



Камеры сгорания газотурбинных двигателей и эмиссия вредных веществ

Относится к циклу специальных дисциплин и изучает основы теории горения, организацию рабочего процесса в камерах сгорания ГТД, характеристики КС, способы учета и снижения эмиссии вредных веществ, расчет камер сгорания .

Кафедра «Авиационные двигатели»

Автор:

доцент, кандидат технических наук ГРИГОРЬЕВ Андрей Алексеевич

E-mail [kaf-ad @ sp1.pstu.ac.ru](mailto:kaf-ad@sp1.pstu.ac.ru).

Трудоемкость	– 144 часа
Лекционные занятия	– 22 часа
Лабораторные занятия	– 18 часов
КСР	– 4 часа
Самостоятельная работа	– 104 часов

ЦЕЛЬ КУРСА

Передать студенту специальные знания по камерам сгорания ГТД и эмиссии вредных веществ и научить использовать эти знания в области проектирования, производства и эксплуатации газотурбинных двигателей для наземного применения;

ЗАДАЧИ КУРСА:

Основной задачей изучения дисциплины является:

Получение совокупности знаний, умений и навыков для проведения газодинамического анализа, расчета параметров и проектирования камер сгорания ТВАД при различных условиях эксплуатации.

ФОРМЫ КОНТРОЛЯ:

- Текущий контроль качества процесса обучения (тестирование, защита отчетов по ЛР, самоконтроль студентов);
- Итоговый экзамен.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Мультимедийные лекции;
- Программное обеспечение для расчетов камер сгорания ГТД.

СТРУКТУРА КУРСА:

■ Раздел 1. *Понятие о процессах горения и особенности схем основных камер сгорания ГТД*

- темы:** - *основные положения;*
- *типы основных КС ГТД и применяемые в них топлива;*

■ Раздел 2. *Организация процесса горения в КС ГТД*

- темы:** - *организация горения в основных КС ГТД;*
- *топливные форсунки и потери в КС ГТД;*
- *организация горения в форсажных камерах сгорания.*

■ Раздел 3. *Характеристики КС и эмиссия вредных веществ*

- темы:** - *эксплуатационные характеристики КС ГТД;*
- *эмиссия вредных веществ в КС ГТД;*
- *снижение эмиссии окислов азота в перспективных КС;*
- *реализация способов снижения эмиссии NO_x.*

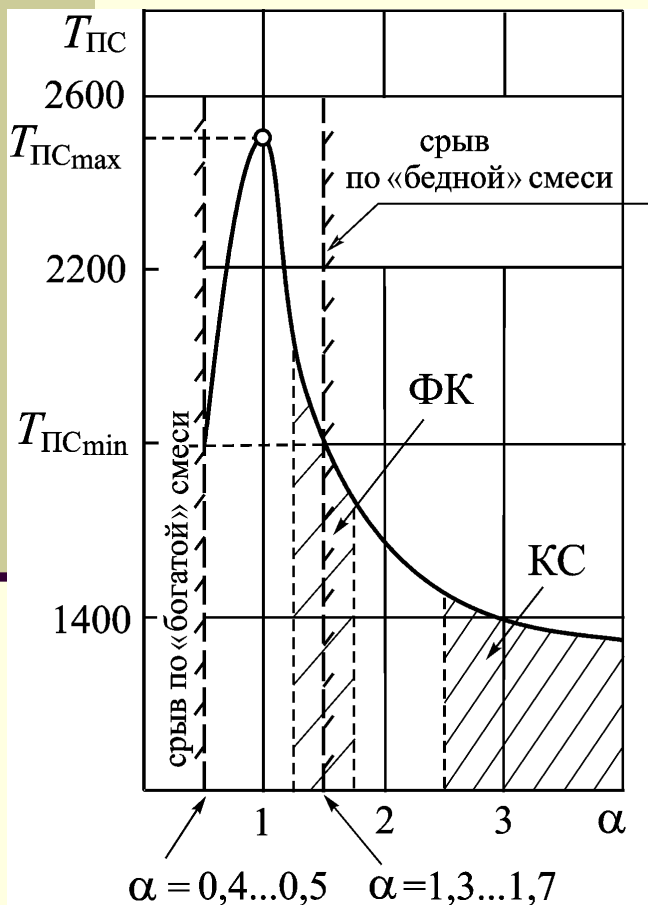
■ Раздел 4. *Расчет камер сгорания ГТД*

- темы:** - *расчетное определение облика КС ГТД;*
- *расчет основных параметров КС ГТД.*

Раздел 1. Понятие о процессах горения и особенности схем камер сгорания ГТД

Цель: Сформировать представление об основных понятиях, характеризующих процесс горения в камерах сгорания

Зависимость $T_{\text{ПС}}(\alpha)$



Теплонапряженность

$$Q_{\text{КС}} = \frac{Q_{\text{КС}}}{V_{\text{КС}} p_{\text{К}}^*} = 3600 \frac{M_{\text{T}} H_u}{V_{\text{КС}} p_{\text{К}}^*} \eta_{\text{Г}}$$

L_0 – стехиометрический коэффициент;

$\alpha = L/L_0$ – коэффициент избытка воздуха;

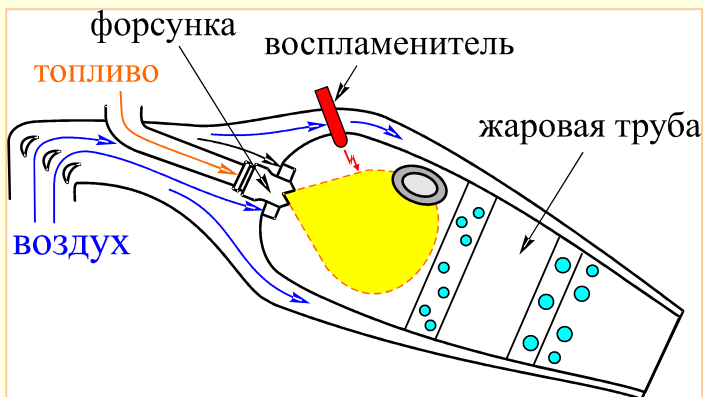
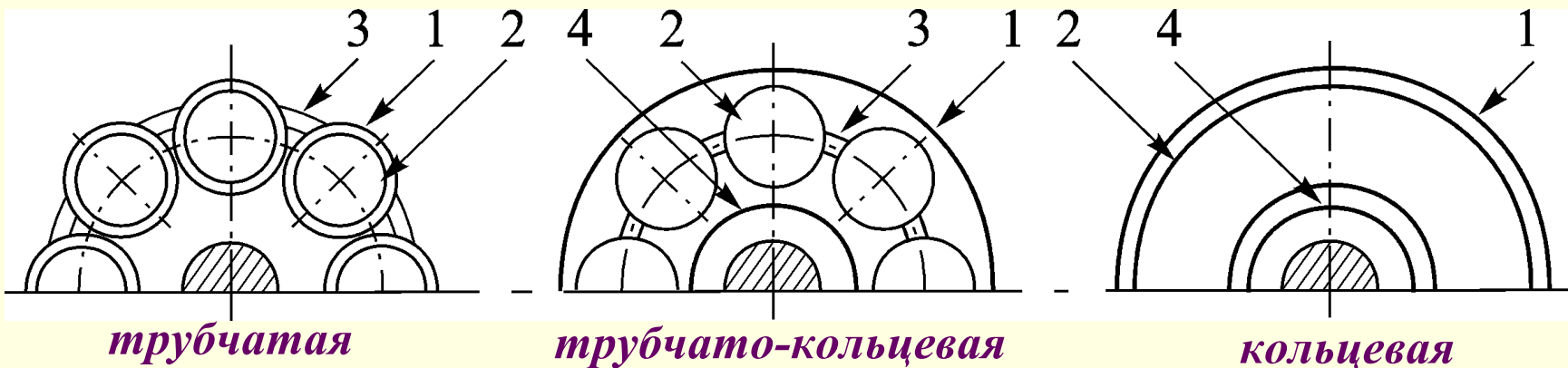
H_u – теплотворная способность топлива;

$\eta_{\text{Г}}$ – коэффициент полноты сгорания;

Раздел 1. Понятие о процессах горения и особенности схем камер сгорания ГТД

Цель: Сформировать представление об основных понятиях, характеризующих процесс горения в камерах сгорания

Компактовочные схемы КС



Индивидуальная КС

Состав КС:

- 1 – наружный корпус;
- 2 – жаровая труба;
- 3 – пламенеребрасывающий патрубков;
- 4 – внутренний корпус.

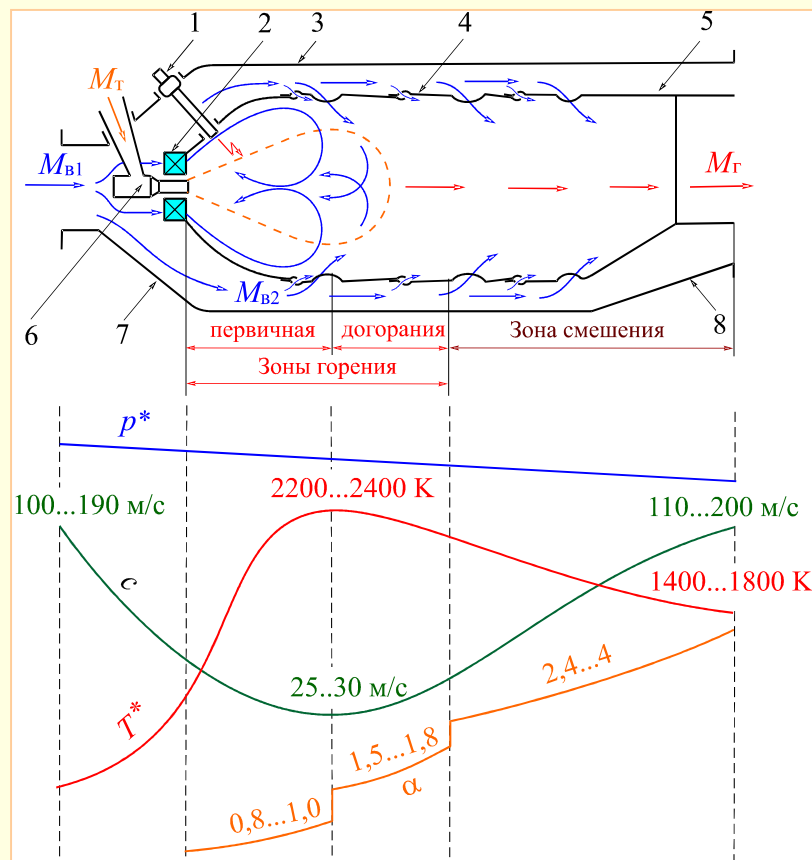
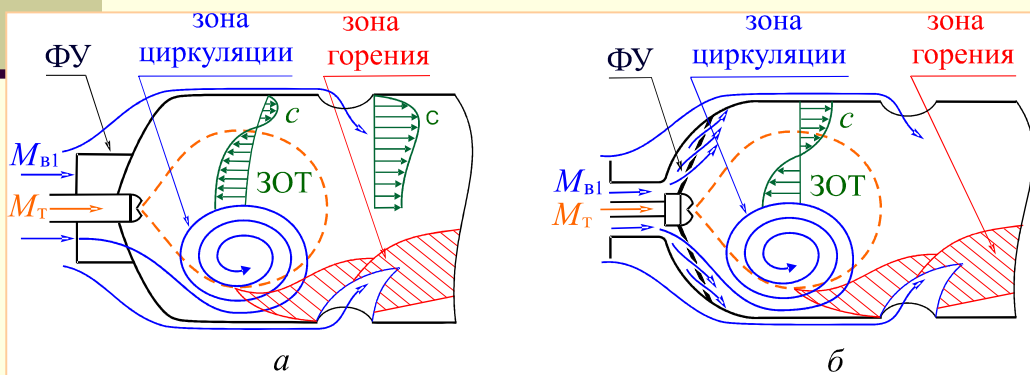
Раздел 2. Организация горения в КС ГТД

Цель: Сформировать представление о мероприятиях по организации устойчивого горения и причинах потерь полного давления в КС ГТД

Организация горения в основных КС ГТД

Мероприятия:

- ступенчатый подвод воздуха в жаровую трубу;
- предварительное торможение потока в диффузоре;
- стабилизация пламени за счет создания зоны обратных токов.

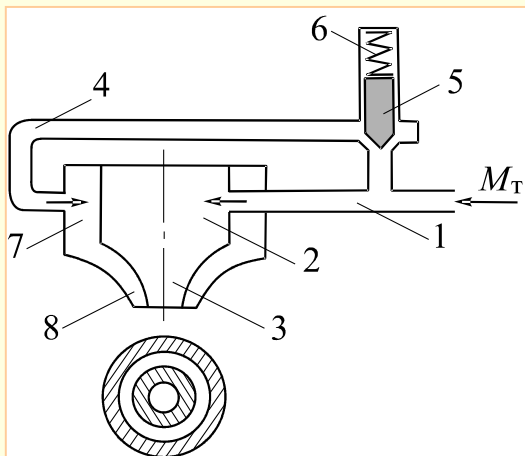


Типы фронтных устройств

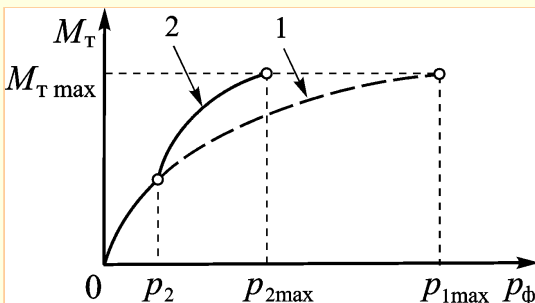
Раздел 2. Организация горения в КС ГТД

Цель: Сформировать представление о мероприятиях по организации устойчивого горения и причинах потерь полного давления в КС ГТД

Топливные форсунки



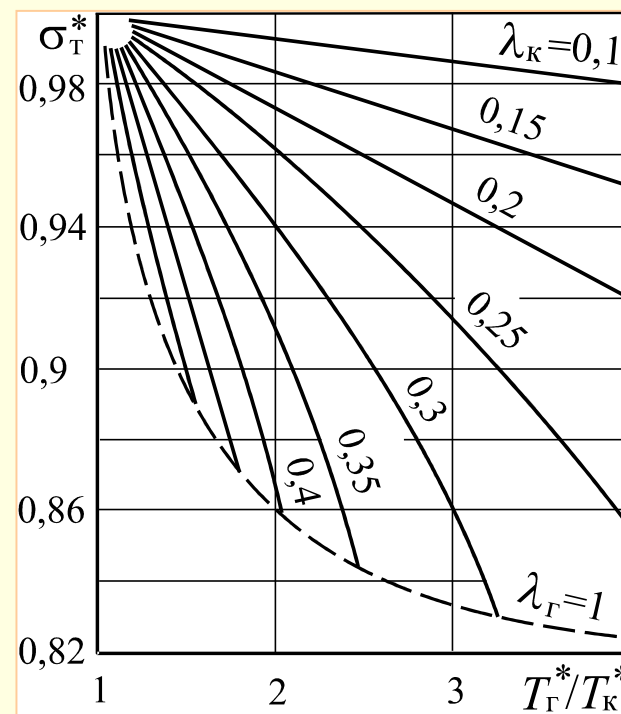
Двухступенчатая центробежная форсунка



Расходная характеристика

Потери полного давления

$$\sigma_{КС}^* = \sigma_T^* \sigma_{гидр}^* \sigma_{смеш}^*$$

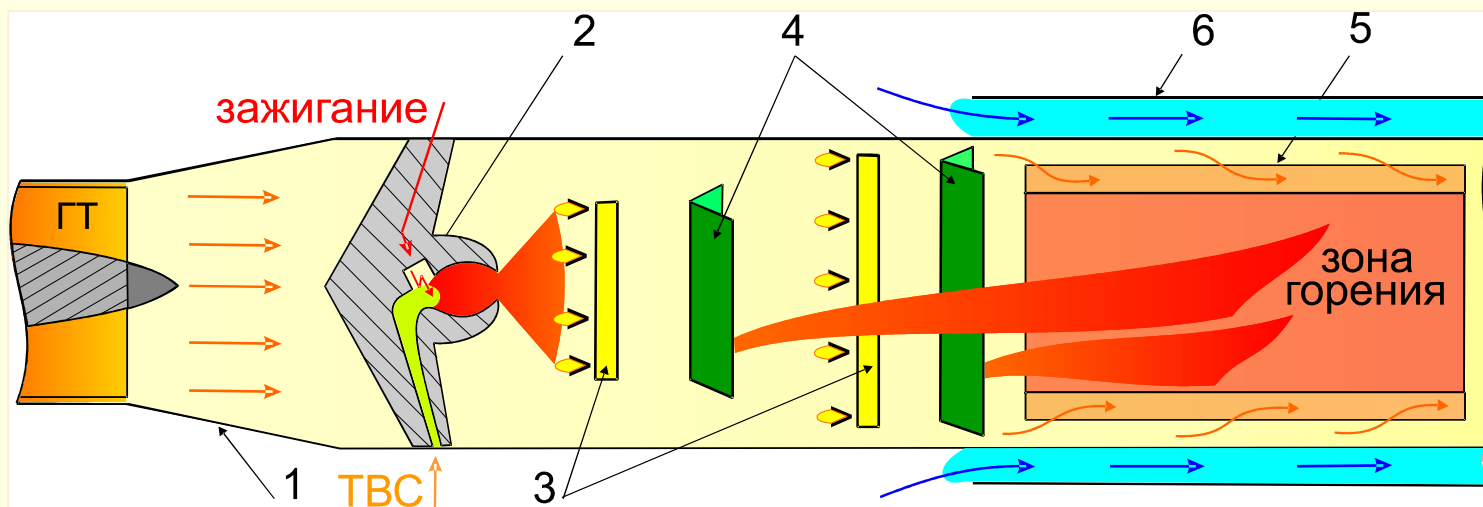


Зависимость $\sigma_T^*(T_Г^*/T_К^*, \lambda_к)$

Раздел 2. Организация горения в КС ГТД

Цель: Сформировать представление о мероприятиях по организации устойчивого горения и причинах потерь полного давления в КС ГТД

Организация горения в форсажной камере сгорания ГТД

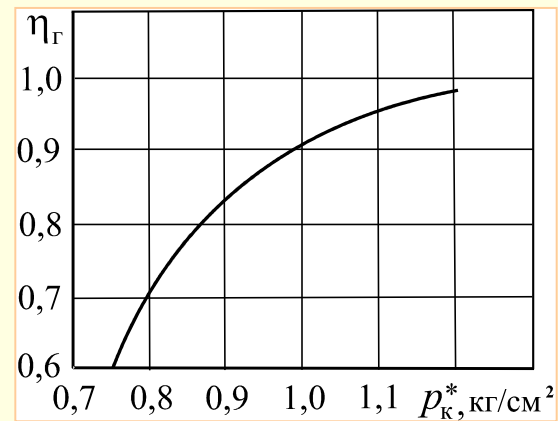
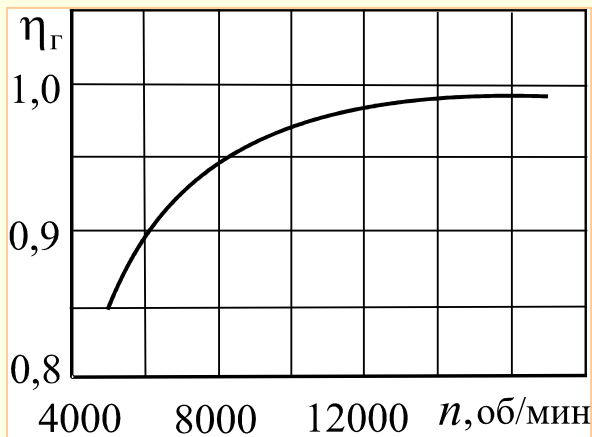
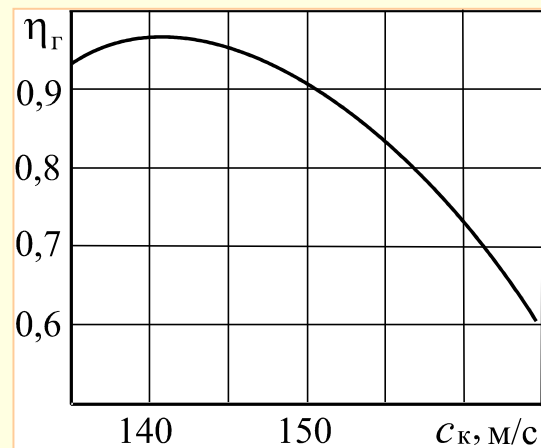
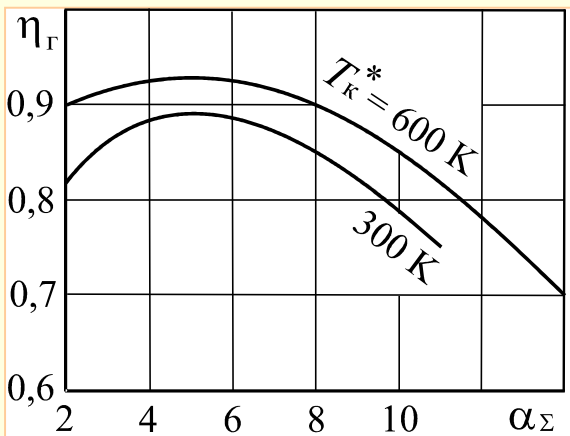


Состав ФК: **1** - диффузор; **2** - воспламенитель;
3 - топливные коллекторы с форсунками;
4 - стабилизаторы пламени;
5 - тепло и виброзащитный экран;
6 - теплозащитный кожух (капот).

Раздел 3. Характеристики КС и эмиссия вредных веществ

Цель: Сформировать представление о протекании характеристик КС ГТД, а так же мерах учета и снижения эмисии вредных веществ

Характеристики КС ГТД: $\eta_{\Gamma}(\alpha, T_{\text{к}}^*, p_{\text{к}}^*, c_{\text{к}}^*)$



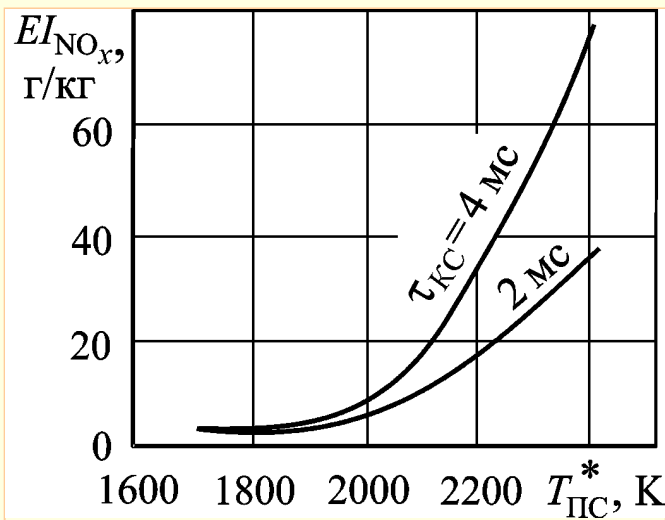
Раздел 3. Характеристики КС и эмиссия вредных веществ

Цель: Сформировать представление о протекании характеристик КС ГТД, а так же мерах учета и снижения эмиссии вредных веществ

Вредные вещества:

- окись углерода CO (угарный газ);
- углеводородные соединения C_xH_y ;
- окислы азота NO_x ;
- дым C (частицы углерода)

Условия эмиссии NO_x



Критерий оценки эмиссии

EI_j – индекс эмиссии

Количество j -го вредного вещества в граммах, выделившееся при сгорании 1 кг топлива

$EI_{CO}, EI_{C_xH_y}$ уменьшается с $\uparrow \eta_{\Gamma}$

$(EI_{CO}, EI_{C_xH_y})_{\min}$ при $T_{\Gamma.\max}^*, \pi_{к.\max}^*$

EI_{NO} уменьшается с $\downarrow T_{ПС}^*, \downarrow \tau_{КС}$

$EI_{NO_{\min}}$ при $T_{\Gamma.\min}^*, \pi_{к.\min}^*$

Раздел 3. Характеристики КС и эмиссия вредных веществ

Цель: Сформировать представление о протекании характеристик КС ГТД, а так же мерах учета и снижения эмиссии вредных веществ

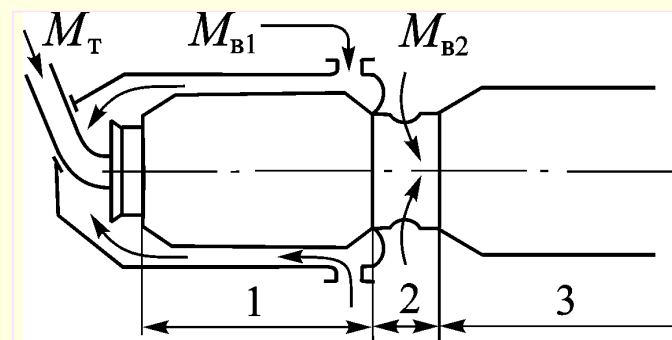
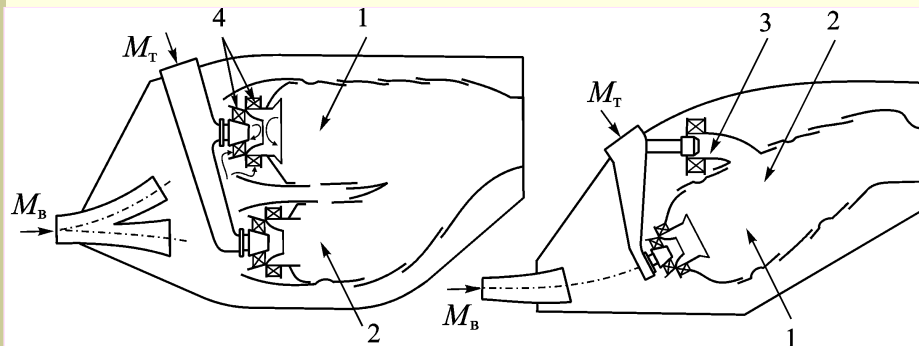
Снижение выбросов окислов азота в перспективных КС

1. **Концепция LPP.** Основана на низкотемпературном ($T_{пс} < 1800$) сжигании предварительно перемешанной гомогенной (однородной по α) бедной ТВС.
2. **Концепция RQQL.** Основана на низкотемпературном ($T_{пс} < 1800$) сжигании богатой ТВС, быстром смешении с оставшимся воздухом и дожиганием бедной ТВС.
3. **Впрыск воды или пара в КС.** Снижение температуры в зоне горения при диффузионном горении в КС.
4. **Каталитические КС.** Окисление молекул топлива при температурах ниже бедной границы воспламенения ($T_{пс} = 1200...1500$ K)
5. **Селективное каталитическое восстановление.**

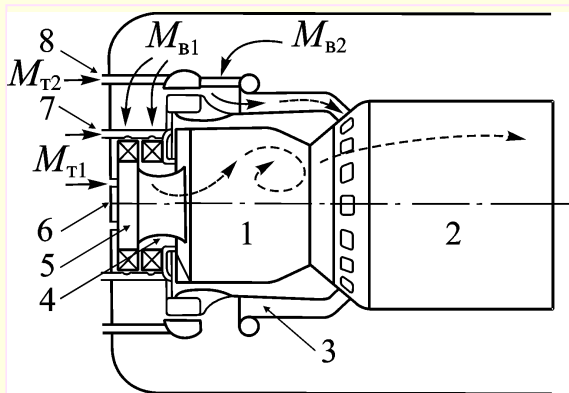
Раздел 3. Характеристики КС и эмиссия вредных веществ

Цель: Сформировать представление о протекании характеристик КС ГТД, а так же мерах учета и снижения эмиссии вредных веществ

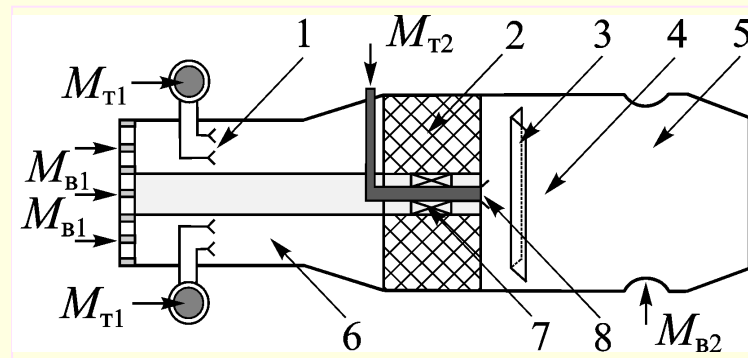
Реализация способов снижения эмиссии окислов азота



Кольцевые КС концепции LPP



КС концепции RQQL



Трубчатая КС концепции LPP

Схема каталитической КС

Раздел 4. Расчет камер сгорания ГТД

Цель: *Сформировать представление о методике расчета камер сгорания*

Расчетное определение облика КС ГТД

Целью конструкторского расчета является получение конструктивного облика КС:

- 1. Расчет входных и выходных геометрические параметров камеры сгорания;*
- 2. Расчет геометрических параметров диффузора;*
- 3. Расчет проточной части камеры сгорания.*

Целью поверочного расчета является определение параметров потока при заданной геометрии КС с целью оптимизации конструкции жаровой трубы.

Раздел 4. Расчет камер сгорания ГТД

Цель: *Сформировать представление о методике расчета камер сгорания*

Расчет основных параметров КС ГТД

- 1. Определение скорости потока и скорости истечения струй в жаровую трубу;*
- 2. Расчет распределения воздуха по длине жаровой трубы;*
- 3. Определение характерных размеров выносной жаровой трубы;*

Расчет характеристик камеры сгорания