

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ

ЛЕКЦИЯ №11-14

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

ТЕМА. ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ГТУ

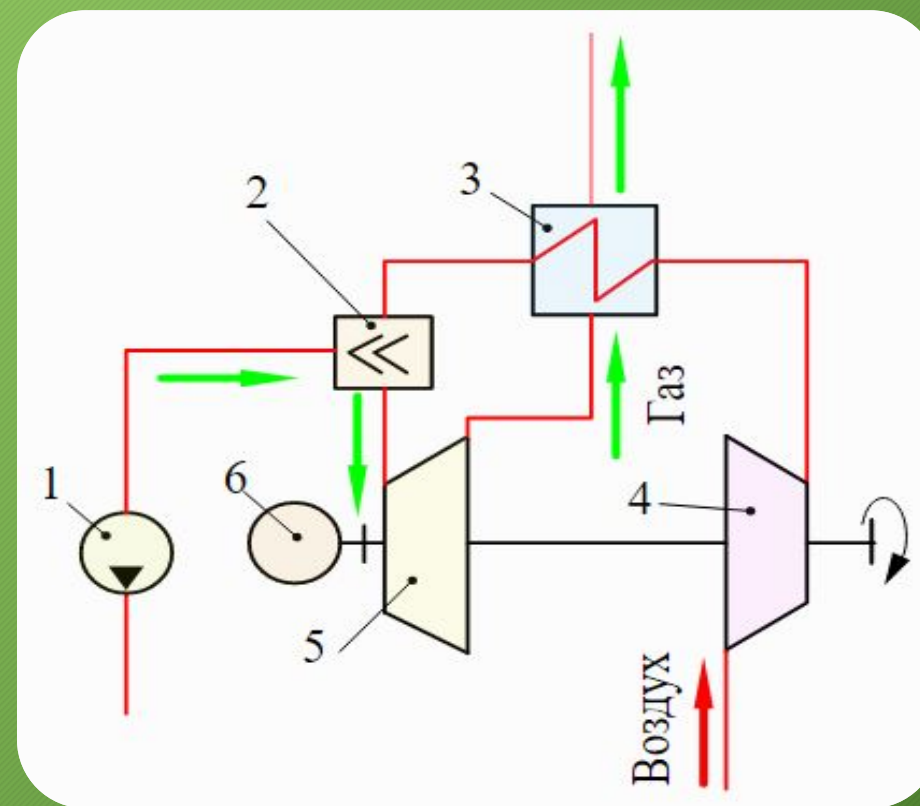
2

ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ

3

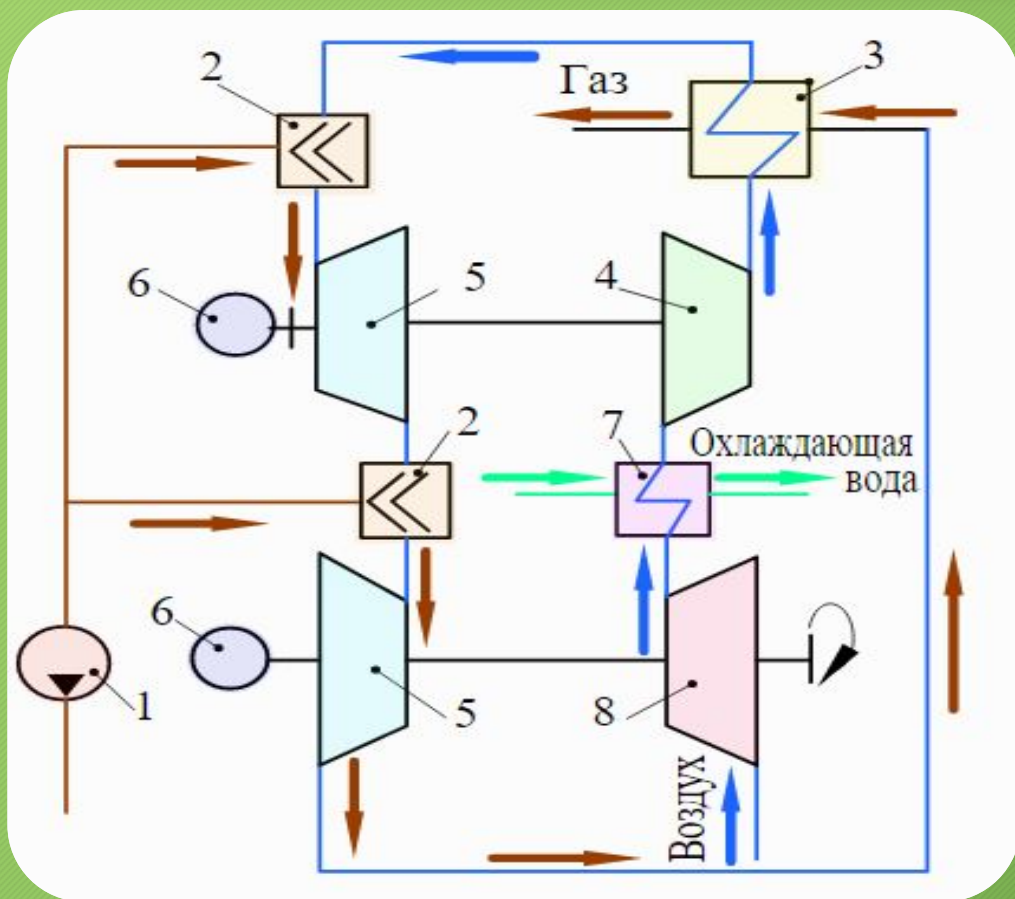
Принципиальная тепловая схема газотурбинной установки с регенерацией

1 - топливный насос или газовый компрессор; 2 - камера сгорания; 3 - регенератор; 4 - компрессор; 5 - газовая турбина; 6 - пусковой двигатель



ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ

4



Принципиальная тепловая схема газотурбинной установки с регенератором и воздухоохладителем

1 - топливный насос или газовый компрессор; 2 - камера сгорания; 3 - регенератор; 4 - компрессор высокого давления; 5 - газовая турбина; 6 - пусковой двигатель; 7 - воздухоохладитель; 8 - компрессор низкого давления



ГАЗОТУРБИННЫЕ УСТАНОВКИ

5

Простейшая тепловая схема ГТУ включает в себя **газовую турбину, компрессор и камеру сгорания**. Необходимый для эффективной работы ГТУ уровень параметров рабочего тела обеспечивают компрессор, повышающий давление рабочего тела, и камера сгорания, в которой температура его растет за счет химической энергии топлива при его сжигании.

Современные ГТУ выполняются разомкнутого и замкнутого цикла.

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ГТУ

6

Назначение и классификация аппаратов

Теплообменные аппараты в составе газотурбинных установок можно разделить на включенные и не включенные в цикл ГТУ.

Включенные - регенераторы (воздухоподогреватели или рекуператоры), цикловые воздухоохладители.

Теплообменники, не включенные в цикл - маслоохладители, воздухоохладители-кондиционеры, утилизационные подогреватели воды, подогреватели топливного газа

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ГТУ

7

Теплообменники, не включенные в цикл:

- **маслоохладители**, отводящие в окружающую среду теплоту трения в подшипниках, а также теплоту, принимаемую маслом при омывании ряда деталей ГТУ;
- **воздухоохладители-кондиционеры охлаждающего воздуха**, обеспечивающие ГТУ хладагентом для системы охлаждения высокотемпературных деталей - сопловых и рабочих лопаток, роторов;
- **утилизационные подогреватели воды**, позволяющие использовать теплоту выходных газов, например, для теплофикационных нужд;
- **подогреватели топливного газа**, увеличивающие теплоту, подводимую в камере сгорания, за счет увеличения энтальпии топливного газа. Источниками этой теплоты могут быть охлаждающий воздух системы охлаждения или выхлопные газы.



ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ГТУ

8

Теплоносители теплообменников, включенных в цикл, одновременно являются **рабочими телами турбомашин ГТУ** - турбины и компрессора. В регенераторах первичный теплоноситель - **выхлопные газы** турбины, а вторичный - **сжатый воздух** после циклового компрессора.

Сочетания теплоносителей в теплообменниках второй группы весьма разнообразны: охлаждающий **воздух** - **вода**, **охлаждающий воздух** - **атмосферный воздух**, выхлопные газы - сетевая вода, **охлаждающий воздух** - **топливный газ**, **выхлопные газы** - **топливный газ**.

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ГТУ

9

Наиболее важные с точки зрения проектирования и расчета теплообменников свойства теплоносителей - **плотность, удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности, динамический коэффициент вязкости**. Все они зависят **от температуры**, а плотность газов, кроме того, и **от давления**.

Вязкость жидкостей падает с ростом температуры, а газов - возрастает. **Теплоемкость** и **теплопроводность** с ростом температуры возрастают. Для эффективной теплопередачи теплоносители должны обладать высокой плотностью, теплоемкостью и теплопроводностью.



РЕГЕНЕРАТОРЫ ГТУ

10

Эффективность работы регенератора, как средства возврата в цикл ГТУ теплоты выхлопных газов, оценивается по величине **степени регенерации**, определяемой как отношение количества теплоты, фактически переданной воздуху, к количеству теплоты, которое теоретически можно было бы передать при полном использовании располагаемого температурного потенциала. Пренебрегая различием расходов газов и воздуха и их теплоемкостей, **степень регенерации** определяют в виде соотношения разностей температур

$$r = \frac{t_{2\text{возд}} - t_{1\text{возд}}}{t_{1\text{г}} - t_{1\text{возд}}}$$

где $t_{1\text{г}}$ - температура выхлопных газов на входе в регенератор; $t_{1\text{возд}}$, $t_{2\text{возд}}$ - температуры воздуха на входе и выходе регенератора.



Повышения степени регенерации можно добиться увеличением **поверхности теплообмена регенератора**. Связь степени регенерации с величиной поверхности теплообмена регенератора выражается зависимостью

$$F = \frac{G_{\text{возд}} c_{p \text{ возд}}}{k} \frac{r}{1-r}$$

где $G_{\text{возд}}$ - расход воздуха в ГТУ; $c_{p \text{ возд}}$ - теплоемкость воздуха; k - коэффициент теплопередачи в регенераторе.

Кроме плюсов, регенерация вызывает негативные последствия. Кроме усложнения конструкции ГТУ, увеличения металлоемкости и ухудшения динамики переходных процессов - это еще и рост гидравлических потерь в трактах ГТУ за счет появления гидравлических сопротивлений дополнительных участков тракта в виде воздухопроводов от компрессора к регенератору и от регенератора к камере сгорания и тд.

КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

12

↓
По типу поверхности теплообмена

- Трубчатые
- Пластинчатые

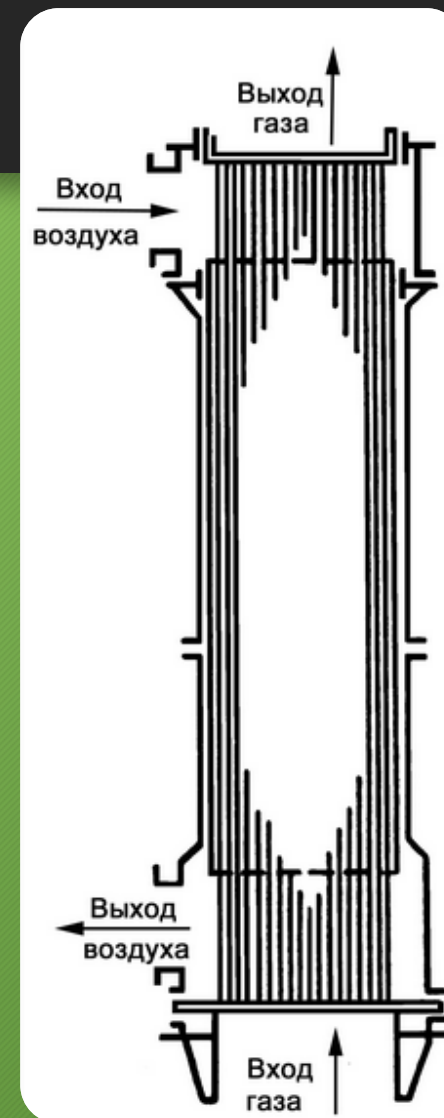
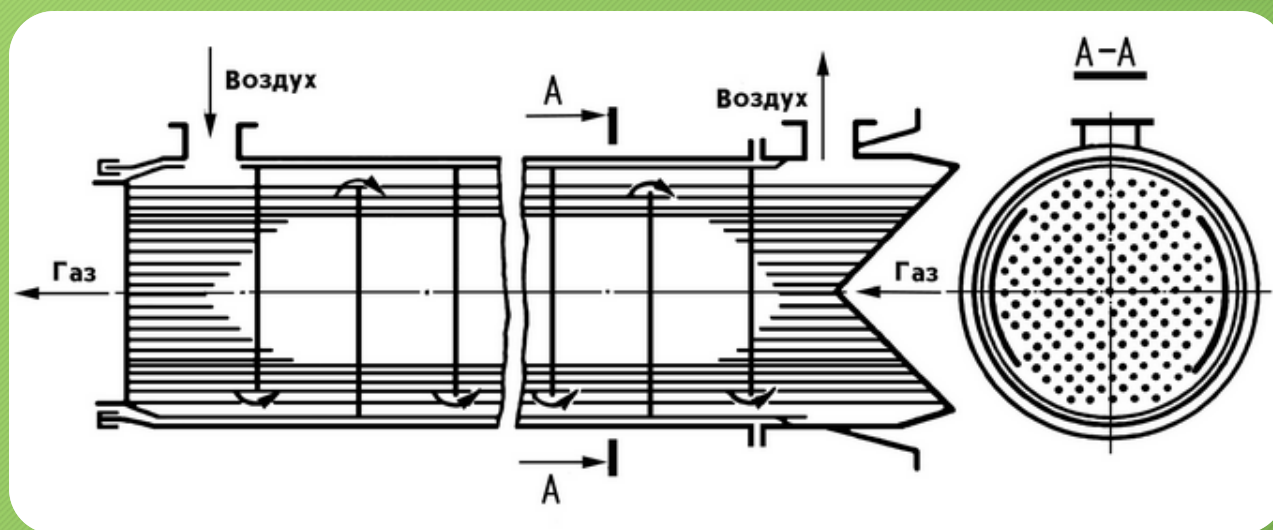
↓
По пространственной ориентации

- 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.***

ТЕПЛОБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ГТУ

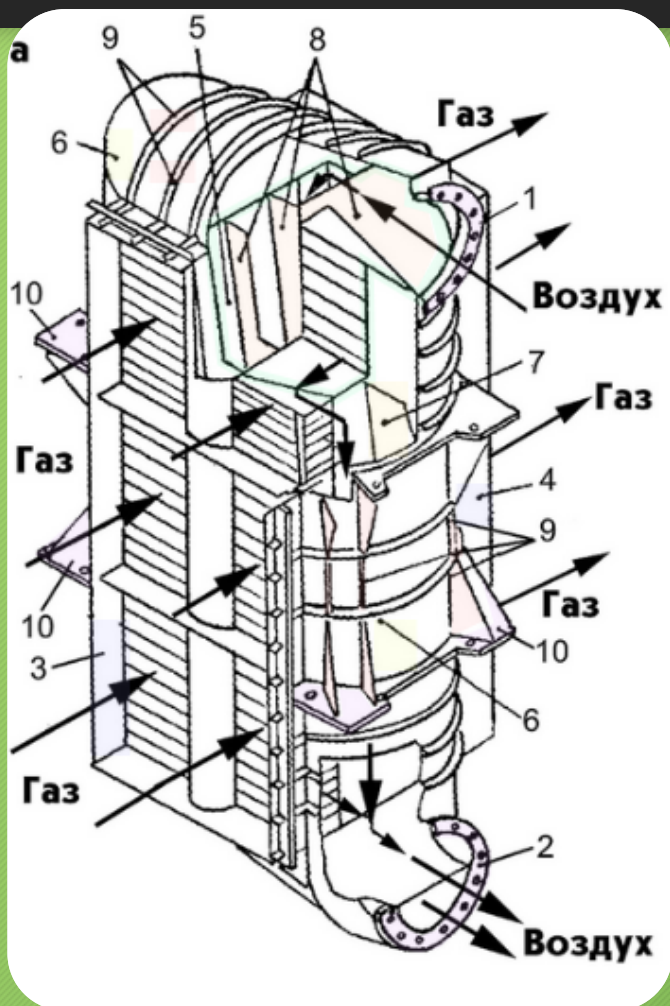
13



Схемы регенераторов ГТУ

ТЕПЛООБМЕННЫЕ АППАРАТЫ ГТУ

14



Регенератор ГТУ ГТК-10-4

1, 2 - фланцы патрубков подвода и отвода воздуха; 3, 4 - патрубки подвода и отвода греющих газов; 5 - воздухораспределительная камера; 6 - воздухоподающий короб; 7 - воздухосборная камера; 8 - направляющие пластины (лопатки); 9 - ребра жесткости; 10 - опорные лапы

В - потоки воздуха; Г - потоки греющих газов

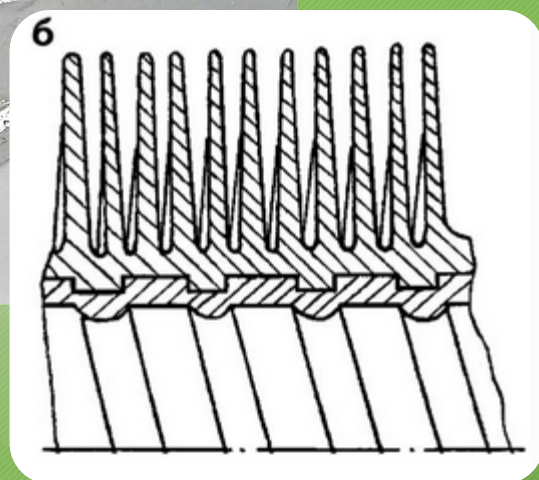
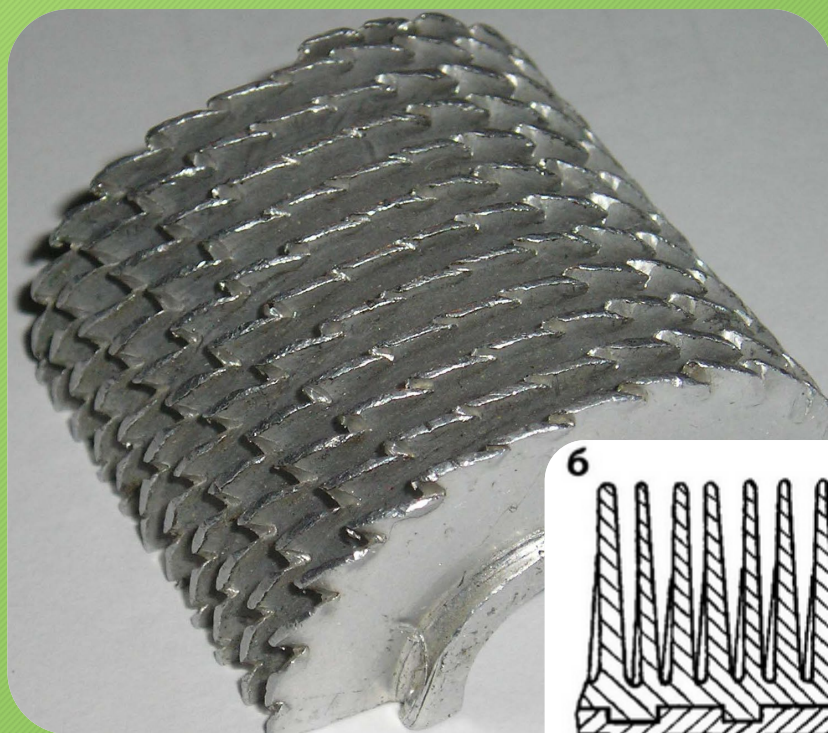
ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛИ

15

Охлаждение циклового воздуха обычно осуществляют водой - циркуляционной природной или теплофикационной сетевой. Поверхностные теплообменники по схеме «воздух между трубками, вода в трубках».

Особенности:

- **малый коэффициент теплоотдачи воздуха** (по сравнению водой), что требует увеличения теплообменной поверхности;
- многократное (до 120 раз) **превышение объемного расхода воздуха** по сравнению с расходом воды, затрудняющее компоновку аппарата;
- возможность **возникновения отложений минерального и органического происхождения** на внутренней поверхности трубок, что влечет за собой уменьшение их проходного сечения по воде, **увеличение термического сопротивления** стенок и, соответственно, снижение теплопередачи.



Оребренные трубы

а - с увеличенной теплоотдачей за счет надрезов и отгибов на концах ребер, б - с уменьшенным термическим сопротивлением контакта между несущей трубкой и накатными ребрами за счет канавок на трубке