

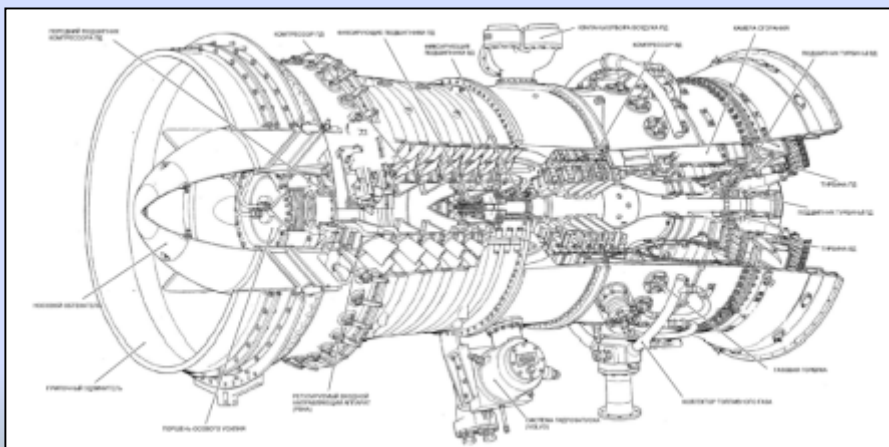
# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Модуль 4** Основные элементы газотурбинных установок: камеры сгорания; компрессоры; турбины

**Тема 2** Особенности конструкции и основные типы камер сгорания ГТУ



Разработчик: к.х.н., доцент каф. ТХНГ Н.В. Чухарева



**Камера сгорания (КС)**- один из самых ответственных и теплонапряженных узлов ГТУ.

В камерах сгорания совершается процесс подвода тепла к рабочему телу в результате протекания реакции горения топливного газа.

### **КС наземных ГТД**

**Межремонтный ресурс  $\approx 25\ 000$  часов**

**Жесткие экологические требования**

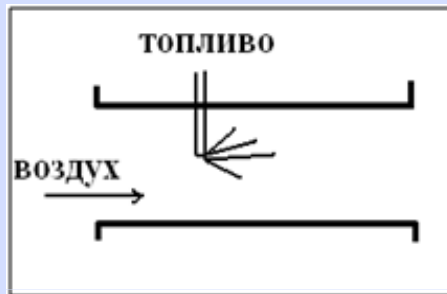
**Общетехнический ресурс  $\approx 1\ 000\ 000$  часов**

**Возможность работы на жидких и газообразных топливах различного качества**

**Удобство технического обслуживания и высокая ремонтпригодность**

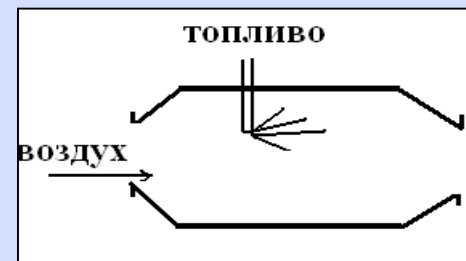
## Конструктивные особенности КС

Камеры сгорания в форме цилиндрической трубы



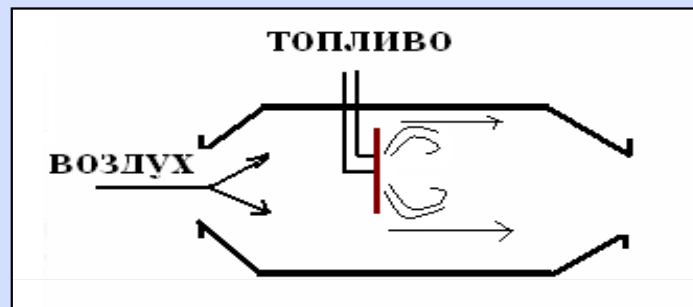
- Нет постоянства давления в зоне горения, часть энергии сжатия, создаваемого компрессором, тратится впустую.
- Нет полноты сгорания топлива.
- Потери давления пропорциональны квадрату скорости воздушного потока

Камеры сгорания в форме диффузора



- Созданы зоны торможения, (снижена скорость воздушного потока вдоль внутренней поверхности КС)
- Нельзя в полной мере регулировать скорость воздушного потока и предотвращать такие процессы, как **отрыв пламени**, что необходимо для поддержания устойчивого процесса горения

## Камеры сгорания с пластинами



С помощью обратных токов создана зона малых скоростей, путем введения в камеру сгорания плохообтекаемых тел – **стабилизаторов**

Для достижения необходимой температуры требуется такое соотношение ТВС, что ее концентрация может превысить верхний предел воспламеняемости (переобогащенное топливо)

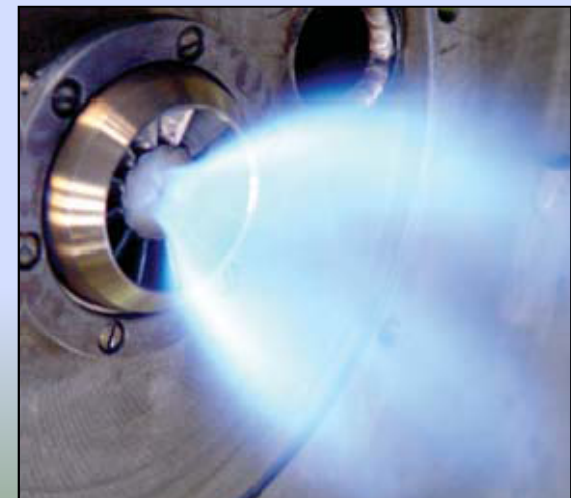
**Проскок пламени** – это перемещение фронта пламени из зоны камеры сгорания внутрь смесительного канала.

При проскоке пламени образуются продукты неполного сгорания топлива.

Скорость выхода газовойоздушной смеси меньше скорости распространения пламени


Понижение давления газа или воздуха

Засорение смесительных каналов



**Отрыв пламени** – это перемещение фронта пламени в направлении движения газовой смеси, сопровождающееся погасанием пламени.

Отрыв приводит к наполнению КС газовой смесью, а затем может произойти хлопок или даже взрыв



Скорость выхода газовой смеси больше скорости распространения пламени

Резкое повышение давления газа или воздуха

Нарушение соотношения расходов газ – воздух

Резкое увеличение разрежения на выходе из КС

Работа КС за верхним пределом производительности, указанным в техническом паспорте

## Защита стенок камер сгорания от прогара

Охлаждение стенок КС одним из компонентов топлива (К.В. Циолковский)

Изготовление стенок КС из термически устойчивых металлов (Ю.В. Кондратюк)

Камеры сгорания типа «труба в трубе» (группа под руководством С.П. Королева)

Камеры сгорания типа «труба в трубе» + перфорированные отверстия (немецкие конструкторы)

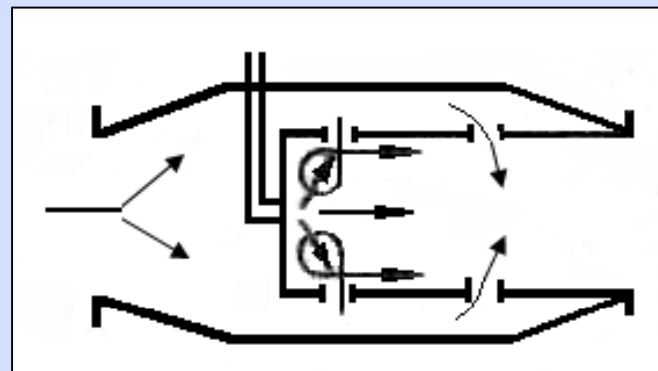


Наружное охлаждение при помощи охладителя (газифицированного кислорода)

Наружное и внутреннее охлаждение

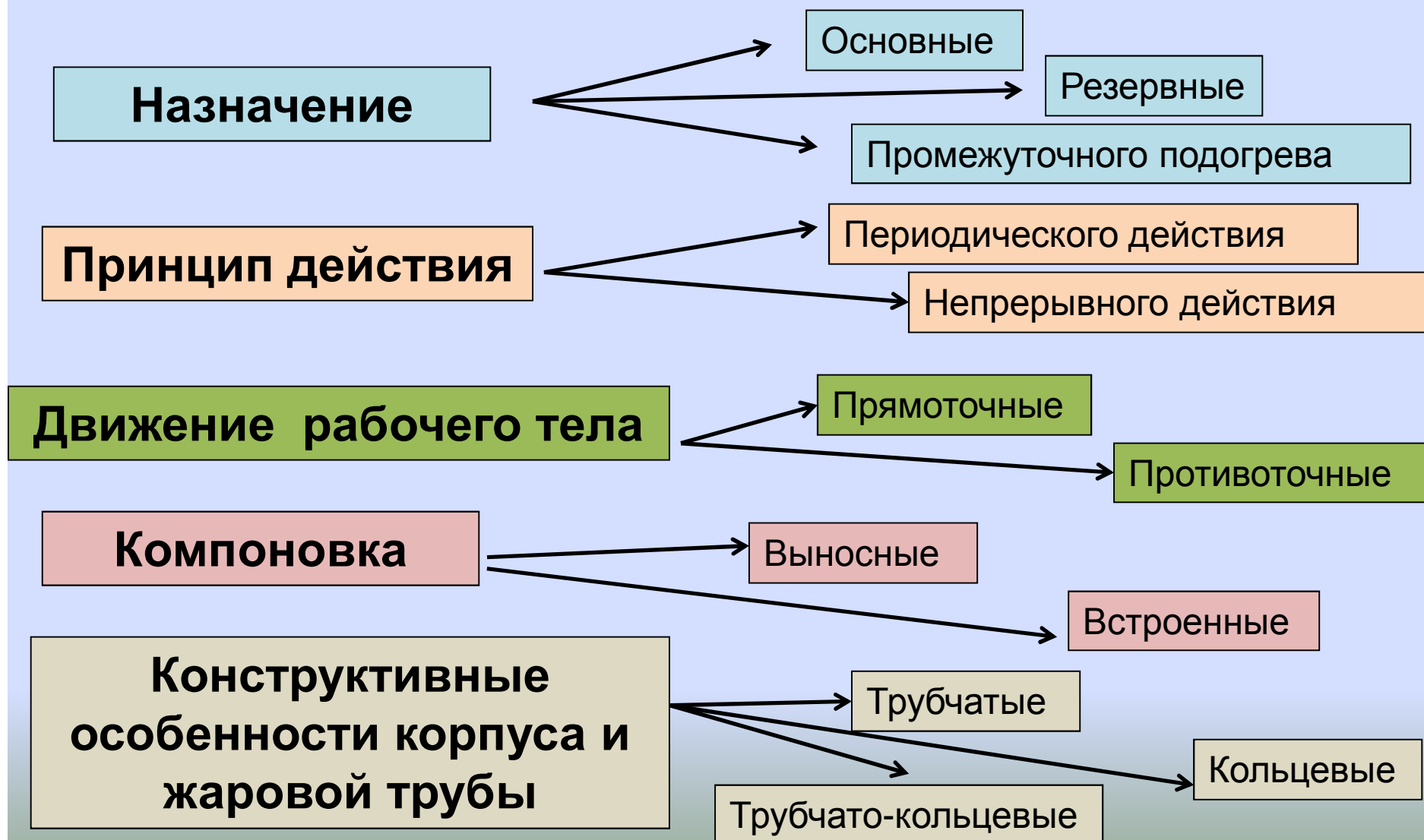


## Камеры сгорания типа «труба в трубе» с внутренними перфорированными отверстиями



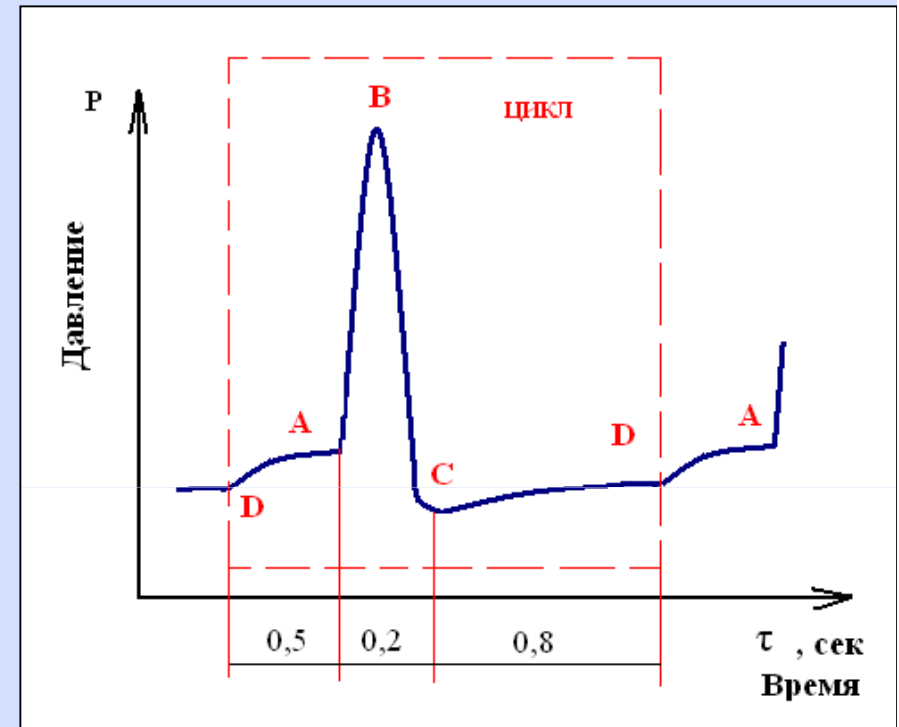
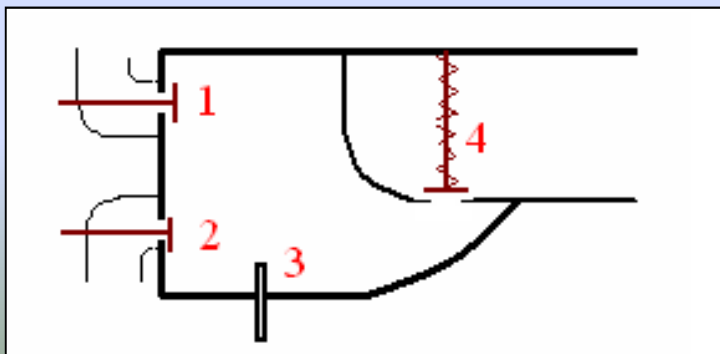


## Классификация камер сгорания



**В периодических КС** процесс горения осуществляется в следующей последовательности:

- *заправка камеры топливно-воздушной смесью,*
- *вспышка,*
- *расширение и продувка (удаление продуктов сгорания)*



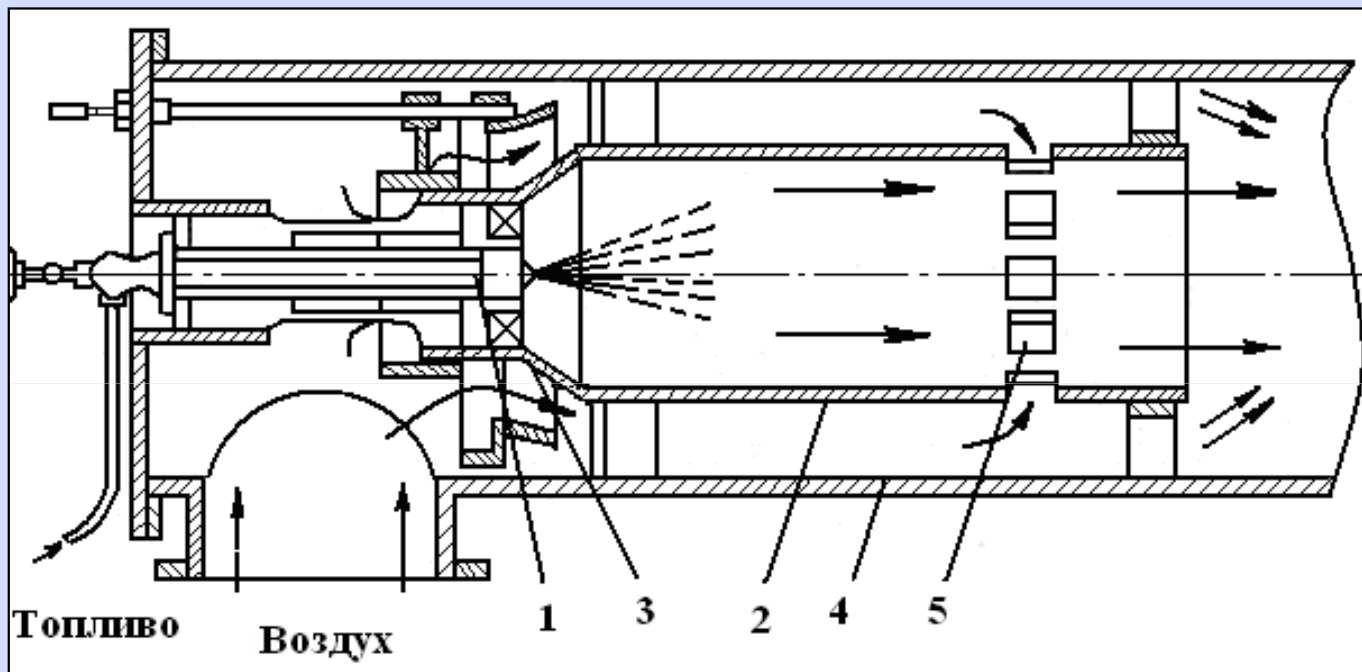
**AB** – вспышка;

**BC** – расширение

**CD** - продувка

**DA** – зарядка.

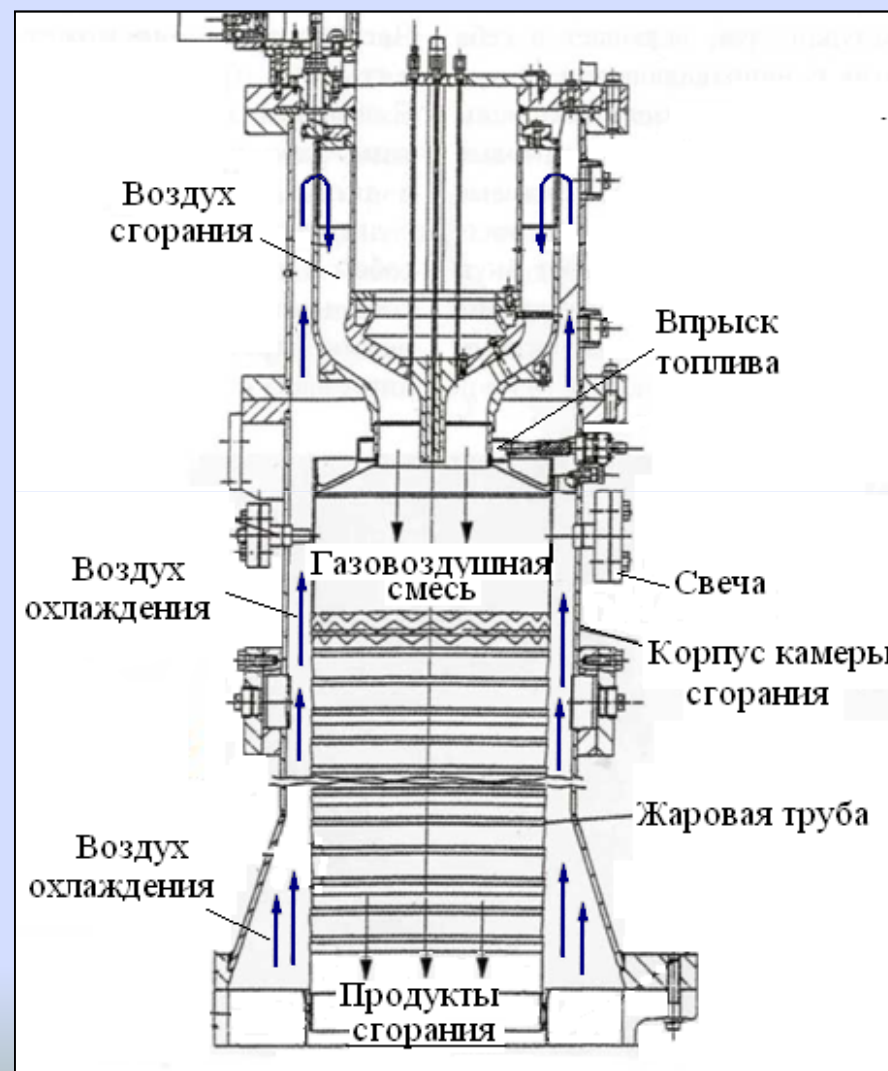
## Камера сгорания непрерывного действия прямоточная



1 – форсунка; 2 – жаровая труба; 3 – завихритель потока;  
4 – корпус камеры сгорания; 5 – отверстия для поступления  
воздуха к продуктам сгорания

**Камера сгорания ГТУ  
итальянской фирмы *Luovo  
Rignon* с противоточным  
конвективным охлаждением  
непрерывного действия**

В прямоточных камерах сгорания потери давления меньше, чем в противоточных.

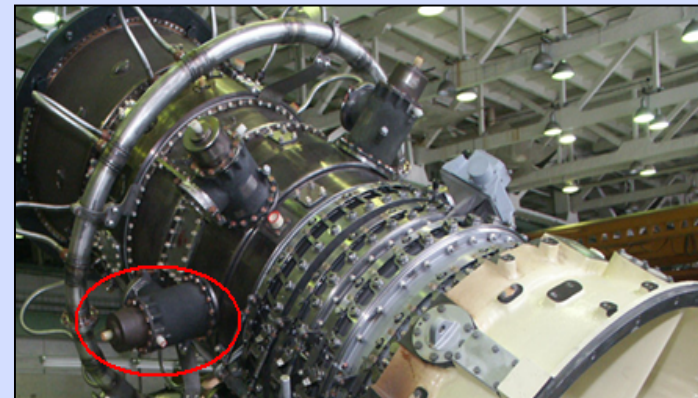


## Выносные камеры сгорания

Устанавливается в отдельном силовом корпусе рядом с турбокомпрессором

Удобно обслуживать, диагностировать и проводить ремонтные работы

Применяется в стационарных ГТУ с регенерацией теплоты отходящих газов, в связи с необходимостью организовать движение потоков воздуха и продуктов сгорания между компрессором и газовой турбиной



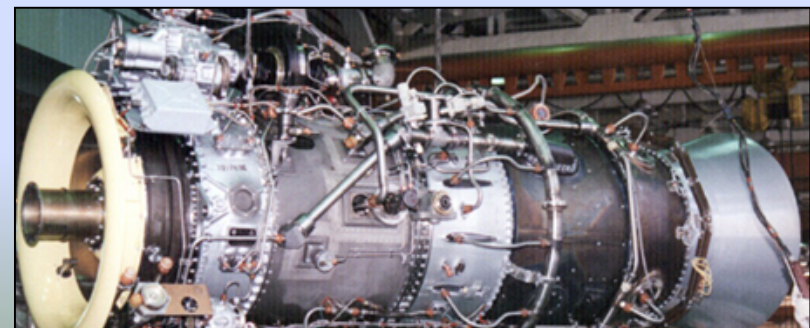
Газосборные каналы продуктов сгорания длиннее, чем у встроенных КС, что позволяет более качественно перемешивать продукты сгорания с охлаждающим воздухом и снижать уровень температурной нагрузки на первую ступень турбины

## Встроенные камеры сгорания

Корпус опирается непосредственно на общий корпус турбокомпрессора или конструктивно с ним совмещён

КС располагается концентрично между компрессором и газовой турбиной, что позволяет значительно уменьшить габариты и массу установки

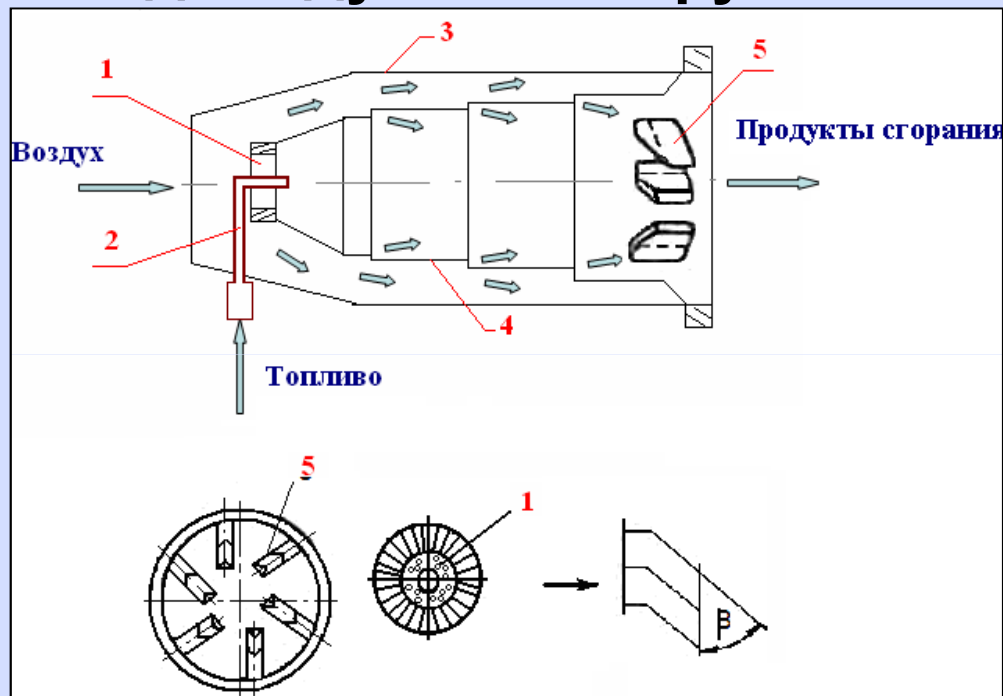
Повышенная блочность конструкции ГТУ





## Трубчатые камеры сгорания

### Индивидуальные трубчатые (цилиндрические)



Воздухонаправляющие устройства (форсунки)



Расход первичного воздуха регулируется в зависимости от расхода топлива поворотом лопаток воздушно-направляющего устройства

Для уменьшения закрутка газового потока на выходе из камеры и для лучшего перемешивания вторичного воздуха с продуктами сгорания к пламенной трубе приварены лопатки



### Характеристика индивидуальных трубчатых КС

- тепловая мощность 3000 кДж/ч
- объемная теплонапряженность  $(20...30) \cdot 10^3$  кВт/м<sup>3</sup>
- давление внутри КС 0,4...0,45 МПа,
- расход воздуха -  $2,5 \cdot 10^5$  м<sup>3</sup>/ч

$$Q = G_T \times Q_H, (1)$$

$$q = \frac{G_T \times Q_H}{V_{КС}} (2)$$

$$q = \frac{G_T Q_H}{V_{КС} P_{вх}} (3)$$

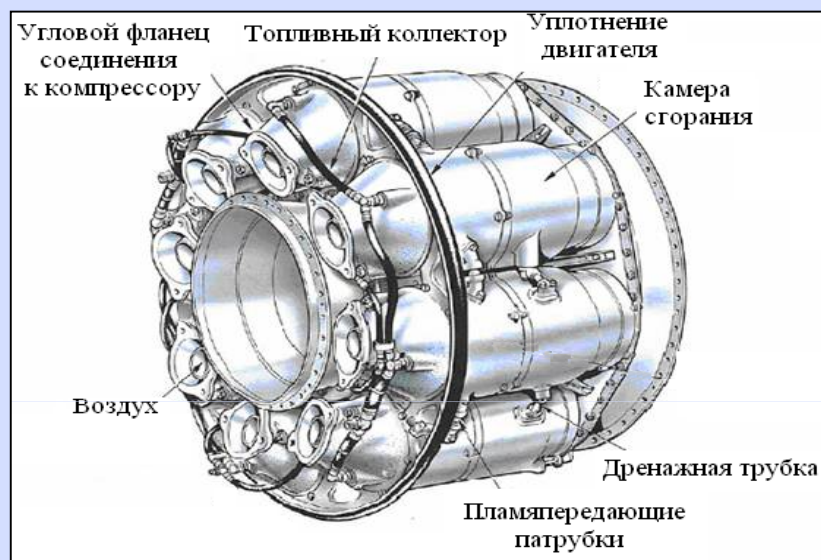
#### Достоинства

Простота конструкции;  
Сравнительно малые потери давления, достигающие 1,5...3,0 %

#### Недостатки

Большая масса и габариты

## Многосекционные трубчатые КС



**Многосекционные камеры сгорания** представляют собой конструкцию, в которой объединено несколько (6...16) параллельно работающих цилиндрических камер (секций), связанные между собой пламяпередающими патрубками

### Недостатки

Большие потери давления до 7,5%  
Высокая объемная теплонапряженность  
(100...160) x 10<sup>3</sup> кВт/м<sup>3</sup>.

### Достоинства

Компактность, обеспечивают высокую полноту сгорания топлива и устойчиво работают в различных эксплуатационных условиях

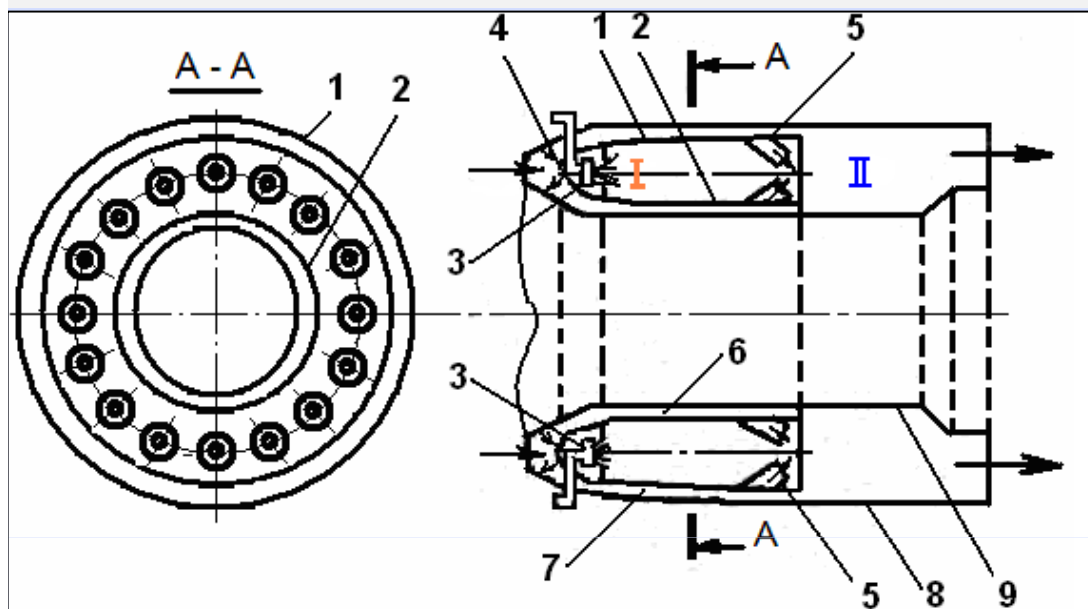
## Кольцевые камеры сгорания

**Кольцевая камера сгорания** образована кольцевым пространством, заключенным между наружным и внутренним корпусами двигателя.

Компактна, входит в силовую схему двигателя, пламя легко распространяется по всей камере



*Прямоточная кольцевая камера сгорания, созданная на базе камеры сгорания авиационного двигателя Р79В-300, с впрыском воды для подавления оксидов азота*



В кольцевых КС зона горения **I** имеет форму кольцевой полости шириной 150...200 мм, которая образуется цилиндрами **1** и **2**.

Два других соосно расположенных цилиндра (**9** и **8**) составляют кожух камеры.

Первичный воздух через воздухоподводящее устройство **4** поступает в зону горения **I**. Вторичный воздух направляется по кольцевым зазорам **6** и **7** к смесительным насадкам **5**, через которые поступает в зону **II**, где смешивается с ПС, понижая тем самым их температуру.

В устройстве **4** на входе в зону горения **I** по всей окружности расположены форсунки **3**. За счет этого обеспечивается хорошее перемешивание топлива с воздухом и горение по всему кольцевому пространству. Число форсунок может достигать **10...20**, но иногда это бывает одна вращающаяся форсунка.

### Достоинства

Более равномерное поле температур газа на выходе;

Более тщательное перемешивание топлива с воздухом

### Недостатки

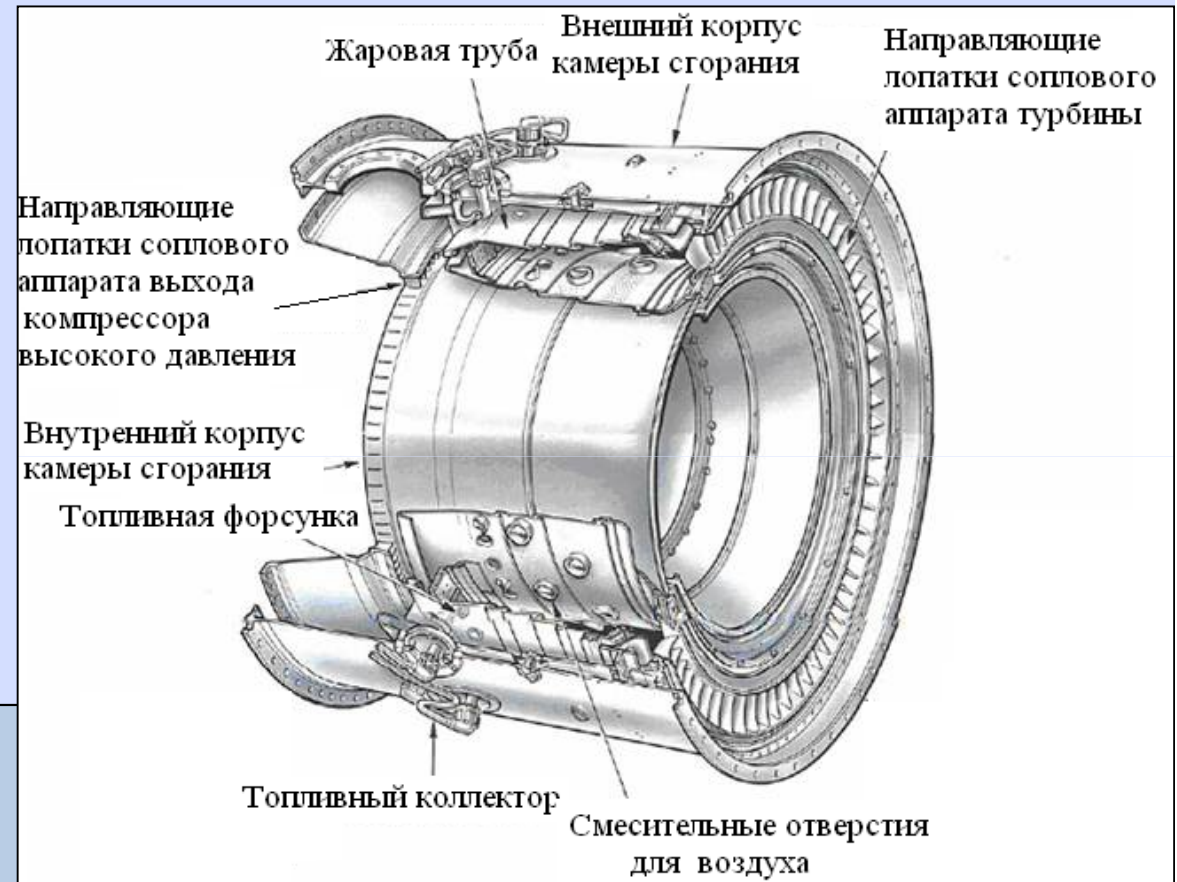
Потери давления - до 10%;

Меньший рабочий объем

Высокая теплонапряженность;

Сложнее в изготовлении;

Труднодоступны для осмотра в ходе эксплуатации

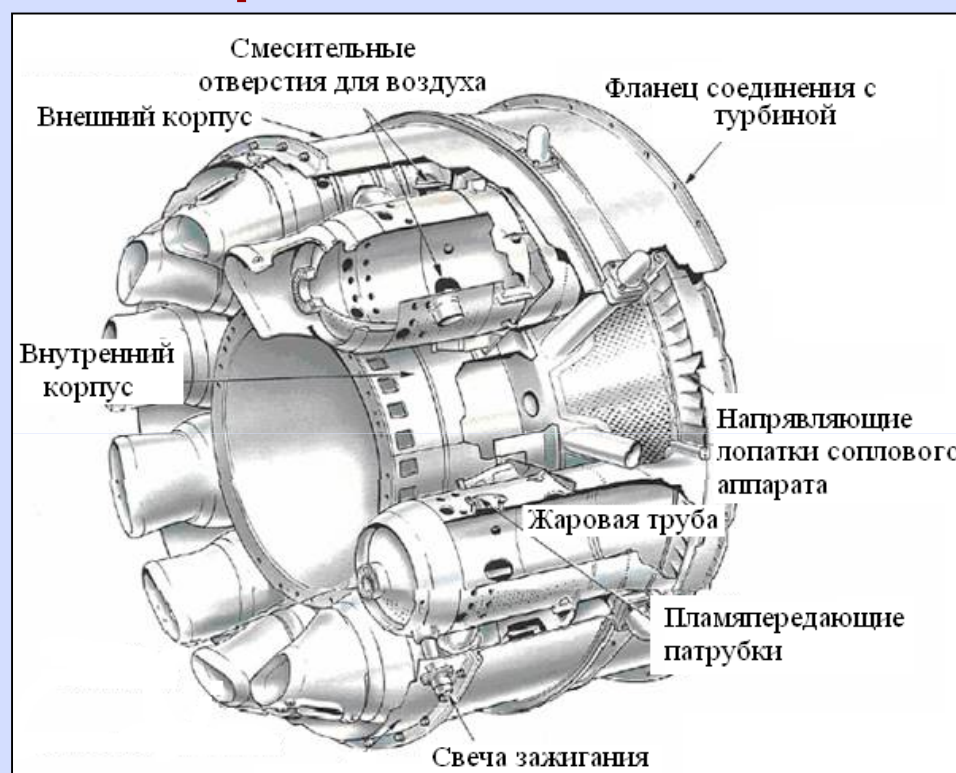




## ТРУБЧАТО-КОЛЬЦЕВЫЕ КС

**В трубчато-кольцевых КС** отдельные жаровые трубы заключены в общий корпус, придающий жесткость всей конструкции.

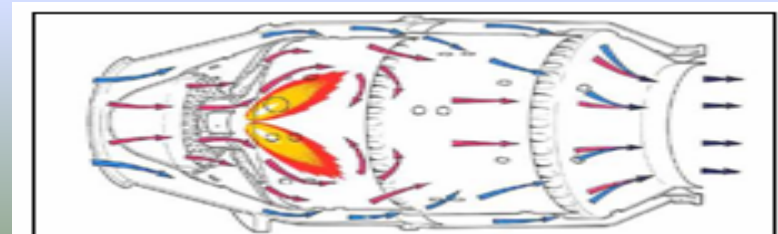
Имеют преимущества трубчатых камер сгорания и свободны от недостатков кольцевых камер сгорания.



- Объемная теплонапряженность и потери давления - как у секционных КС.
- Компактнее кольцевых камер
- Более просты в доводке.
- Небольшие размеры пламенных труб упрощают их изготовление и разборку.

## **ТРЕБОВАНИЯ К КАМЕРАМ СГОРАНИЯ**

- **Высокая устойчивость горения во всем диапазоне эксплуатационных режимов работы двигателя без срывов, опасных пульсаций и затухания пламени;**
- **Максимально-возможная полнота сгорания (экономичность процесса сгорания).**
- **Малые габаритные размеры и небольшой вес камеры сгорания.**
- **Оптимальный закон распределения температуры газов на выходе из камеры сгорания во избежание местных перегревов и повреждений сопел и лопаток.**





## Высокая устойчивость горения

Состав ТВС

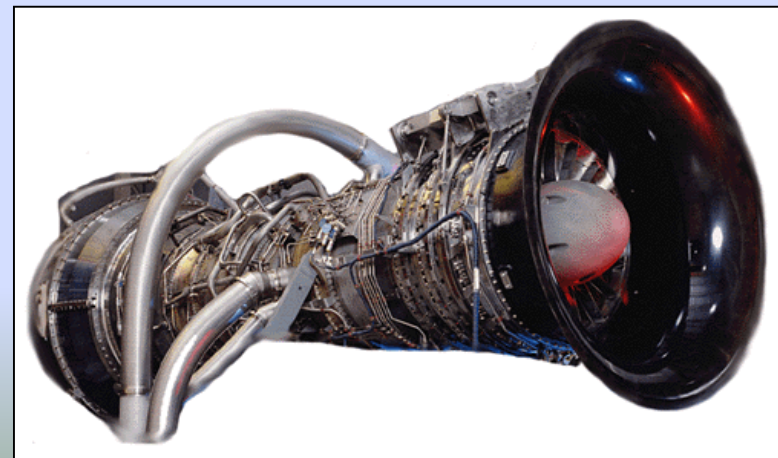
Стабильность  $P$ ,  $T$  и скорость воздуха на входе в КС

Соотношение скоростей распространения пламени и движения ТВС в КС

$\alpha=1$  - смесь «теоретического состава»

$\alpha>1$  – смесь «богатого состава», то есть, обогащена топливом

$\alpha<1$  – смесь «бедного состава».



## Высокая устойчивость горения

Максимальная температура продуктов сгорания наблюдается при значении  $\alpha=1$ , так как при этом выделяется максимальное количество тепла.

При  $\alpha<1$  температура продуктов сгорания на выходе из камеры сгорания уменьшается вследствие охлаждения газов воздухом, не принимающим участие в сгорании.

При значениях  $\alpha>1$  температура продуктов сгорания также уменьшается, но уже по другой причине – из-за неполноты сгорания (в продуктах сгорания присутствует значительное количество недоокисленных соединений).

## **Высокая устойчивость горения**

**Уменьшения давления воздуха**, приводит к уменьшению коэффициента полноты сгорания (снижение скорости горения и ухудшения перемешивания топлива).

**Понижение температуры воздуха** на входе в КС ухудшает время образования ТВС (задержка воспламенения, снижение скорости горения).

При заданном составе смеси **увеличение скорости воздуха** на входе в КС приводит к уменьшению времени пребывания порций свежей топливно-воздушной смеси в зоне обратных токов, что снижает полноту сгорания, а при дальнейшем увеличении скорости воздуха может привести и к срыву пламени.

## Высокая устойчивость горения

Для устойчивого горения смеси **скорость сгорания** должна быть **большей** или **равной** скорости движения топливовоздушной смеси

### Оптимальное распределение температур отходящих газов

Неравномерность полей скоростей воздуха в диффузоре и кольцевых каналах КС

Неравномерность распределения топлива и воздуха в зоне горения

Дискретность подвода воздуха в жаровую трубу

# Благодарю за внимание!

## Перечень рекомендуемой литературы по Модулю 4

### Основная:

- Газотурбинные установки: учебное пособие/ А.В. Рудаченко, Н.В. Чухарева, С.С. Байкин.– Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 139с.
- Динамика и прочность турбомашин: учебник для вузов. / А.Г. Костюк –3/е издание перераб. и дополненное.– М.: Издательский дом МЭИ, 2007 – 476с.

### Дополнительная:

- Газотурбинные технологии. Специализированно-аналитический журнал. Изд-во «Медиа Гранд»

