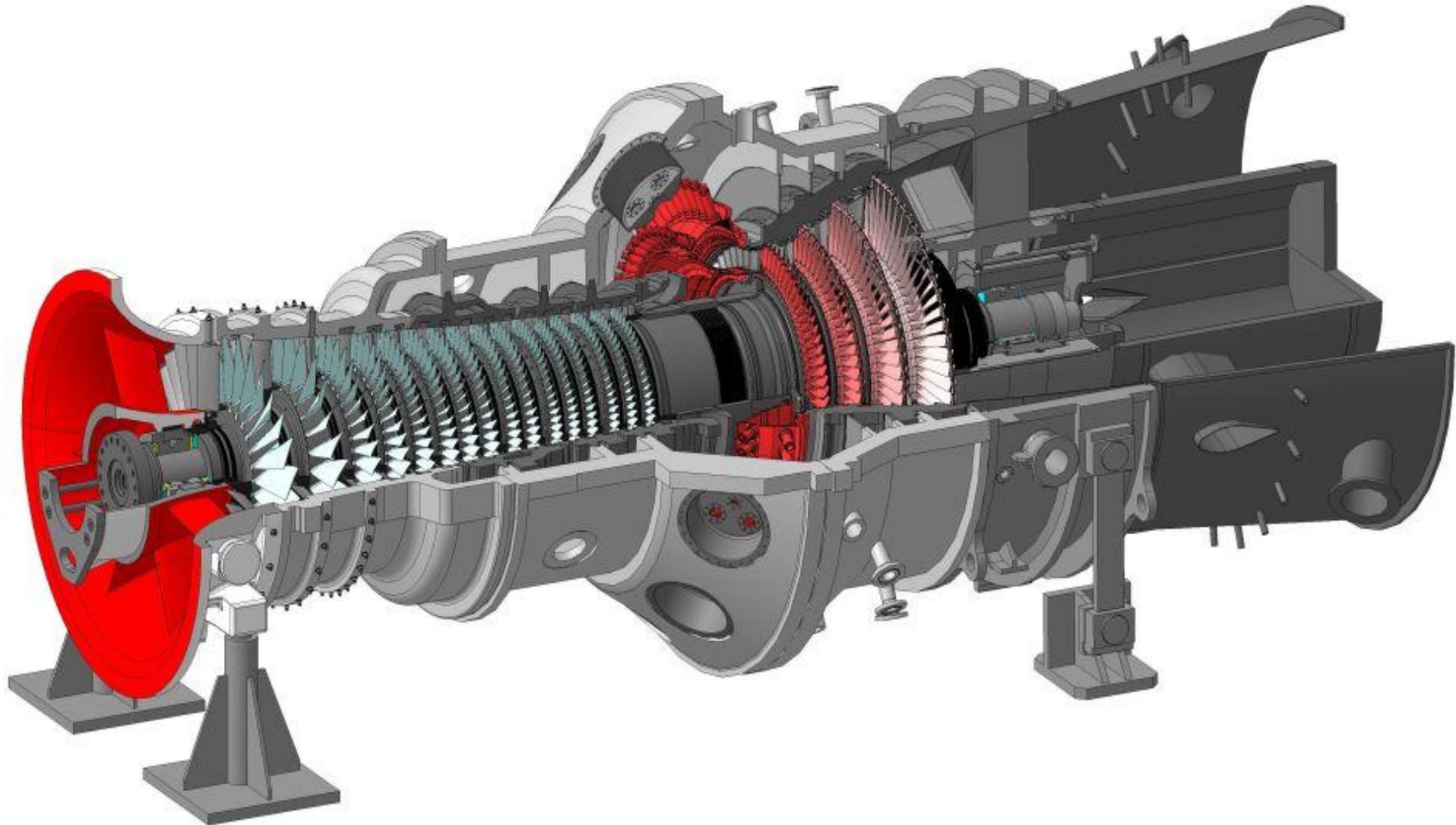
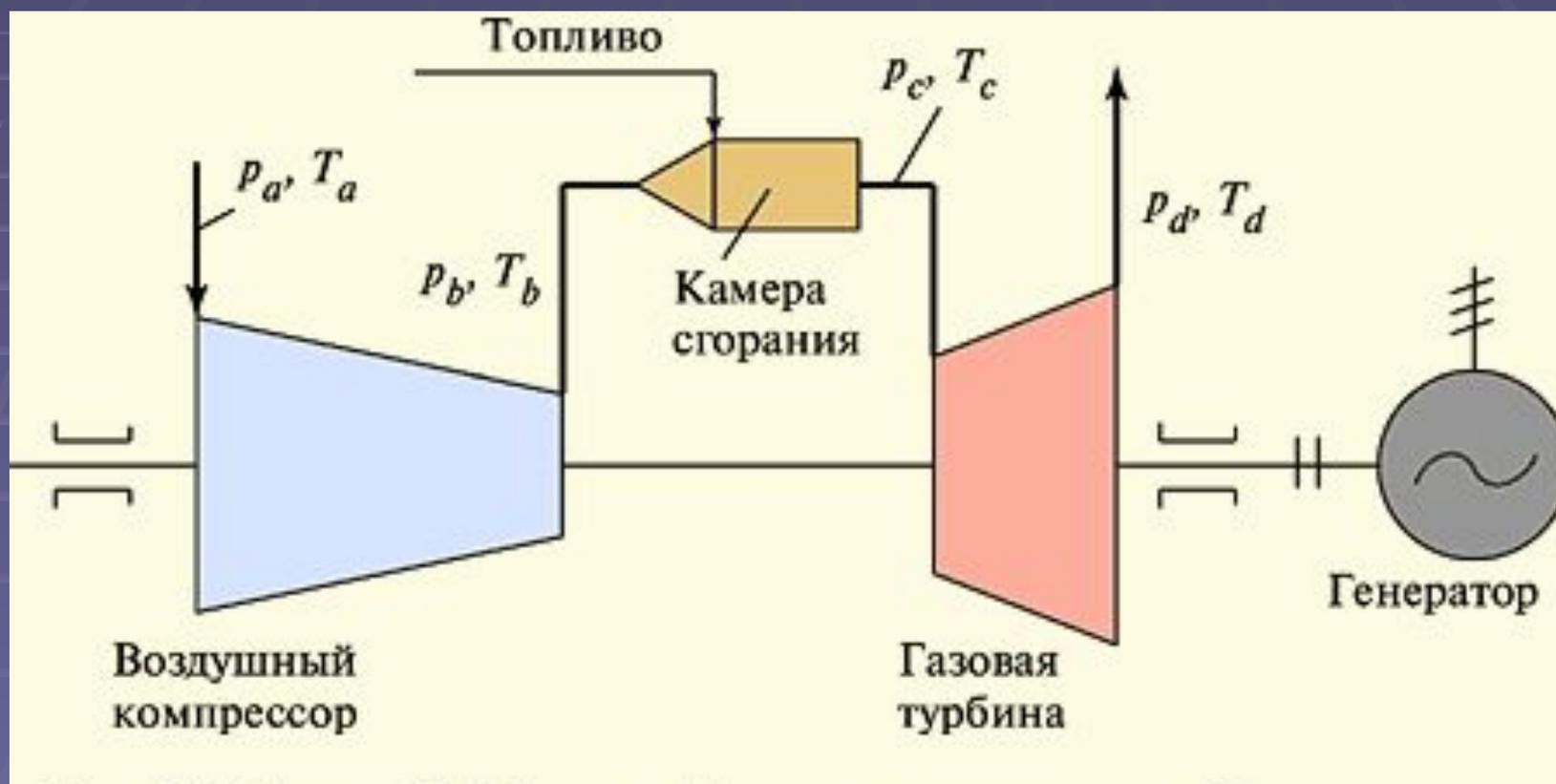


# Газотурбинные установки



**Газотурбинная установка** (ГТУ) — это совокупность воздушного компрессора, камеры сгорания и газовой турбины, а также вспомогательных систем, обеспечивающих ее работу.

Совокупность ГТУ и электрического генератора называют **газотурбинным агрегатом**.



# Газотурбинная установка с горением при постоянном давлении

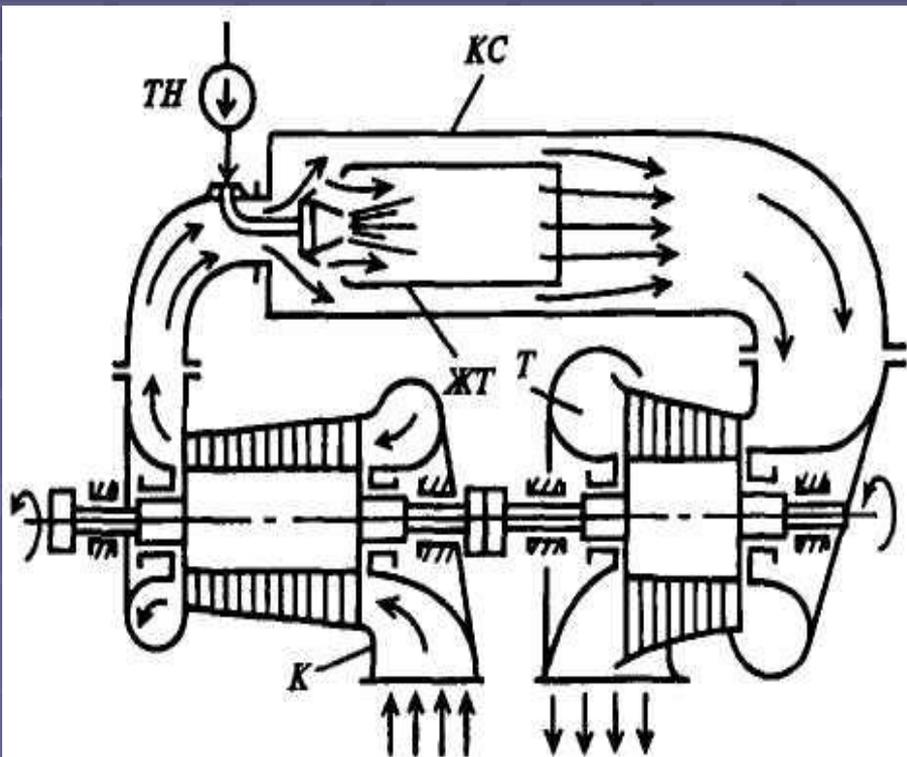
## Принцип действия ГТУ.

Из атмосферы воздух забирают компрессором **К**, после чего при повышенном давлении его подают в камеру сгорания **КС**, куда одновременно подводят жидкое топливо топливным насосом **ТН** или газообразное топливо от газового компрессора. Процесс сгорания в камере происходит при почти

постоянном давлении.

Получающийся после смешения газ поступает в газовую турбину **Т**, в которой, расширяясь, совершает работу, а затем выбрасывается в атмосферу.

Развиваемая газовой турбиной мощность частично расходуется на привод компрессора, а оставшаяся часть является полезной мощностью газотурбинной установки.



## ГТУ обладают следующими преимуществами:

- - более низкой стоимостью;
- - малой массой и малыми габаритами на единицу мощности;
- - быстрым запуском;
- - малой потребностью в охлаждающей воде;
- - простотой автоматизации управления ГТУ;
- - меньшей потребностью в обслуживающем персонале.

В то же время в ГТУ имеют ряд недостатков, которые ограничивают их широкое использование:

- - невозможность использования в ГТУ дешевого твердого топлива;
- - экономичность ГТУ при освоенных сейчас температурах газа в простых схемных решениях существенно уступают экономичности ПТУ;
- - единичная мощность ГТУ намного меньше единичной мощности ПТУ.

# Области применения ГТУ.

**1. В стационарной энергетике** на тепловых электрических станциях применяются газотурбинные установки различного типа и назначения:

**-ГТУ пикового назначения**, работающие в периоды максимума потребления электрической энергии (при продолжительности работы 500-2000 ч в год. Применение пиковых ГТУ объясняется:

- возрастанием суточной неравномерности потребления электроэнергии,
- ростом доли мощности крупных паротурбинных блоков, отличающихся малой маневренностью.

**Базовые ГТУ:** используются как основные (базовые) агрегаты с продолжительностью работы до 6500 ч в год.

**Резервные ГТУ** обеспечивают собственные нужды ТЭС в период, когда основное оборудование не эксплуатируется.

**В качестве теплофикационных установок.** В этом случае газы из турбины ГТУ направляют в специальный котел или водяной подогреватель. Уменьшение температуры уходящих газов вызывает значительное возрастание КПД установки, а сама установка оказывается проще и дешевле соответствующей паротурбинной установки.

# Области применения ГТУ.

## 2. Дальнее газоснабжение:

на компрессорных станциях магистральных газопроводов ГТУ используются в качестве двигателей для привода газоперекачивающего компрессора. Топливом служит природный газ, отбираемый из магистральной линии.

## 3. Metallургическая промышленность (технологический процесс):

В доменном производстве. Для работы домы требуется воздух повышенного давления, который подается в печь воздуходувкой. Для привода воздуходувки следует использовать газотурбинную установку, потребляющую в качестве топлива доменный газ — побочный продукт доменного производства. Сейчас на некоторых металлургических заводах работают газотурбинные воздуходувки, опыт эксплуатации которых свидетельствует об их высокой эффективности и надежности.

## 4. Нефтяная промышленность (технологический процесс)

# Области применения ГТУ.

## 5. Транспорт:

### - воздушный:

в авиации газотурбинный двигатель занимает ведущее место, почти полностью вытеснив двигатель внутреннего сгорания.

### - водный:

Ряд газотурбинных установок эксплуатируется сейчас в торговом и военно-морском флоте, в основном на легких и сторожевых быстроходных судах, где особое значение имеет компактность и малая масса двигателя.

### - автомобильный:

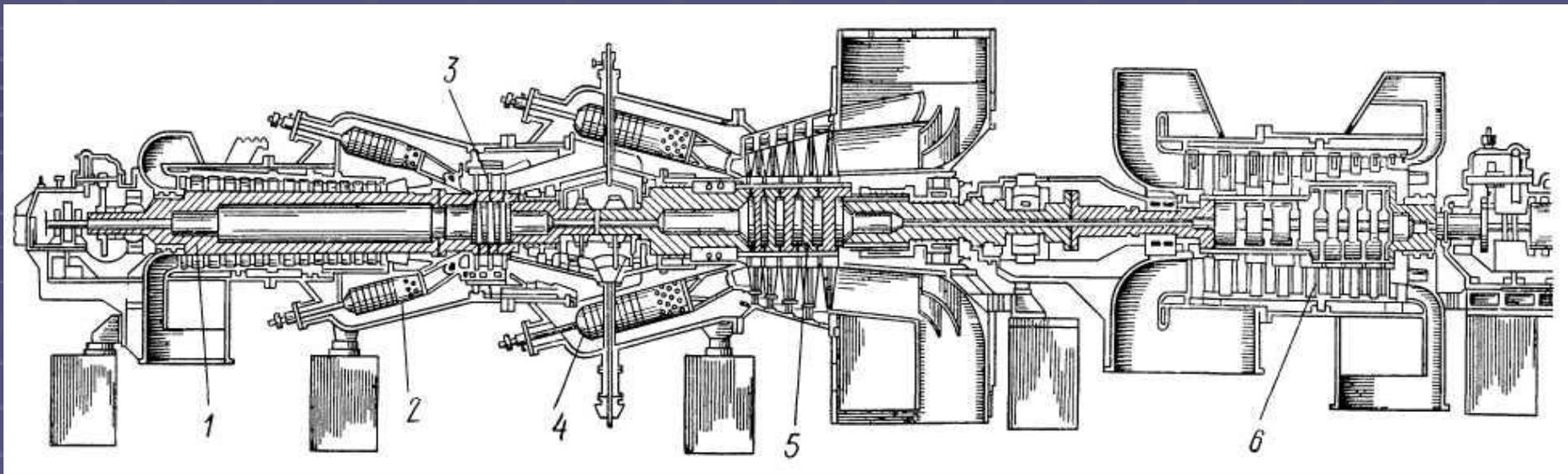
газотурбинный автомобиль пока еще находится в стадии исследования экспериментальных образцов. Лучшие экспериментальные двигатели по экономичности достигли уровня современных бензиновых автомобильных двигателей при меньшей массе

### - железнодорожный:

на железнодорожном транспорте газотурбинные локомотивы (газотурбовозы) получили некоторое применение на линиях большой протяженности, где они имеют преимущества перед тепловозной тягой по стоимости перевозок.

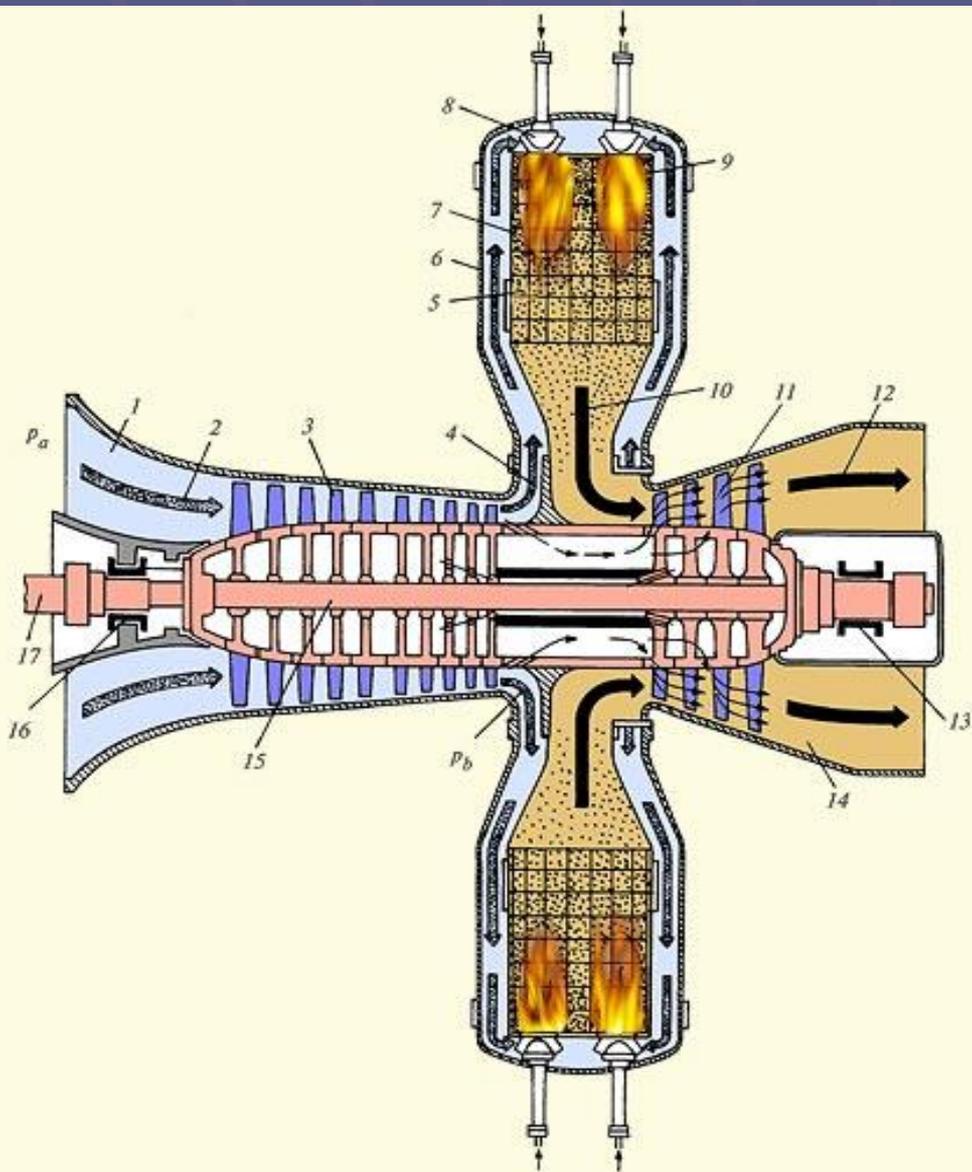


## Продольный разрез ГТУ типа ГТ-100-750-2



- 1- компрессор высокого давления;
- 2 - камера сгорания высокого давления;
- 3 - турбина высокого давления;
- 4 - камера сгорания низкого давления;
- 5 - турбина низкого давления;
- 6 – компрессор низкого давления.

# Принципиальная схема ГТУ (фирмы Siemens)



- 1 — входной патрубок воздушного компрессора;
- 2 — воздух из атмосферы;
- 3 — проточная часть воздушного компрессора;
- 4 — сжатый воздух;
- 5 — зона ввода вторичного воздуха для горения;
- 6 — корпус камеры сгорания;
- 7 — пламенная труба;
- 8 — горелочные устройства;
- 9 — горящий факел;
- 10 — горячие газы;
- 11 — проточная часть газовой турбины;
- 12 — уходящие газы ГТУ;
- 13 — опорный подшипник;
- 14 — выходной диффузор;
- 15 — стяжной болт ротора;
- 16 — опорно-упорный подшипник;
- 17 — вал для присоединения электрогенератора

# Устройство ГТУ V94.3 фирмы Siemens

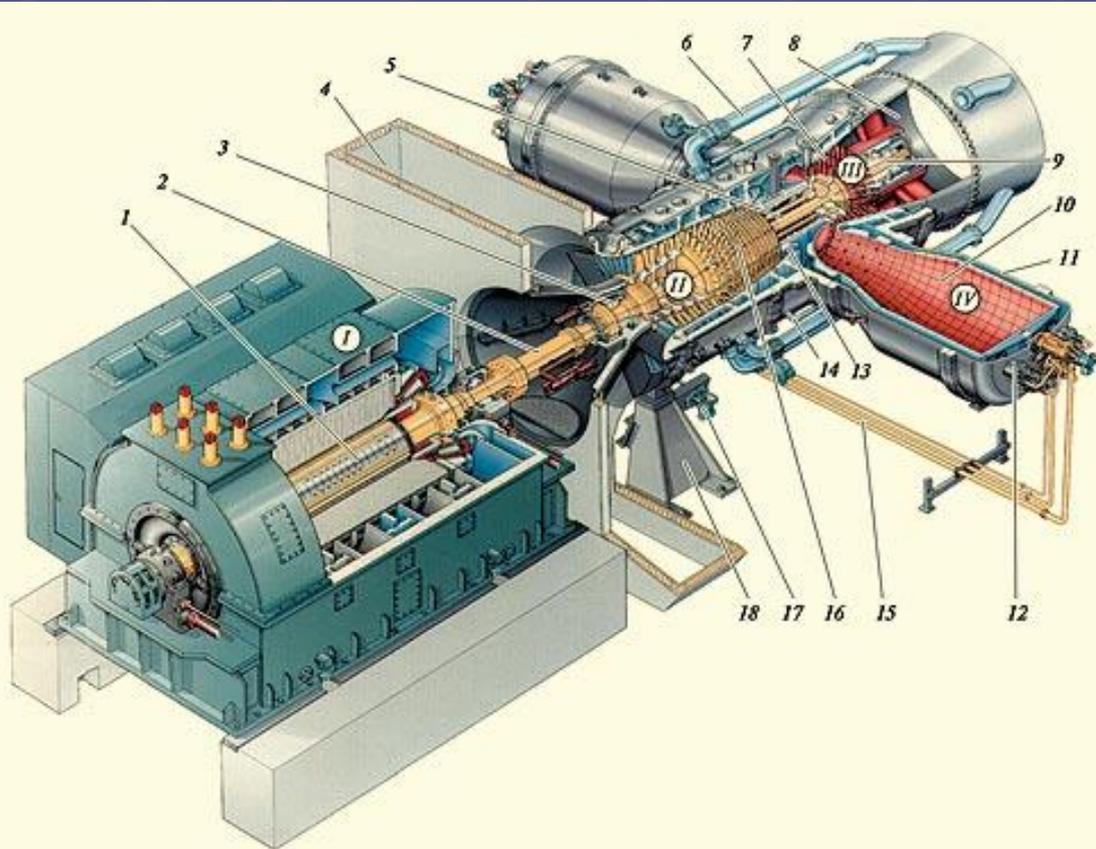
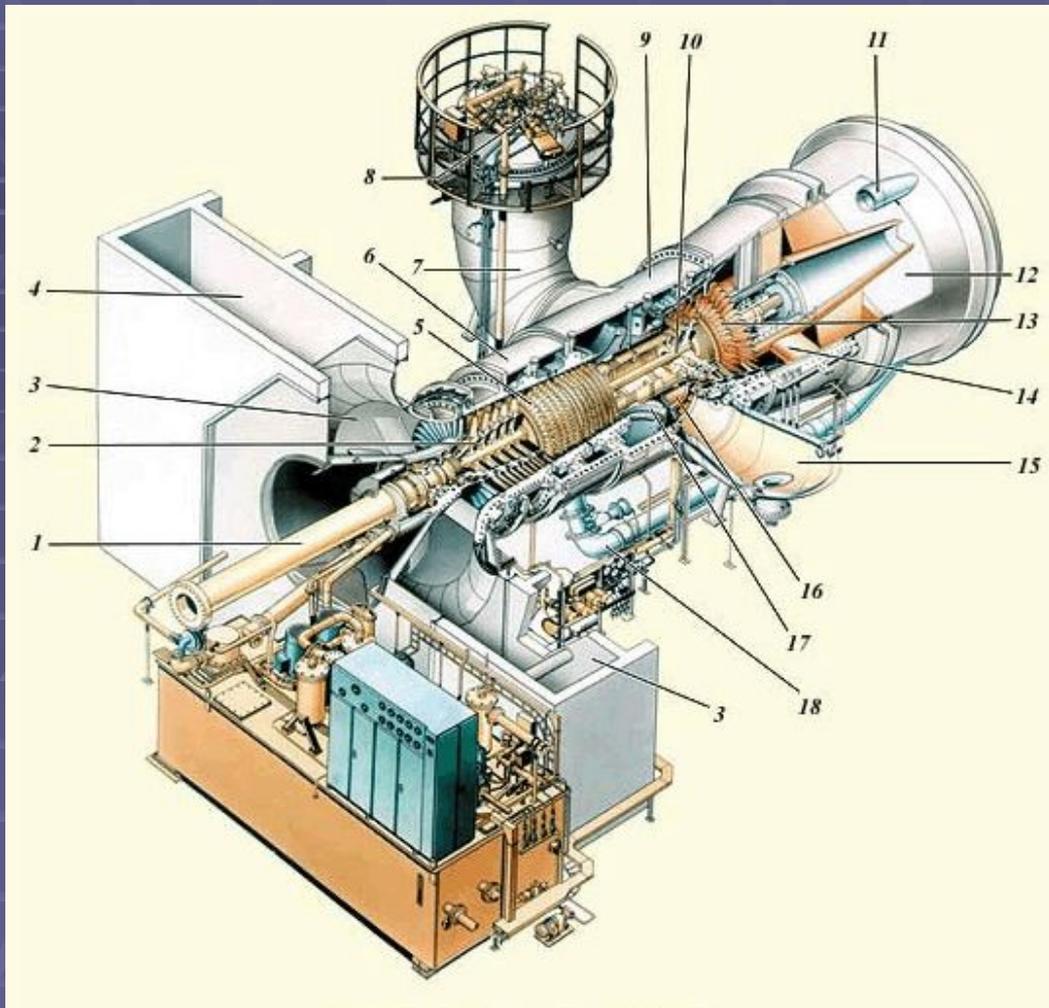


Рис. 7.4. Устройство ГТУ V94.3 (рисунок из проспекта фирмы Siemens)

I — электрогенератор;  
II — компрессор;  
III — турбина;  
IV — камера сгорания

1 — ротор электрогенератора;  
2 — вал-проставка;  
3 — передняя опора ротора;  
4 — шахта подвода воздуха от комплексного воздухоочистительного устройства;  
5 — стяжной болт ротора ГТУ;  
6 — обводные трубопроводы;  
7 — проточная часть газовой турбины;  
8 — выходной патрубок ГТУ (диффузор);  
9 — задняя опора ротора;  
10 — пламенная труба камеры сгорания;  
11 — корпус камеры сгорания;  
12 — горелочные устройства;  
13 — выходной диффузор компрессора;  
14 — трубопровод подачи воздуха на охлаждение корпусных элементов и сопловых лопаток газовой турбины; 15 — трубопроводы подачи топливного газа;

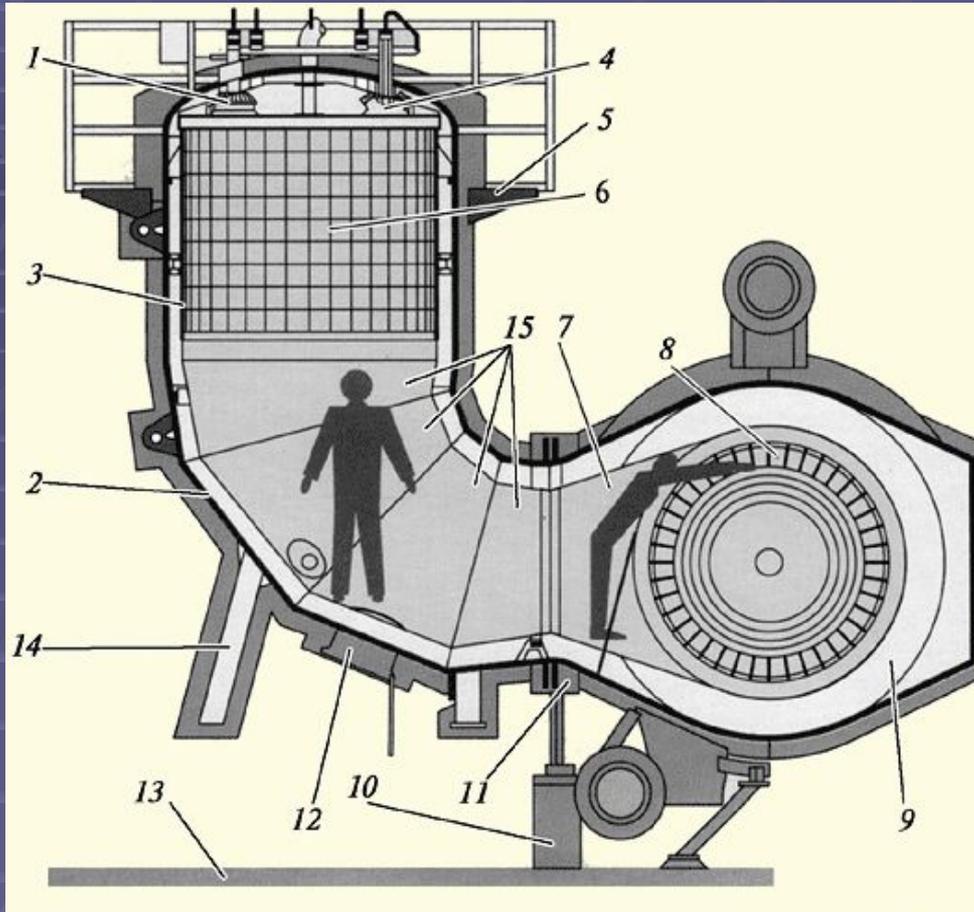
# Устройство ГТУ V94.2 фирмы Siemens



16 — сопловой аппарат первой ступени газовой турбины;  
17 — выходной патрубок воздушного компрессора;  
18 — обводная линия с антипомпажным клапаном.

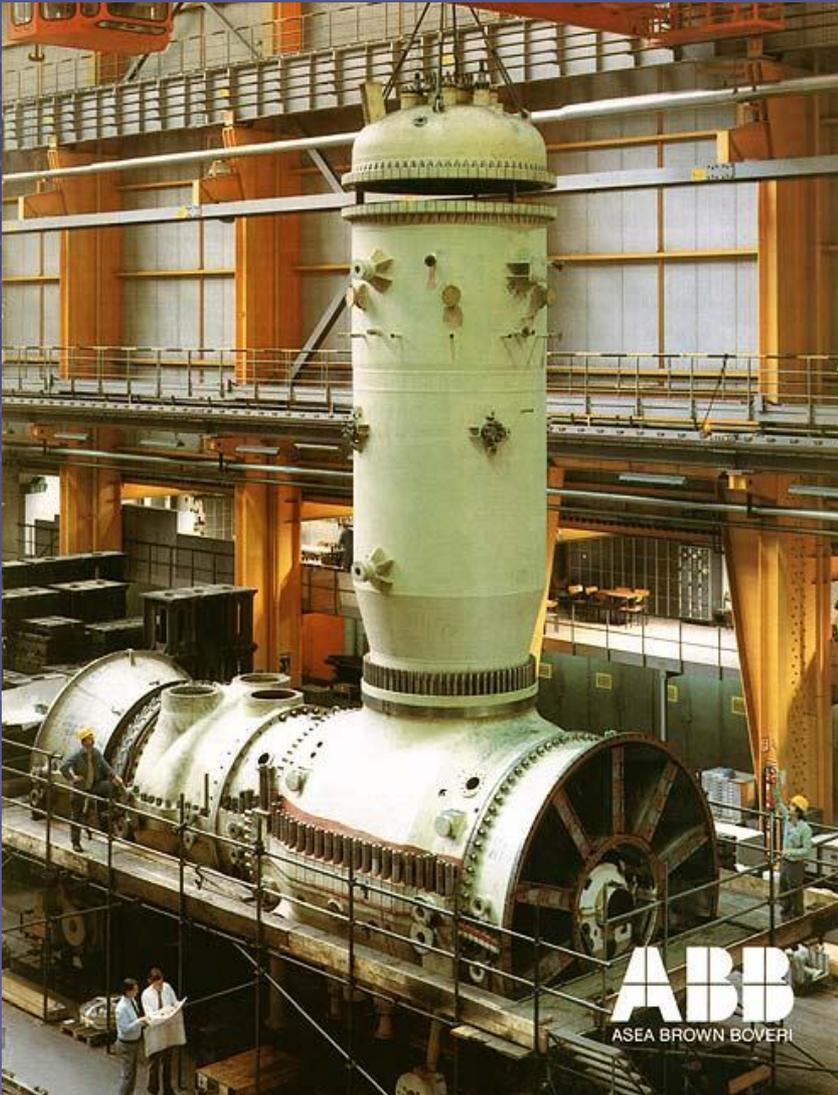
1 — вал-проставка между роторами ГТУ и электрогенератора;  
2 — диски воздушного компрессора; 3 — входной конфузор воздушного компрессора;  
4 — шахта подвода воздуха от комплексного воздухоочистительного устройства;  
5 — проточная часть воздушного компрессора;  
6 — корпус компрессора с подвешенными обоймами;  
7 — камера сгорания;  
8 — площадка обслуживания топливоподающих устройств камеры сгорания;  
9 — средняя силовая часть корпуса;  
10 — стяжной болт ротора ГТУ;  
11 — обводные трубопроводы;  
12 — выходной патрубок ГТУ (диффузор);  
13 — проточная часть газовой турбины;  
14 — силовые стойки, крепящие корпус подшипника к корпусу

## Устройство камеры сгорания



- 1 — пространство для прохода воздуха от компрессора к горелкам;
- 2 — корпус камеры сгорания;
- 3 — пламенная труба;
- 4 — горелочный модуль;
- 5 — площадка обслуживания горелок и топливоподающих устройств;
- 6 — керамические плитки, облицовывающие внутреннюю поверхность пламенной трубы;
- 7 — переходной патрубок от камеры сгорания к сопловому аппарату 1-й ступени турбины;
- 8 — сопловые лопатки 1-й ступени турбины;
- 9 — сборная выходная камера воздушного компрессора;
- 10 — дополнительная опора;
- 11 — фланец присоединения камеры сгорания к корпусу газовой турбины;
- 12 — люк для прохода обслуживающего персонала внутрь камеры сгорания;
- 13 — пол машинного зала ГТУ;
- 14 — вспомогательная (монтажная)

## Внешний вид ГТУ на сборочном стенде завода



Главный недостаток выносных камер сгорания — большие габариты.

В современных ГТУ используют в основном *встроенные* камеры сгорания: кольцевые и трубчато-кольцевые.

# ГТУ фирмы АВВ мощностью 140 МВт с одной выносной камерой сгорания

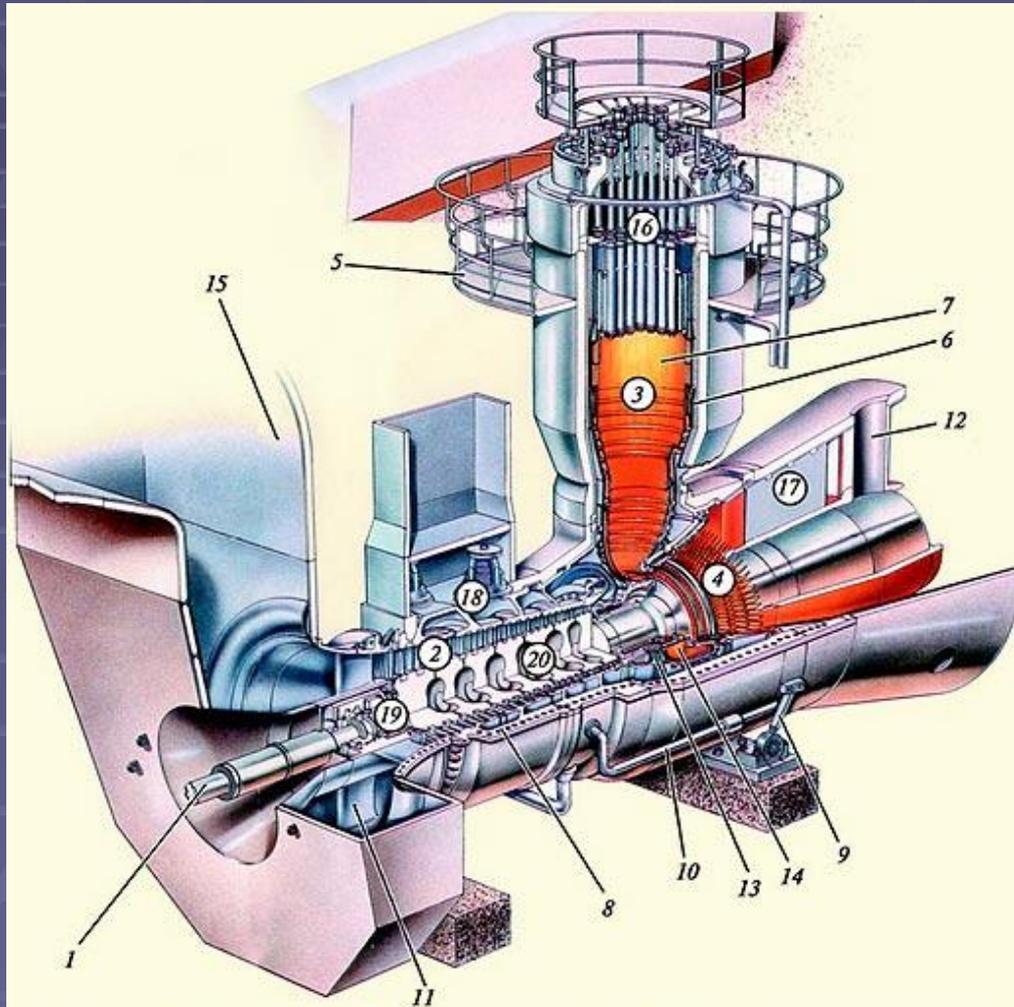
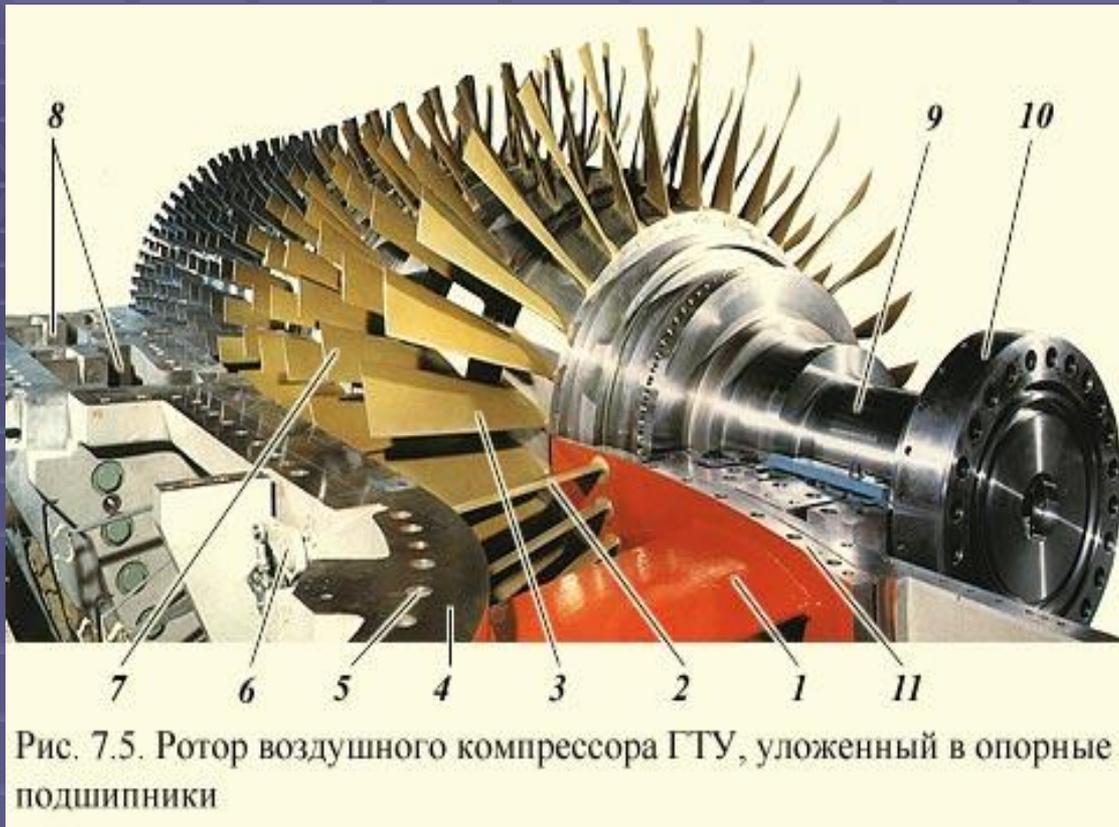


Рис. 7.11. ГТУ фирмы АВВ мощностью 140 МВт с одной выносной камерой сгорания

- 1 — выходной конец вала к электрогенератору;
- 2 — воздушный компрессор;
- 3 — камера сгорания;
- 4 — газовая турбины;
- 5 — площадка обслуживания;
- 6 — корпус камеры сгорания;
- 7 — пламенная труба камеры сгорания;
- 8 — горизонтальный фланцевый разъем;
- 9 — задняя опора ГТУ;
- 10 — трубопровод подачи воздуха на охлаждение газовой турбины;
- 11 — стойки крепления корпуса переднего подшипника;
- 12 — стойки крепления корпуса заднего подшипника;
- 13 — выходной диффузор компрессора;
- 14 — кольцевая камера подвода продуктов сгорания к газовой турбине;
- 15 — входная воздушная шахта;
- 16 — многофакельное горелочное устройство;
- 17 — выходной диффузор газовой турбины;

# Устройство воздушного компрессора



**Воздушный компрессор** — это турбомашина, к валу которой подводится мощность от газовой турбины; эта мощность передается воздуху, протекающему через проточную часть компрессора, вследствие чего давление воздуха повышается вплоть до давления в камере сгорания.

Рис. 7.5. Ротор воздушного компрессора ГТУ, уложенный в опорные подшипники

1 — радиальные стойки, соединяющие корпус входной части компрессора и корпус подшипника; 2 — поворотные лопатки входного направляющего аппарата; 3 — рабочие лопатки 1-й ступени компрессора; 4 — корпус воздушного компрессора; 5 — отверстия под скрепляющие шпильки фланцевого разъема; 6 — рычаг привода поворотных лопаток ВНА; 7 — рабочие лопатки 2-й ступени компрессора; 8 — камеры отбора воздуха на охлаждение газовой турбины или сброса воздуха при пусках; 9 — шейка вала под опорный подшипник; 10 — полумуфта вала ротора; 11 — корпус подшипника

# Входная часть воздушного компрессора (проект ЛМЗ)

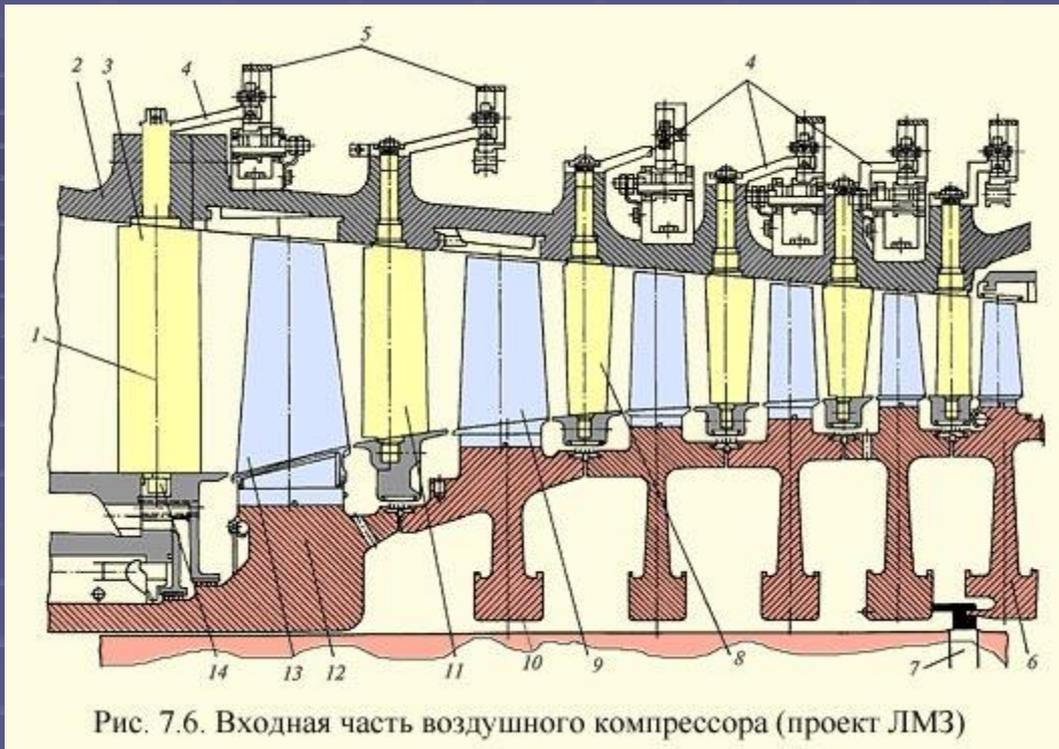


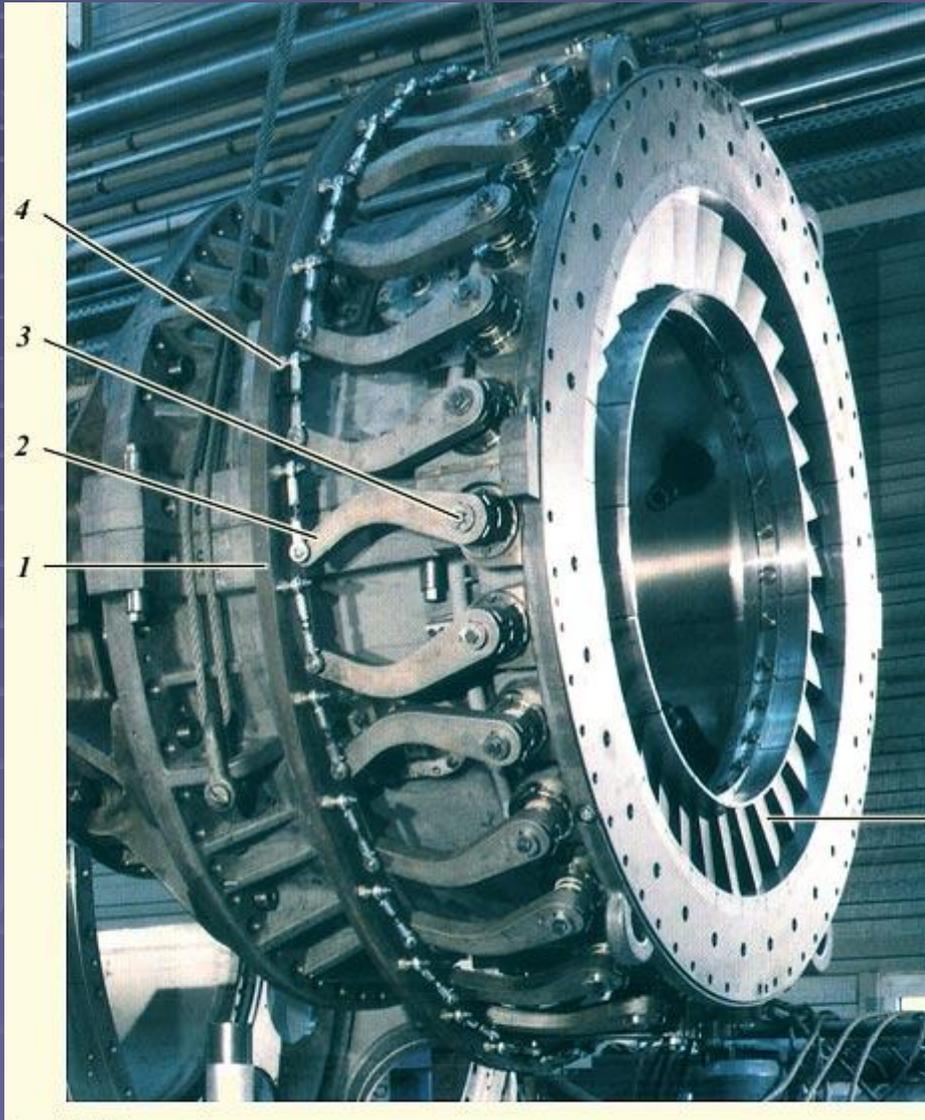
Рис. 7.6. Входная часть воздушного компрессора (проект ЛМЗ)

Главная задача ВНА — сообщить потоку, движущемуся в осевом (или радиально-осевом) направлении вращательное движение.

Каналы ВНА принципиально не отличаются от сопловых каналов паровой турбины: они являются конфузорными (суживающимися), и поток в них ускоряется, одновременно приобретая окружную составляющую скорости.

1 — ось поворота лопатки ВНА; 2 — корпус воздушного компрессора; 3 — рабочая лопатка ВНА; 4 — поворотные рычаги направляющих лопаток; 5 — поворотное кольцо привода поворотных рычагов; 6 — диск 6-й ступени компрессора; 7 — стяжной болт ротора компрессора и газовой турбины; 8 — направляющие лопатки 2-й ступени компрессора; 9 — рабочие лопатки 2-й ступени компрессора; 10 — диск 2-й ступени; 11 — направляющие лопатки 1-й ступени; 12 — диск 1-й ступени; 13 — рабочая лопатка 1-й ступени; 14 — цилиндрический шарнир лопатки ВНА.

# входной направляющий аппарат

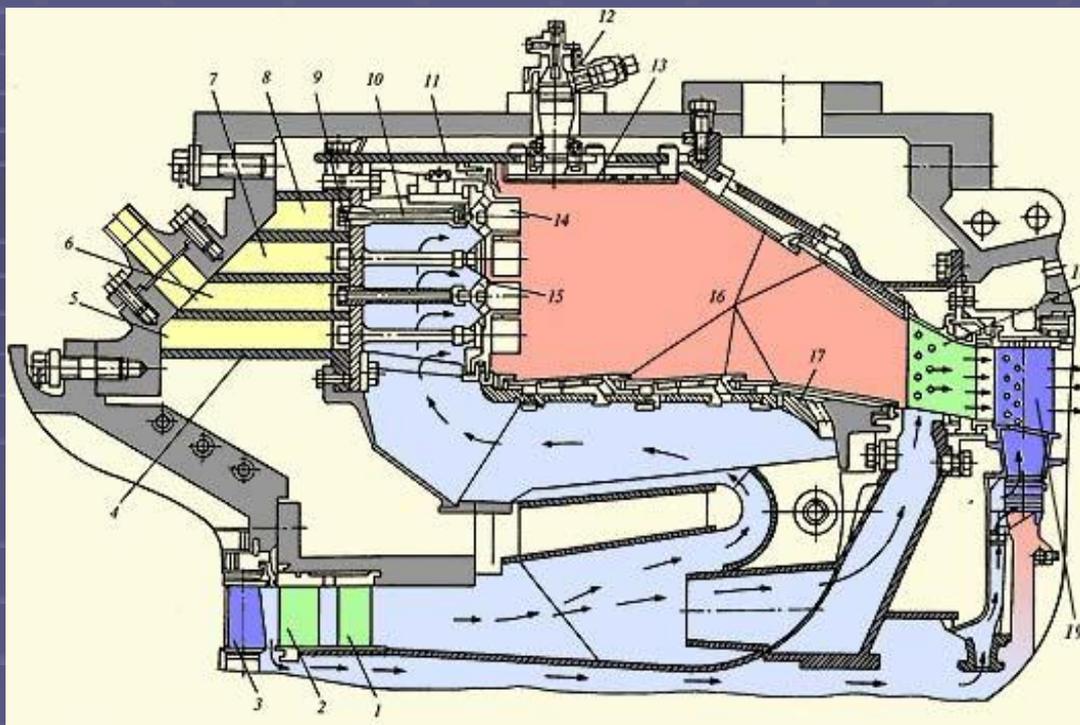


В современных ГТУ входной направляющий аппарат делают поворотным.

Необходимость в поворотном ВНА вызвана стремлением не допустить снижения экономичности при снижении нагрузки ГТУ.

Поворот лопаток при снижении нагрузки вокруг оси 1 на  $25 — 30^\circ$  позволяет сузить проходные сечения каналов ВНА и уменьшить расход воздуха в камеру сгорания, поддерживая постоянным соотношение между расходом воздуха и топлива. Установка входного направляющего аппарата позволяет поддерживать температуру газов перед газовой турбиной и за ней постоянной в диапазоне мощности примерно 100—80 %.

## Встроенная кольцевая камера сгорания

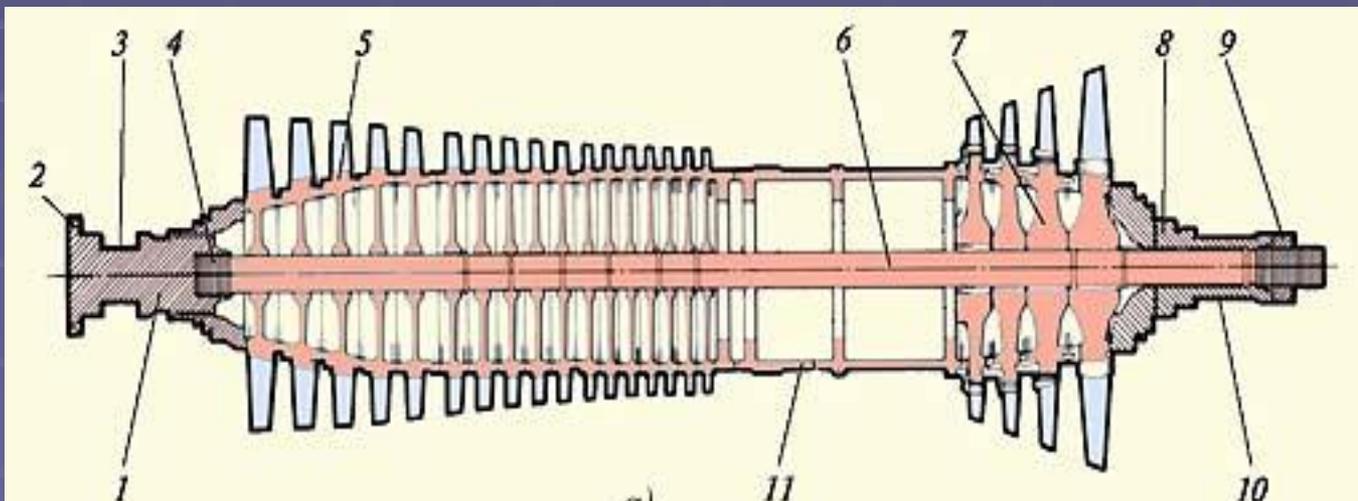


Кольцевое пространство для горения образовано внутренней 17 и наружной 11 пламенными трубами. Изнутри трубы облицованы специальными вставками 13 и 16, имеющими термобарьерное покрытие со стороны, обращенной к пламени; с противоположной стороны вставки имеют ребрение, улучшающее их охлаждение воздухом, поступающим через кольцевые зазоры между вставками внутрь пламенной трубы. Температура пламенной трубы 750—800 °С в зоне горения. Фронтное микрофакельное горелочное устройство камеры состоит из нескольких сотен горелок 10, к которым подается газ из четырех коллекторов 5—8. Отключая коллекторы поочередно можно изменять мощность ГТУ.

# Газовая турбина

**Газовая турбина** является наиболее сложным элементом ГТУ, что обусловлено в первую очередь очень высокой температурой рабочих газов, протекающих через ее *проточную часть*: температура газов перед турбиной  $1350\text{ }^{\circ}\text{C}$  в настоящее время считается «стандартной», и ведущие фирмы работают над освоением начальной температуры  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . («стандартная» начальная температура для паровых турбин составляет  $540\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Стремление повысить начальную температуру связано, прежде всего, с выигрышем в экономичности, который она дает. Повышение начальной температуры с  $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $1450\text{ }^{\circ}\text{C}$  дает увеличение абсолютного КПД с 32 до 40 %, т.е. приводит к экономии топлива в 25 %.



# Система охлаждения газовой турбины

Для обеспечения длительной работы газовой турбины используют сочетание двух средств:

1— применение для наиболее нагруженных деталей **жаропрочных материалов**, способных сопротивляться действию высоких механических нагрузок и температур;

2— **охлаждение** наиболее горячих деталей.

Для охлаждения большинства современных ГТУ используется воздух, отбираемый из различных ступеней воздушного компрессора.

Уже работают ГТУ, в которых для охлаждения используется водяной пар, который является лучшим охлаждающим агентом, чем воздух.

Охлаждающий воздух после нагрева в охлаждаемой детали сбрасывается в проточную часть газовой турбины. Такая система охлаждения называется **открытой**.

Существуют **замкнутые системы охлаждения**, в которых нагретый в детали охлаждающий агент направляется в холодильник и затем снова возвращается для охлаждения детали. Такая система не только весьма сложна, но и требует утилизации тепла, отбираемого в холодильнике.

# Парогазовые газотурбинные установки

По назначению ПГУ подразделяют на:

- конденсационные;
- теплофикационные.

Первые из них вырабатывают только электроэнергию, вторые — служат и для нагрева сетевой воды в подогревателях, подключаемых к паровой турбине.

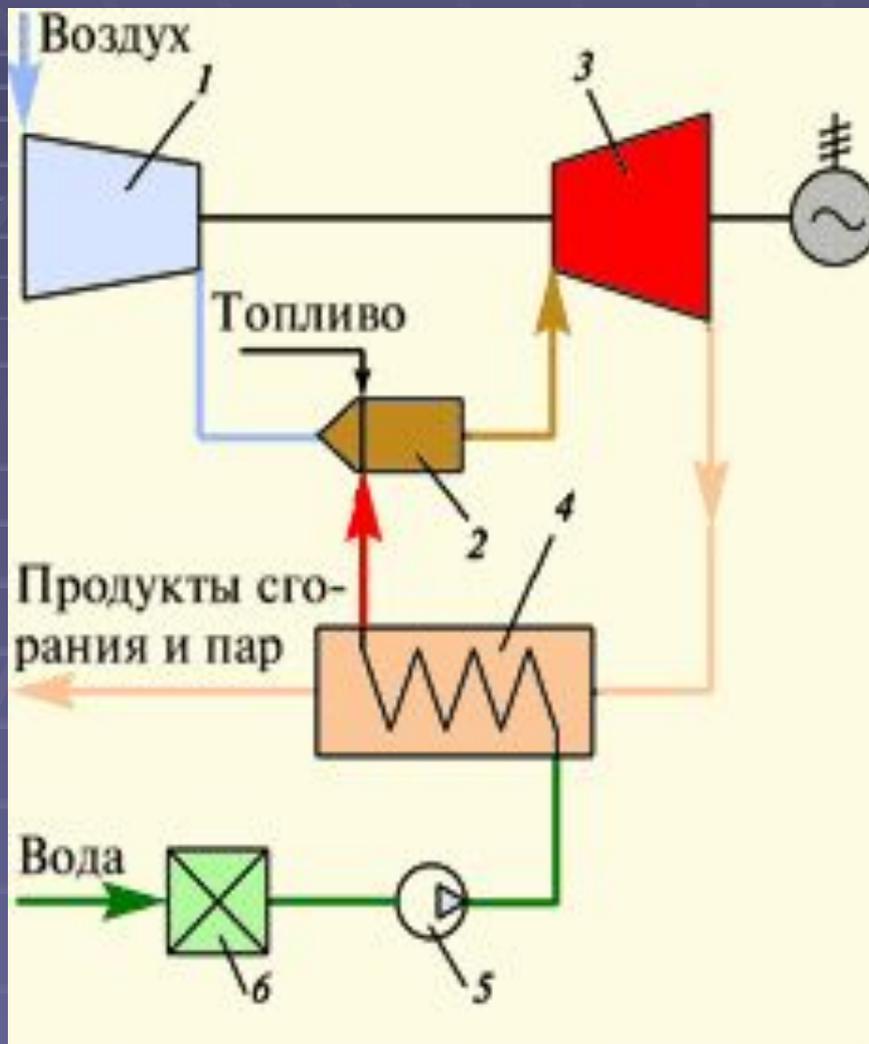
По количеству рабочих тел, используемых в ПГУ, их делят на:

- бинарные;
- Монарные

В бинарных установках рабочие тела газотурбинного цикла (воздух и продукты горения топлива) и паротурбинной установки (вода и водяной пар) разделены.

В монарных установках рабочим телом турбины является смесь продуктов сгорания и водяного пара.

## Схема молярной ПГУ



- 1 — компрессор;
- 2 — камера сгорания;
- 3 — парогазовая турбина;
- 4 — котел-утилизатор;
- 5 — питательный насос;
- 6 — водоподготовительная установка.

# Бинарные ПГУ

Существующие бинарные ПГУ можно разделить на:

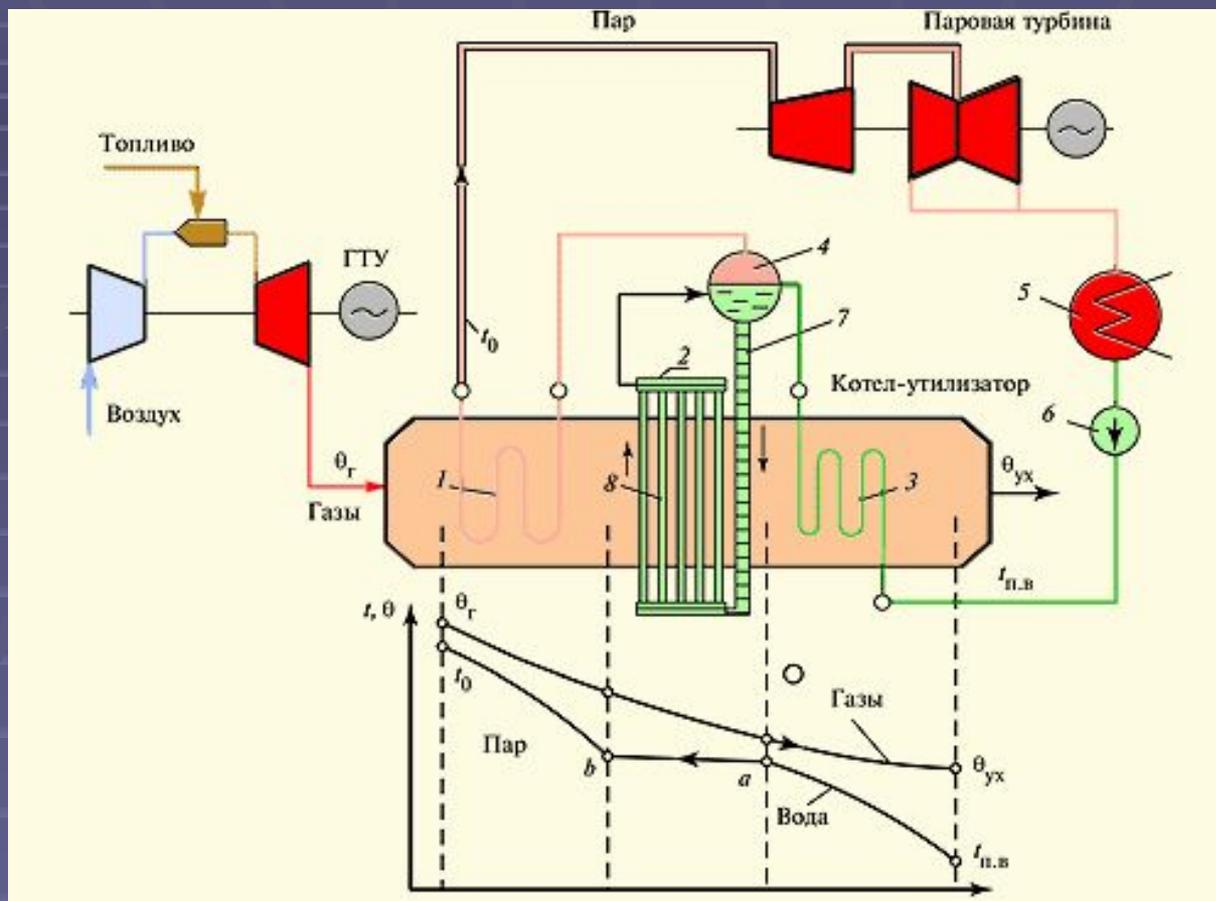
**Утилизационные ПГУ.** В этих установках тепло уходящих газов ГТУ утилизируется в котлах-утилизаторах с получением пара высоких параметров, используемого в паротурбинном цикле. Главными преимуществами утилизационных ПГУ по сравнению с ПТУ являются высокая экономичность (в ближайшие годы их КПД превысит 60 %).

**ПГУ со сбросом выходных газов ГТУ в энергетический котел.** Часто такие ПГУ называют кратко «сбросными», или ПГУ с *низконапорным парогенератором*.

**ПГУ с высоконапорным парогенератором.**

В такой ПГУ высоконапорный парогенератор (ВПГ) играет одновременно роль и энергетического котла ПТУ и камеры сгорания ГТУ. Для этого в нем поддерживается высокое давление, создаваемое компрессором ГТУ.

# Принципиальная схема простейшей ПГУ утилизационного типа



1 — пароперегреватель; 2 — испаритель; 3 — экономайзер; 4 — барабан;  
5 — конденсатор паровой турбины; 6 — питательный насос; 7 — опускная  
труба испарителя; 8 — подъемные трубы испарителя.



## Схема ПГУ с высоконапорным парогенератором

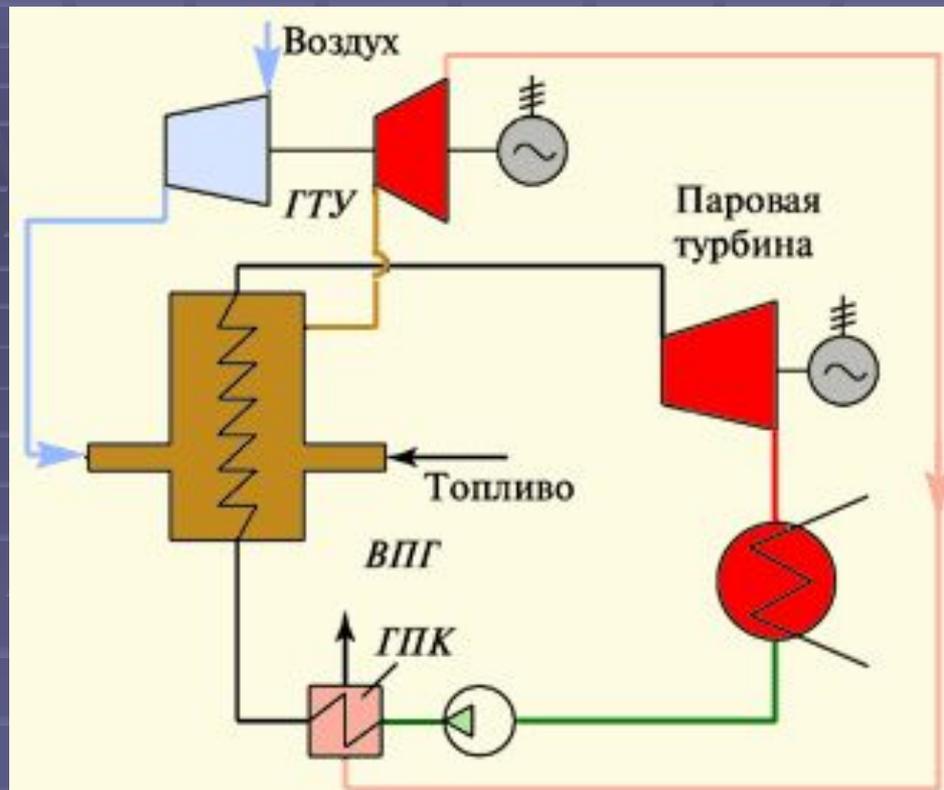


Рис. 8.7. Схема ПГУ с высоконапорным парогенератором