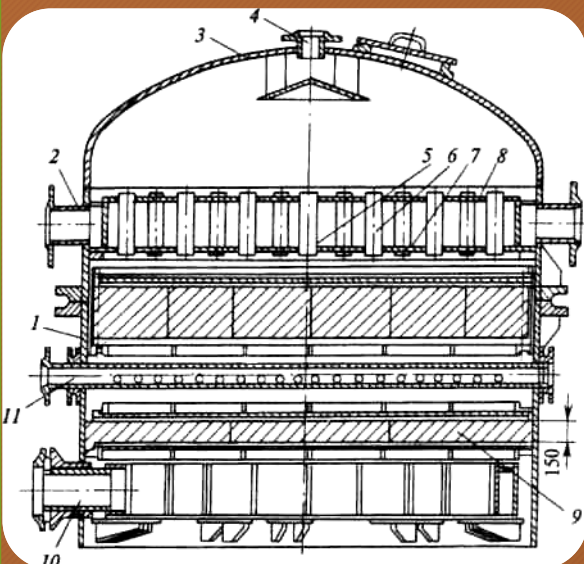
- 1 — подвод воды;
- 2 — отвод выпара;
- 3 — дырчатые тарелки;
- 4 — подвод греющего пара

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)

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕАЭРАЦИЯ

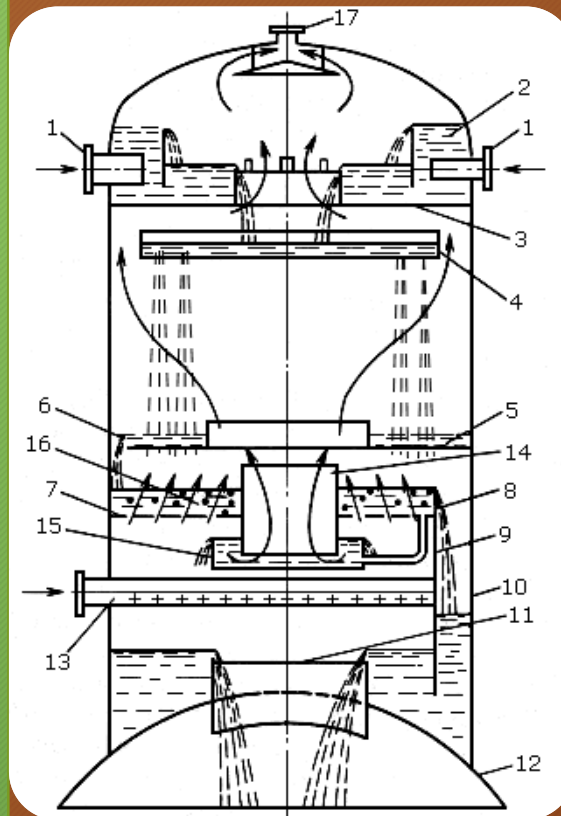
17

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

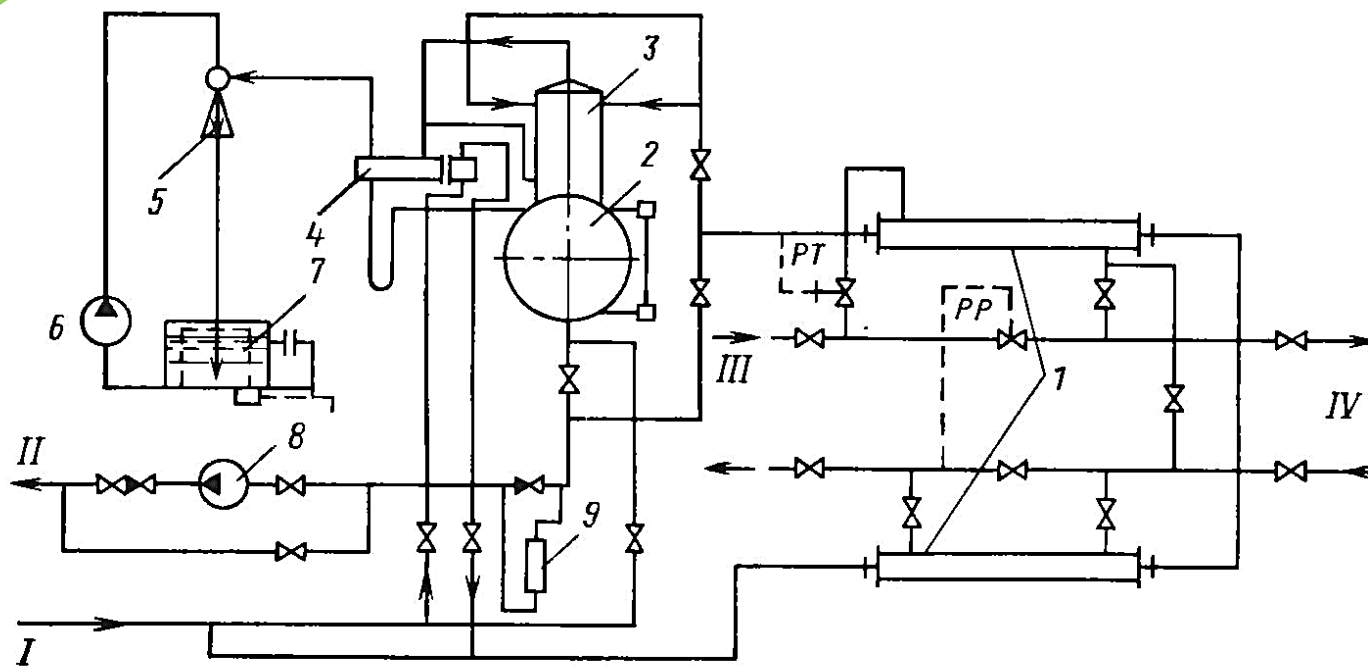


- 1 — подвод воды;
- 2 — смешительное устройство;
- 3 — переливное устройство;
- 4 — дырчатая тарелка;
- 5 — пароперепускная тарелка;
- 6 — сливной канал;
- 7 — барботажная тарелка;
- 8 — переливной порог;
- 9, 15 — гидрозатворы;
- 10 — корпус;
- 11 — водослив;
- 12 — бак-аккумулятор;
- 13 — подвод пара;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

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕАЭРАЦИЯ

18

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

ТЕРМИЧЕСКАЯ ДЕАЭРАЦИЯ

19

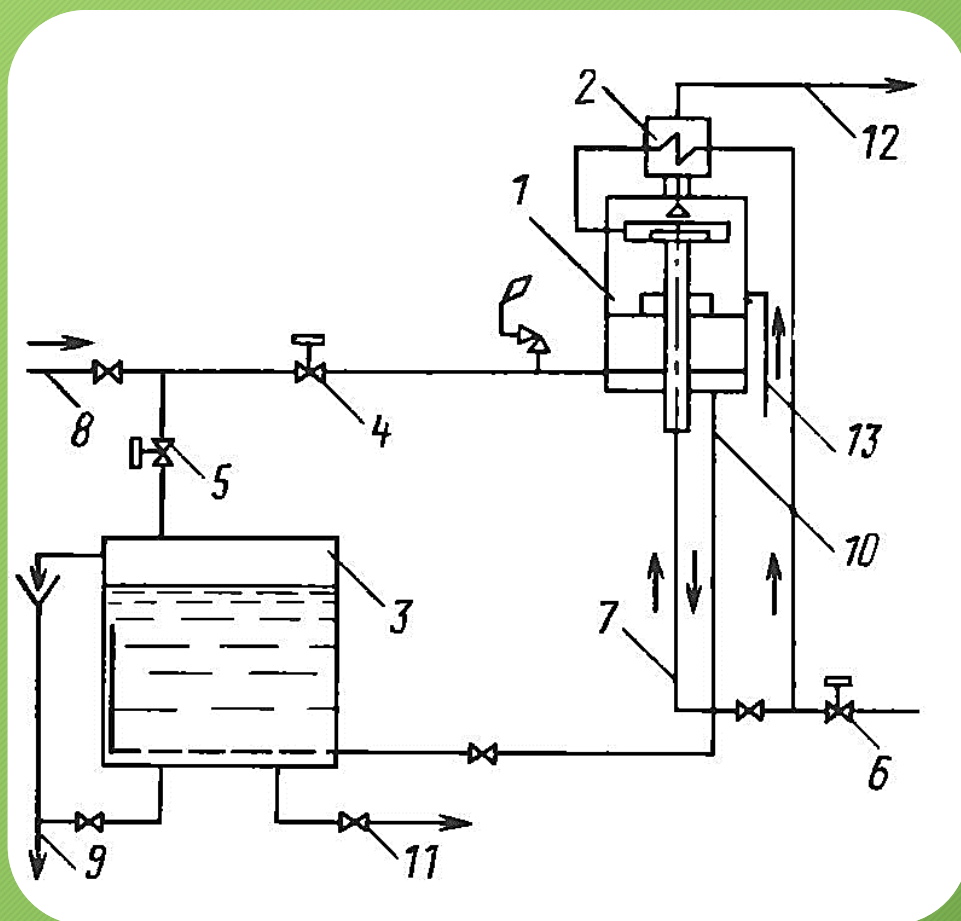


СХЕМА УСТАНОВКИ С ВАКУУМНЫМ БАРБОТАЖНЫМ ДЕАЭРАТОРОМ

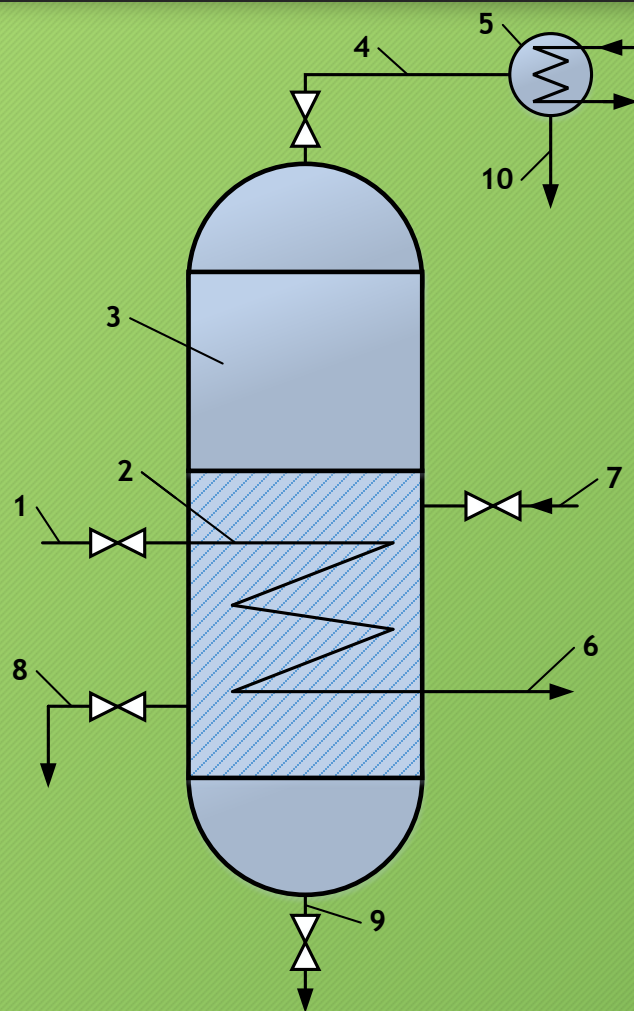
- 1 – деаэратор;
- 2 – охладитель выпара;
- 3 – бак- аккумулятор;
- 4 – регулятор подачи пара;
- 5 – регулятор давления в баке аккумулятора;
- 6 – регулятор подачи умягченной воды;
- 7 – подвод умягченной воды;
- 8 – подвод пара;
- 9, – дренаж;
- 10 – отвод воды из деаэратора;
- 11 – подача воды к питательным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

**ТЕМА. ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ.
ИСПАРИТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ**

20

ДИСТИЛЛЯЦИЯ (ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕССОЛИВАНИЕ)

21



- ❖ В основе термической подготовки воды положен **принцип концентрации примесей** имеющихся в воде в процессе парообразования.
- ❖ **Добавочной водой** при этом является **конденсат** получаемого пара.
- ❖ **Аппараты**, в которых происходит процесс парообразования с концентрацией примесей, называются **испарителями**.

Схема простейшей испарительной установки:

- 1** - подвод первичного пара; **2** - греющая секция; **3** - корпус испарителя;
4 - отвод вторичного пара; **5** - конденсатор; **6** - отвод конденсата;
7 - подвод питательной воды; **8** - продувка; **9** - опорожнение;
10 - отвод дистиллята

ИСПАРИТЕЛИ

22

ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА

Парообразование с концентрацией примесей может происходить в трубной системе (греющей секции)

Питательная вода - химически обработанная (умягченная) и деаэрированная вода:

- методом двухступенчатого Na-катионирования с предварительным известкованием и коагуляцией
- H-Na-катионирования.

МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ

Парообразование происходит в объеме при вскипании воды за счет снижения (мгновенного) ее давления

Питательная вода - вода с добавлением мелкодисперсных примесей природного мела или строительного гипса.

Последние играют роль *затравки* для осаждения примесей из воды при кипении ее в объеме.

ИСПАРИТЕЛИ

23



ПОВЕРХНОСТНОГО ТИПА

Для нагрева воды и получения пара из питательной воды в испаритель подводится пар одного из отборов турбины (первичный пар). Получаемый в испарителе пар называют вторичным.

При использовании испарителя для получения **добавочной воды цикла** вторичный пар отводится в **теплообменник** (конденсатор испарителя), где он конденсируется и затем поступает в цикл.

При работе испарителя для **отпуска промышленным потребителям** вторичный пар отводится **потребителю**. Поддержание заданной концентрации примесей в упариваемой питательной воде осуществляется за счет продувки.

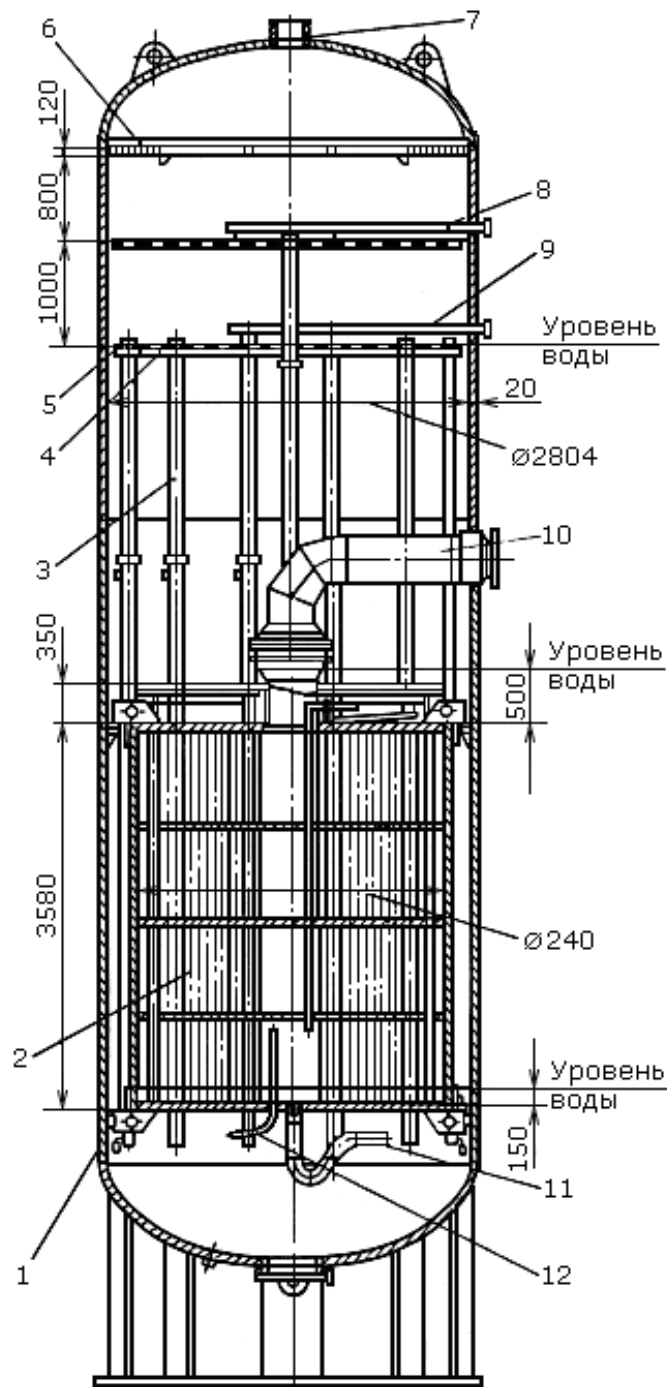


МГНОВЕННОГО ВСКИПАНИЯ

Образование вторичного пара происходит при поступлении в объем воды, температура которой выше температуры насыщения, соответствующей давлению в этом объеме.

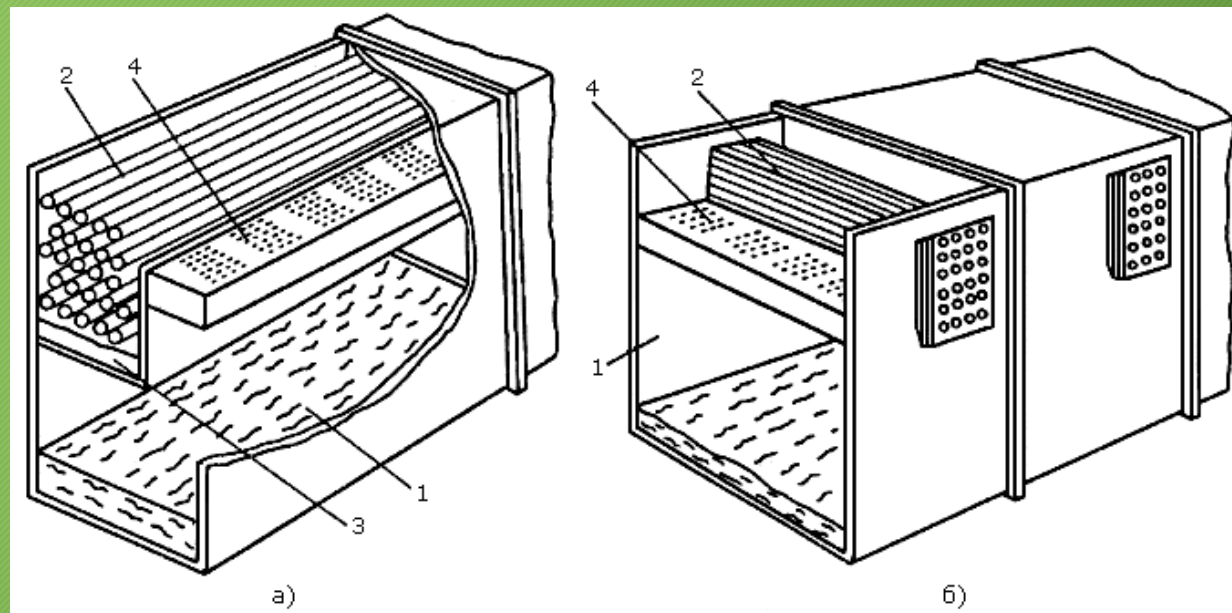
Вторичный пар из объема, в котором происходит расширение воды с его образованием, конденсируется в конденсаторе (конденсаторе испарителя).

В многоступенчатых испарителях мгновенного вскипания неиспарившаяся в объеме первой ступени вода поступает в объем второй ступени и т.д. При этом давление в объемах расширения последовательно снижается.



Конструкция испарителя поверхностного типа:

1 - корпус; 2 - греющая секция; 3 - опускная труба; 4 - дырчатый паропромывочный лист; 5 - перелив; 6 - жалюзийный сепаратор; 7 - отвод вторичного пара; 8 - подвод конденсата на паропромывочный лист; 9 - подвод питательной воды; 10 - подвод греющего пара; 11 - отвод конденсата греющего пара; 12 - отвод неконденсирующихся газов



Конструкция камер многоступенчатых испарительных установок:

а) с продольным расположением конденсаторов; б) с поперечным расположением конденсаторов; 1 - камера испарения; 2 - трубки конденсатора; 3 - сборник дистиллята; 4 - сепаратор

ПРИМЕНЕНИЕ ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

25

ТЭЦ

- МИУ с ИПТ - для отпуска пара промышленным потребителям. При этом в цикле ТЭЦ полностью сохраняется рабочее тело, и восполняются внутренние потери пара и конденсата.
- МИУ с ИМВ - для опреснения морской воды.

АЭС

- для подготовки добавочной воды;
- в системе спецводоочистки для очистки продувочной воды первого контура;
- радиоактивных вод бассейнов выдержки твэлов;
- сбросных вод;
- вод санпропускника;
- для генерации пара, который используется для уплотнения турбины и как рабочее тело эжекторных установок (на одноконтурных АЭС).

* Во всех этих случаях в испарительных установках вода освобождается от растворенных в ней радиоактивных твердых веществ.

** Для очистки радиоактивных промывочных вод, вод бассейнов выдержки и прочих активных сбросных вод применяют ОИУ.

*** Для очистки продувочных вод первого контура применяют обычно МИУ.

МЕТОДИКИ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СМЕШИВАЮЩИХ АППАРАТОВ

26

Первым этапом теплового расчета смешивающего подогревателя является составление баланса теплоты, на основе которого определяют **полный расход греющего пара на каждый аппарат** и расходы непосредственно из отборов.

Расчет каждого смешивающего подогревателя выполняется, как правило, для номинального и максимального (пикового) режимов работы. Благодаря высокой интенсивности теплообмена в смешивающих подогревателях их тепловая эффективность не снижается с уменьшением нагрузки. В связи с этим тепловой расчет подогревателей при частичных нагрузках турбоустановки не производится.

Следующим этапом расчета являются определение нагрева воды в струйных отсеках смешивающих подогревателей и выбор основных геометрических параметров этих отсеков.

МЕТОДИКИ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СМЕШИВАЮЩИХ АППАРАТОВ

27

Существуют различные методы расчета условий работы деаэратора:

Тепловой баланс деаэрационной установки составляется для определения полного расхода пара, подводимого к деаэратору. **Тепловые балансы** должны рассматриваться для всех режимов работы деаэратора. Тепловой баланс струйно-барботажного деаэрационного устройства составляется с целью определения минимально необходимого расхода пара. Действительный расход пара на барботаж может быть принят более высоким, но должен быть согласован с общим расходом пара на деаэратор при различных режимах его работы.

МЕТОДИКИ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СМЕШИВАЮЩИХ АППАРАТОВ

28

Расчет и конструирование деаэрационной колонки (струйного-барботажного типа). Целью расчета является определение числа отсеков (тарелок) в колонке, необходимых для обеспечения требуемого качества деаэрированной воды. В него входит **определение температуры воды на тарелках и расхода пара в каждом из отсеков**. Тепловой расчет ведется последовательно для каждого из отсеков колонки, начиная с верхнего. Он начинается с выбора геометрических параметров пучка струй.

МЕТОДИКИ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СМЕШИВАЮЩИХ АППАРАТОВ

29

Гидродинамический расчет. В задачи гидродинамического расчета входят определение гидравлических характеристик и проверка гидродинамической устойчивости отдельных отсеков и колонки в целом при различных режимах работы. Эффективная, устойчивая работа непровальной барботажной тарелки имеет место при отсутствии провала жидкости через отверстия в ней. Режим работы тарелки в этом случае определяется скоростью пара в ее отверстиях.

МЕТОДИКИ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СМЕШИВАЮЩИХ АППАРАТОВ

30

Расчет выделения кислорода деаэрационной колонки. Полное удаление кислорода из воды в деаэрационной колонке не может быть достигнуто, так как не представляется возможным подогреть воду в ней до температуры насыщения при данном давлении. **Остаточное содержание кислорода в деаэрированной воде обуславливается не только недогревом воды, но и наличием в ней дисперсного воздуха.** Процесс выделения кислорода не заканчивается в колонке и продолжается в баке-аккумуляторе.