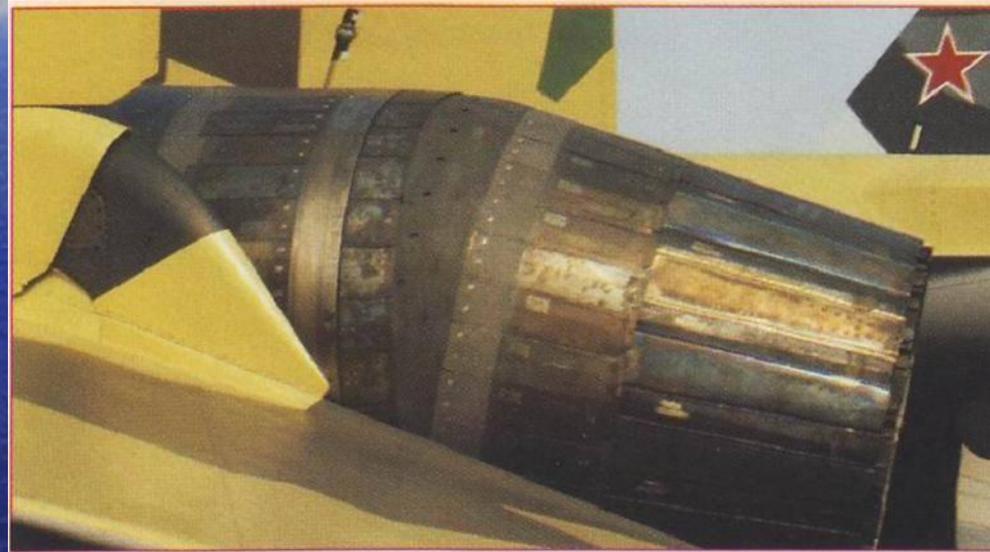
The background of the slide features a serene sunset over a vast ocean. The sky is a deep, vibrant blue, transitioning to a lighter, hazy blue near the horizon. A soft, multi-colored rainbow is visible on the left side, arching over the water. The ocean's surface is textured with gentle ripples, reflecting the colors of the sky. The overall atmosphere is calm and natural.

Выхлопное устройство Сопловой аппарат

Сопловой аппарат Су-27



Сопла с изменяемым вектором тяги, которыми оснащены все самолеты Су-27 придают машине исключительную маневренность, и прежде всего позволяют отклонять нос от направления полета на длительные периоды времени. Вектор тяги отклоняется на $\pm 15^\circ$ в вертикальной плоскости.

Сопло выполняет две основные функции:

- служит для преобразований тепловой и потенциальной энергии газа в кинетическую энергию вытекающей струи, т.е. для увеличения динамического импульса газовой струи на выходе из двигателя и, соответственно, для увеличения тяги;
- Обеспечивает заданную пропускную способность (определенное противодавление) на выходе из двигателя, тем самым с помощью сопла согласовываются режимы работы турбины и компрессора.
- Диффузорное выходное устройство служит для уменьшения давления за турбиной, т.е. для повышения теплоперепада на турбине и, соответственно увеличение мощности двигателя.

- **Выходное устройство ГТД** - Часть газотурбинной силовой установки, включающая реактивное сопло, реактивное сопло с шумоглушителем, отклоняющее устройство реактивного сопла со средствами его регулирования, сопло ТВД
- **Реактивное сопло ГТД** - Устройство, в канале переменного сечения которого происходит ускорение потока воздуха или газа с целью создания реактивной тяги
- **Суживающееся реактивное сопло** - Реактивное сопло ГТД, поперечное сечение которого уменьшается в направлении движения потока газа
- **Суживающееся-расширяющееся реактивное сопло** - Реактивное сопло ГТД, поперечное сечение которого в направлении движения потока газа сначала уменьшается, а затем увеличивается
- **Сверхзвуковое реактивное сопло** - Реактивное сопло ГТД, предназначенное для ускорения потока газа до сверхзвуковой скорости
- **Коническое сверхзвуковое реактивное сопло**
- **Реактивное сопло с центральным телом** - Реактивное сопло ГТД, кольцевой канал которого образован центральным телом и

- **Осесимметричное реактивное сопло** - Сопло, поверхность которого со стороны потока газа (воздуха) является осесимметричной
- **Неосесимметричное реактивное сопло** - Реактивное сопло ГТД, не имеющее оси симметрии
- **Плоское реактивное сопло** - Реактивное сопло ГТД, две боковые стенки которого параллельны друг другу и любое поперечное сечение имеет прямоугольную форму
- **Поворотное реактивное сопло** - Реактивное сопло ГТД, которое может поворачиваться для изменения направления вектора тяги
- **Нерегулируемое реактивное сопло** - Реактивное сопло ГТД, размеры критического и выходного сечений которого не изменяются при изменении режимов работы двигателя
- **Регулируемое реактивное сопло** - Реактивное сопло ГТД, размеры критического и выходного сечений которого изменяются при изменении режимов его работы



Регулируемые сопла

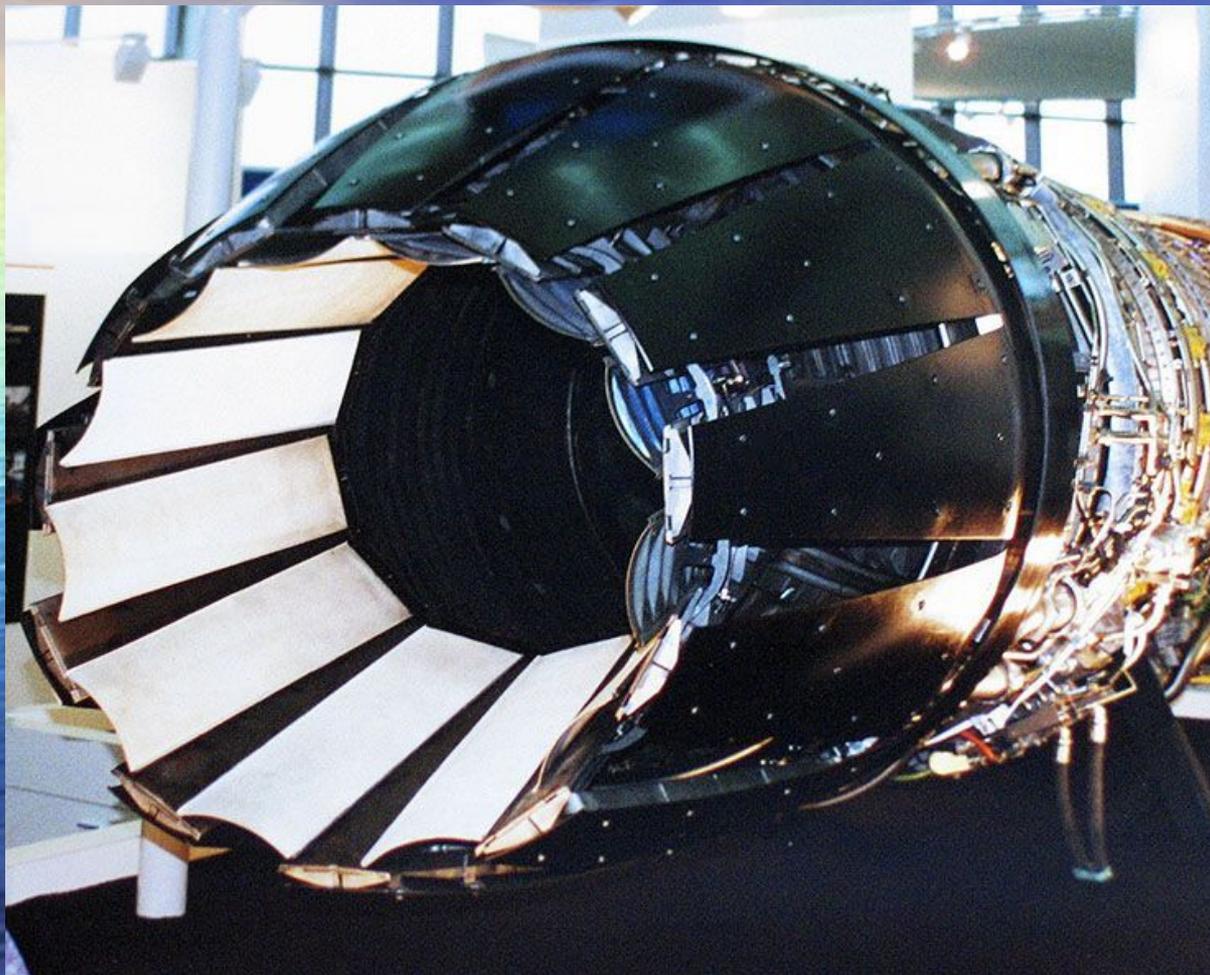


РД, скорость истечения реактивной струи в которых может быть как дозвуковой, так и сверхзвуковой на различных режимах работы двигателей, оборудуются регулируемыми соплами. Эти сопла состоят из продольных элементов, называемых *створками*, подвижных относительно друг друга и приводимых в движение специальным приводом, как правило гидравлическим или механическим, позволяющим по команде пилота или автоматической системы управления двигателем изменять геометрию сопла. При этом изменяются размеры критического (самого узкого) и выходного сечений сопла, что позволяет оптимизировать работу двигателя при полётах на разных скоростях и режимах работы двигателя. Регулируемые сопла применяются в основном в военной авиации на ТРД и ТРДД с форсажной камерой



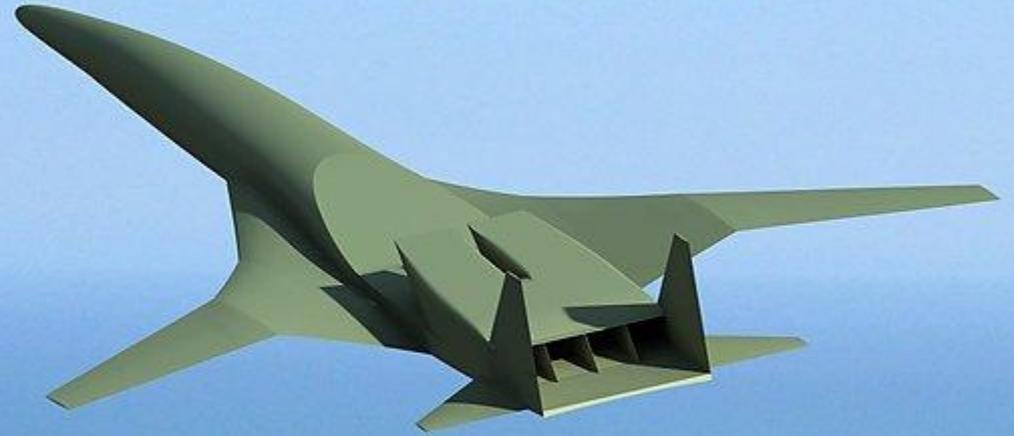
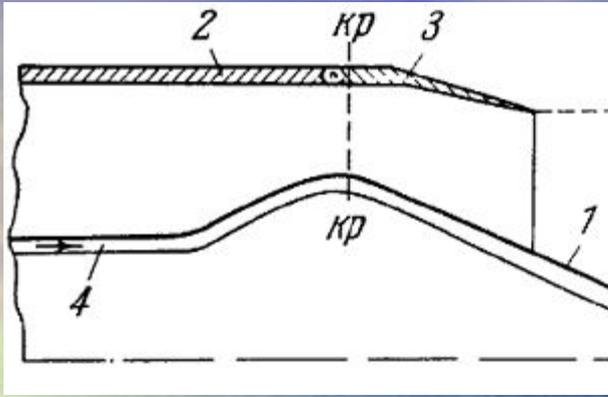
F-16 Fighting Falcon

Управление вектором тяги (УВТ) / Отклонение вектора тяги (ОВТ)



Специальные поворотные сопла, на некоторых ТРДД, позволяют отклонять истекающий из сопла поток рабочего тела относительно оси двигателя. ОВТ приводит к дополнительным потерям тяги двигателя за счёт выполнения дополнительной работы по повороту потока и усложняют управление самолётом. Но эти недостатки полностью компенсируются значительным повышением маневренности и сокращением разбега самолёта при взлете и пробега при посадке, до вертикальных взлета и посадки включительно. ОВТ используется исключительно в военной авиации.

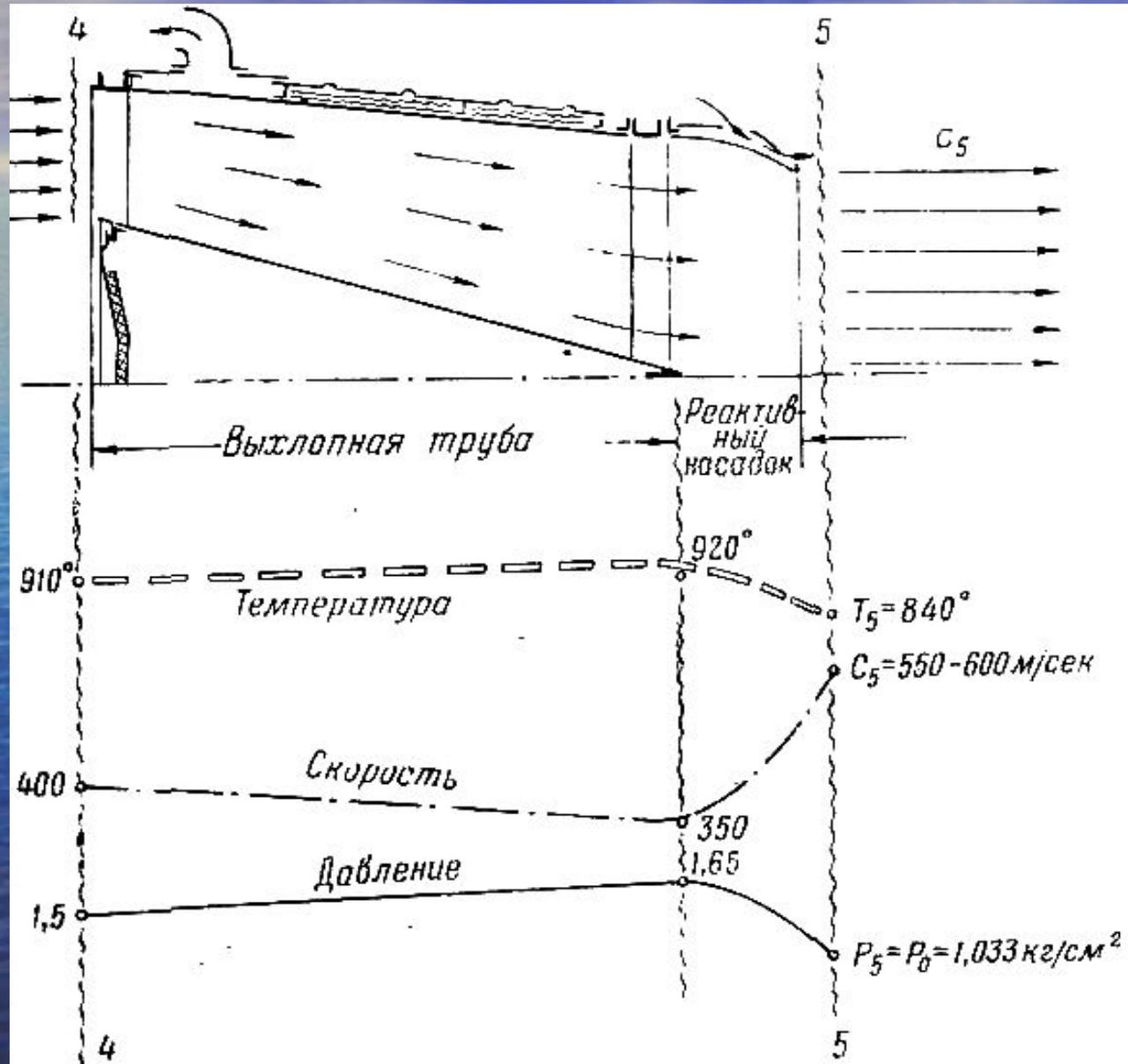








Изменение параметров газа в выхлопной трубе и реактивном насадке



Реверс тяги

- *Реверс тяги изменение направления вектора тяги на противоположное необходим для уменьшения длины пробега самолета при посадке на аэродроме или при прерванном взлете и повышения маневренности летательных аппаратов военных и спортивных в воздухе*

Гидроавиационные винты в системе питания ионизирующей радиацией, от которых Ан-12 продолжают использоваться для снабжения полярных экспедиций. Этот самолет был сфотографирован в Астанине, где располагается завод по производству винтов, который занимается разработкой нефтяных и газовых месторождений.



На турбовинтовых двигателях отрицательную тягу получают путем изменения угла установки лопастей винта.

- На турбореактивных - путем изменения направления движения выходной струи газа на противоположное. Фактически угол поворота потока меньше 180° (примерно на 45°), чтобы избежать попадания горячей струи на вход в двигатель.

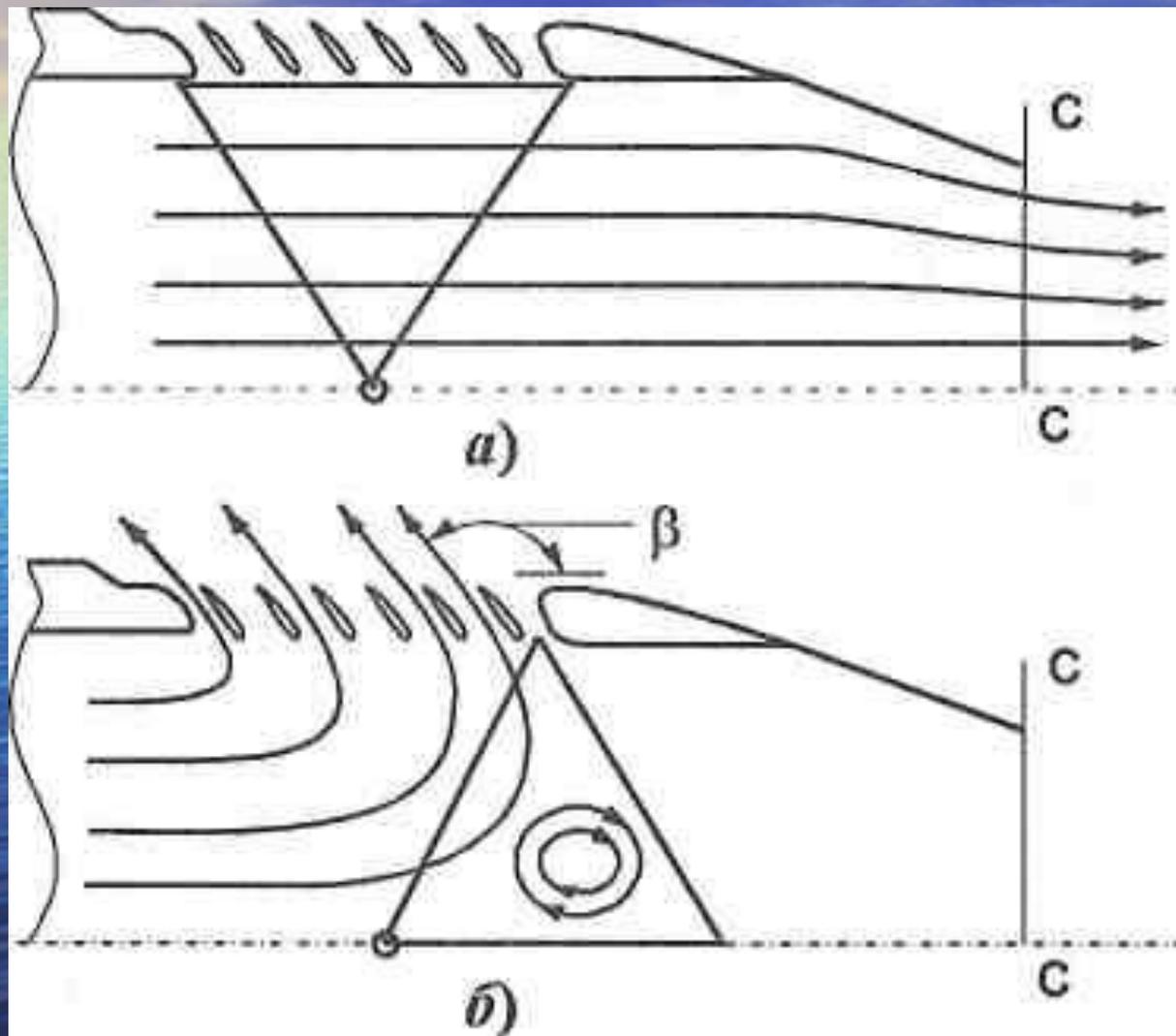


Обе модели Boeing Longer Range (дальнемагистральные) 777, представленные на снимке оснащены компьютерной системой защиты хвостовой части фюзеляжа от касания влетно-посадочной полем.

Эффективность работы реверсивного устройства

- Эффективность работы реверсивного устройства оценивается коэффициентом реверса тяги сопла $P_{рев}$, которым называют отношение величины отрицательной тяги сопла на режимах реверса к величине P положительной тяги при работе турбокомпрессора двигателя на том же режиме

Схема решетчатого реверсивного устройства



Режимы
прямой тяги (а)
реверса (б)

Схема ковшового реверсивного устройства

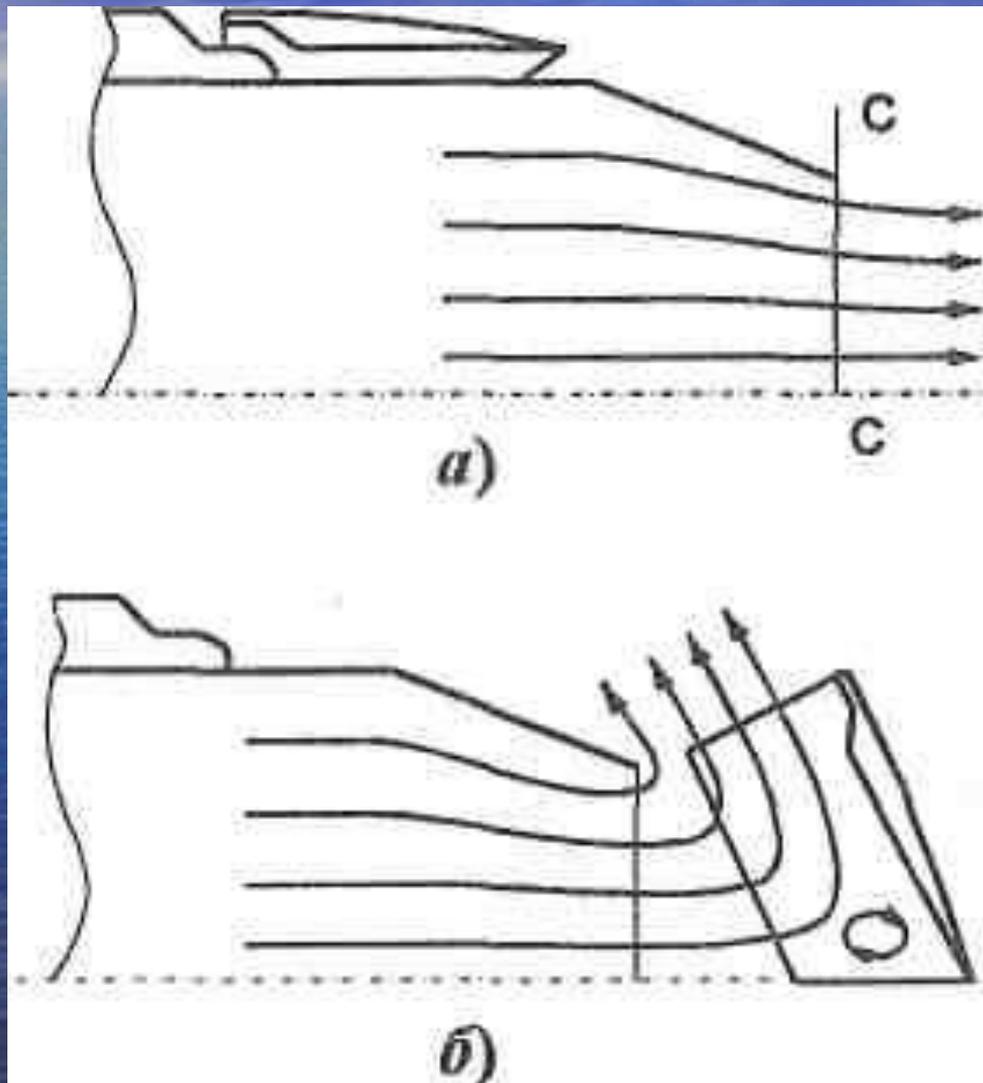
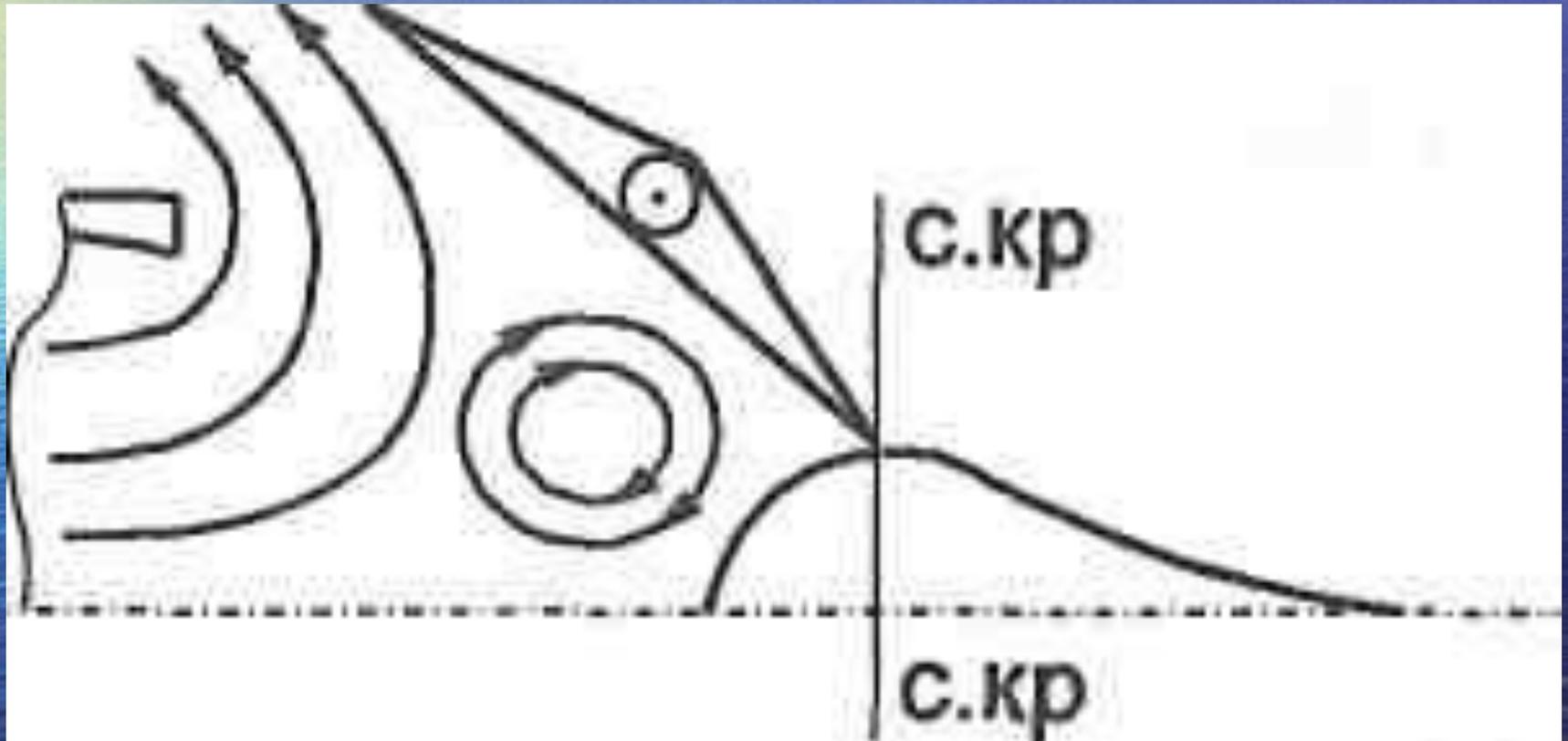
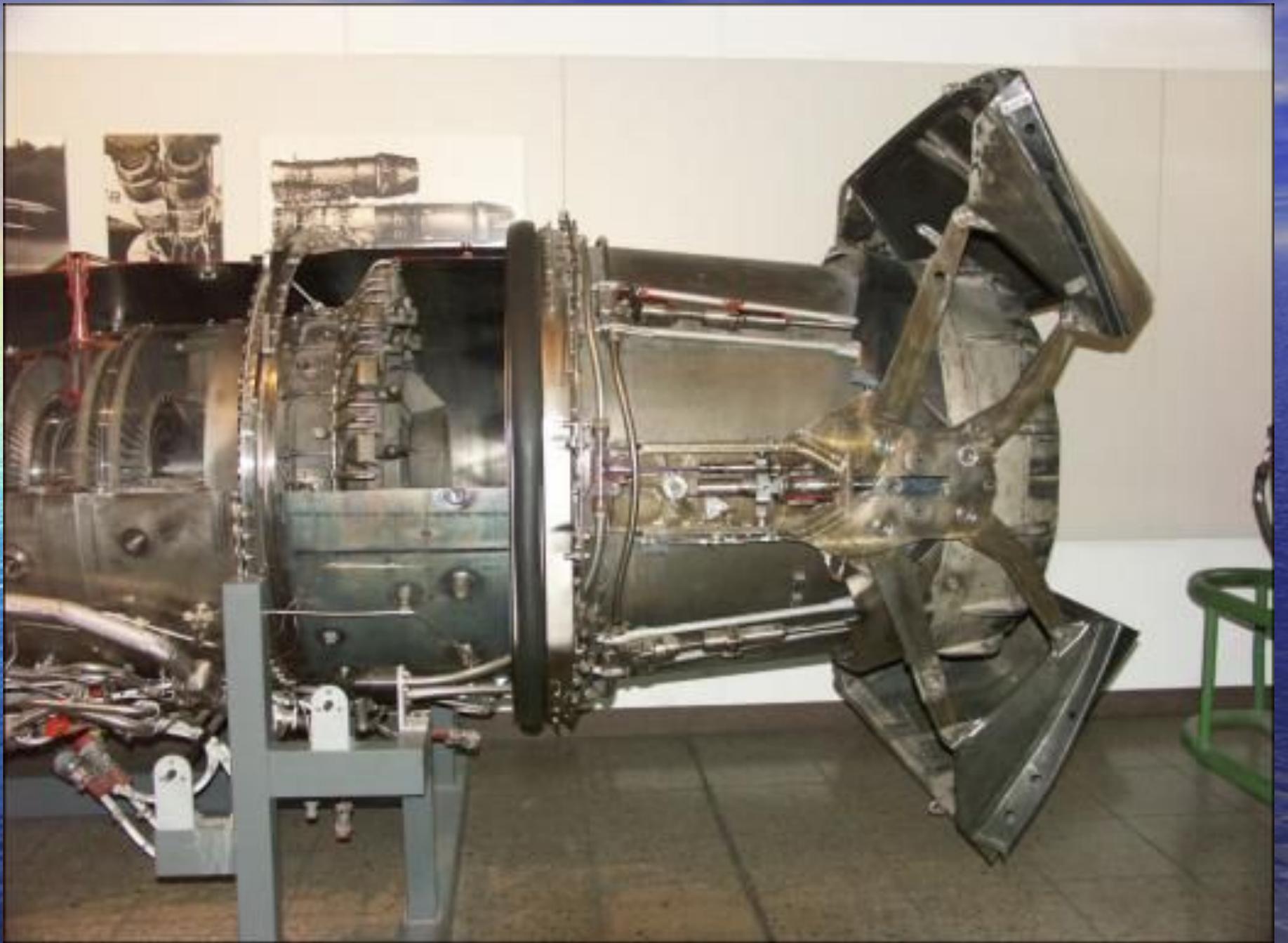


Схема створчатого реверсивного устройства







Работа реверса на А-321

ФОРСИРОВАНИЕ ТЯГИ ТРД

Форсирование тяги — это кратковременное увеличение тяги данного двигателя по сравнению с расчетной (номинальной).

Повышение тяги необходимо:

- при взлете
- разгон до сверхзвуковой скорости
- набор высоты с целью занятия выгодной позиции для атаки в воздушном бою, где нужно быстро догнать и атаковать противника
- экстренный выход из боя
- преодоление зоны действия ПВО противника

Способы форсирования ГТД

1. Повышение температуры газов перед турбиной.
2. Охлаждение воздуха, сжимаемого в компрессоре.
3. Дополнительное сжигание топлива за турбиной.

1 Способ форсирования двигателя - Повышение температуры газов перед турбиной

- Повышение температуры газов перед турбиной увеличивает работоспособность газов, как следствие, мощность, развиваемую турбиной

$$L_{РАСШ} = \frac{k}{k-1} R(T_3 - T_4).$$

- Увеличение мощности турбины увеличивает число оборотов турбины и компрессора и, как результат этого, увеличивается секундный расход воздуха.
- Увеличение температуры T_3 увеличивает температуру перед реактивным насадком, что в свою очередь увеличивает скорость истечения газов.
- Увеличение же секундного расхода воздуха и скорости истечения газов увеличивает тягу двигателя.

Недостатки повышения температуры газов перед турбиной

- увеличение температуры газов перед турбиной ограничено жаропрочностью материала лопаток (для имеющихся сплавов температура газов не должна превышать 1500°C)
- повышение числа оборотов сверх 4—8% от расчетных (номинальных) недопустимо из-за возможности обрыва лопаток турбины.

2. Охлаждение воздуха, сжимаемого в компрессоре.

- Охлаждение воздуха, сжимаемого в компрессоре, охлаждающей жидкостью, впрыскиваемой в поток воздуха. Охлаждающие жидкости вода, спирт, их смеси, аммиак и т. д.— охлаждают воздух, отнимая от него тепло на свое испарение.
- Так как количество сжимаемого воздуха остается постоянным ($G_{\text{СЕК}} = \text{пост.}$), то, затрачивая ту же мощность турбины, компрессор будет сжимать воздух до большего давления.
- Перепад давления, срабатываемый в турбине, остается постоянным; перепад же давления, срабатываемый в реактивном насадке, увеличивается, а это приводит к увеличению скорости истечения газов и, следовательно, тяги двигателя.
- Чаще всего для охлаждения воздуха, сжимаемого в компрессоре, в поток воздуха на всасывании впрыскивают воду.
- Однако применение этого простого способа форсирования требует больших расходов воды.

Работа на сжатие воздуха в компрессоре

$$L_{\text{ДЕЙСТВ}} = \frac{k}{k-1} R(T_2 - T_1) + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2g}$$

$$P_{\text{ВЫХ}} = P_2 \left[1 + \frac{c_2^2 - c_{\text{ВЫХ}}^2}{2000T_2} \right]^{3,5}$$

Система впрыска воды двигателя М601

3 Способ форсирования двигателя Дополнительное сжигание топлива между турбиной и реактивным насадком в форсажной камере.

- **Преимущество использования форсажной камеры** состоит в том, что она дает возможность кратковременно значительно увеличить тягу двигателя без увеличения температуры газов перед турбиной и без увеличения лобовой площади двигателя. По мере роста скорости полета форсажные камеры становятся все более эффективным устройством для кратковременного увеличения тяги и широко применяются на современных ТРД.
- **Недостатком форсажных камер:**
 - усложнение конструкции двигателя и увеличение его веса. При форсировании тяги указанным выше способом увеличивается удельный расход топлива. при увеличении температуры перед реактивным насадком на 70% удельный расход топлива увеличивается почти на 65%, а удельная тяга — только на 30%.
 - Влияние температуры при форсировании ТФОРС на удельный расход топлива и удельную тягу показано на рис. 40.
- При неработающей форсажной камере ее детали создают дополнительное сопротивление течению газа в двигателе, что незначительно уменьшает тягу двигателя и ухудшает его экономичность по сравнению с двигателем без форсажной камеры.

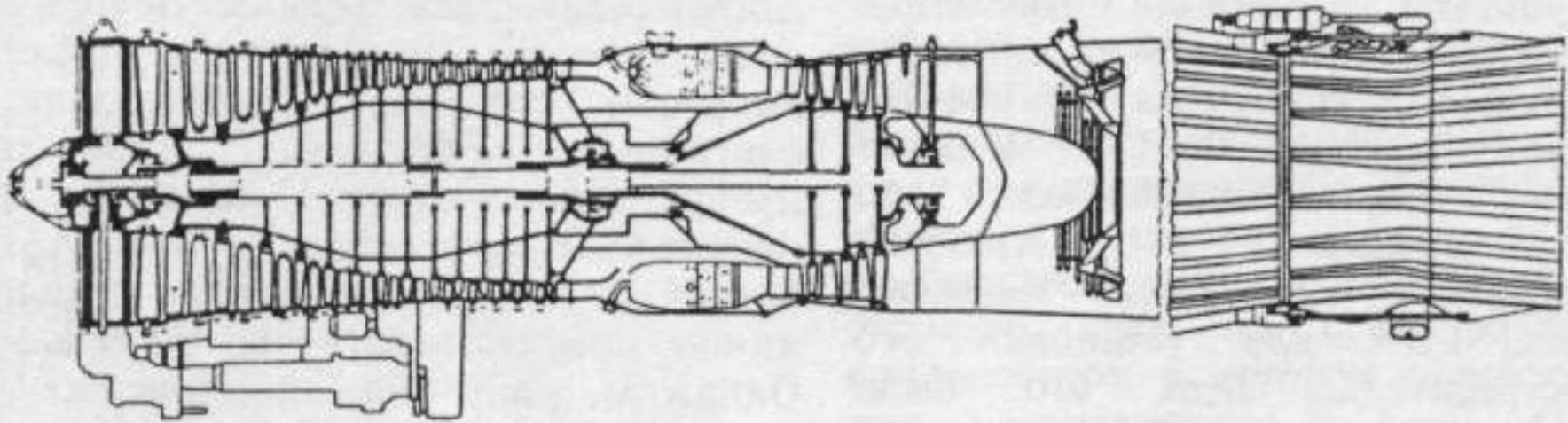
Форсажная камера



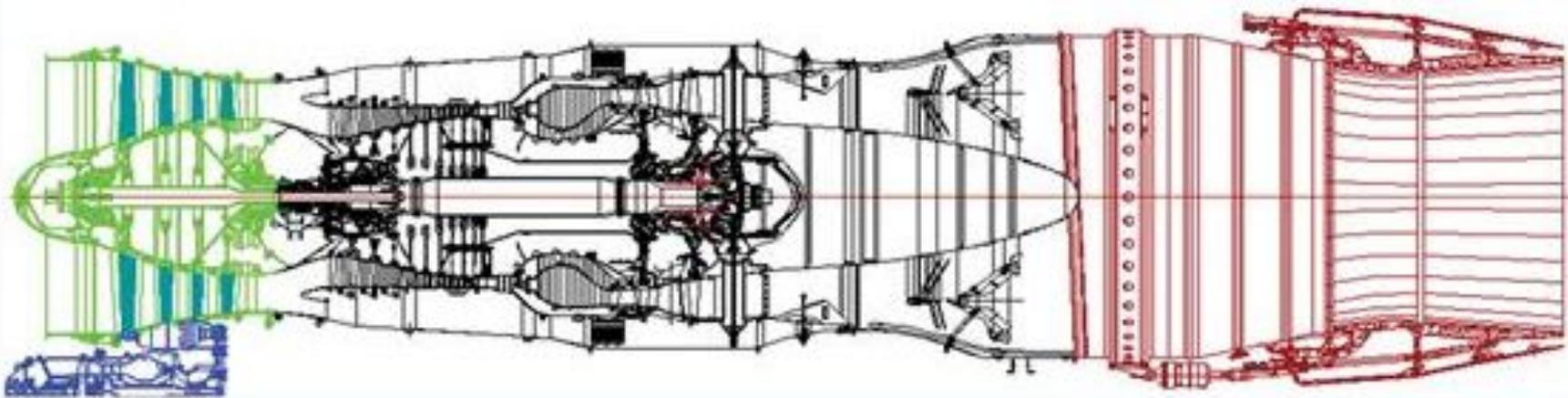
Форсажная камера (форкамера или ФК) — камера камера_камера сгорания в турбореактивном двигателедвигателе, расположенная за его турбиной.

В турбореактивном двигателе имеется избыток кислородаВ турбореактивном двигателе имеется избыток кислорода в камере сгорания, но этот резерв мощности не удаётся реализовать простым увеличением подачи горючегоВ турбореактивном двигателе имеется избыток кислорода в камере сгорания, но этот резерв мощности не удаётся реализовать простым увеличением подачи горючего — из-за конструктивных ограничений (по температуре, температура газов перед турбиной обычно составляет 1200-1600 °К) лопаток турбины, на которые поступают горячие газы. Для повышения тягиВ турбореактивном двигателе имеется избыток кислорода в камере сгорания, но этот резерв мощности не удаётся реализовать простым увеличением подачи горючего — из-за конструктивных ограничений (по температуре, температура газов перед турбиной обычно составляет 1200-1600 °К) лопаток турбины, на которые поступают горячие газы. Для

АЛ-21Ф-3. Су-24, Су-17, МИГ-23



Двигатель **АЛ-31** Су-27, Су-30



Включение форсажа всегда сопровождается интенсивным расходом топлива и повышением тепловых и механических нагрузок на двигатель, то такие двигатели обычно устанавливаются на самолётах военного назначения форсажа всегда сопровождается интенсивным расходом топлива и повышением тепловых и механических нагрузок на двигатель, то такие двигатели обычно устанавливаются на самолётах военного назначения, для обеспечения, такой ценой, превосходства форсажа всегда сопровождается интенсивным расходом топлива и повышением тепловых и механических нагрузок на двигатель, то такие двигатели обычно устанавливаются на самолётах военного назначения, для обеспечения, такой ценой, превосходства в бою форсажа всегда сопровождается интенсивным расходом топлива и повышением тепловых и механических нагрузок на двигатель, то такие двигатели обычно устанавливаются на самолётах военного назначения, для обеспечения,

F/A-18



АЛ-31ФП на форсаже



Су-27, взлет, форсаж





