

ФОРСАЖНЫЕ КАМЕРЫ (ФК)

Назначение

ФК устанавливается за последней ступенью турбины двигателя и применяется в ТРД для сверхзвуковых самолетов с целью преодоления звукового барьера и полета на сверхзвуке.

В ней сжигается дополнительное количество топлива, в результате чего температура достигает 2000...2200К, а скорость истечения из сопла и тяга увеличиваются.

При умеренном увеличении массы и габаритов тяга возрастает на 45-60% при взлете и на 130...170% при $M_p=2$.

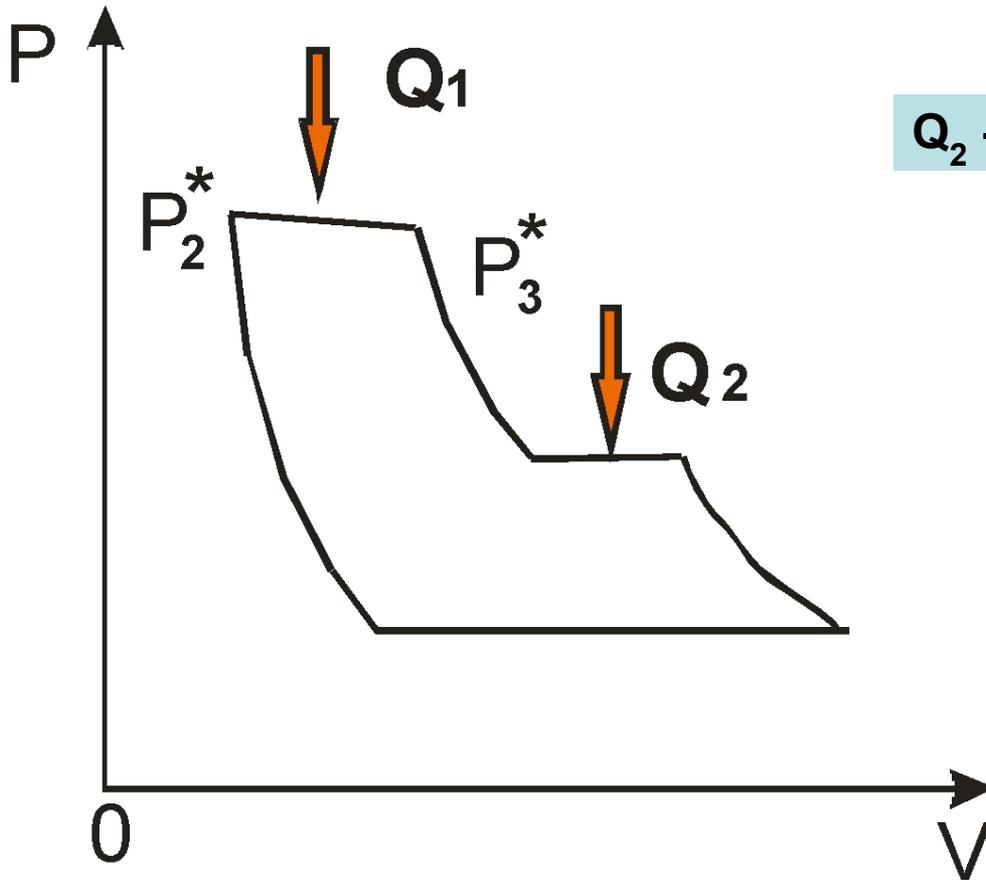
Существенное увеличение расхода топлива на форсажном режиме вполне компенсируется повышением технических данных самолета:

- сокращением длины разбега при взлете
- сокращением времени разгона
- сокращением времени набора высоты.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ ТРДФ

Q_1 - Тепло, подводимое в КС

Q_2 - Тепло, подводимое в ФК





**Перевозка двигателя АЛ-21Ф3.
Впереди двигатель, сзади форсажная камера с реактивным соплом**

МиГ-31. Взлет. Полный форсаж.



Старт истребителя F/A-18A с авианосца.



Взлет МИГ-29. Форсаж во всей красе



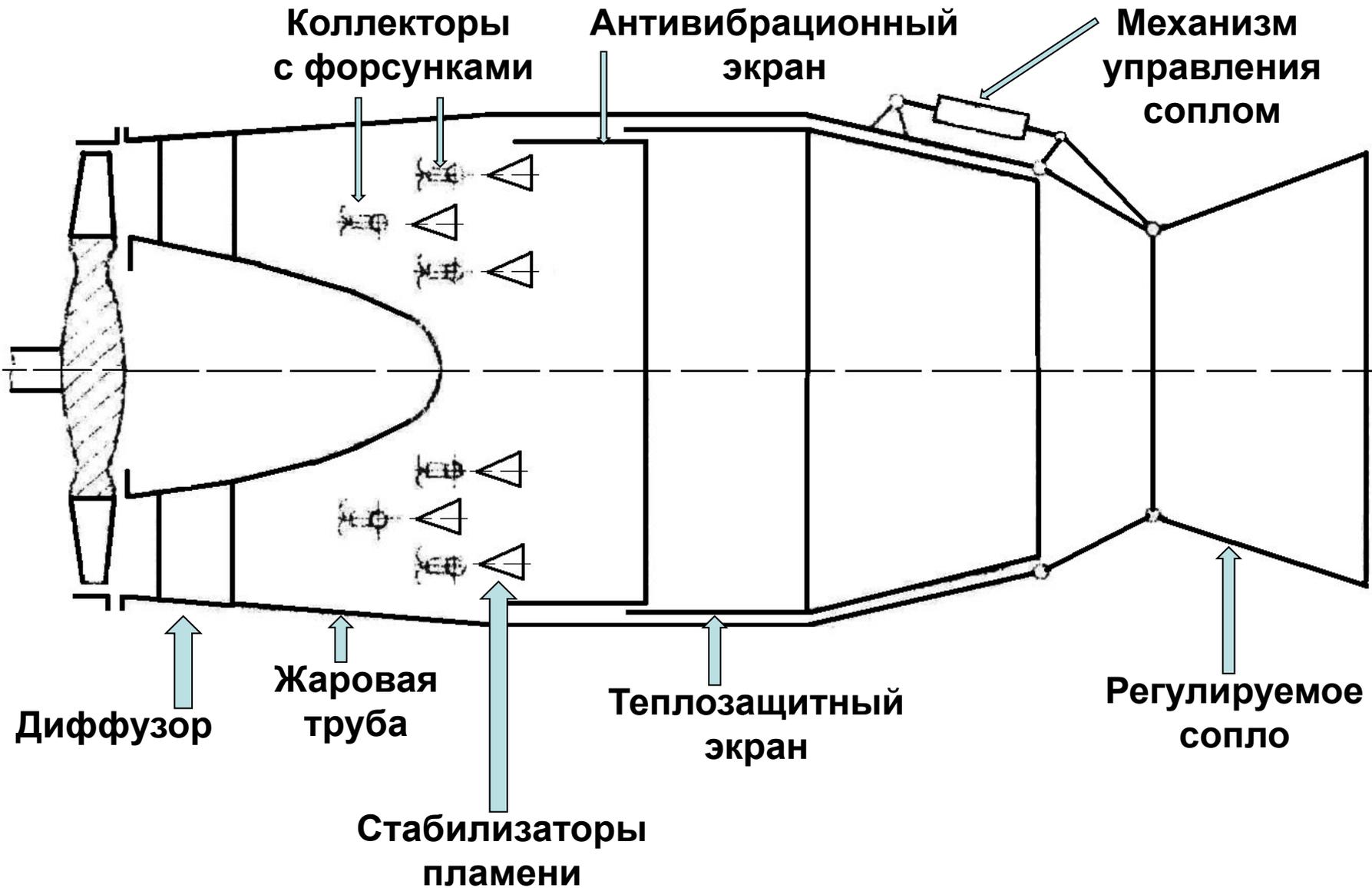
НАЗНАЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ФК

ФК состоит из:

- диффузора
- системы смесеобразования, включающей в себя коллекторы с форсунками, стабилизаторы пламени
- жаровой трубы с теплозащитным и антивибрационным экранами
- регулируемого сопла с механизмом управления.

Вследствие увеличения температуры при включении форсажа увеличивается объем протекающего через ФК газа. Поэтому для снижения неизбежных при таком дросселировании потерь необходимо увеличивать площадь выходного сечения сопла. Следовательно, использование ФК требует обязательного применения регулируемого сопла.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ФК



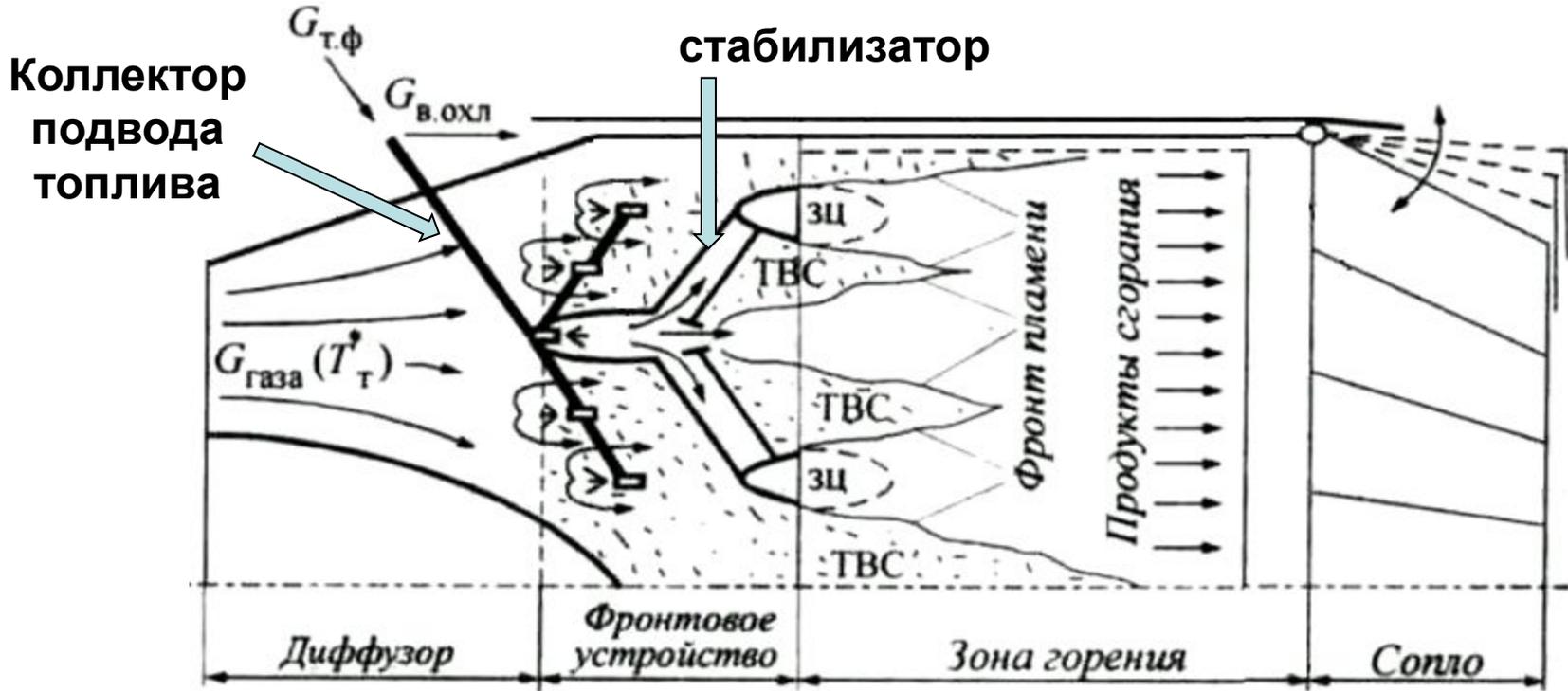
РАБОТА ФОРСАЖНОЙ КАМЕРЫ

На вход в ФК подается смесь продуктов сгорания основной камеры, прошедших турбину, и воздуха, поступающего из внешнего контура двигателя и возвращаемого в проточную часть из системы охлаждения турбины.

Состав смеси в ФК близок к стехиометрическому, коэффициент избытка воздуха составляет $\alpha = 1,1 \dots 1,3$, поэтому температура в зоне горения достаточно высока – до $2050 \dots 2200$ К и в ней выгорает весь кислород. Поэтому нет необходимости делить весь воздух на «первичный» и «вторичный». Соответственно, в ФК, в отличие от основной КС, не нужна жаровая труба, разделенная на зоны горения и смешения.

Для обеспечения высокой полноты сгорания смесь должна быть близка к однородной, поэтому, приходится увеличивать размеры ФК. Но близкую к однородной смесь нельзя получить только за счет увеличения длины ФК. Здесь возникает задача равномерного распределения топлива по большой площади поперечного сечения камеры. Она решается с помощью нескольких рядов топливных распылителей.

ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ФК



Существенно более низкое давление и еще более низкая плотность рабочего тела на входе в ФК по сравнению с их значениями в основной камере приводят к необходимости увеличения площади ее поперечного сечения. Чтобы диаметральные габариты не выходили за допустимые пределы, приходится принимать достаточно высокую скорость потока. А увеличение скорости потока ведет к увеличению потерь полного давления. С другой стороны, благодаря более высокой температуре газа на входе в ФК облегчаются задачи испарения топлива и подготовки горючей смеси.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ФК

Применяется три форсированных режима работы :

- полный,
- частичный
- минимальный

Полный форсированный режим применяется, в частности, для преодоления большого внешнего сопротивления на трансзвуковых скоростях и достижения максимальных сверхзвуковых скоростей полета.

Частичный форсированный режим развивает пониженную тягу и применяется на промежуточных, главным образом, сверхзвуковых скоростях полета.

Минимальный форсированный режим - режим, на котором обеспечивается минимальный расход топлива через ФК и минимальная тяга двигателя с форсажом.

Все форсированные режимы выше максимального, поэтому они более напряженные. Продолжительность непрерывной работы на этом режиме и суммарная наработка на этих режимах регламентируется, как и на максимальном режиме.

ДИФФУЗОР

Скорость движения газа за турбиной составляет 300...400м/с. При такой скорости трудно организовать надежную стабилизацию пламени и устойчивое горение форсажного топлива. Поэтому в диффузоре скорость газа понижают до 100...180м/с.

Сравнить с основной КС:

скорость на выходе из компрессора $C_{вых}=200...250\text{м/с}$,
а на входе в КС $C_a=60...80\text{м/с}$

Кольцевой расширяющийся канал диффузора образуется двумя конусными стенками: наружной и внутренней, соединенных между собой обтекаемыми стойками или шарнирными тягами. При использовании стоек необходимо применение температурных компенсаторов в виде телескопических соединений и сферических втулок. Стойки могут также использоваться в качестве спрямляющей решетки, что снижает гидравлические потери.

СТАБИЛИЗАТОРЫ

Скорость газа после диффузора составляет 150...200 м/с, а турбулентная скорость распространения пламени составляет - 10...15 м/с, что не обеспечивает устойчивого горения

Поэтому необходимы стабилизаторы пламени. Наиболее широко применяются стабилизаторы в виде плохо обтекаемого желоба V-образного профиля с углом при вершине 30...60°, обращенным навстречу потока. За стабилизатором образуется зона обратных токов, в которой циркулируют продукты сгорания топлива с температурой 1500...2000 К. Стенка стабилизатора охлаждается снаружи потоком более холодного газа и форсажным топливом. Перед стабилизаторами размещаются коллекторы подвода топлива с форсунками.

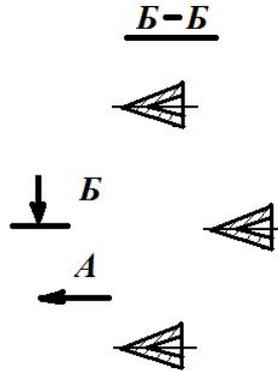
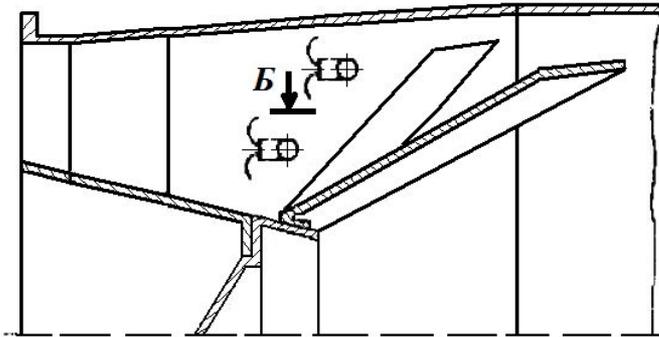
В качестве стабилизатора пламени может быть также использован плохо обтекаемый срез внутренней стенки диффузора. Стабилизаторы пламени существенно загромождают сечение ФК.

С целью уменьшения гидравлических потерь стабилизаторы смещают относительно друг друга вдоль потока (эшелонируют).

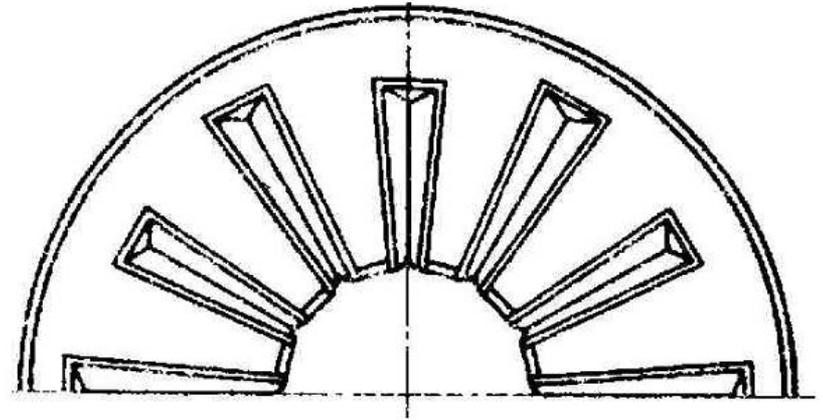
Аэродинамическая стабилизация пламени осуществляется с помощью воздушных струй, вдуваемых в газовый поток через отверстия различной формы навстречу или под некоторым углом к потоку. Как стабилизация может рассматриваться и подача топлива навстречу потоку.

КОНСТРУКЦИЯ СТАБИЛИЗАТОРОВ

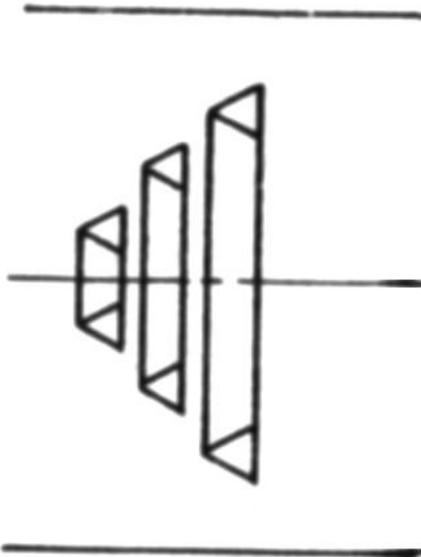
Радиальные



Вид А



кольцевые



Стабилизаторы могут быть кольцевыми, радиальными и радиально-кольцевыми. Для ФК ТРДФ наиболее часто применяются кольцевые стабилизаторы, а для ТРДДФ – радиально-кольцевые.

ФОРСАЖНАЯ КАМЕРА ТРДДФ НК-144А



РАДИАЛЬНО-КОЛЬЦЕВЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ

ФК ТРДД НК-25

РАДИАЛЬНО-КОЛЬЦЕВЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ



КОНСТРУКЦИЯ ФК

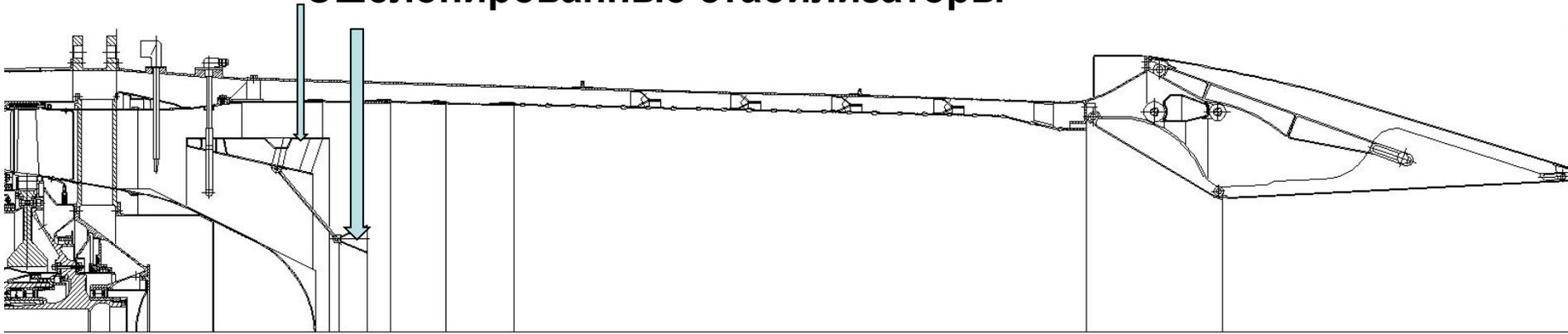
ФОРСУНКИ

КОЛЬЦЕВЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ



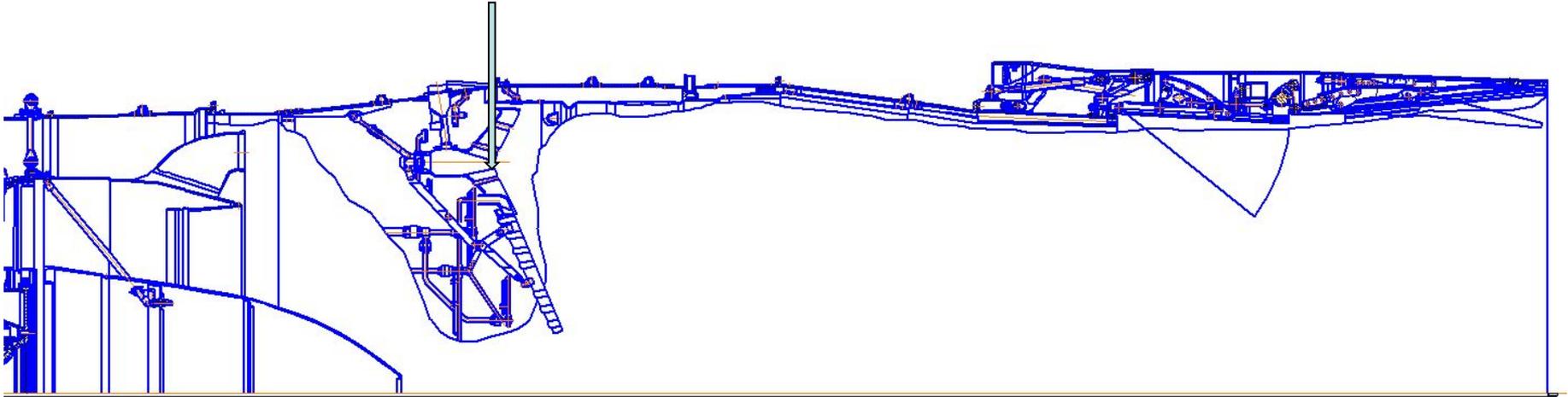
ФК ТРДДФ F- 404

Эшелонированные стабилизаторы



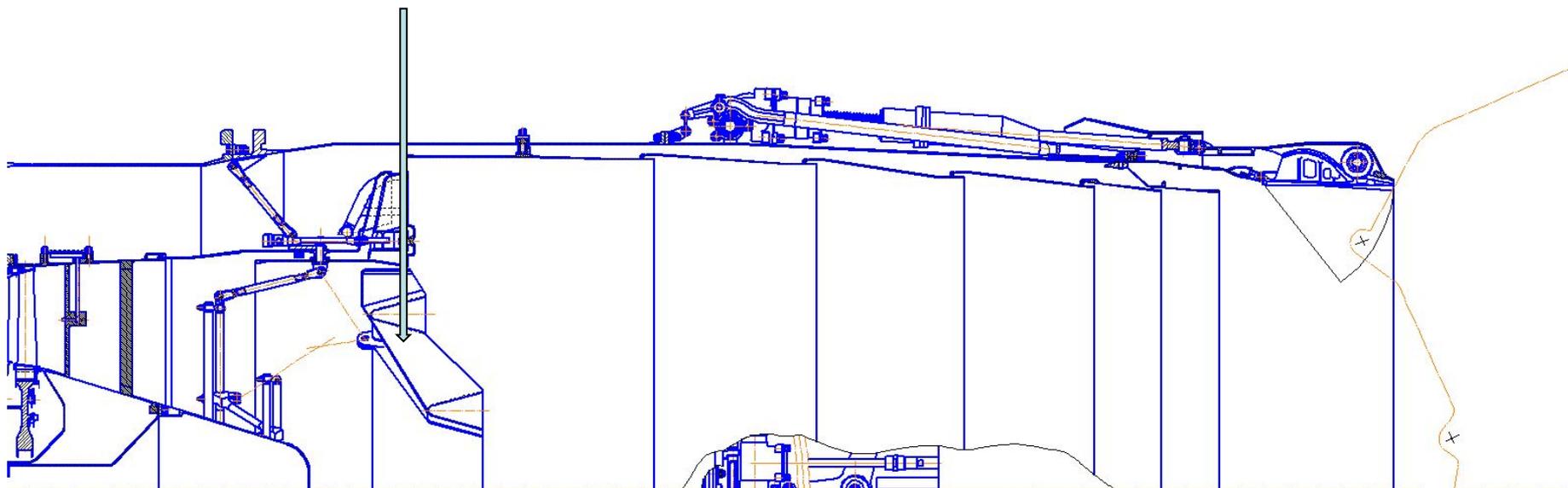
ФК ТРДДФ НК-25

Радиальные стабилизаторы



ФК ТРДД RV-199

Кольцевые стабилизаторы

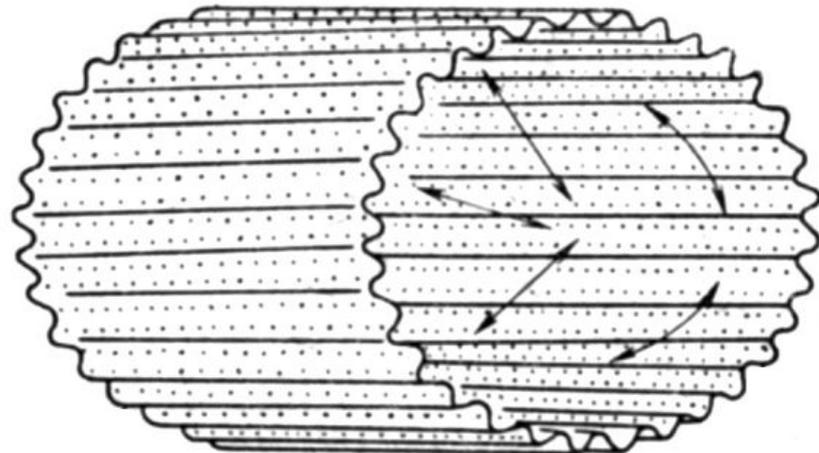


ВИБРАЦИОННОЕ ГОРЕНИЕ В ФК

При сгорании топлива в форсажной камере может возникнуть особый режим работы, сопровождаемый колебаниями газа с амплитудой давления Δp до 0,05 МПа и частотами от 50 до 5000 Гц. Этот режим получил название «вибрационное горение». При вибрационном горении в объеме камеры возникают продольные и поперечные (радиальные и тангенциальные) акустические колебания. Наличие вибрационного горения обнаруживается по характерному «визгу» и быстрому разрушению элементов форсажной камеры.

Для подавления высокочастотных колебаний вдоль стенки изнутри камеры устанавливается антивибрационный экран – гофрированная перфорированная конструкция. Экран является акустическим резонансным поглотителем, настроенным на подавление колебаний определенных частот.

Антивибрационный экран



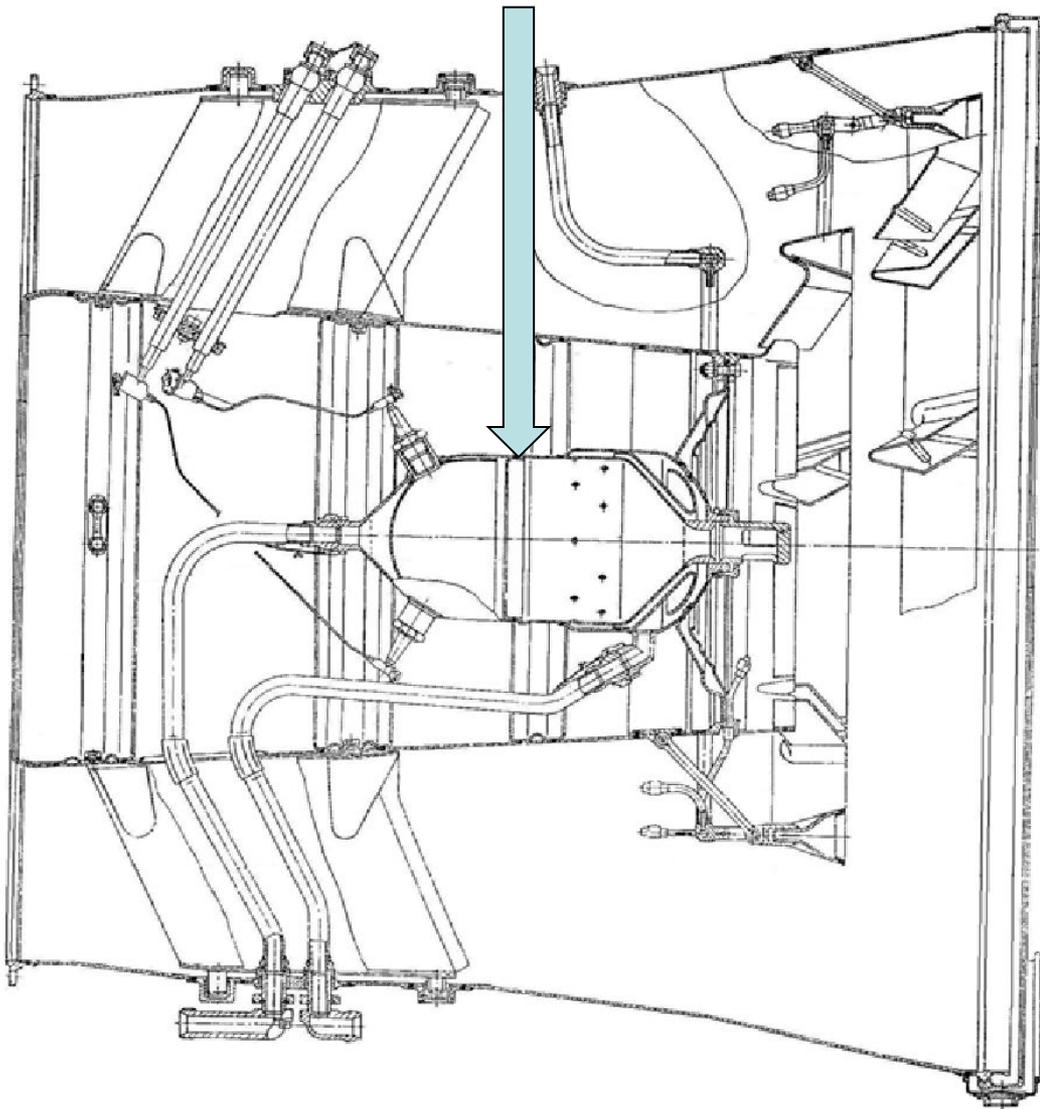
ЗАПУСК ФК

Воспламенение смеси в форсажной камере производится от запального устройства, располагаемого по оси фронтального устройства или с помощью специального пускового воспламенителя, устанавливаемого на наружном кожухе фронтального устройства.

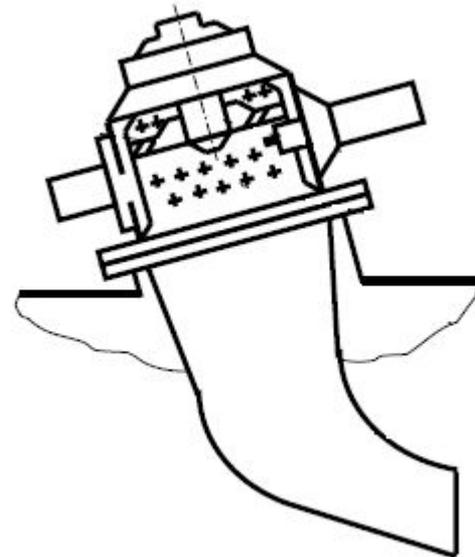
Розжиг пускового топлива в воспламенителе производится электрической свечой. Для облегчения розжига в воспламенитель подается воздух от компрессора двигателя или кислород из бортовых баллонов. Пусковой факел воспламенителя направляется специальным патрубком в зону наиболее интенсивного завихрения потока, где энергия воспламенения топливной смеси будет минимальной.

КОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ ЗАПУСКА ФК

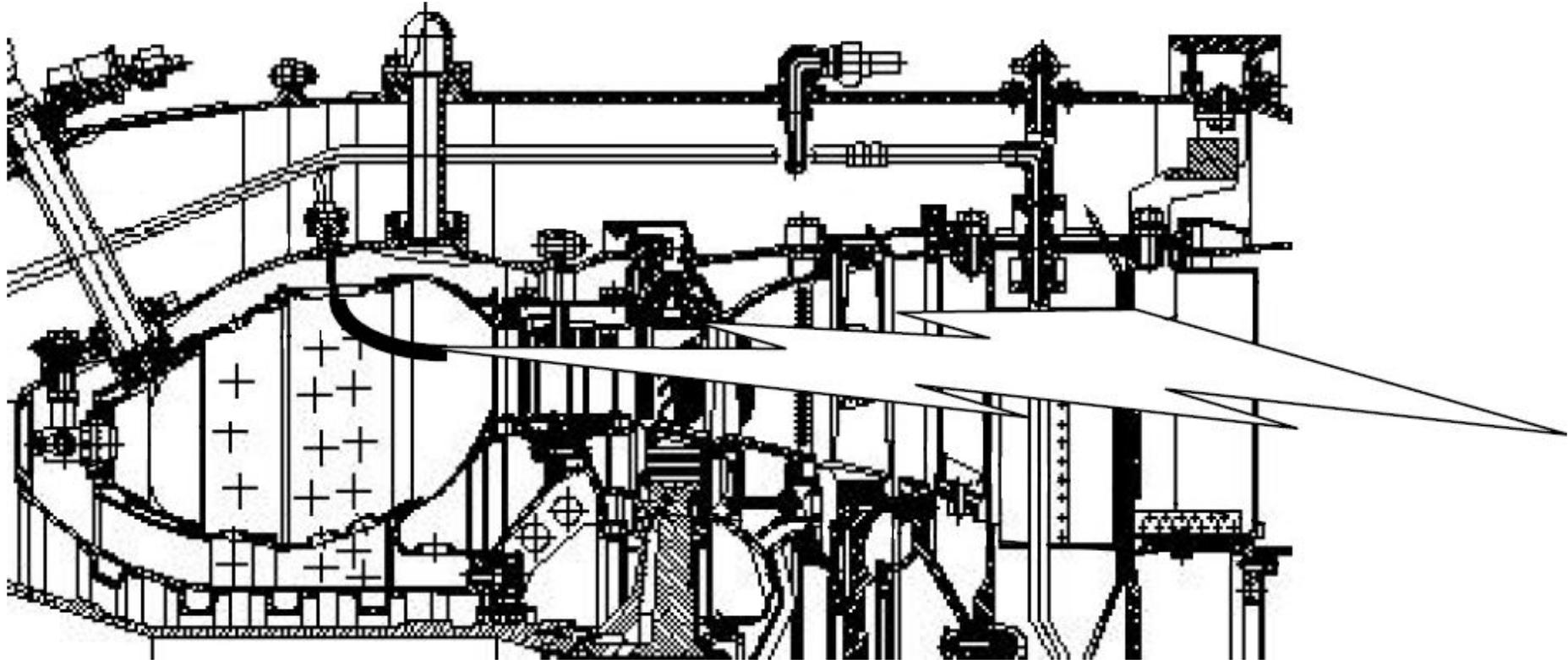
ЗАПАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО



ПУСКОВОЙ ВОСПЛАМЕНИТЕЛЬ



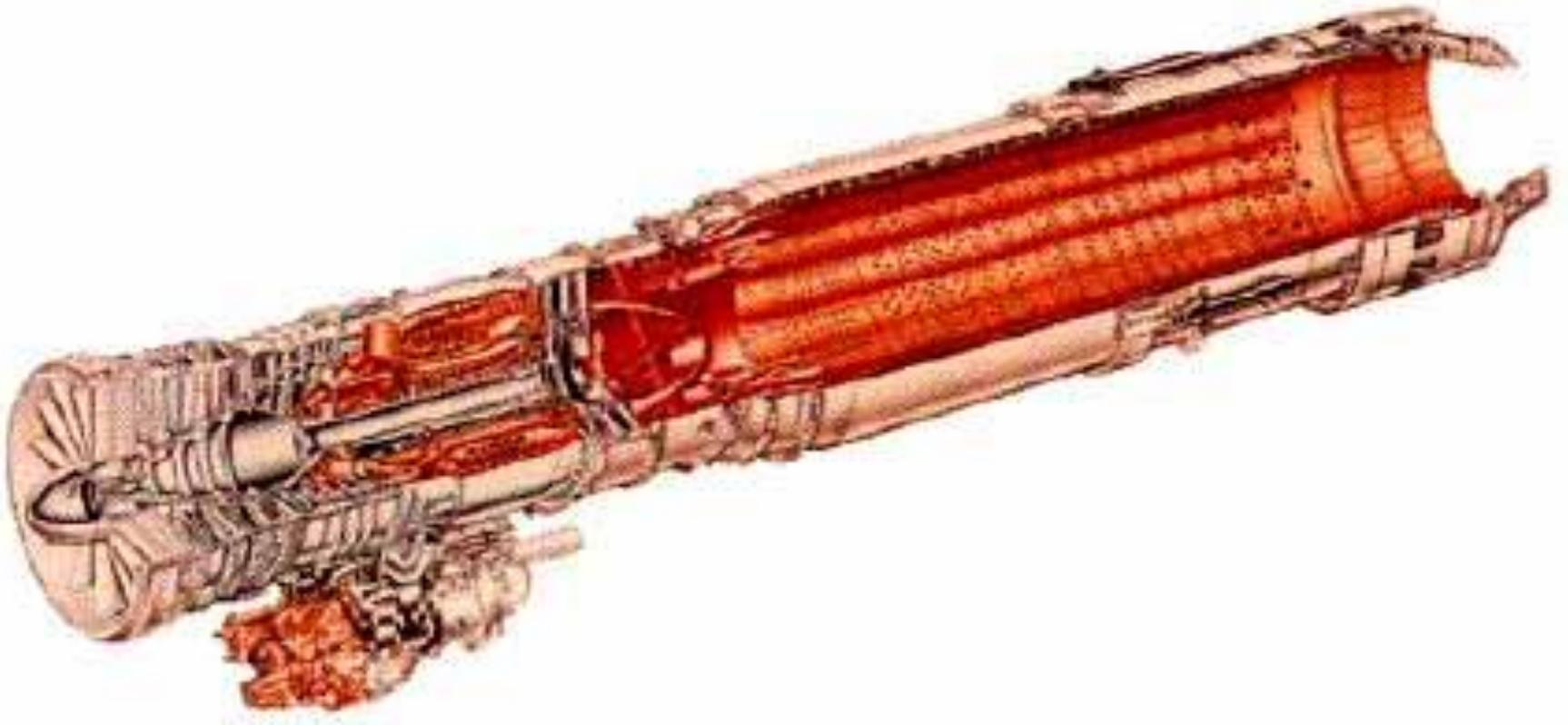
ОГНЕВАЯ ДОРОЖКА



На современных ТРДДФ применяется простая, но обладающая большой тепловой мощностью факельная система, получившая название «огневая дорожка». В конце жаровой трубы основной камеры сгорания двигателя устанавливают струйную форсунку пускового топлива, направленную в сторону турбины. При проходе через турбину пусковое топливо испаряется и под действием высокой температуры газа воспламеняется, образуя в турбине и за ней мощный факел пламени.

Огневую дорожку при запуске форсажной камеры включают на короткое время (на 0,2...0,5 с), чтобы не допустить сильного теплового воздействия на лопатки турбины.

General Electric J85-GE-21



ФК ТРДДФ Д30Ф6 (МИГ-31)



Форсажная камера РД-33

