

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

ЛЕКЦИЯ №8-10

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*

В состав любой энергетических установок входит ряд теплообменных аппаратов (теплообменников), являющихся их неотъемлемой частью. Эти аппараты по большей части являются поверхностными и рекуперативными по принципу действия, однако в схемах энергетических установок также имеются и аппараты смешивающего типа.

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.**

НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

6

В поверхностных аппаратах процесс теплопередачи включает в себя теплоотдачу от первичного теплоносителя к поверхности теплообмена, перенос теплоты через поверхность и теплоотдачу от поверхности теплообмена к вторичному теплоносителю. Поверхностные аппараты подразделяются на **рекуперативные и регенеративные**. **В рекуперативных аппаратах** обе стороны поверхности теплообмена непрерывно омываются теплоносителями, и направление теплового потока в стенке поверхности теплообмена сохраняется неизменным. **В регенеративных аппаратах** поверхность теплообмена попеременно омывается то одним, то другим теплоносителем, так что направление теплового потока в стенках поверхности теплообмена периодически меняется.

НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

7

По типу поверхности теплообмена

- Трубчатые
- Пластинчатые

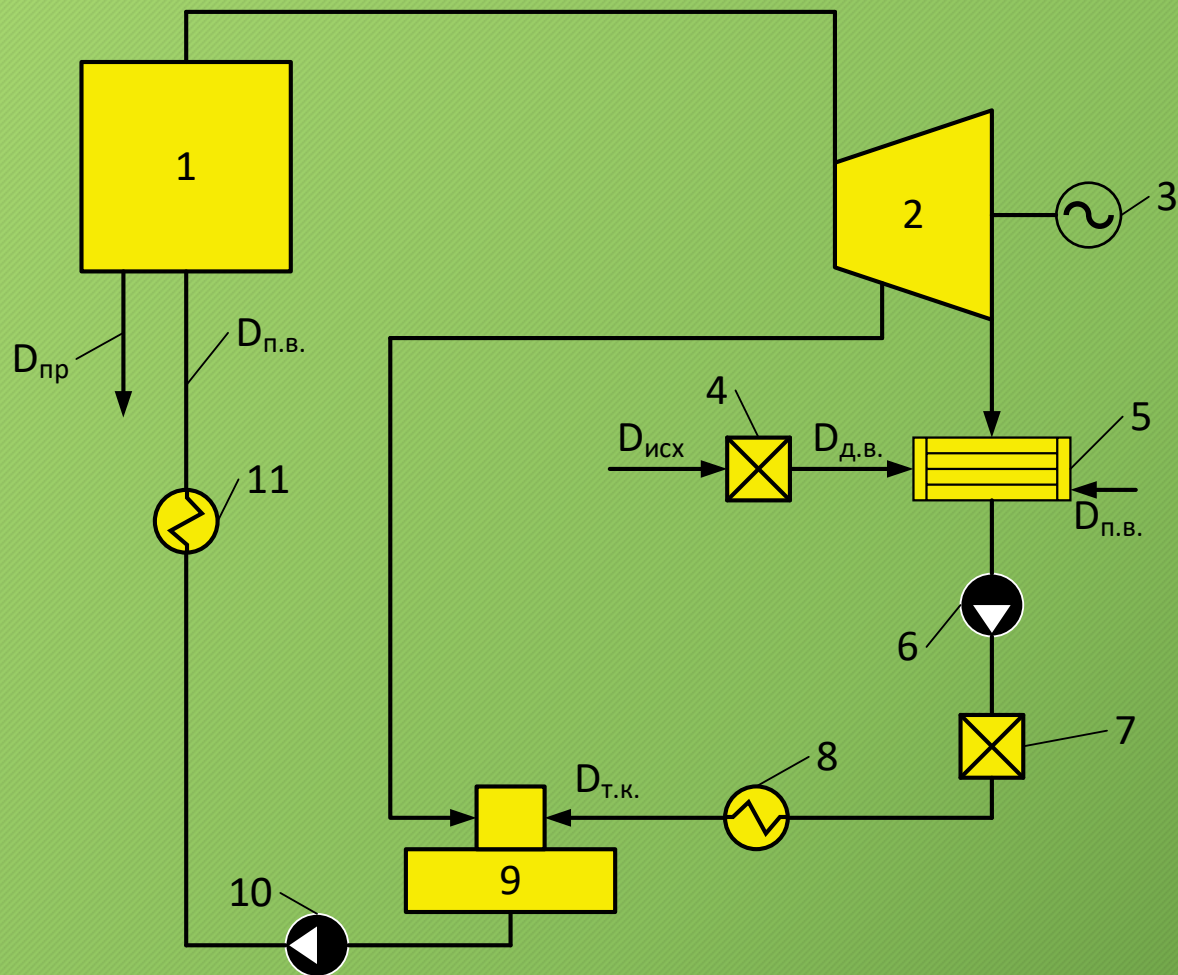
По пространственной ориентации

- Горизонтальные
- Вертикальные

*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.***

ТЕПЛОВАЯ СХЕМА КЭС

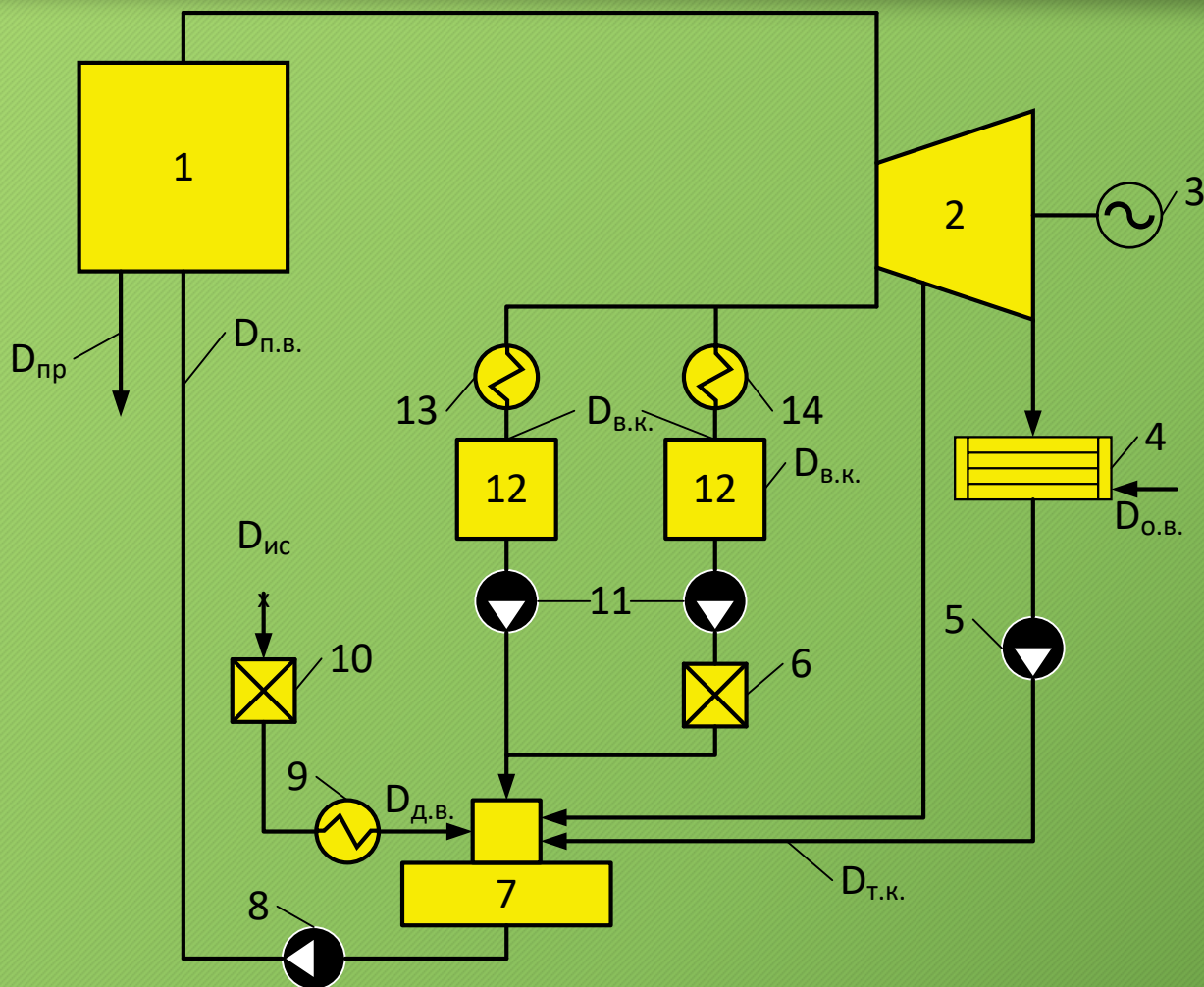
8



- 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

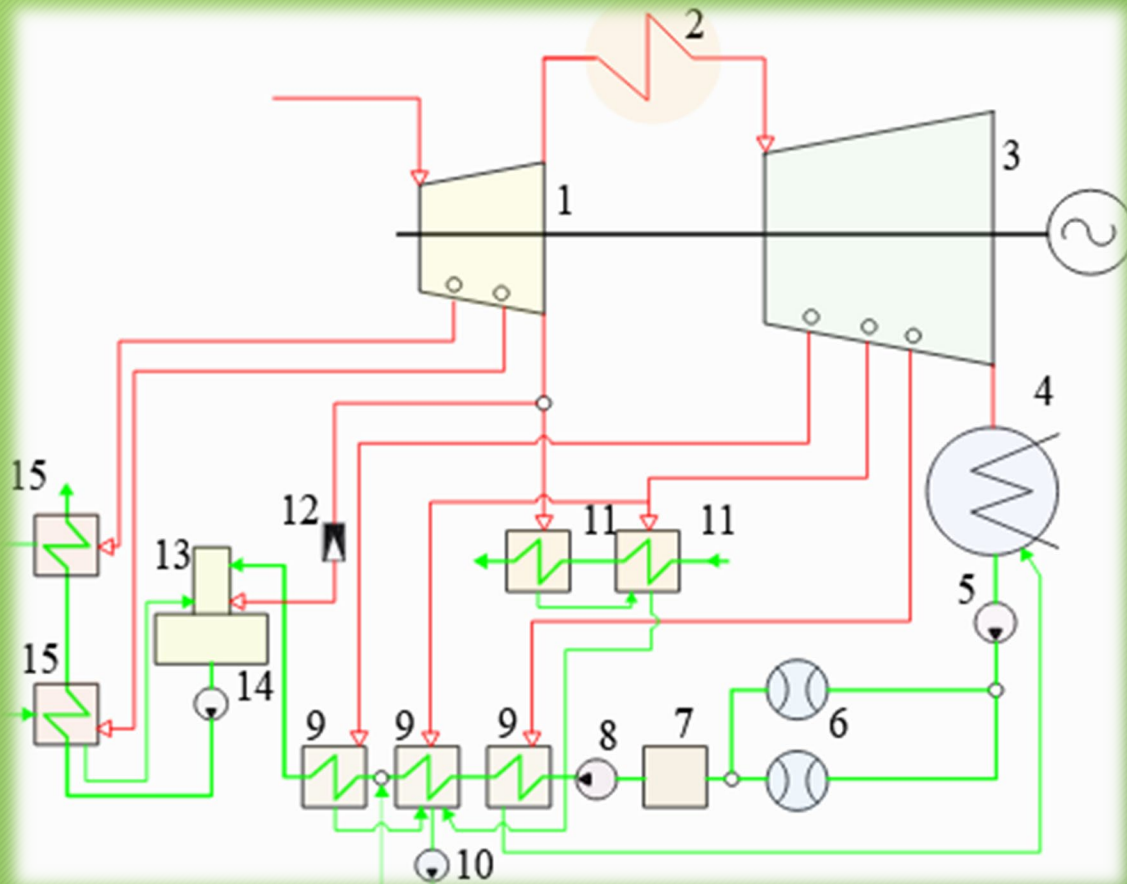
9



- 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

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

10



Принципиальная тепловая схема паротурбинной установки

1 - цилиндр (часть) высокого давления турбины, 2 - промежуточный пароперегреватель, 3 - цилиндр (часть) низкого давления, 4 - конденсатор, 5 - конденсатный насос 1-го подъема, 6 - эжекторы с охладителями, 7 - система конденсатоочистки, 8 - конденсатный насос 2-го подъема, 9 - регенеративные подогреватели низкого давления, 10 - сливной (дренажный) насос, 11 - подогреватели сетевой воды (или воды промежуточного контура, теплофикационной установки), 12 - регулятор давления, 13 - деаэратор, 14 - питательный насос, 15 - подогреватели высокого давления

РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ ПОДОГРЕВ

11

Регенеративный подогрев основного конденсата и питательной воды (регенерация) является **одним из важнейших методов повышения экономичности современных ТЭС**. Регенеративный подогрев осуществляется паром, отработавшим в турбине. Греющий пар, совершив работу в турбине, конденсируется затем в подогревателях системы регенерации ПТУ. Выделенная этим паром теплота фазового перехода возвращается в цикл, **т.е. как бы восстанавливается или регенерируется**. В зависимости от начальных параметров пара и количества отборов пара на регенерацию относительное **повышение КПД** энергоустановки за счет регенерации составляет **от 7 до 15 %**. Регенерацию можно рассматривать как процесс комбинированной выработки энергии с внутренним потреблением теплоты пара, отбираемого из турбины. Регенеративный подогрев воды снижает потерю теплоты с отработавшим паром в конденсаторе турбины.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПОДОГРЕВА

12

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

13

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.

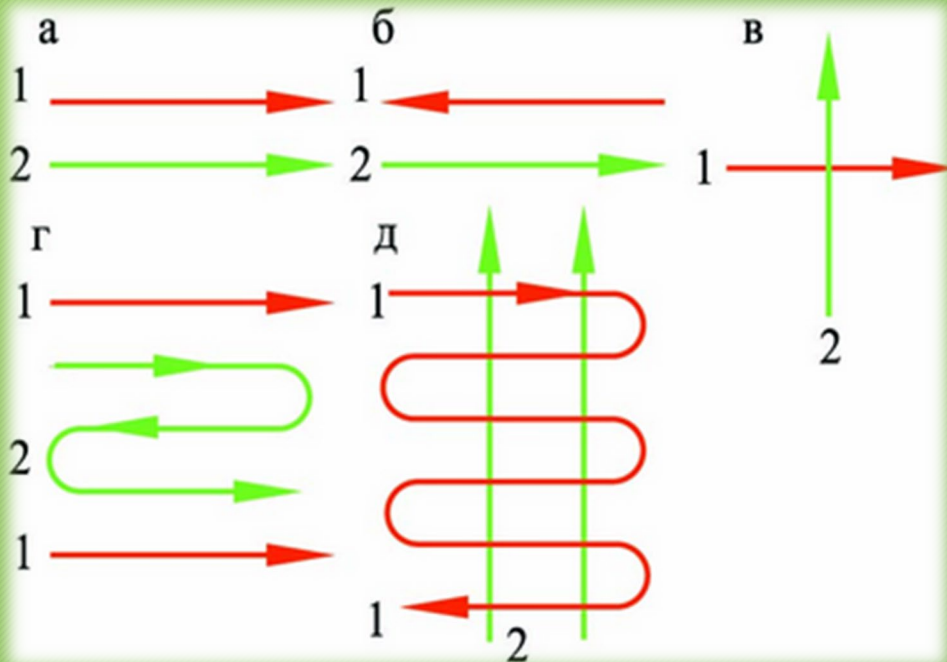
Теплоносители, используемые в теплообменных аппаратах, подразделяются **по агрегатному состоянию** на **жидкие** (циркуляционная, сетевая и питательная вода, конденсат, масло) и **газообразные** (водяной пар, воздух, газовая смесь).



ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В АППАРАТАХ

14

Основной характеристикой конструкции теплообменного аппарата является тип относительного движения потоков теплоносителей и схема их взаимного движения.



Схемы движения теплоносителей в теплообменных аппаратах

а - прямоток, б - противоток, в - перекрестный ток, г - смешанная схема, д - многократный перекрестный ток; **1 - первый теплоноситель, 2 - второй теплоноситель**

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ

15

Конструкция теплообменного аппарата должна обеспечивать проектный уровень тепловой эффективности и при этом быть технологичной, надежной в течение предусмотренного проектом срока службы, безопасной при изготовлении, монтаже и эксплуатации, а также предусматривать возможность осмотра, очистки и ремонта.

Основу теплообменных аппаратов составляют трубки обычно круглого сечения, заключенные в кожух таким образом, что оси трубок и корпуса параллельны. Важнейшими элементами конструкции теплообменных аппаратов являются **трубные пучки, корпуса, входные, выходные и поворотные камеры, а также патрубки, по которым осуществляются подвод и отвод теплоносителей.**

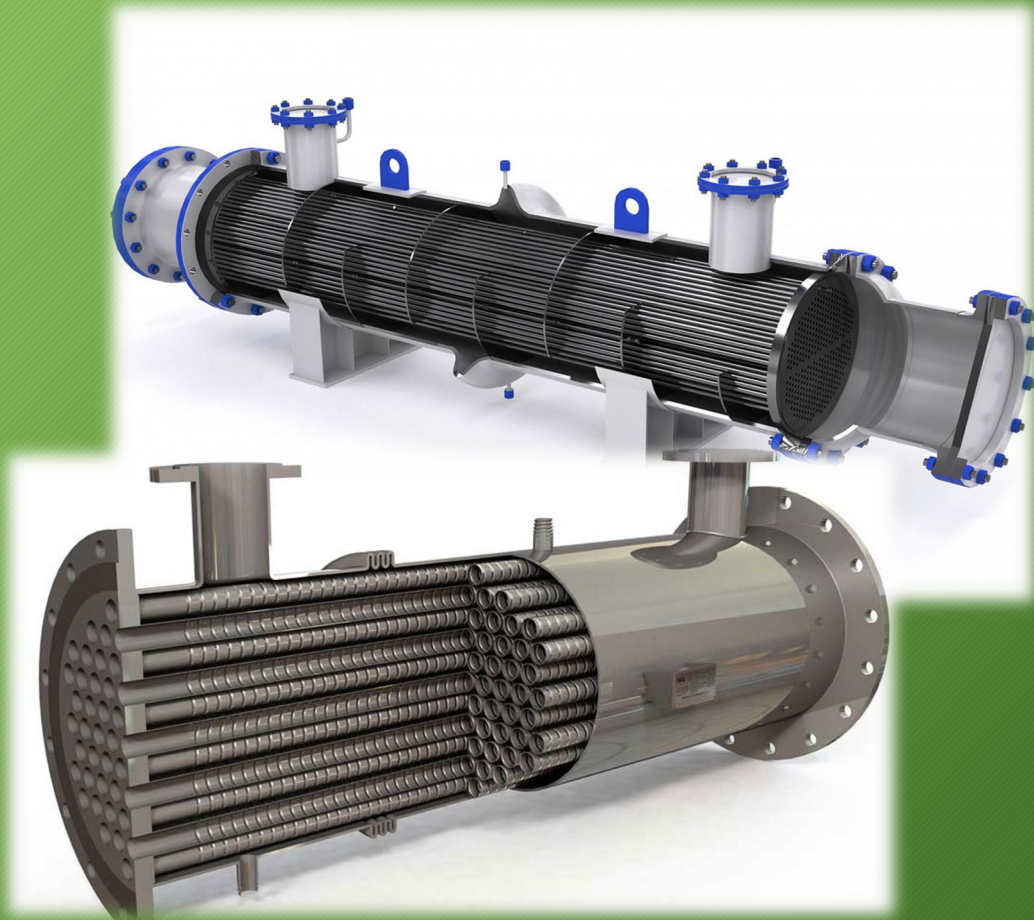


ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ

16

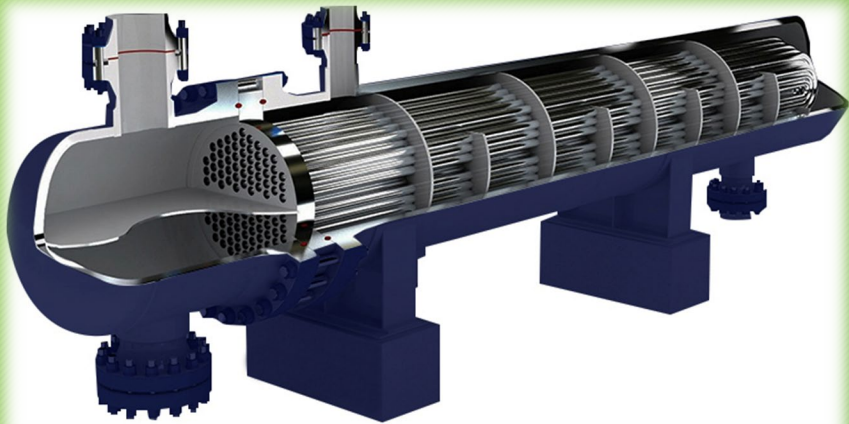
Корпус теплообменного аппарата представляет собой оболочку, вмещающую взаимодействующие между собой теплоносители в контактных (смешивающих) аппаратах, а также трубный пучок в поверхностных аппаратах.

Корпус имеет вид цилиндра, внутри которого размещены трубки поверхности теплообмена и циркулирует теплоноситель. Цилиндрические обечайки получили широкое распространение, поскольку отличаются простотой изготовления и рациональным расходом материала.



ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ

17



Водяные камеры предназначены для подвода и отвода охлаждающей (нагреваемой) воды, а также распределения ее по трубкам поверхности теплообмена аппарата. **Водяные камеры** присоединяются к корпусам аппаратов при помощи сварного или фланцевого соединения.

Форма поперечного сечения водяных камер определяется компоновкой трубного пучка и размерами корпуса аппарата и должна обеспечивать минимальные напряжения в металле, а также возможно более низкие величины гидравлического сопротивления. В зависимости от числа ходов воды в аппарате водяные камеры разделяются глухими перегородками на необходимое количество отсеков. Водяные камеры изготавливаются из того же металла, что и обечайки корпусов.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ

18

Трубные доски теплообменных аппаратов предназначены для крепления трубок поверхности теплообмена и объединения их в трубный пучок. **Трубная доска** представляет собой пластину, форма которой соответствует форме поперечного сечения корпуса аппарата и его водяных камер. Количество и расположение отверстий под трубки поверхности теплообмена определяются принятой компоновкой трубного пучка. Крепление трубной доски к корпусу аппарата производится либо приваркой к корпусу, либо путем зажатия ее между стальными фланцами крышки и корпуса.



ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ

19

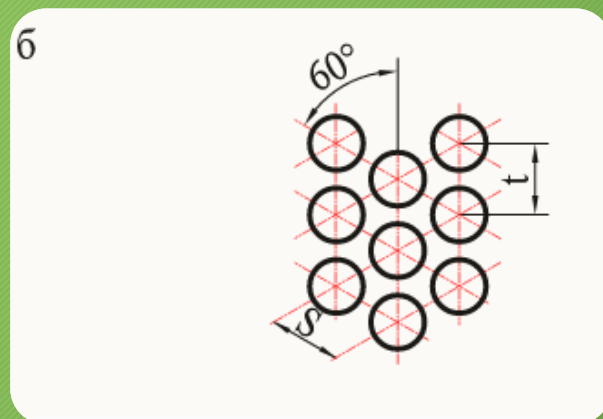
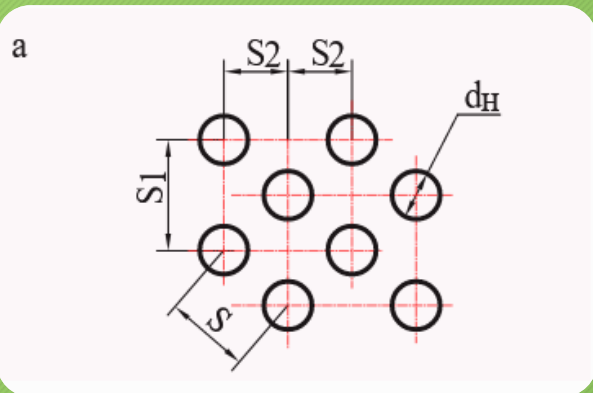
Трубки поверхности теплообмена являются одним из наиболее ответственных элементов теплообменных аппаратов. В настоящее время большинство теплообменных аппаратов различного назначения оснащаются цельнотянутыми **бесшовными трубками с наружным диаметром от 12 до 30 мм**, изготовленными как из цветных металлов (латуни и других медно-никелевых сплавов), так и из нержавеющей стали. Толщина стенки трубок в большинстве случаев составляет от 1,0 до 1,5 мм, иногда применяются трубки с толщиной стенки 0,75 мм, а в периферийных рядах трубных пучков со стороны входа пара иногда устанавливаются трубки с толщиной стенки 1,5–2,0 мм, обладающие большим запасом прочности и износостойкости.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ

20

Компоновка трубных пучков

Понятие компоновки включает в себя как собственно конфигурацию трубного пучка в границах трубной доски и в паровом пространстве, так и компактность, глубину и плотность, характеризующие размещение трубок. От правильно выбранной компоновки трубного пучка зависит эффективность работы аппарата с точки зрения минимизации аэродинамического сопротивления и равномерности распределения параметров процесса теплообмена в пучке.

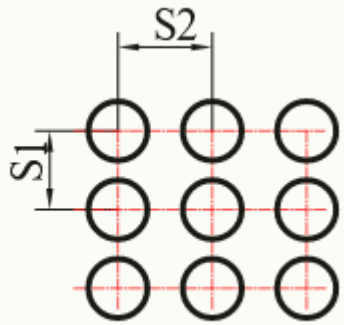


а - шахматная; б - треугольная; в - коридорная; г - квадратная; д - по концентрическим окружностям; е - радиальная

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ

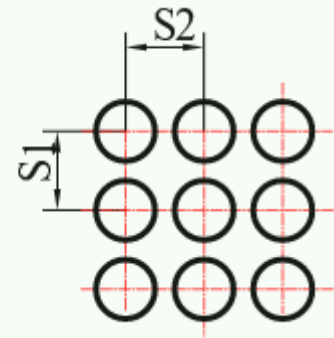
21

В

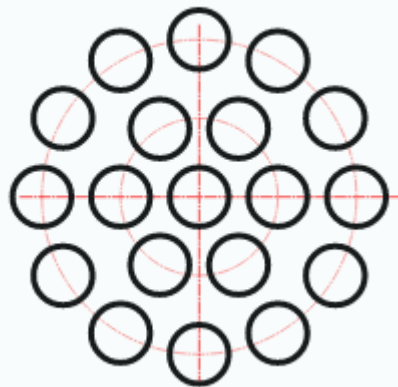


а - шахматная; б - треугольная; в - коридорная; г - квадратная; д - по концентрическим окружностям; е - радиальная

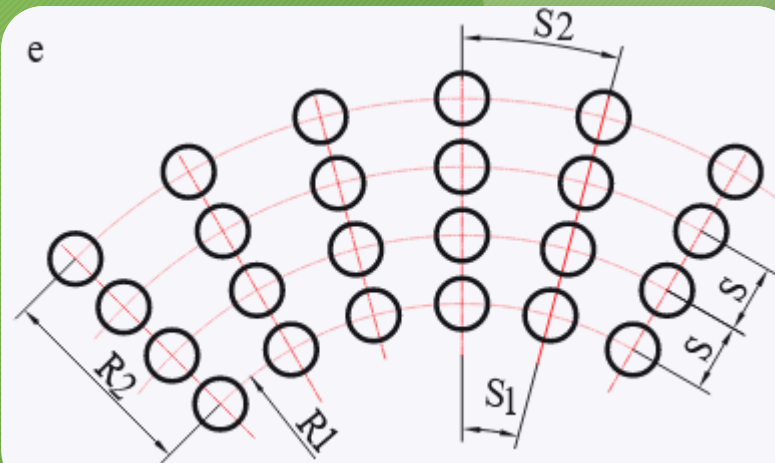
Г



Д



е



ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ АППАРАТОВ

22

Шагом разбивки S называется расстояние между осями соседних трубок. Уменьшение шага ведет к сокращению габаритов аппарата, но лимитируется прочностью трубных досок и величиной аэро- и гидродинамического сопротивления трубного пучка.

Часто пользуются понятием **относительного шага**, т.е. отношением шага разбивки к наружному диаметру трубки, Как показывает анализ конструкций различных теплообменных аппаратов их значение находится в пределах **1,25-1,60**.

Шахматная и коридорная разбивки трубок характеризуются поперечным и продольным шагами и соответствующими относительными шагами. Частным случаем шахматной разбивки трубок является треугольная, когда оси соседних трубок размещаются в вершинах равностороннего треугольника со стороной, равной шагу. Треугольная разбивка является наиболее распространенной. При квадратной разбивке оси трубок размещаются в вершинах квадрата со стороной.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

23

Для расчета теплообменных аппаратов необходимо знать **величины скоростей**, с которыми теплоносители двигаются как внутри трубок поверхности теплообмена, так и в различных зонах межтрубного пространства аппаратов. **Средняя скорость теплоносителя** вычисляется по зависимости:

$$w = G \cdot 3600 \cdot \rho f$$

G - часовой массовый расход теплоносителя, кг/ч; ρ - плотность теплоносителя, кг/м³; f - проходное сечение для теплоносителя, м².

Охлаждающая вода	Материал трубок	Максимальная скорость воды, м/с
Пресная (речная, озерная, обратная)	Латунь	2,0 - 2,2
	Медно-никелевые сплавы	2,5 - 2,7
	Нержавеющая сталь	4,0 - 5,0
Морская и солоноватая	Латунь	1,8 - 2,0
	Медно-никелевые сплавы	2,5 - 3,0
	Титан	5,0

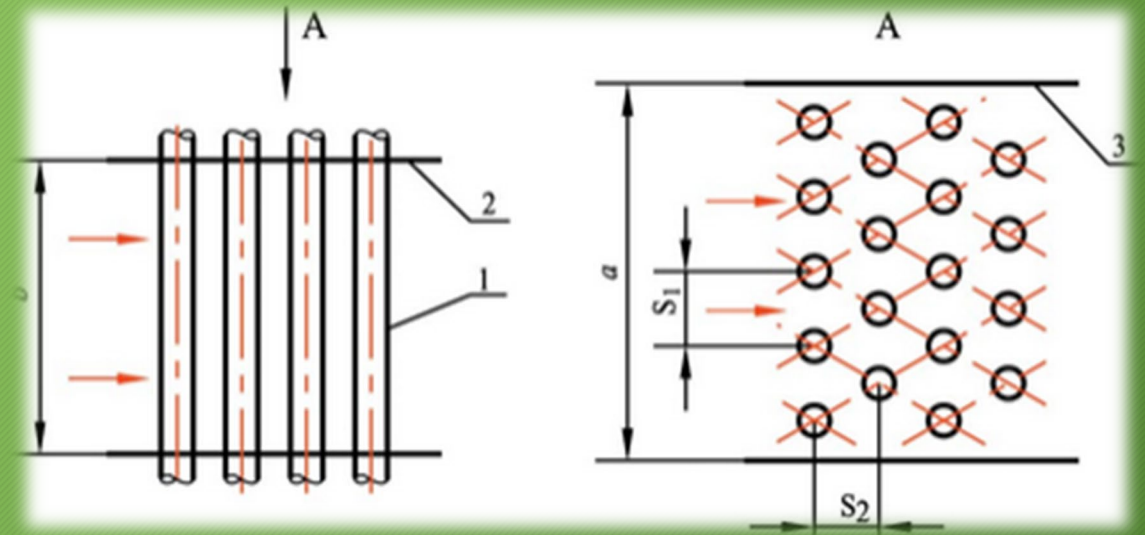
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

24

Площадь живого сечения по внутритрубной стороне аппарата определяется соотношением:

$$f = \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} \cdot n$$

$d_{\text{вн}}$ - внутренний диаметр трубок, м;
 n - количество трубок в одном ходе аппарата



Межтрубное пространство аппарата с шахматной компоновкой пучка

1 — трубка поверхности теплообмена, 2 — перегородка, 3 — стенка корпуса

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

25

Площадь живого сечения для прохода теплоносителя в межтрубном пространстве при шахматной компоновке прямых трубок в случае поперечного омывания определяется по сечению, проходящему через оси поперечного ряда трубок, как разность между полной площадью этого поперечного сечения и частью площади, занятой трубками:

$$f = b(a - nd_{\text{н}})$$

b и a - размеры участка в расчетном сечении, м; n - число трубок в поперечном сечении.

При продольном течении теплоносителя вдоль трубок в кожухе проходное сечение рассчитывается по формуле:

$$f = F_0 - n \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4}$$

n - количество продольно обтекаемых трубок в расчетном сечении; F_0 - площадь поперечного сечения кожуха, м²; для цилиндрического кожуха $F_0 = \frac{\pi D^2}{4}$; для прямоугольного кожуха $F_0 = a - d$; D - внутренний диаметр корпуса аппарата, м; a, d - размеры поперечного сечения прямоугольного корпуса аппарата, м.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

26

Допустимые пределы изменения скорости воды в трубках зависят от качества воды и материала трубок. Поскольку увеличение скорости воды влечет за собой повышение затрат на ее перекачку, *расчетная скорость* воды при номинальном ее расходе обосновывается технико-экономическими расчетами и обычно равняется *1,8-2,0 м/с*. *Минимальная скорость воды* в трубках поверхности охлаждения не должна быть менее *1,0-1,3 м/с*, что позволяет избежать быстрого загрязнения трубок.

Из условий предотвращения коррозионного износа трубок поверхностей теплообмена аппаратов предельные скорости воды в них рекомендуется принимать следующими:

- 2 м/с — для стальных углеродистых трубок;
- 2 м/с — для латунных и медно-никелевых трубок;
- 4 м/с — для стальных нержавеющей трубок.

ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ТЕПЛОВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АППАРАТОВ

27

Тепловую эффективность любого теплообменного аппарата достаточно полно отражает величина среднего **коэффициента теплопередачи** в нем, численно равная количеству теплоты, переданной за единицу времени от одного теплоносителя к другому через единицу поверхности теплообмена при средней разности температур теплоносителей **в $1\text{ }^{\circ}\text{C}$** .

И????

