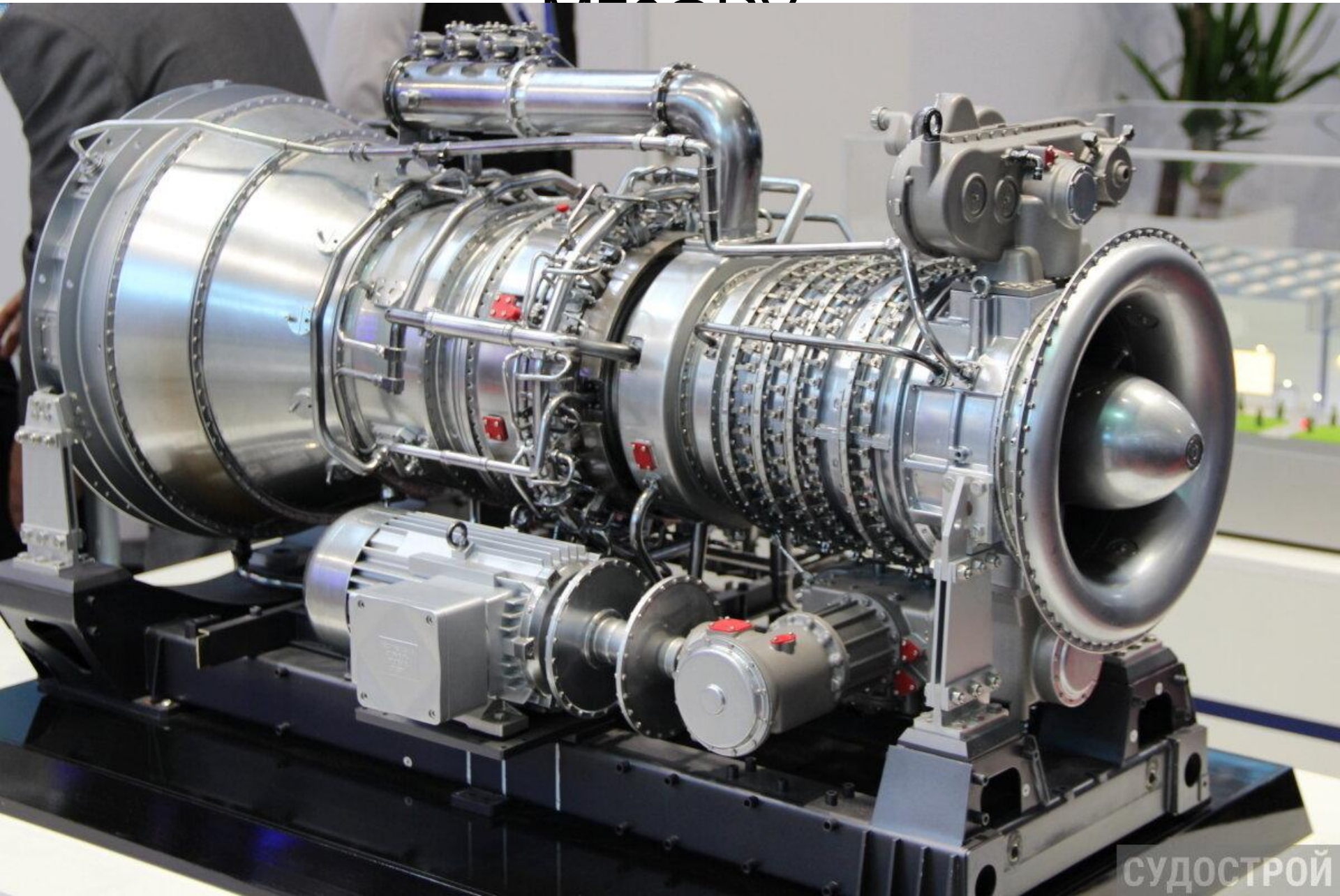


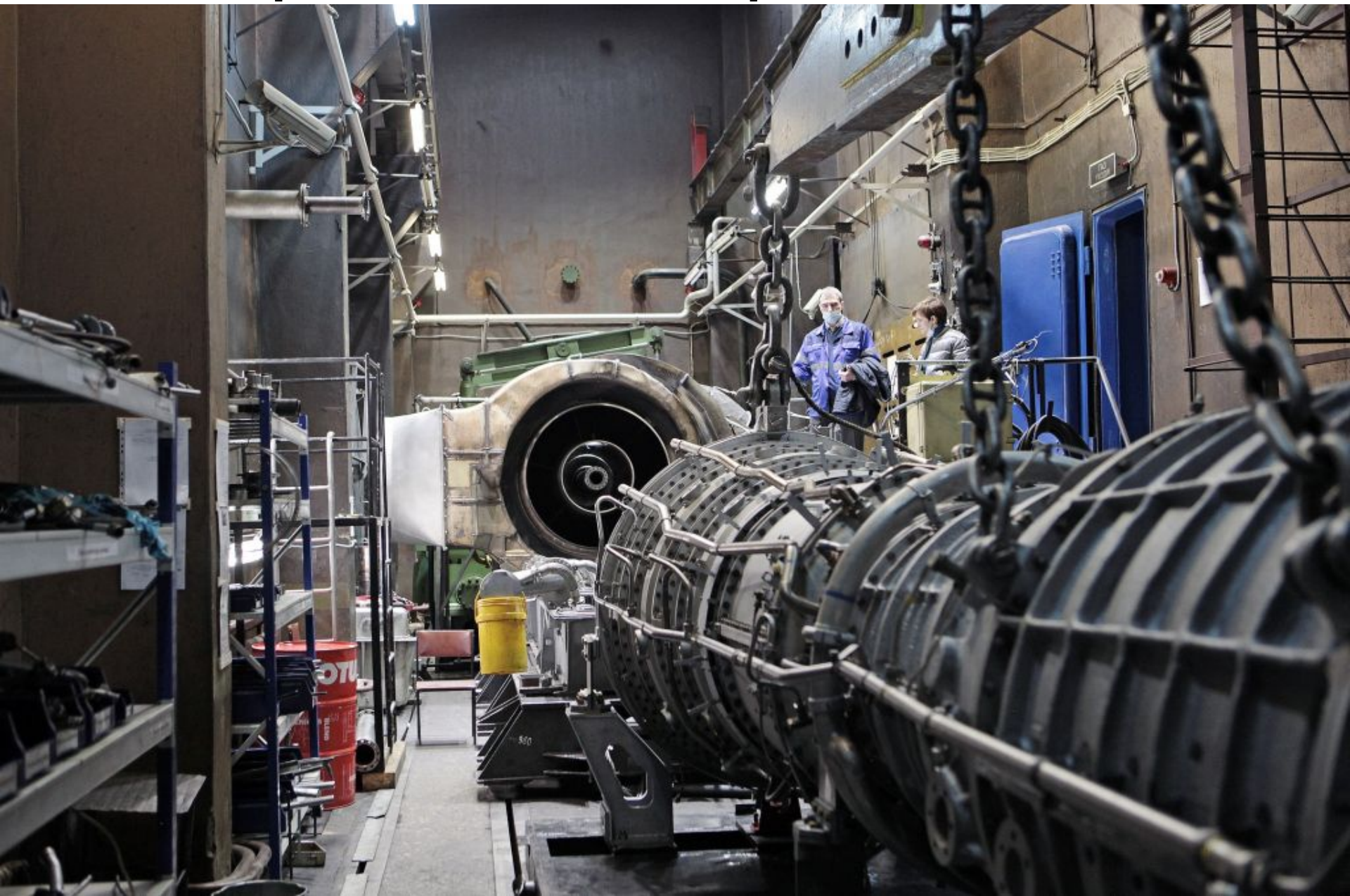
Типы СЭУ

**Газотурбинные
установки (ГТУ)**

Модель газотурбинного двигателя



В цехе газотурбинного производства Кронштадтского морского завода



М70ФРУ мощностью 14 тысяч л.с.





M90ΦP



Принцип действия и классификация ГТУ

Газовая турбина отличается от паровой тем, что рабочим телом ее является не пар из котлов, а газы, образующиеся при сгорании топлива в специальных камерах.

Устройство и работа газовой турбины аналогичны устройству и работе паровой турбины. Они также бывают активные или реактивные, однокорпусные, многокорпусные и т. п. Отличаются газовые турбины от паровых более высокими температурными нагрузками: температура горячих газов бывает в пределах 700—800° С. Разница в температурном режиме уменьшает ресурсы времени работы газовых турбин.

В зависимости от способа сжатия воздуха и образования горячих газов различают газотурбинные установки с камерой горения и ГТУ со *свободно-поршневыми генераторами газа* (СПГГ). Отрицательным качеством ГТУ

Схема газотурбинной установки с регенерацией и двухступенчатым сжатием воздуха

В судовой газотурбинной установке с камерой горения атмосферный воздух засасывается, сжимается **компрессором** низкого давления **1**, располагаемым на одном валу с газовой **турбиной 5**, и направляется в **холодильник 2**, охлаждаемый заборной водой.

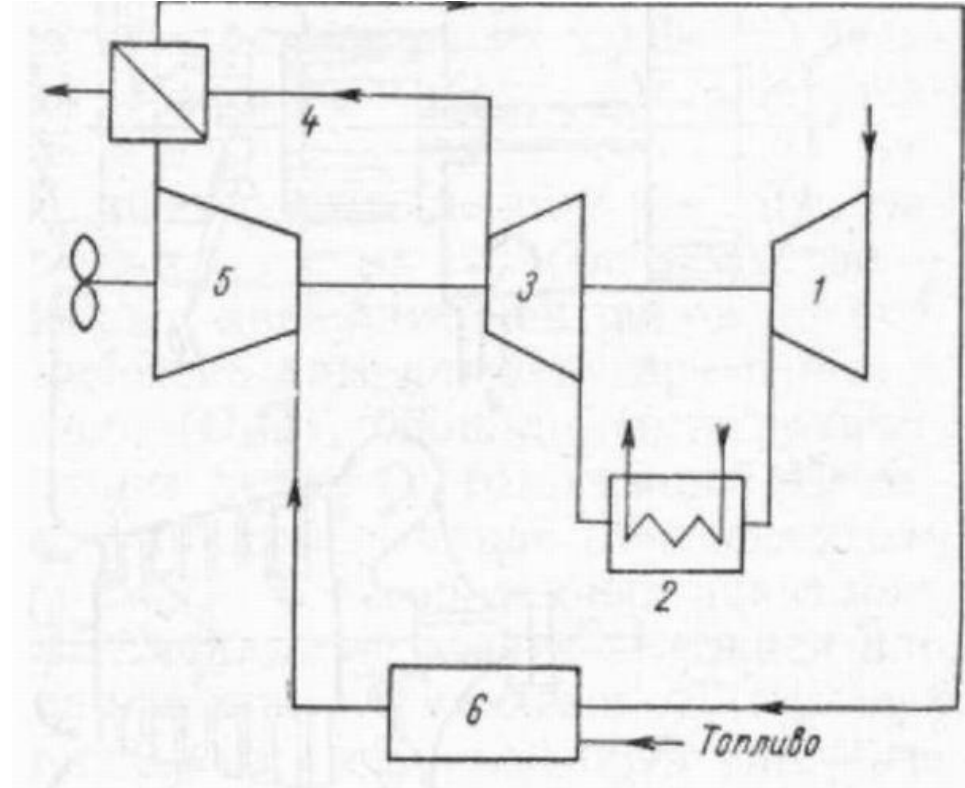


Схема газотурбинной установки с регенерацией и двухступенчатым сжатием воздуха

Охлажденный воздух поступает в **компрессор высокого давления 3**, где снова сжимается до более высокого давления, после чего подается в **регенератор 4**, откуда подогретый отработавшими газами идет в **камеру горения 6**, где сгорает подающееся туда топливо. Охлажденный воздух поступает в **компрессор высокого давления 3**, где снова сжимается до более высокого давления, после чего подается в **регенератор 4**, откуда подогретый отработавшими газами идет в **камеру горения 6**, где сгорает подающееся туда топливо.

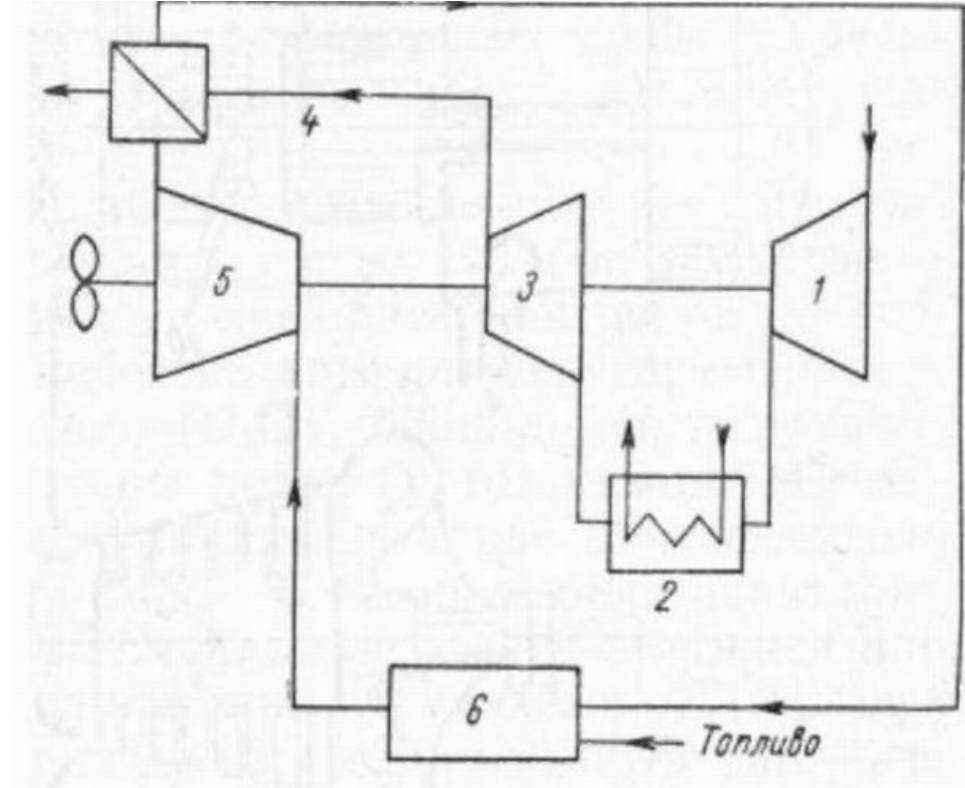
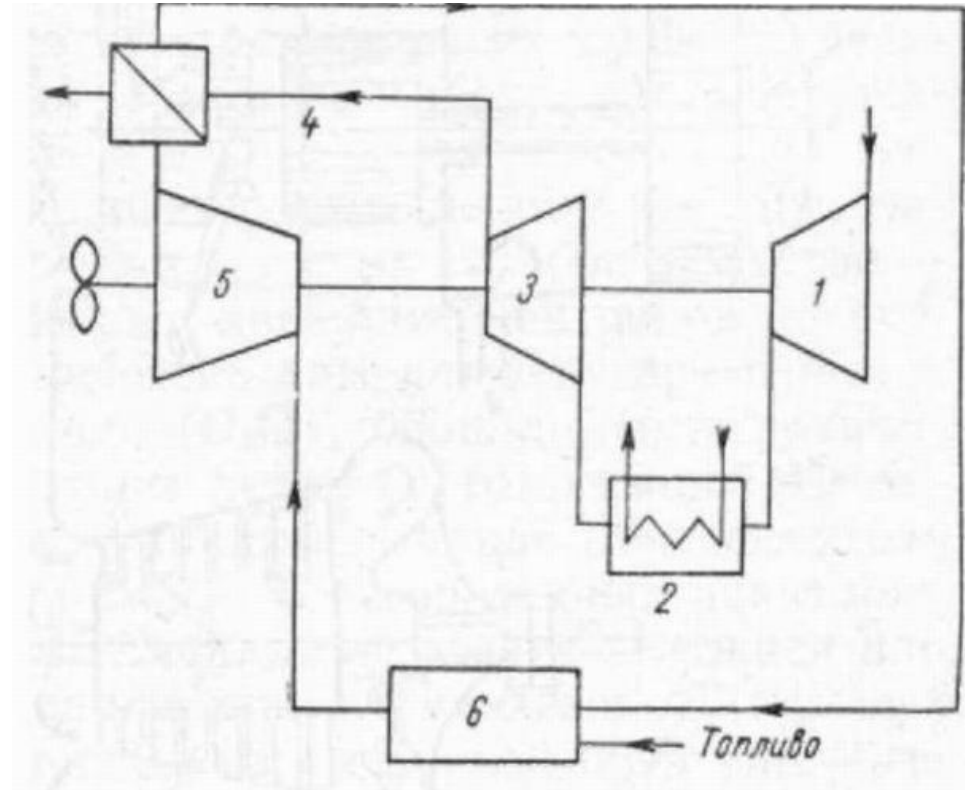


Схема газотурбинной установки с регенерацией и двухступенчатым сжатием воздуха

Продукты сгорания расширяются в **газовой турбине 5** и через регенератор, отдав в нем часть тепла воздуху, выходят в атмосферу или используются в утилизационном котле.



Регенерация тепла отработавших газов ГТУ

- Методом повышения экономичности ГТУ является использование тепла отработавших газов для подогрева воздуха, поступающего в камеру сгорания, так называемая регенерация.

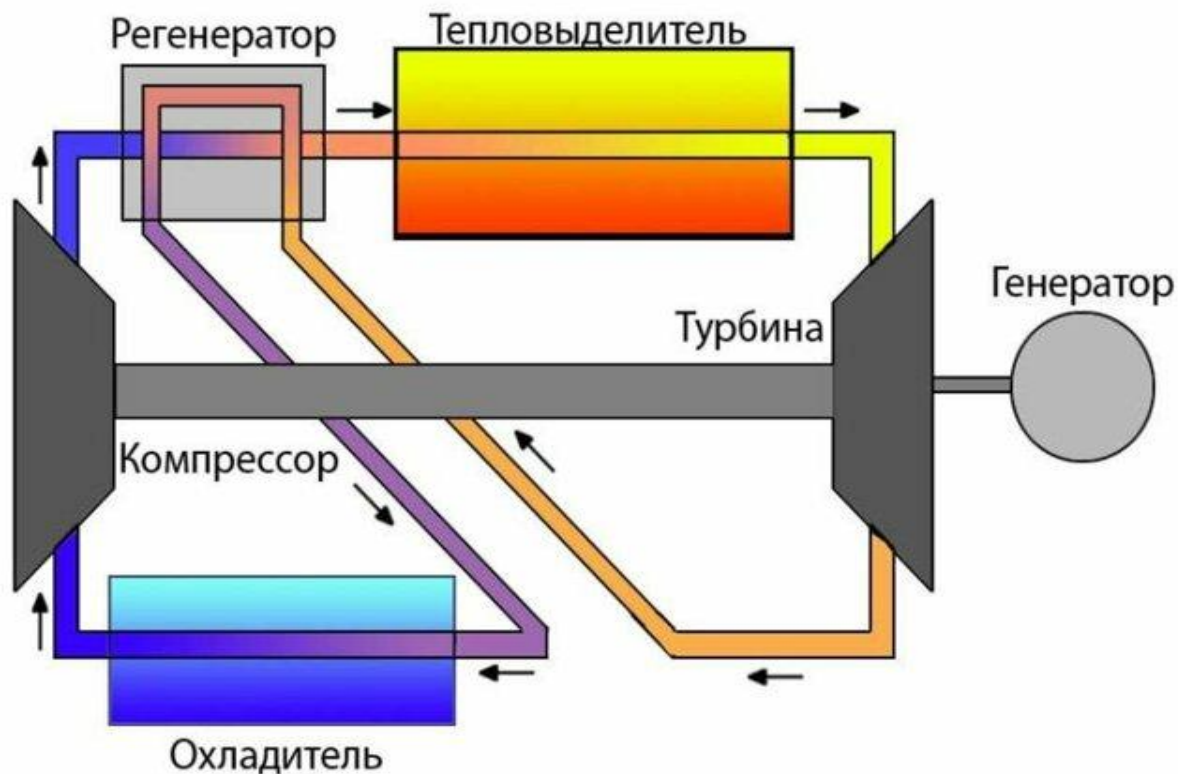
Применение регенерации с одновременным двухступенчатым сжатием воздуха повышает эффективный к. п. д. установки до 28—30%. Такие ГТУ находят применение в качестве судовых силовых установок.

- Энергия, развиваемая в газовой турбине, не полностью используется по основному назначению, а частично расходуется на привод компрессоров. Для запуска газовой турбины ее необходимо раскрутить пусковыми электромоторами

На данный момент единственная полноценная ВНЭУ это ядерный реактор

Газотурбинные установки замкнутого цикла

- это установки, в которых, рабочее тело циркулирует в замкнутом контуре, не контактируя с атмосферой.



Регулировка оборотов турбин

- Для поддержания определенных оборотов частоты вращения вала при работе на генератор или ВРШ турбина должна быть оснащена автоматическим регулятором частоты.

Центробежный маятник как автоматический регулятор частоты

частоты!

- Груза устройства 1
- муфта 2
- вал турбины 3



Описание работы центробежного маятника регулятора частоты ГТУ



- Регулятор приводится в движение от **вала турбины 3** через зубчатую передачу.
- При увеличении частоты вращения вала турбины грузы под действием центробежных сил расходятся, перемещая вверх связанную с ними **муфту 2**.

Описание работы центробежного маятника регулятора частоты ГТУ

При снижении нагрузки группа сближается, и муфта опускается вниз. Перемещение муфты передается с помощью механических связей (системы рычагов) или с помощью гидроусилителей на регулирующие органы турбины - **парораспределительные устройства**, которые увеличивают или уменьшают количество подаваемого пара в турбину, восстанавливая заданную частоту вращения



Редукторные передачи применяемые в ГТЗА

- В главных редукторных передачах ГТЗА используются цилиндрические (прямозубые и косозубые), конические и планетарные зацепления.
- Современные редукторы имеют КПД до 98,5% при относительно невысокой стоимости. Применяемые в ПТУ зубчатые редукторы чаще всего двухступенчатые с передаточным отношением $20:1 \div 160:1$. Реже используются трехступенчатые передачи. Иногда одна из ступеней бывает планетарной

Компрессор (назначение)

Компрессор - важнейшая составляющая часть газотурбинной установки. В компрессоре происходит сжатие воздуха до расчетных параметров и подача его в камеру сгорания.

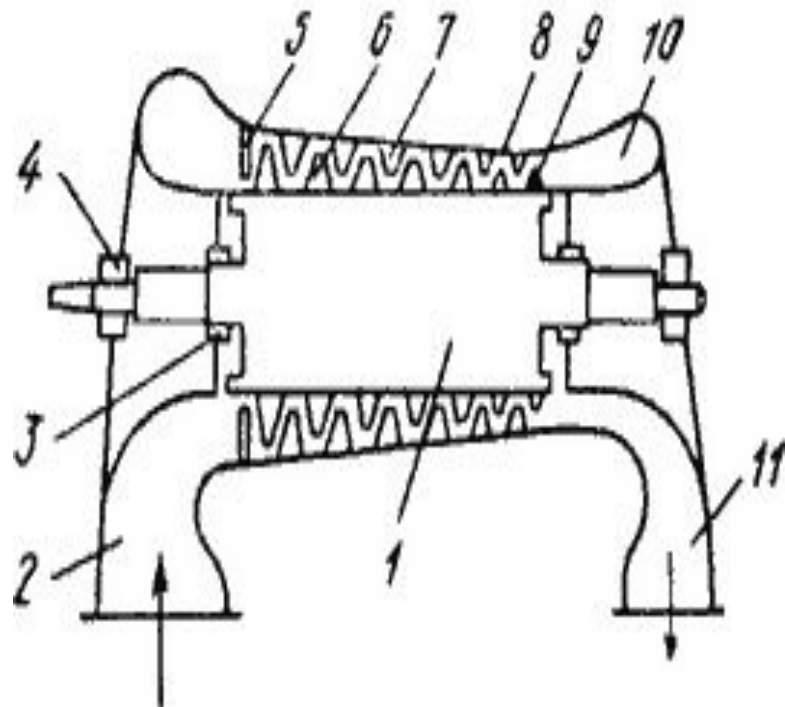
При сжатии температура воздуха повышается, что способствует интенсификации процесса горения в камере сгорания.— важнейшая составляющая часть газотурбинной установки.

В компрессоре происходит сжатие воздуха до расчетных параметров и подача его в камеру сгорания.

При сжатии температура воздуха повышается, что способствует интенсификации процесса горения в камере сгорания.

Конструкция компрессоров

Осевой компрессор состоит из барабанного **ротора 1** с закрепленными рабочими **лопатками 6**, **корпуса 8**, в кольцевых пазах которого крепятся **направляющие лопатки 7**, **концевых уплотнений 3** и **подшипников 4**.



Таким образом, осевой компрессор по своему устройству напоминает реактивную турбину. Воздух в компрессор засасывается через входной **патрубок 2**, проходит через направляющий **аппарат 5**, сжимается в направляющих и рабочих лопатках, поступает в **спрямляющий аппарат 9**, **диффузор 10** и выходит через **патрубок 11**.

При работе компрессора в его впускной полости образуется разрежение, поэтому наружный воздух постоянно и равномерно подводится к направляющему аппарату. Последний придает струе воздуха нужное направление перед входом на первую ступень компрессора. Проходя последовательно через направляющие и рабочие лопатки, поток воздуха много раз меняет свое направление и завихряется на выходе. Спрямяющий аппарат, установленный за последней ступенью компрессора, придает потоку сжатого воздуха осевое направление перед входом его в диффузор. Здесь продолжается дальнейшее сжатие воздуха за счет уменьшения его кинетической энергии, после чего воздух равномерно поступает в перепускной трубопровод и подается в камеру сгорания.

Лопатки (назначение)

Основное назначение лопаток компрессора – повышение входных параметров воздуха до расчетных и преобразование энергии вращения ротора в энергию сжатого воздуха.

Размеры лопаток компрессора различаются по длине.

Это обусловлено тем, что расход сжимаемого воздуха неизменен, давление растет, а объем уменьшается.

Именно поэтому лопатки первой ступени больше, чем лопатки последней



Лопатки изготавливаются литьем из заготовок. Заготовки лопатки состоят из пера и хвостовика. Затем, при помощи механической обработки, лопатке придается окончательная форма и профиль. К перу лопатки предъявляются высокие требования с точки зрения геометрической формы и шероховатости поверхности. Лопатки различных ступеней компрессора изготавливаются из различных материалов.

Лопатки первых ступеней, особенно, подвержены абразивному износу, поэтому часто изготавливаются из особо высокопрочных сплавов на основе титана. Лопатки последних ступеней компрессора работают при температуре около 500°C , что обуславливает необходимость их изготовления из жаростойких и жаропрочных материалов.

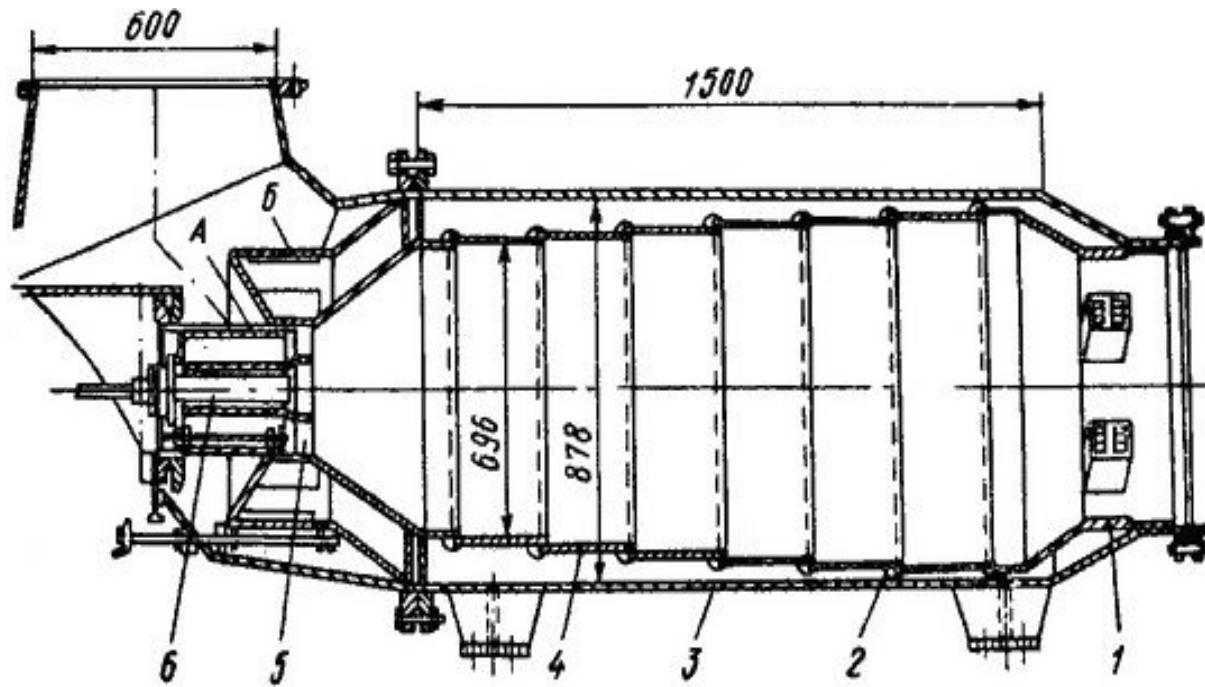


Камера сгорания (назначение)

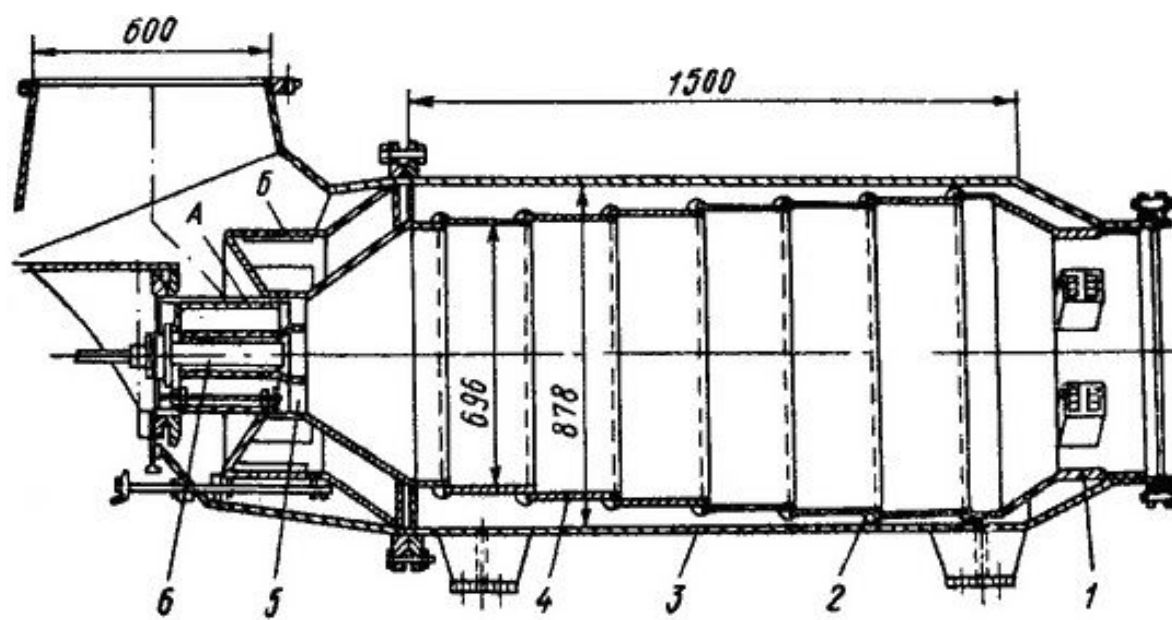
Камера сгорания предназначена для сжигания жидкого топлива и образования газовой смеси, состоящей из продуктов сгорания и сжатого воздуха.

Вследствие высокой температуры газовой смеси (около $1500\text{—}2000^\circ\text{C}$), неприемлемой для работы турбины, предусматривают различные способы охлаждения камеры сгорания, а газовую смесь разбавляют добавочным количеством воздуха, понижая ее температуру.

Конструкция камер сгорания



Основными частями камеры сгорания являются цилиндрический наружный корпус **3** из углеродистой стали и внутренняя жаровая труба **4** из специальной жаростойкой стали, состоящая из отдельных секций для обеспечения ее теплового расширения при нагревании. В передней части камеры расположено **пять форсунок 6**, одна из которых является пусковой и служит для зажигания остальных. Мазут поступает к форсункам, подогретым до $150\text{—}160^\circ\text{C}$ при давлении 1800 кн/м^2 (18 кгс/см^2).



Воздух, идущий от компрессора к форсункам и необходимый для сгорания топлива, называется первичным в отличие от вторичного воздуха, который используется для охлаждения камеры сгорания и разбавления газовой смеси. Первичный воздух подается по патрубок А через **завихрители 5** к распылителям **форсунок 6**, где смешивается с распыленным мазутом, способствуя его сгоранию. Вторичный воздух через патрубок Б поступает в кольцевое пространство между наружным **корпусом 3** и **жаровой трубой 4**, охлаждает ее и частично проникает внутрь жаровой трубы через **концевые щели 2** между ее секциями и через **смесители 1**, расположенные в противоположном от форсунок конце камеры. Вследствие этого на выходе из камеры газовая смесь, разбавленная вторичным воздухом, имеет давление 400 кн/м^2 (4 кгс/см^2) и температуру $600 \text{--} 700^\circ \text{C}$

Подшипники

При работе газотурбинной установки на вал воздействуют радиальные и осевые усилия. Для того, чтобы передать усилия с вала на корпус, применяются подшипники. На газовой турбине установлены опорные подшипники и опорно-упорный подшипник. Опорные подшипники служат для передачи усилия в радиальном направлении, а опорно-упорный необходим для того, чтобы вал не перемещался в осевом направлении.



В качестве смазывающего материала в подшипник подается масло.

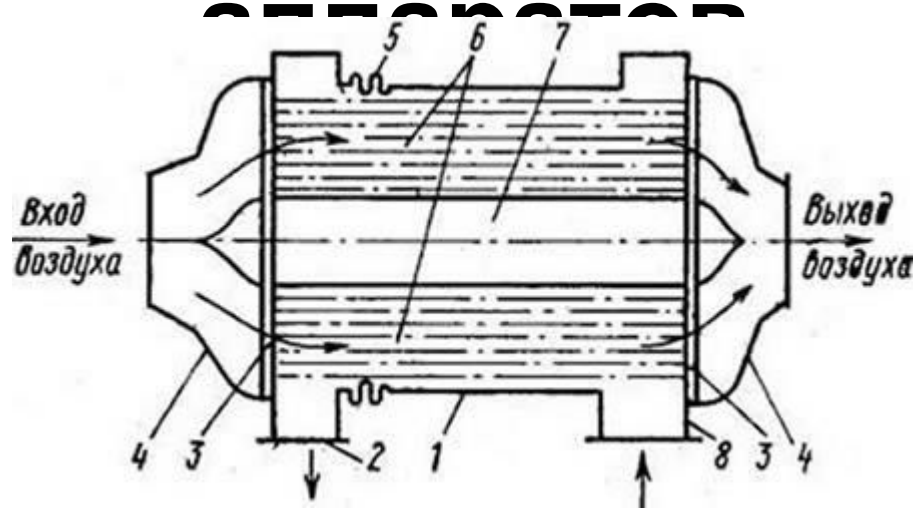
Корпус опорного подшипника скольжения состоит из двух половин – верхней и нижней. Внутри корпуса вмонтированы вкладыши, которые опираются на колодки. В канал, образованный половинами вкладышей, подается масло. Вращаясь, ротор увлекает масло за собой. Таким образом, образуется “масляный клин” – пленка, в которой вращается вал. Чтобы избежать смещения, нижний вкладыш имеет жесткое закрепление. Половины корпуса жестко стягиваются между собой



Теплообменные аппараты

- Теплообменные аппараты служат в ГТУ для подогрева и охлаждения воздуха и масла. По способу передачи теплоты от одного теплоносителя к другому теплообменные аппараты делятся на рекуперативные и регенеративные. В рекуперативных теплообменных аппаратах теплоносители постоянно разделены твердой стенкой, а в регенеративных одни и те же поверхности поочередно омываются горячим и холодным теплоносителем.
- Регенераторами ГТУ являются теплообменные аппараты, предназначенные для подогрева воздуха после компрессора теплотой газов, уходящих из турбины. Регенераторы ГТУ могут быть рекуперативного и регенеративного типов. В настоящее время наиболее часто используют трубчатые и пластинчатые регенераторы рекуперативного типа и вращающиеся регенеративного.

Конструкция теплообменных



В трубчатом противоточном теплообменнике рекуперативного типа (рис.1) к цилиндрическому корпусу 1 крепятся трубные доски 3, в которых закреплены трубки 6, образующие трубный пучок. Трубные доски закрыты крышками 4. Воздух после компрессора проходит внутри трубок. Навстречу ему снаружи трубки омывает газ, подаваемый после турбины в регенератор через патрубок 8. Охлажденный газ выбрасывается в атмосферу через патрубок 2.

Этот регенератор одноходовой как по газу, так и по воздуху. Чтобы не увеличивать гидравлического сопротивления за турбиной, регенераторы ГТУ по газу всегда выполняются одноходовыми.

Требования Правил Регистра к газотурбинным двигателям