

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

ЛЕКЦИЯ №8-10

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

ТЕМА. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

2

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

3

Тепловой расчет производят с целью определения эффективности процессов переноса теплоты в аппарате, неизвестных конечных температур или требуемых режимных параметров теплоносителей. **Основополагающими соотношениями для теплового расчета любого теплообменного аппарата являются уравнения теплового баланса и теплопередачи.**

Уравнение теплового баланса для поверхностного аппарата в общем случае (при отсутствии потерь теплоты во внешнюю среду) имеет вид

$$Q = G_1 c_{p1} (t_{1ВХ} - t_{1ВЫХ}) = G_2 c_{p2} (t_{2ВЫХ} - t_{1ВХ})$$

где Q - тепловая мощность аппарата, кВт; G_1, G_2 - массовые расходы первичного и вторичного теплоносителей, кг/с; c_{p1}, c_{p2} - теплоемкости первичного и вторичного теплоносителей, кДж/(кг К); $t_{1ВХ}, t_{2ВХ}$ - температуры первичного и вторичного теплоносителей на входе в аппарат, К; $t_{1ВЫХ}, t_{2ВЫХ}$ - температуры первичного и вторичного теплоносителей на выходе из аппарата, К

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

4

Уравнение теплопередачи для поверхностного аппарата

$$Q = kF\overline{\Delta t}$$

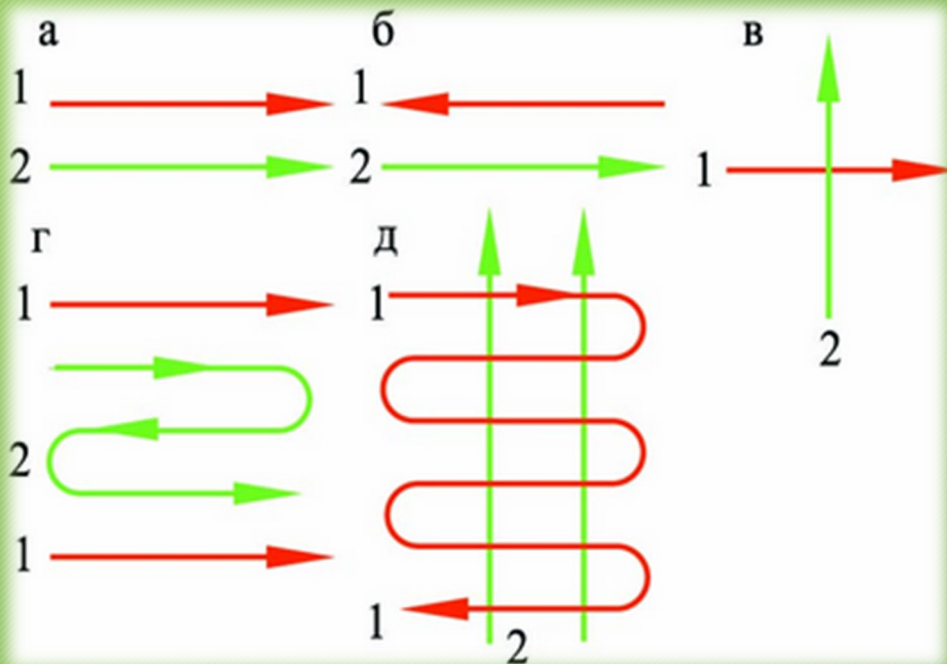
где Q - полный тепловой поток (тепловая мощность), кВт; k - средний для всей поверхности теплообмена коэффициент теплопередачи, Вт/(м² К); F - площадь поверхности теплообмена, м²; $\overline{\Delta t}$ - среднелогарифмическая разность температур между теплоносителями, К

Поскольку система приведенных уравнений незамкнута, для теплового расчета аппарата необходимо задаваться рядом параметров теплоносителей и геометрических размеров элементов аппарата. **Методика расчета и расчетная схема зависят от того, какой имеется набор исходных данных, и от общей постановки задачи расчета.** Основным моментом расчета является, как правило, определение значения среднего для всей поверхности теплообмена коэффициента теплопередачи K . Способы и зависимости для расчета величины коэффициента теплопередачи приводятся в соответствующих разделах, посвященных тепловому расчету теплообменных аппаратов различного назначения.

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В АППАРАТАХ

5

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

6

Характер изменения температур теплоносителей вдоль поверхности теплообмена определяется схемой их взаимного движения и соотношением произведения массовых расходов теплоносителей и их теплоемкостей (водяных эквивалентов):

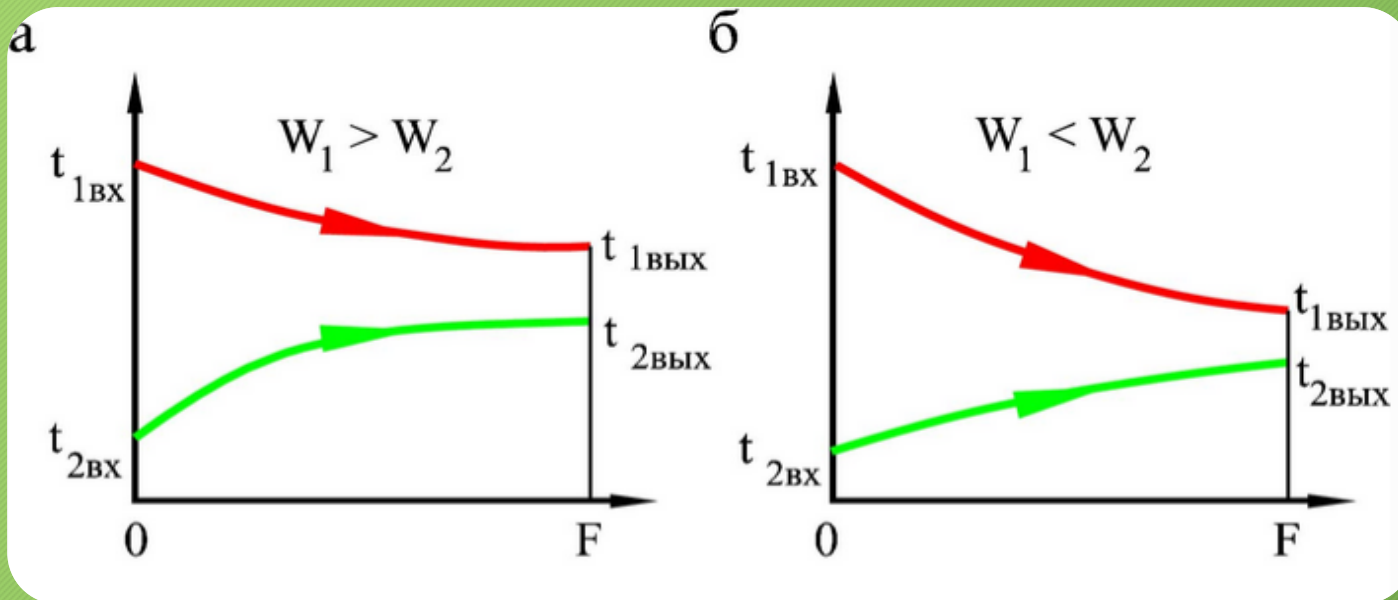
$$W = Gc_p.$$

В соответствии с уравнением теплового баланса отношение изменений температур теплоносителей обратно пропорционально отношению их массовых расходов теплоемкостей (водяных эквивалентов):

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{W_1}{W_2}$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

7



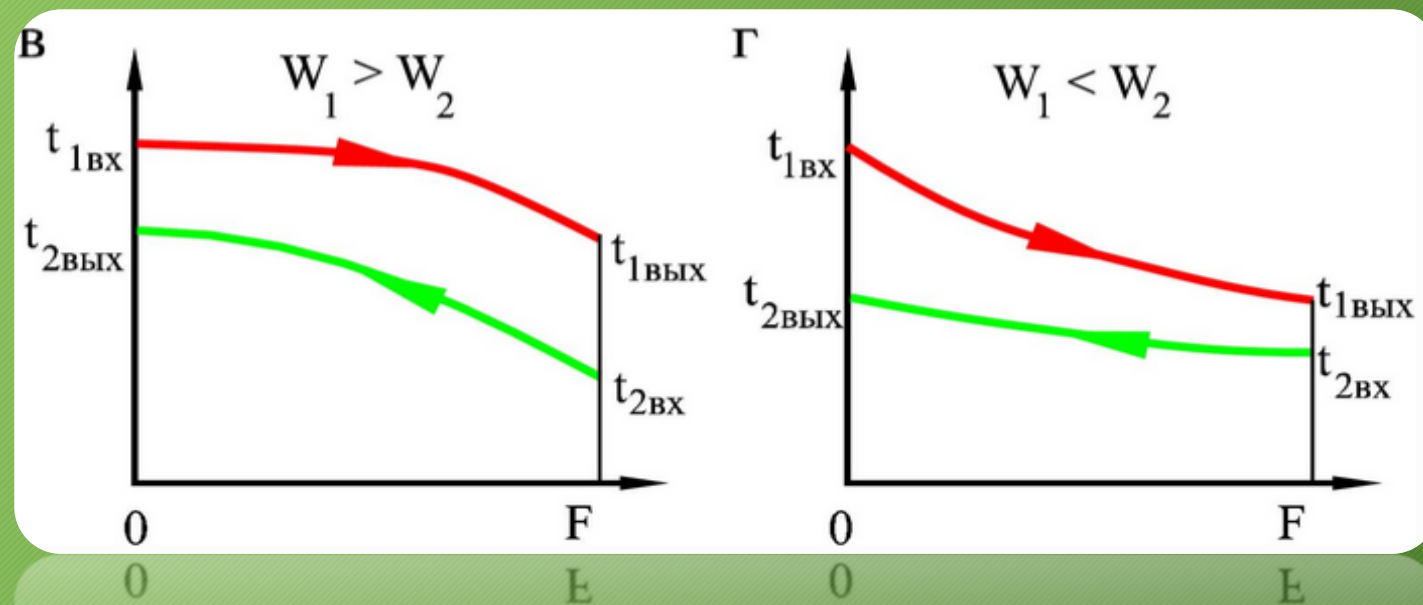
Характер изменения температуры теплоносителей при прямотоке и противотоке в зависимости от соотношения водяных эквивалентов

а, б - прямоток, в, г - противоток
1 - первый теплоноситель,
2 - второй теплоноситель

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

8

Характер изменения температуры теплоносителей при прямотоке и противотоке в зависимости от соотношения водяных эквивалентов



а, б - прямоток, в, г - противоток
1 - первый теплоноситель,
2 - второй теплоноситель

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ

9

Для **расчета теплообмена** в аппарате необходимо знать **величину средней разности температур** между теплоносителями. Расчетная среднелогарифмическая разность температур для прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей в общем случае определяется по формуле:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}$$

где $\Delta t_{\text{б}}, \Delta t_{\text{м}}$ - большая и меньшая разности температур теплоносителей на входе и выходе, °С. Если $\Delta t_{\text{б}}/\Delta t_{\text{м}} \leq 2$, то средний температурный напор может определяться как среднеарифметическая разность

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_{\text{б}} + \Delta t_{\text{м}}}{2}$$

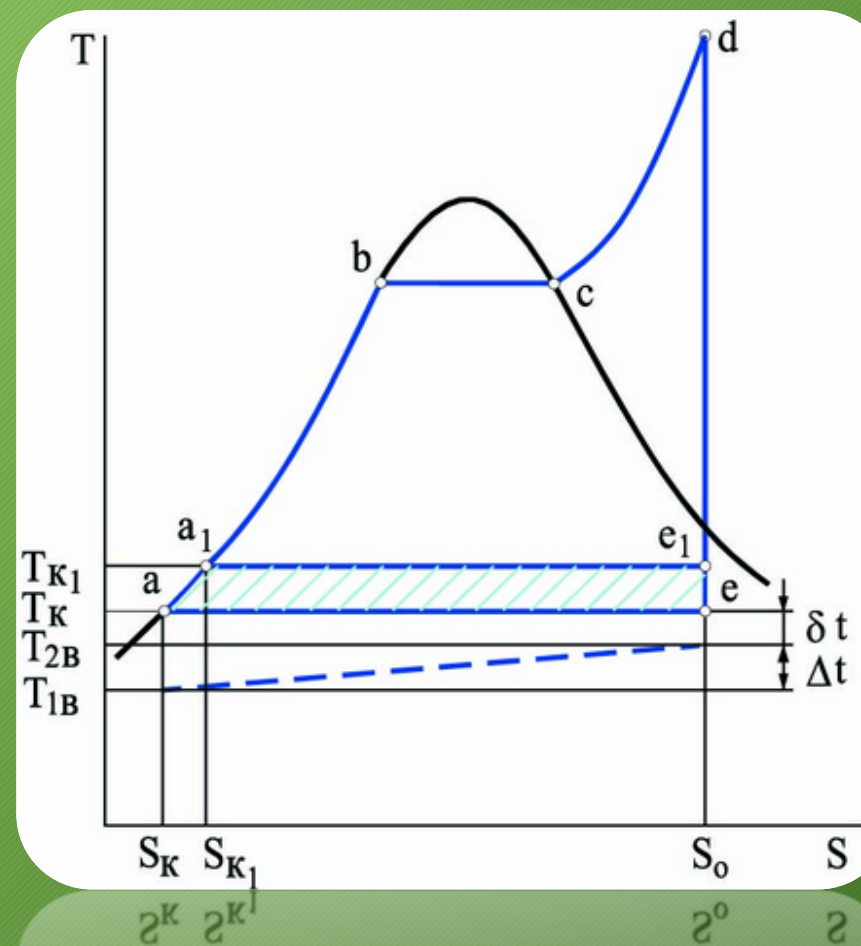
ТЕМА. КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

10

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

11

Одним из основных способов достижения высокого термического КПД паротурбинной установки является понижение параметров пара за турбиной. С понижением давления и температуры отработавшего в турбине пара уменьшается количество теплоты, передаваемой холодному источнику, что, как известно из термодинамики, при неизменных параметрах свежего пара повышает мощность турбины (за счет увеличения теплоперепада на нее) и экономичность цикла в целом.



КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

12

Понижение параметров пара за турбиной обычно осуществляется до давления, **ниже барометрического**, для чего необходимо обеспечить конденсацию отработавшего в турбине пара. Этой цели и служит **конденсационная установка**, которая, кроме вышеуказанного назначения, обеспечивает также получение чистого конденсата для питания парового котла (парогенератора), замыкая цикл.

Процесс конденсации совершается за счет отвода от пара теплоты конденсации при постоянном давлении. Для отвода теплоты, выделяющейся при конденсации пара (теплоты фазового перехода), через трубки конденсатора, образующие поверхность охлаждения, циркуляционным насосом непрерывно прокачивается охлаждающая среда.

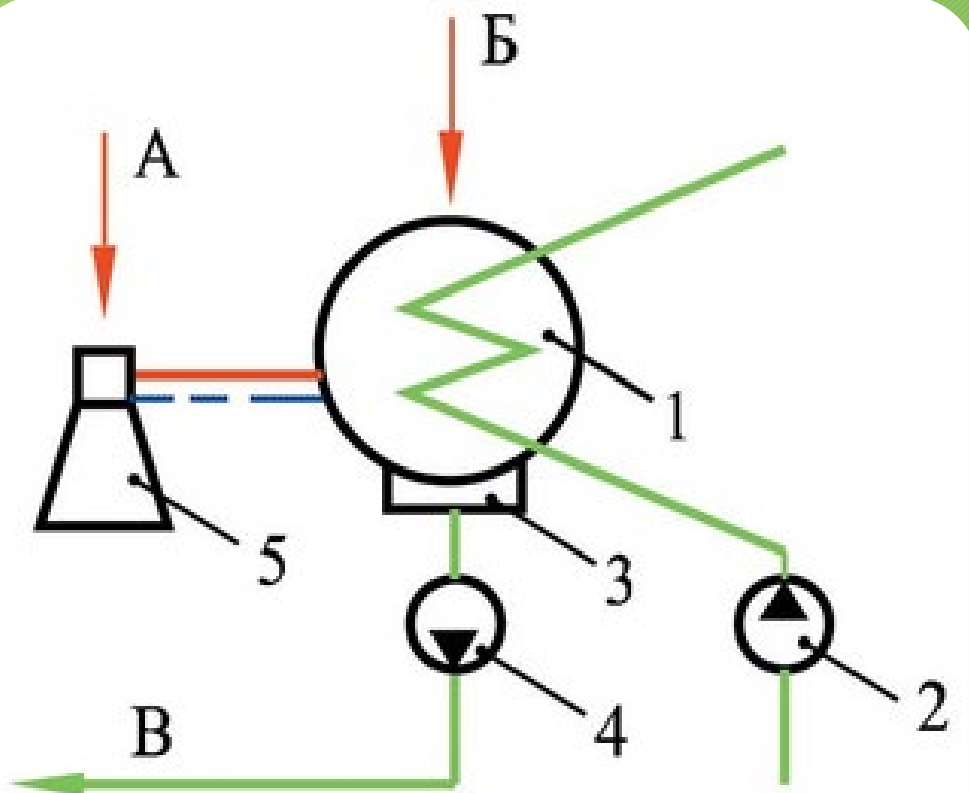
КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

13

Принципиальная схема конденсационной установки

1 - конденсатор, 2 - циркуляционный насос, 3 - конденсатосборник, 4 - конденсатный насос, 5 - воздушный насос (эжектор); **А** - подвод рабочего тела (пар или вода), **Б** - пар из турбины, **В** - отвод в систему регенерации

В зависимости от вида охлаждающей среды конденсаторы подразделяются на **водяные** (охлаждающая среда - вода) и **воздушные** (охлаждающая среда - воздух).



ОХЛАЖДЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

14

Естественно, что при столь больших расходах воды для охлаждения конденсаторов, масло- и газоохладителей, **вопрос об ее тщательной очистке** с удалением всех примесей, напрямую связан с **себестоимостью** охлаждающей воды

Системы охлаждения

Прямоточные

- естественные водоемы

Оборотные

- с прудами - охладителями
- с градирнями или брызгальными бассейнами

СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

15

1



2



3



4

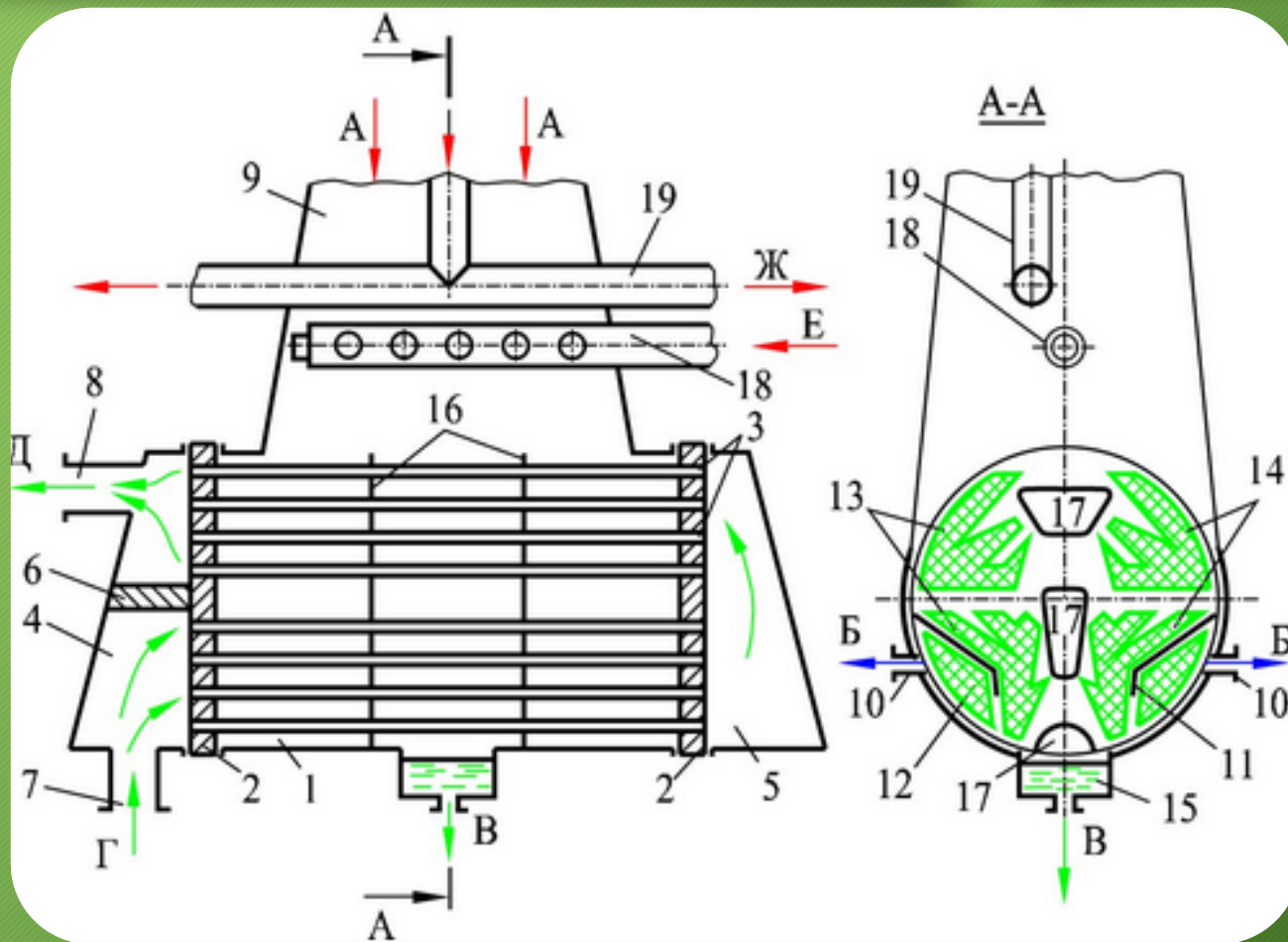


КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

16

Конструктивная схема поверхностные конденсаторы подвального типа

А - вход пара в конденсатор, Б - отсос паровоздушной смеси, В - отвод конденсата, Г - вход охлаждающей воды, Д - выход охлаждающей воды, Е - сброс пара из котла (парогенератора), Ж - выход пара из отборов ЦНД



КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

17

Конструктивная схема поверхностные конденсаторы подвального типа

1 - корпус, 2 - трубные доски, 3 - трубки, 4 - передняя водяная камера, 5 - задняя (поворотная) водяная камера, 6 - перегородка водяной камеры, 7 - патрубок подвода циркуляционной воды, 8 - патрубок выхода циркуляционной воды, 9 - переходный патрубок (горловина) конденсатора, 10 - патрубки отсоса паровоздушный смеси, 11 - паровые щиты, 12 - воздухоохладитель, 13, 14 - первый и второй потоки воды соответственно, 15 - конденсатосборник, 16 - промежуточные перегородки, 17 - окна в промежуточных перегородках, 18 - сбросное устройство для пара, 19 - трубы выхода пара из камер отбора ЦНД



Схемы включения конденсаторов

По ходу движения пара:

«выхлопной патрубков—корпус конденсатора»

«несколько выхлопных патрубков на один корпус конденсатора»

По расположению конденсаторов относительно турбины:

местоположение конденсатора относительно турбины (**подвальный, боковой, интегральный**)

расположение оси трубного пучка конденсатора относительно оси турбины (**поперечное и продольное**)

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

19

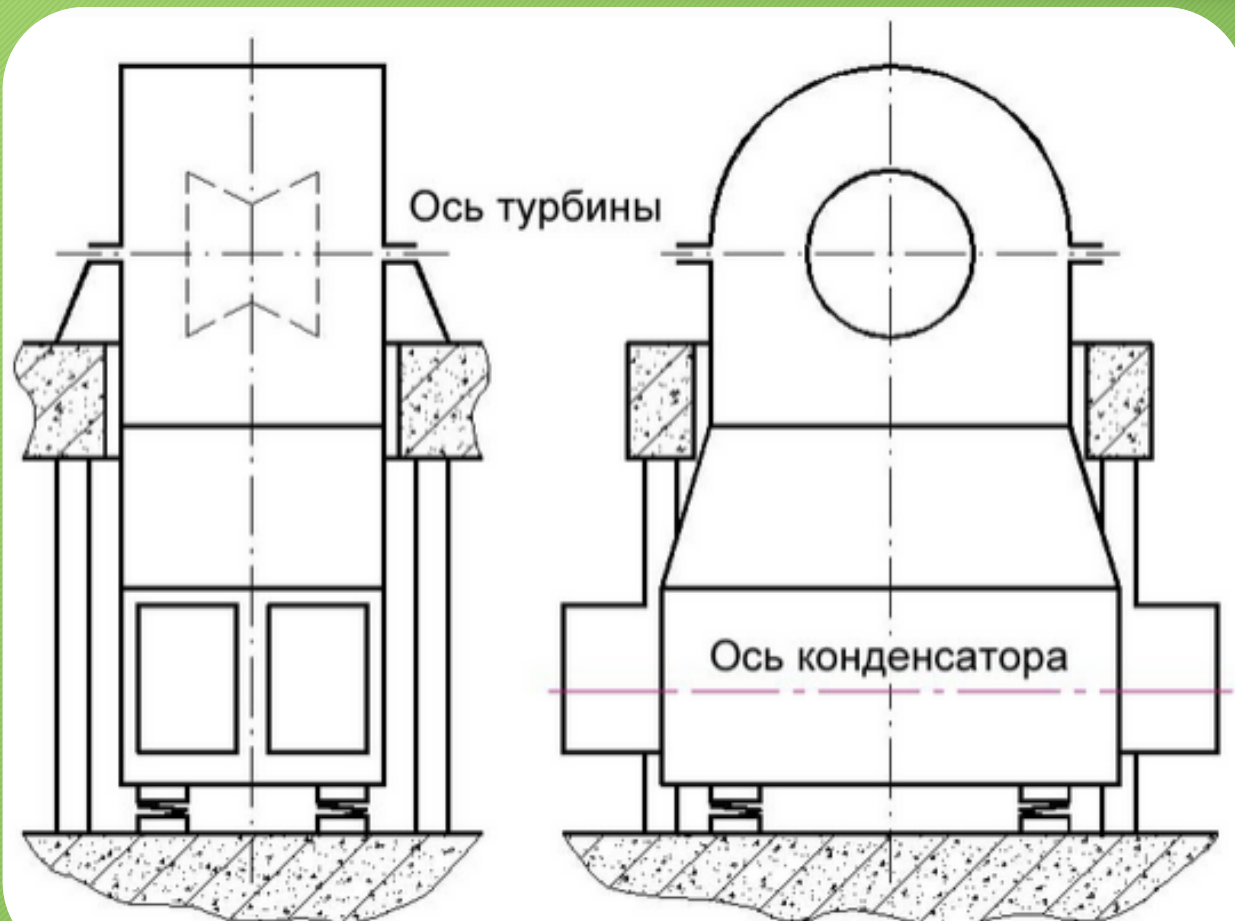


Схема подвального поперечного расположения конденсатора



ПАРАМЕТРЫ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЕ ТЕПЛОВУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АППАРАТОВ

20

Основным показателем эффективности работы **конденсаторов** является, кроме вышеуказанных параметров, **величина давления пара** P_K в его горловине.

В эксплуатационной практике широко применяется термин **вакуум** (V), т.е. разность между барометрическим давлением (B) и давлением пара в конденсаторе: $V = B - P_K$. Вакуум обычно выражается в процентах от барометрического давления

$$V = \frac{B - P_K}{B} 100 \%$$

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

21

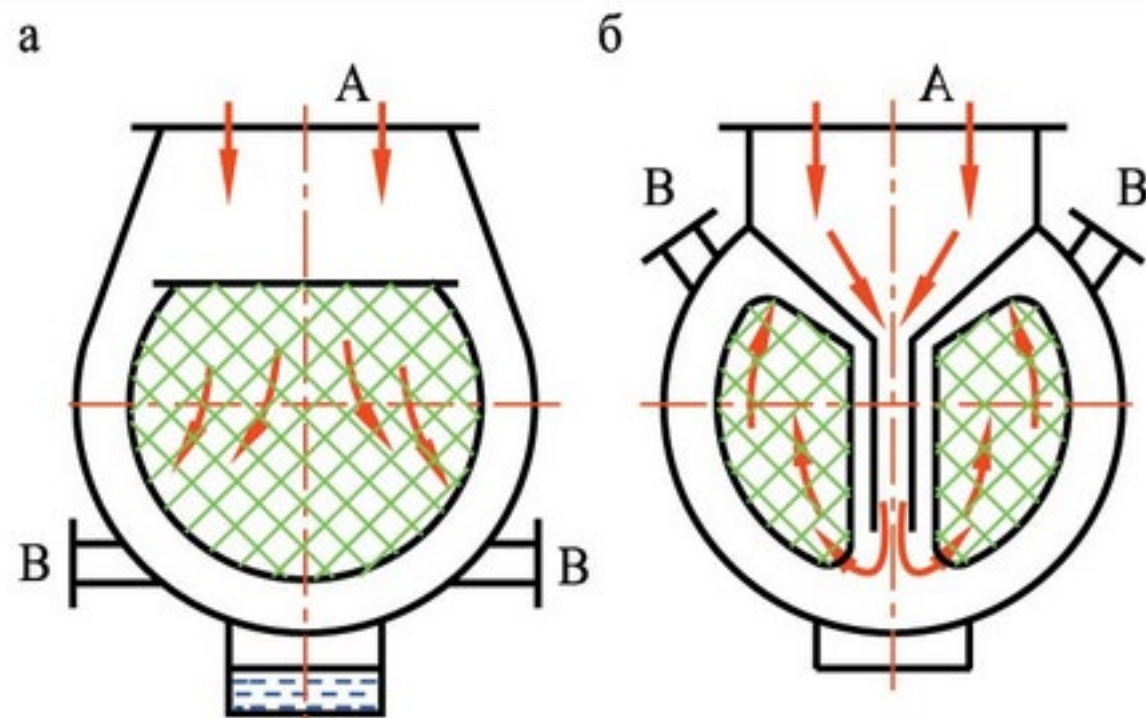
Создание **разрежения** в конденсаторе обусловлено тем, что в объеме аппарата устанавливается некоторое **равновесное давление** между паром и конденсатом, определяемое температурой в этом объеме. Эта зависимость для насыщенного пара однозначна - **каждой температуре конденсирующегося насыщенного пара соответствует определенное значение давления**. Температура пара в объеме конденсатора формируется рядом параметров, определяющих эффективность его работы: **температурой циркуляционной воды на входе в аппарат, расходами циркуляционной воды и пара, количеством воздуха в аппарате** и др.

Разрежение, достигаемое в конденсаторе, определяется тем, что **удельный объем насыщенного пара значительно больше удельного объема воды** (конденсата) - чем сильнее будет охлажден пар в объеме конденсатора (чем ниже его температура), тем больше образуется конденсата и тем ниже будет давление.

Например, при температуре насыщения $t_n = 32,9 \text{ }^\circ\text{C}$ удельный объем образующегося конденсата **в 28,2 раз меньше**, чем объем насыщенного пара; при этом в объеме конденсатора устанавливается равновесное давление $P_k = 5 \text{ кПа}$. Большинство современных паровых турбин работает с давлением в конденсаторе 3–6 кПа.

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

22



Принципиальные схемы компоновочных решений трубного пучка конденсаторов

а - с нисходящим потоком пара, б - с восходящим потоком пара, в - с центральным потоком пара, г - с боковым потоком пара; А - пар из турбины, В - отсос воздуха

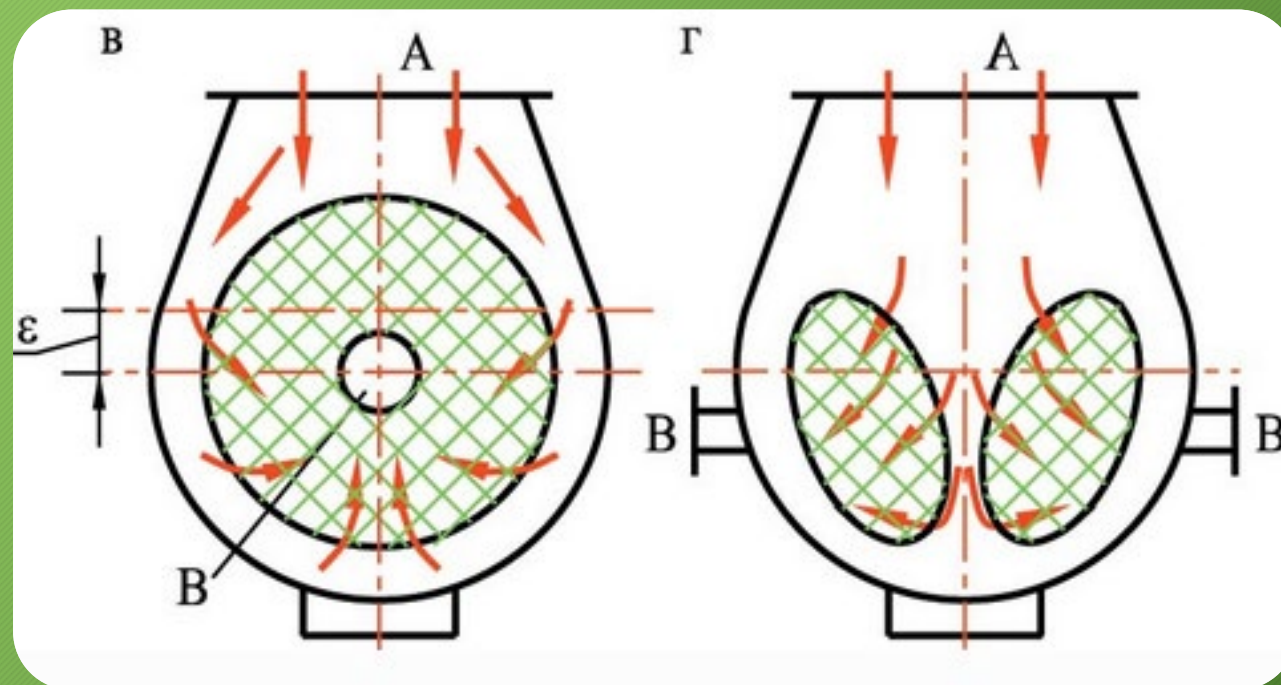
КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

23

Принципиальные
компоновочные решения
пучка конденсаторов

схемы
трубного

а - с нисходящим потоком пара, б - с восходящим потоком пара, в - с центральным потоком пара, г - с боковым потоком пара; А - пар из турбины, В - отсос воздуха

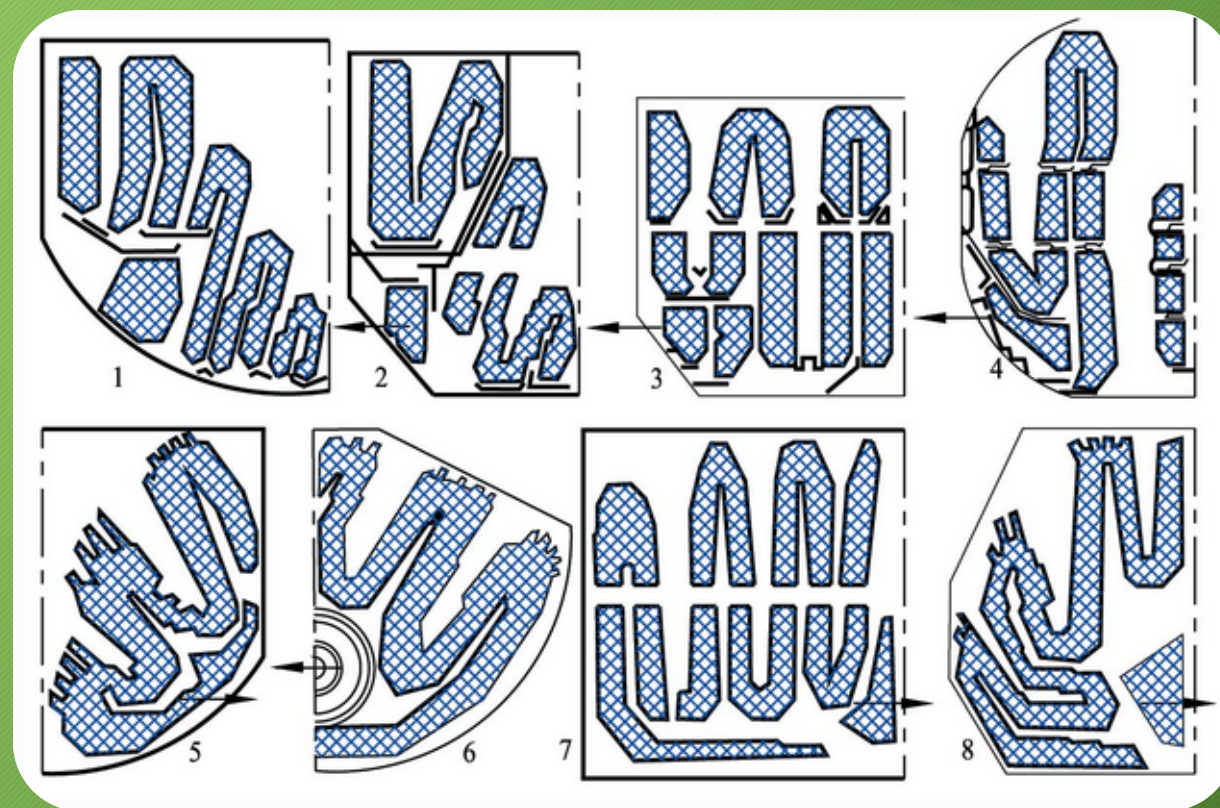


КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

24

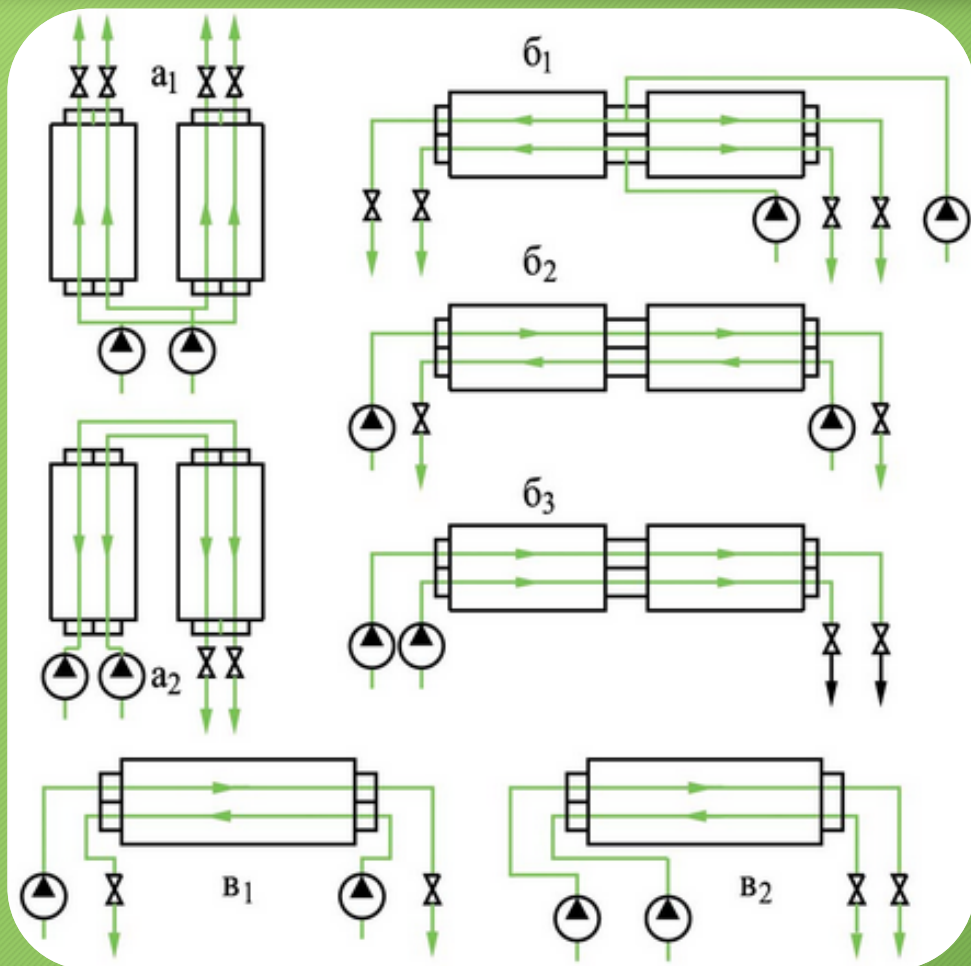
Схемы ленточных компоновок трубных пучков конденсаторов турбин

1—100-КЦС-4 (К-100-90-2 ЛМЗ), 2—200-КЦС-2 (К-200-130 ЛМЗ), 3—300-КЦС-1 (К-300-240 ЛМЗ), 4— КГ2-6200-1 (Т-110/120-130 УТЗ), 5—К-100-3685 (К-100-90 ХТЗ), 6—К-150-9115 (К-160-130-2 ХТЗ), 7—К-15240 (К-300-240 ХТЗ), 8—К-11520 (К-500-240 ХТЗ). Стрелкой обозначено место отсоса паровоздушной смеси



КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

25

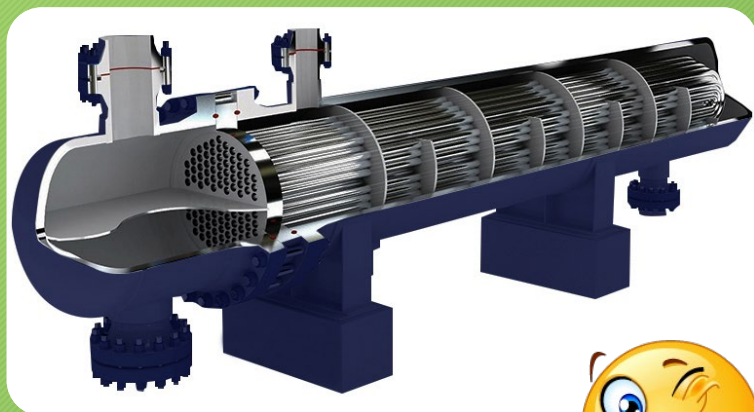


Принципиальные схемы включения конденсаторов по охлаждающей воде

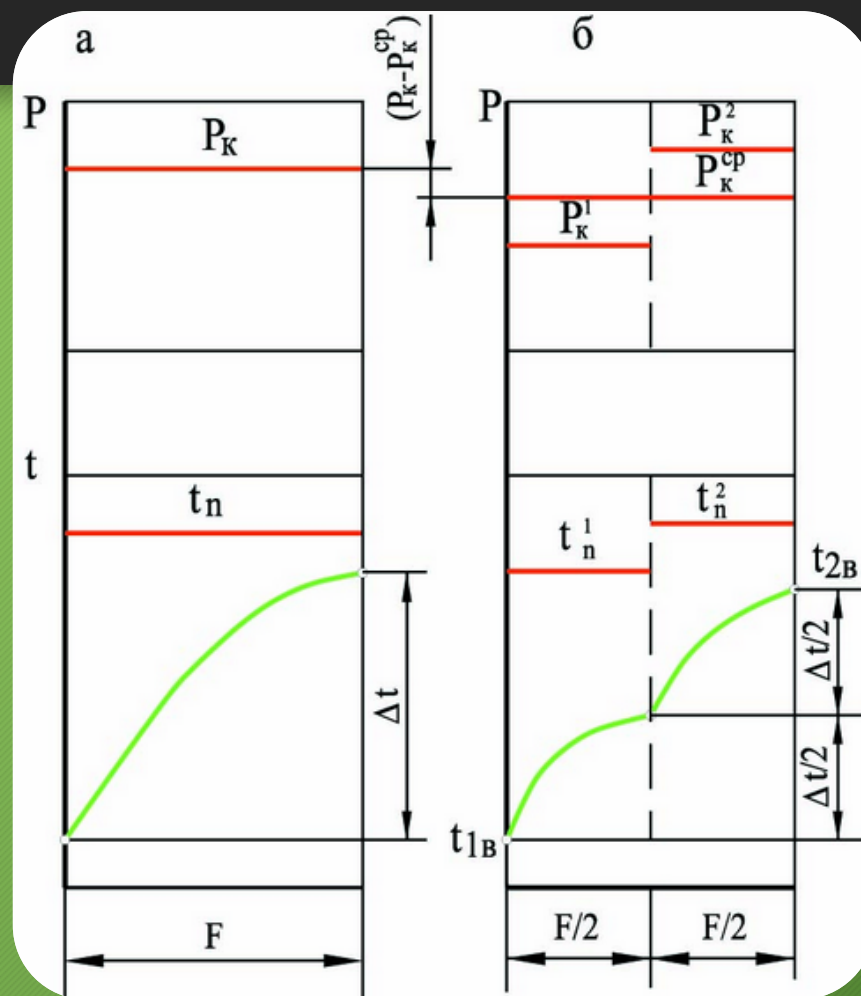
a₁, a₂ - с двухкорпусным конденсатором, поперечно расположенным относительно оси турбогенератора; б, в - схемы с продольным расположением конденсаторов

КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

26



Параметры воды и пара в несекционированном (а) и секционированном (б) конденсаторах



КОНДЕНСАЦИОННЫЕ УСТАНОВКИ

27

