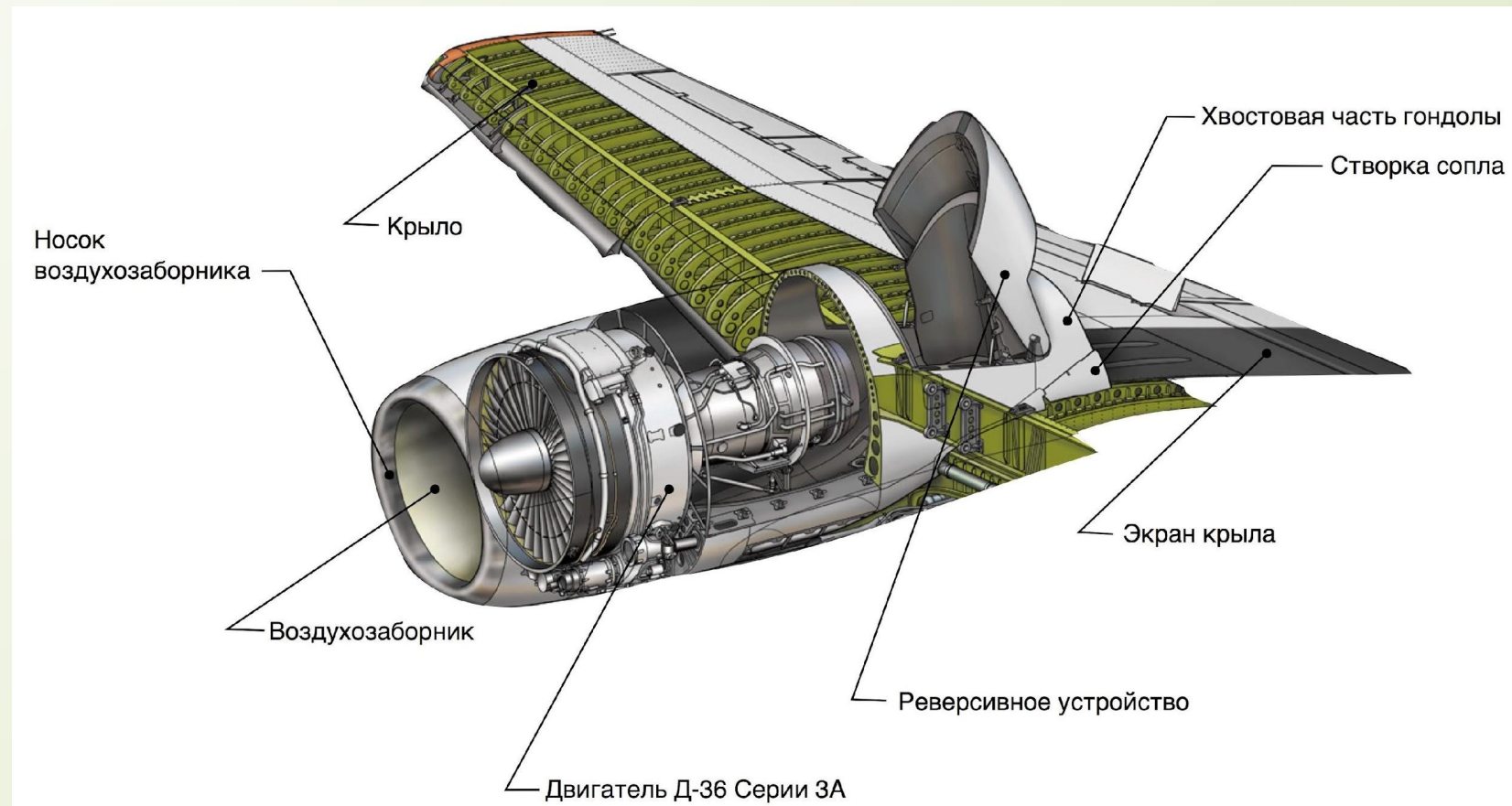


- Тема 1

## **Классификация и принцип действия авиационных двигателей различных типов (поршневых, воздушно-реактивных и ракетных).**

Воздушно-реактивные двигатели прямой и непрямой реакции. Базовые и комбинированные двигатели. Состав авиационных силовых установок

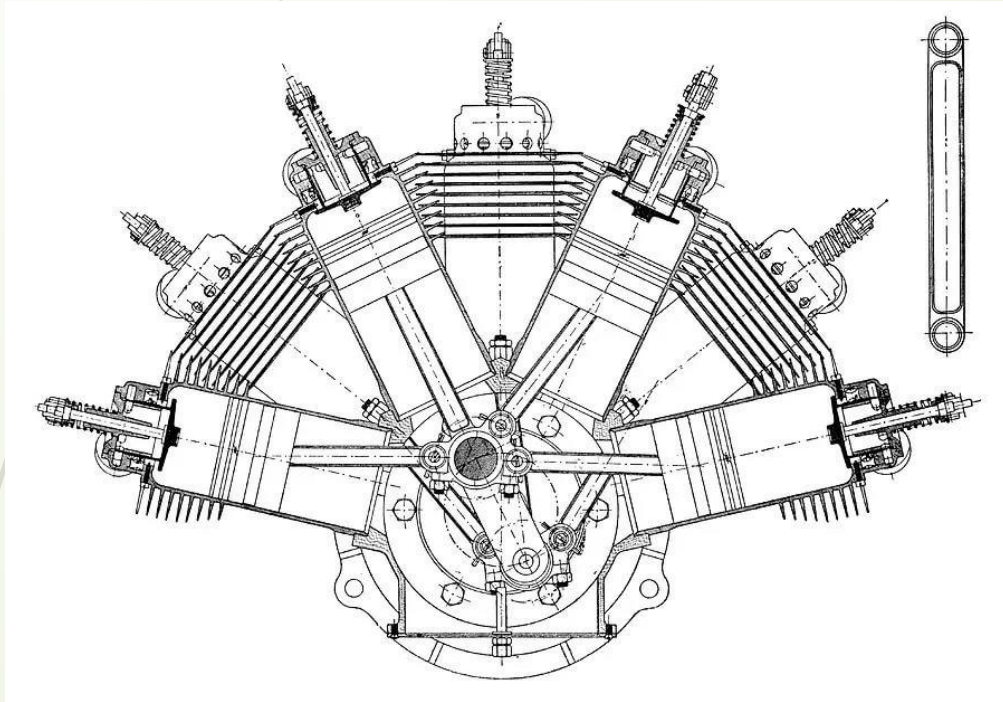
- Одним из основных компонентов летательного аппарата является его силовая установка.
- Авиационная силовая установка (АСУ) — энергетический компонент летательного аппарата (ЛА), предназначенный для реализации на данном ЛА располагаемой силы тяги и обеспечения надёжной работы двигателей на всех режимах полёта.
- АСУ объединяет собой: все установленные на данном ЛА авиационные двигатели (маршевые, подъёмные, комбинированные, вспомогательные); системы крепления двигателей к конструкции ЛА; системы и устройства реализации силы тяги и регулирования её величины; системы обеспечения безотказной и безаварийной работы двигателей на всех режимах полёта.



Поршневой авиационный двигатель (ПАД)



## Поршневой авиационный двигатель (ПАД)



В основе работы ПАД лежит работа четырёхтактного ПД, принцип которого был предложен во второй половине 1870-х Николаусом Отто.

Процесс в нём совершается в течение четырех ходов поршня:

- I такт: **впуск** — поршень движется в цилиндре вниз, втягивая воздух и топливо через открытый впускной клапан.
- II такт: **сжатие** — впускной и выпускной клапаны закрыты, поршень движется в цилиндре вверх, сжимая топливовоздушную смесь.
- III такт: **рабочий ход** (расширение) — когда поршень в такте сжатия приближается к верхней мертвой точке, система зажигания дает искру на свечах. При этом топливовоздушная смесь поджигается и в процессе сгорания быстро расширяется. Создаваемое расширением давление толкает поршень вниз, а поршень, двигаясь к нижней мертвой точке, вращает коленчатый вал, передающий усилие на воздушный винт.
- IV такт: **выпуск** — когда поршень достигает нижней мертвой точки, открывается выпускной клапан. Затем поршень снова идет вверх, выталкивая продукты сгорания топливовоздушной смеси из цилиндра.

# Классификация авиационных реактивных двигателей

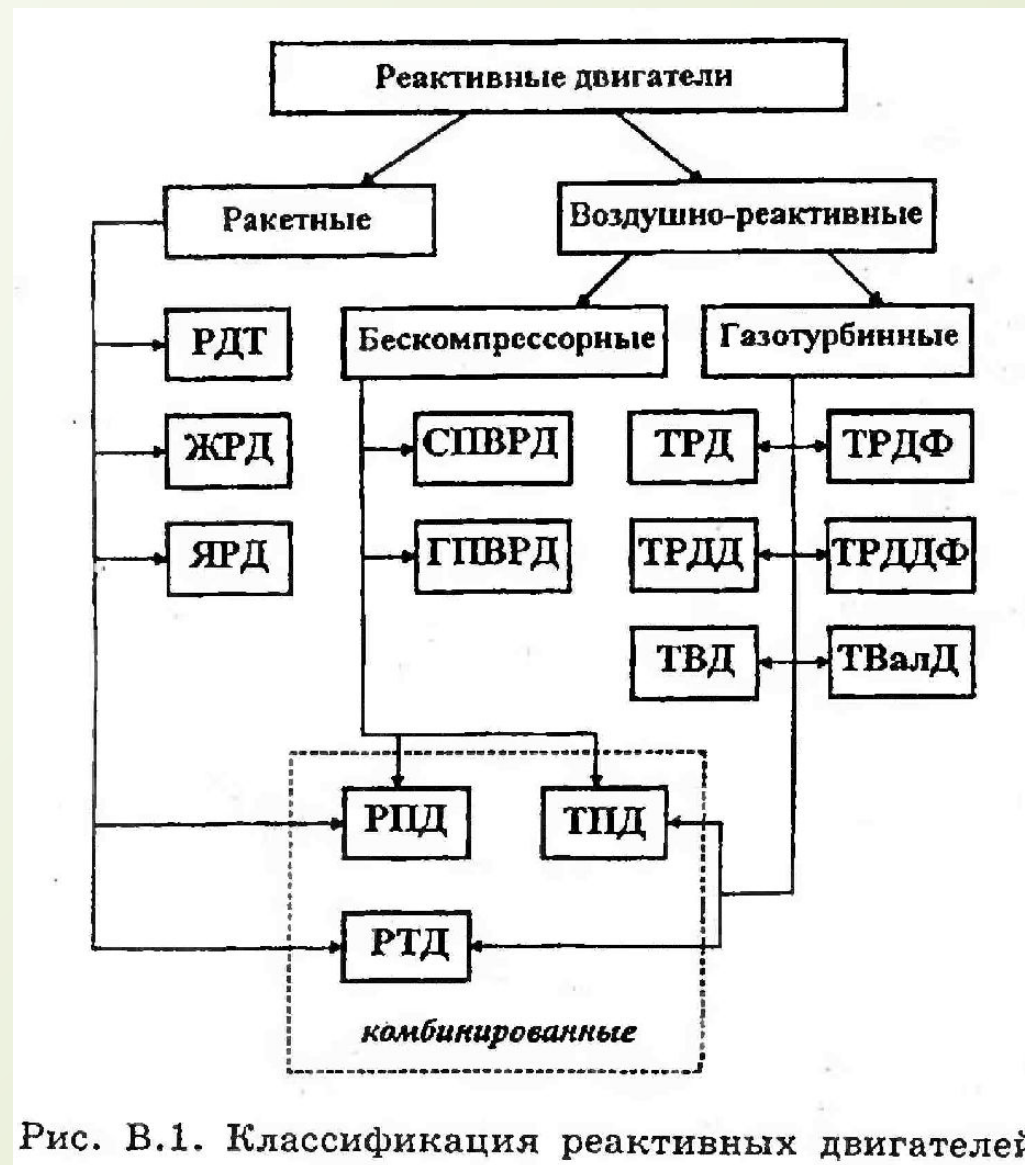


Рис. В.1. Классификация реактивных двигателей

## Турбореактивный двигатель (ТРД)

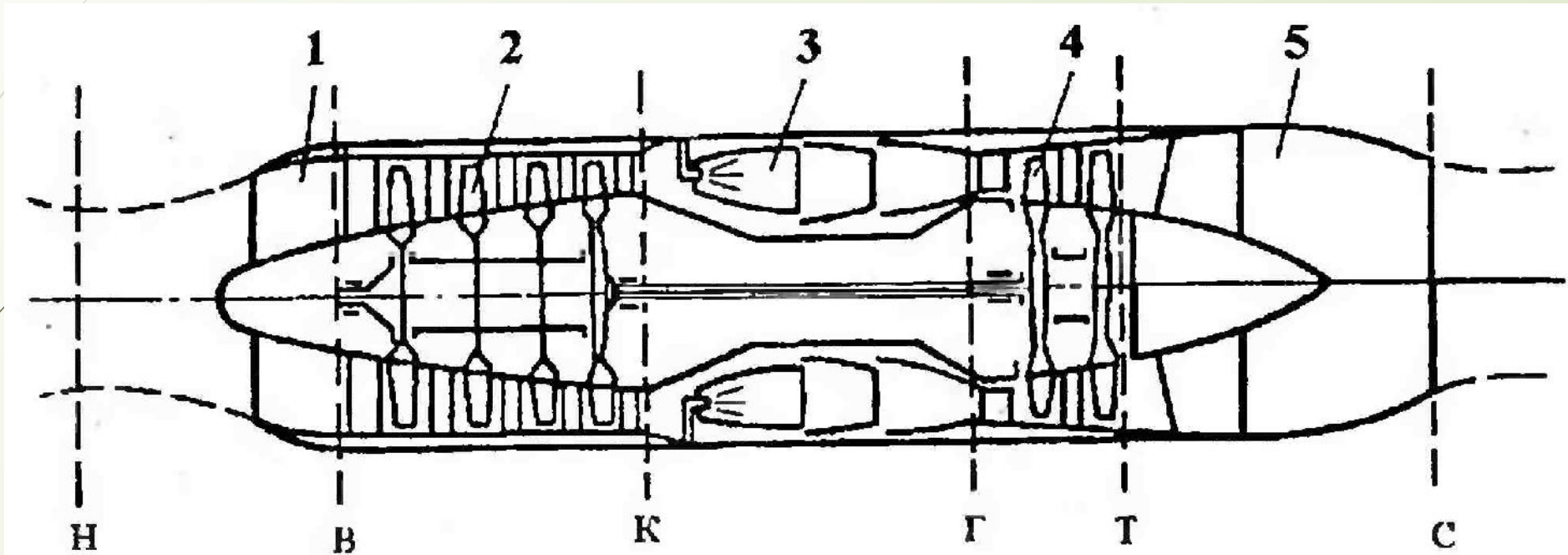


Рис. В.2. Схема ТРД:

1 — воздухозаборник; 2 — компрессор; 3 — камера сгорания;  
4 — турбина; 5 — реактивное сопло

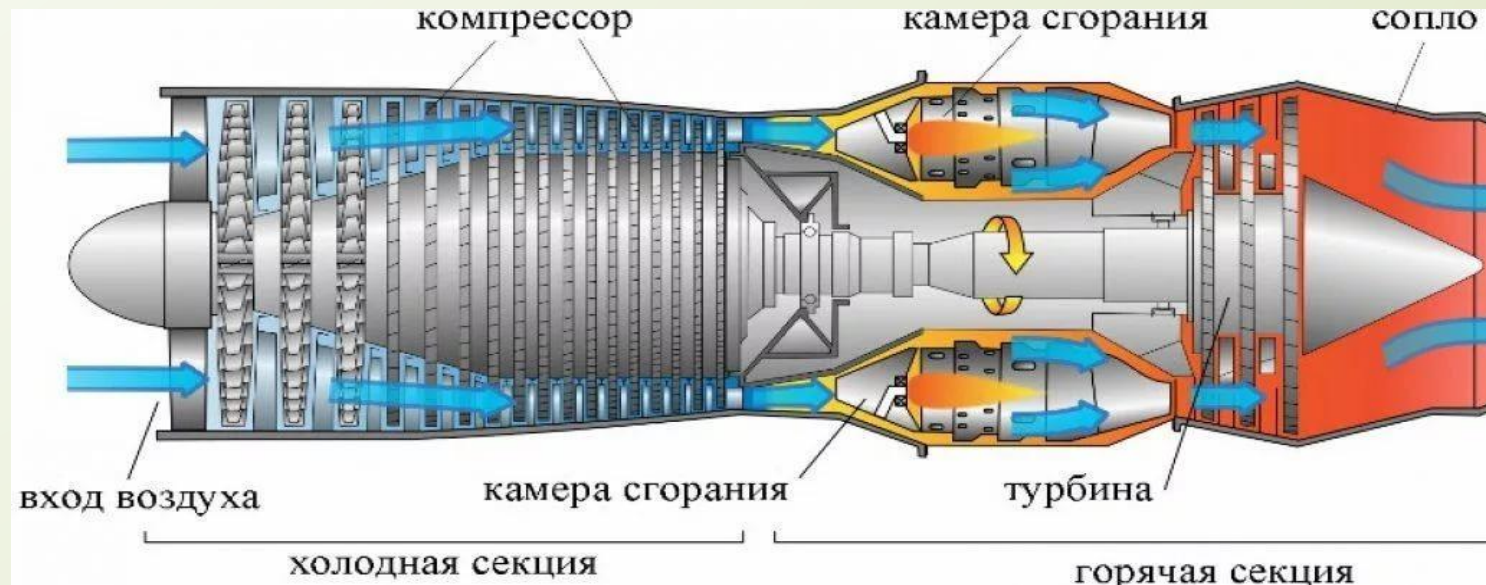
## Принцип действия турбореактивного двигателя (ТРД)

В ТРД (англоязычный термин — turbojet engine) сжатие рабочего тела на входе в камеру сгорания и высокое значение расхода воздуха через двигатель достигается за счёт совместного действия встречного потока воздуха и компрессора, размещённого в тракте ТРД сразу после входного устройства, перед камерой сгорания.

Компрессор втягивает воздух, сжимает его и направляет в камеру сгорания. В ней сжатый воздух смешивается с топливом, воспламеняется и расширяется. Расширенный газ заставляет вращаться турбину, которая расположена на одном валу с компрессором. Остальная часть энергии перемещается в сужающееся сопло, из которого происходит направленное истечение газа.

В процессе перемещения рабочего тела вдоль оси двигателя меняется импульс газа, что ведет к образованию силы, которая воздействует на двигатель.

В результате горения топлива температура рабочего тела может повышаться. При горении топлива воздух, служащий рабочим телом, нагревается до 1500-2500 градусов Цельсия.



## Турбореактивный двигатель с форсажной камерой (ТРДФ)

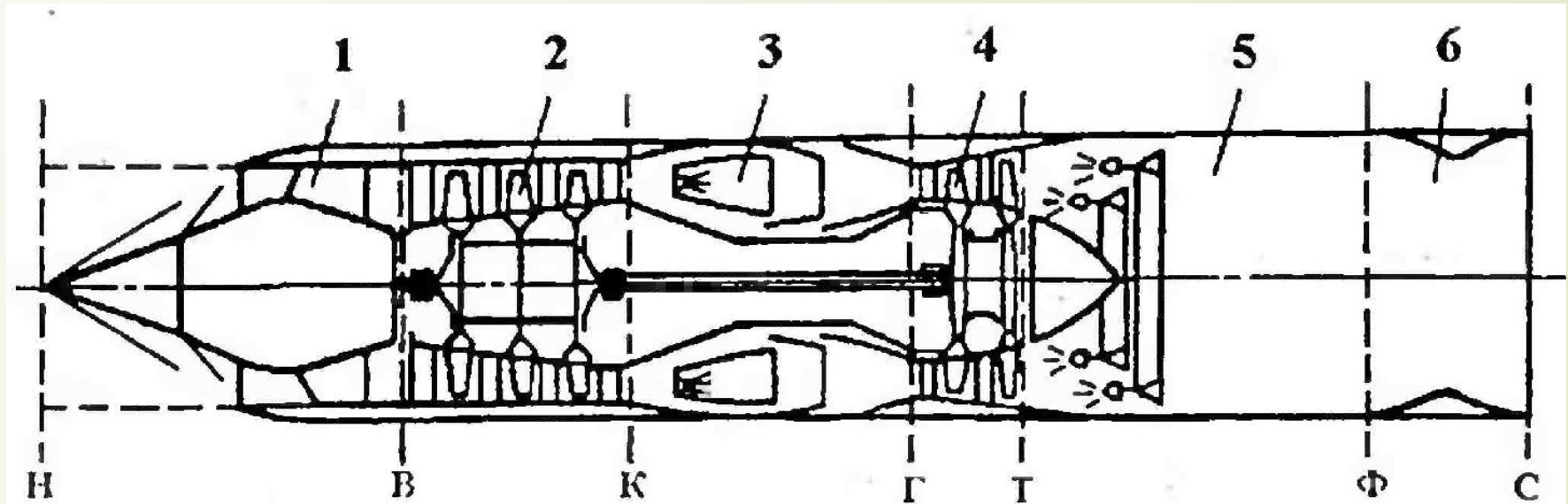


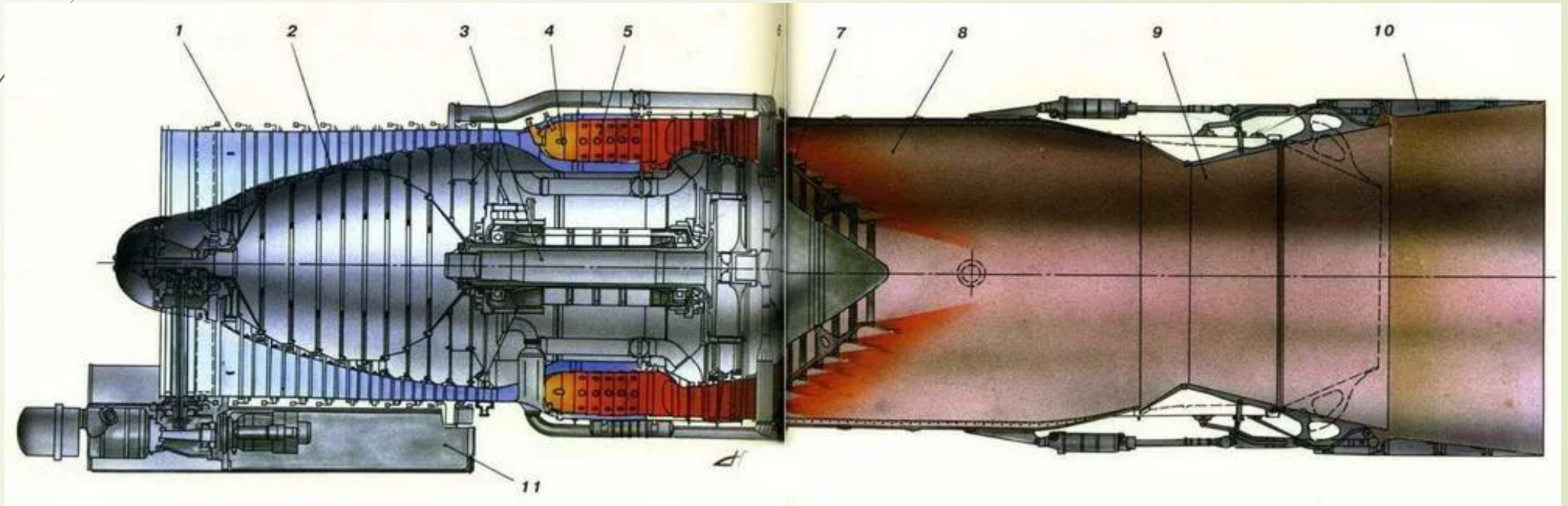
Рис. В.3. Схема ТРДФ:

- 1 — воздухозаборник; 2 — компрессор; 3 — камера сгорания;
- 4 — турбина; 5 — форсажная камера сгорания;
- 6 — реактивное сопло



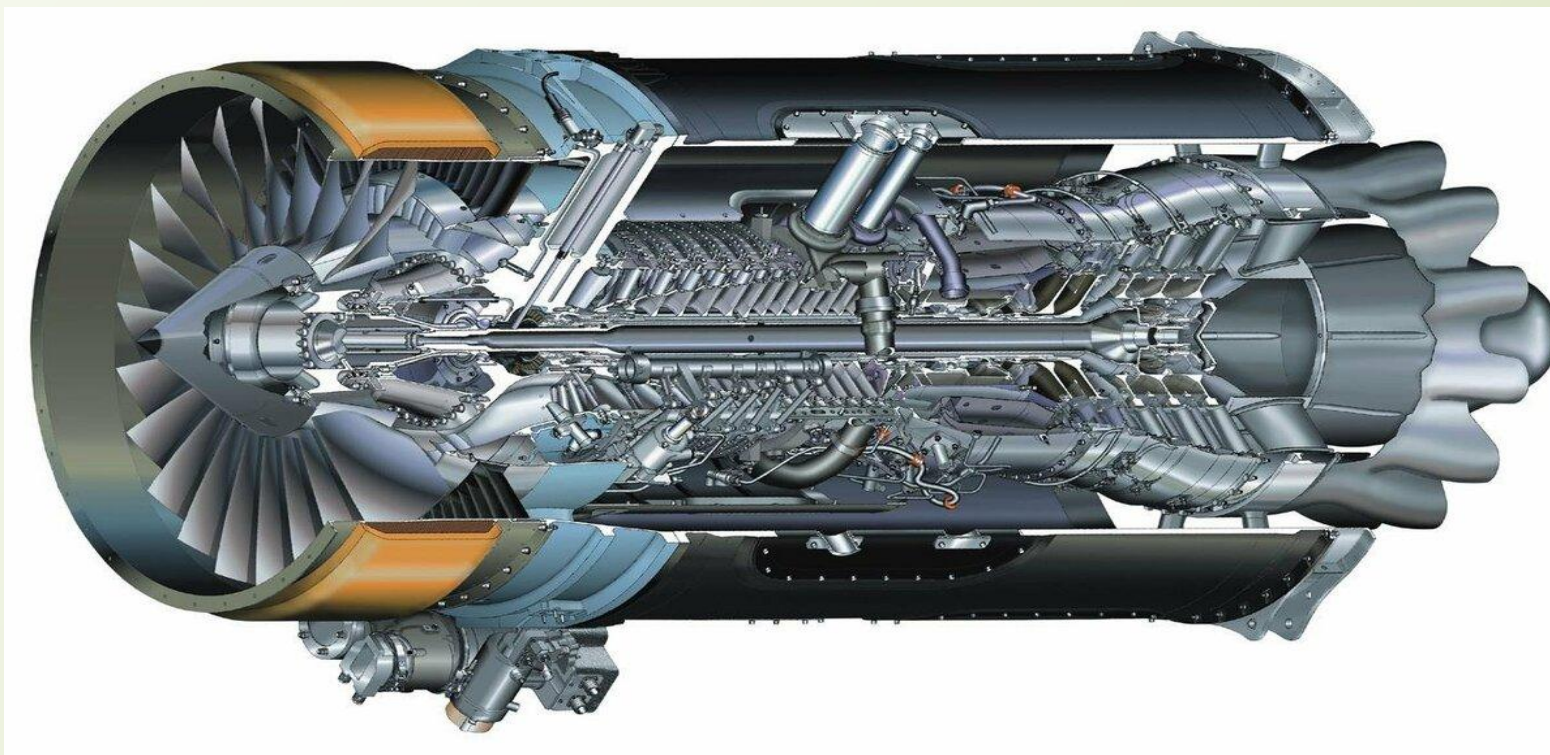
## Принцип действия турбореактивного двигателя (ТРДФ)

- Турбореактивный двигатель с форсажной камерой сгорания (ТРДФ) (рис. В.3) отличается от ТРД наличием между турбиной 6 и реактивным соплом 9 форсажной камеры сгорания 8, которая обеспечивает повышение температуры газа перед соплом и увеличение скорости истечения из него. Соответственно, возрастает и реактивная тяга. ТРДФ используются на самолетах с большой тяговооруженностью и большими максимальными числами  $M$  полёта ( $M_{п} = 2,0...3,5$ ), поэтому они оборудуются сверхзвуковым входным устройством и реактивным соплом с расширяющейся частью после критического сечения (сопло Лавалья)



## Турбореактивный двигатель (ТРДД)

Турбореактивные двухконтурные двигатели (ТРДД) отличаются тем, что у них воздух, поступающий через входное устройство, разделяется на два потока: внутренний, проходящий через турбокомпрессор, и внешний, проходящий через вентилятор, приводимый во вращение турбиной внутреннего контура. Истечение происходит либо через два независимых сопла, либо газовые потоки соединяются за турбиной и вытекают через одно общее сопло. В ТРДД за счет обмена механической энергией между контурами внесённая с топливом энергия подводится к массе воздуха, проходящей через оба контура, поэтому уменьшается скорость истечения. Уменьшение потерь кинетической энергии, выходящей из двигателя газовой струей, приводит к улучшению экономичности ТРДД на дозвуковых скоростях полета. Уменьшение скорости истечения газа из двигателя способствует также снижению уровня шума.



## Турбореактивный двигатель (ТРДД)

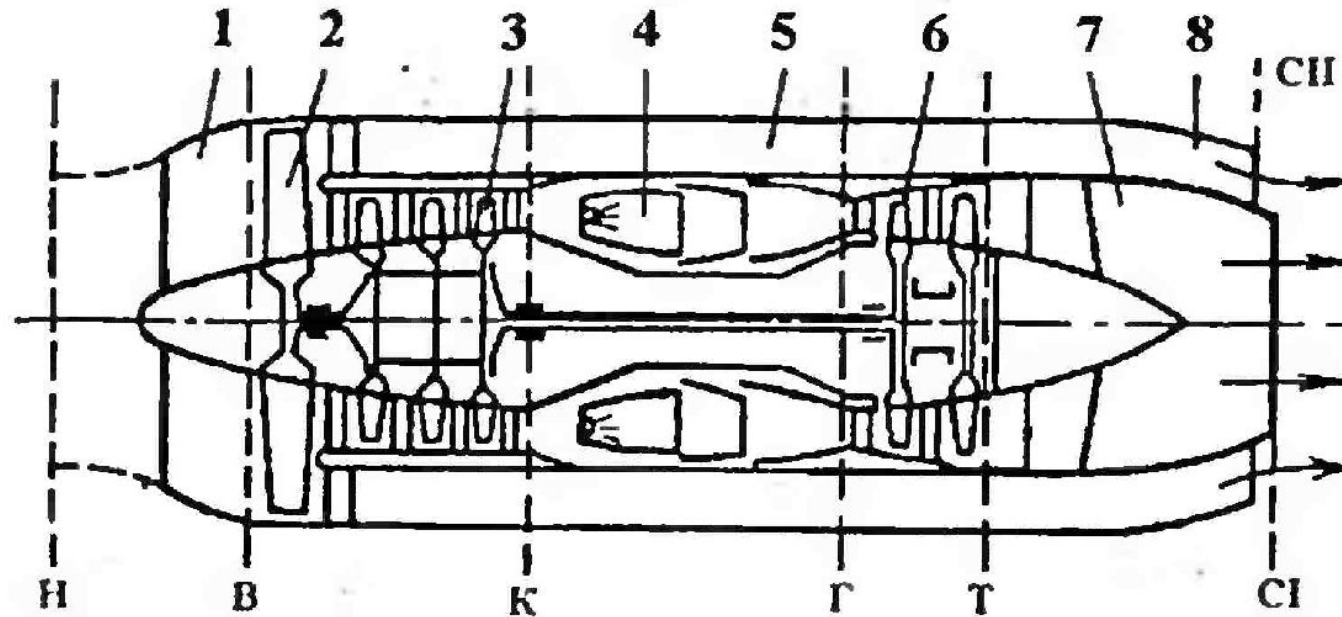


Рис. В.4. Схема ТРДД с раздельными контурами:  
1 — воздухозаборник; 2 — вентилятор; 3 — компрессор;  
4 — камера сгорания; 5 — внешний контур; 6 — турбина;  
7 — реактивное сопло внутреннего контура;  
8 — реактивное сопло внешнего контура

## Турбореактивный двигатель (ТРДД)

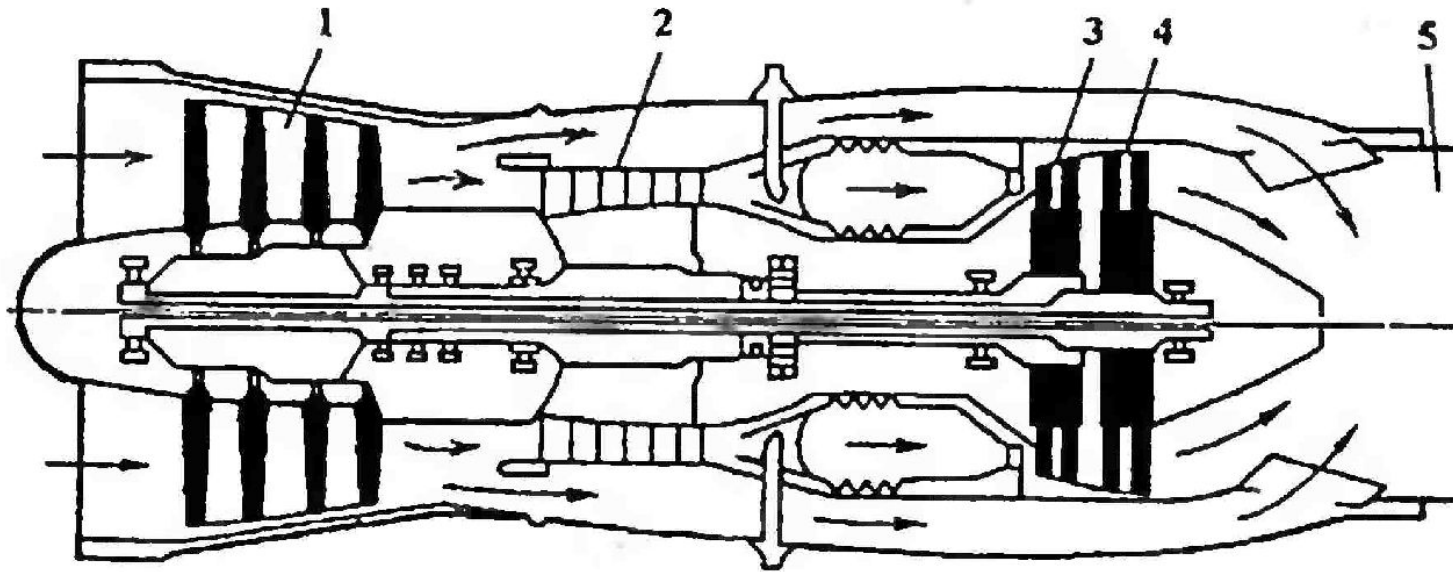


Рис. В.5. Схема ТРДД со смешением потоков:

- 1 — вентилятор и компрессор низкого давления;  
2 — компрессор высокого давления; 3 — турбина высокого давления;  
4 — турбина низкого давления; 5 — общее реактивное сопло

Двухконтурный турбореактивный двигатель с форсажной камерой (ТРДДФ)

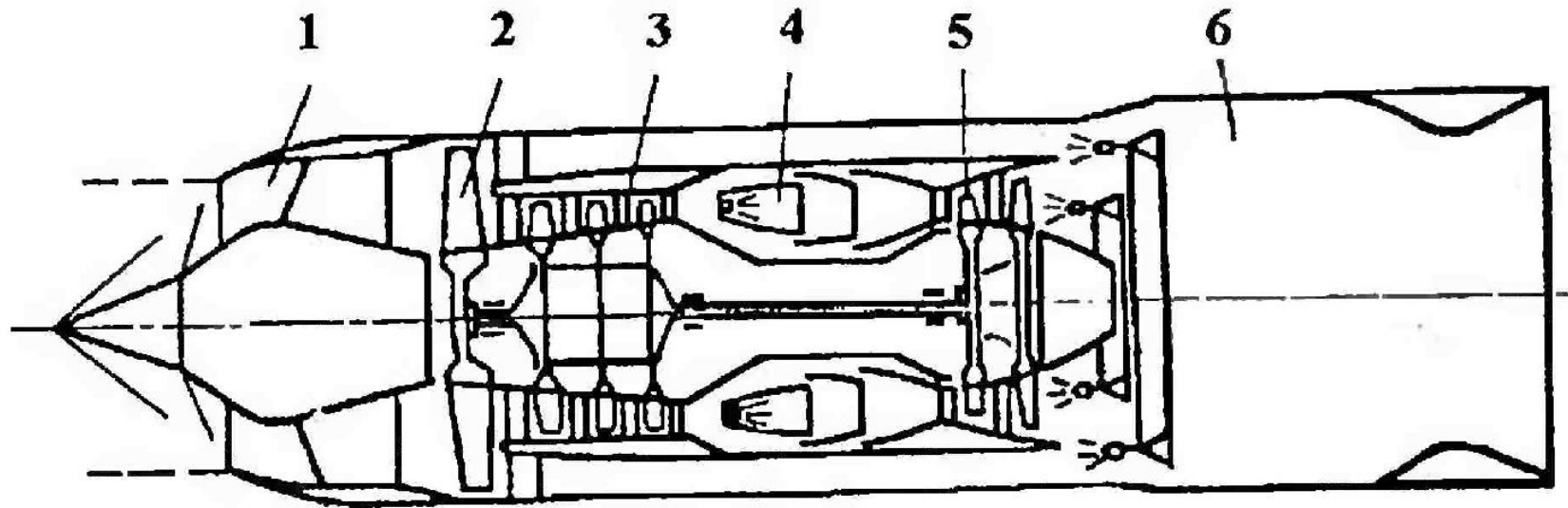
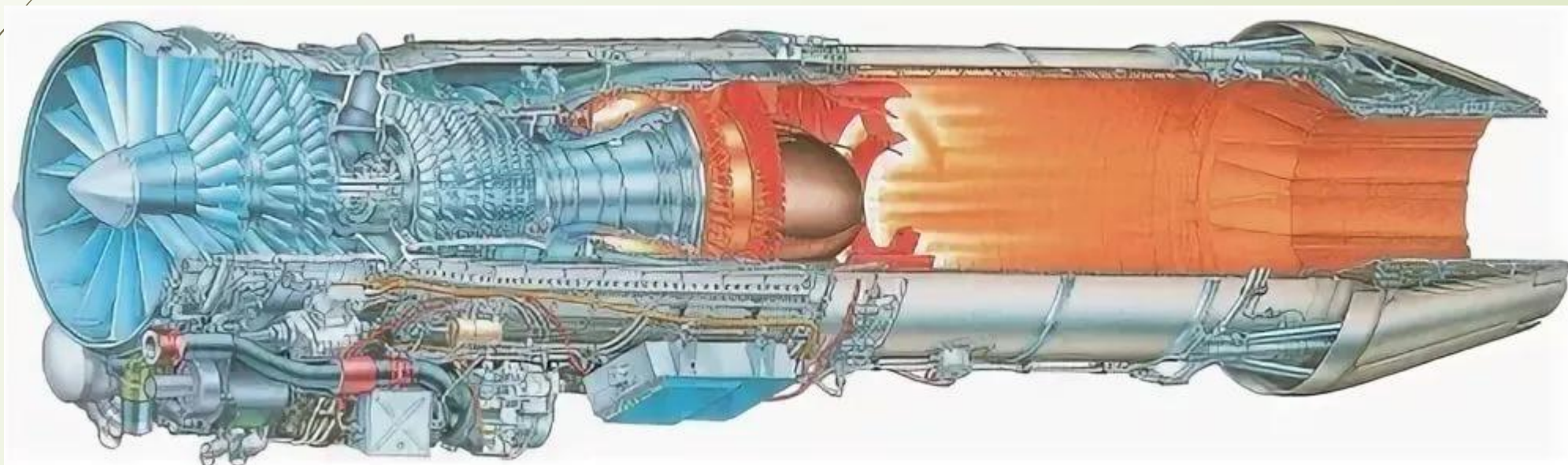


Рис. В.6. Схема ТРДДФ:

- 1 — воздухозаборник; 2 — вентилятор; 3 — компрессор;  
4 — камера сгорания; 5 — турбина;  
6 — форсажная камера сгорания

## Принцип действия турбореактивного двигателя (ТРДДФ)

- Турбореактивный двигатель с форсажной камерой сгорания (ТРДДФ) (рис. В.3) отличается от ТРДД наличием между турбиной 4 и реактивным соплом 6 форсажной камеры сгорания 5, которая обеспечивает повышение температуры газа перед соплом и увеличение скорости истечения из него. Соответственно, возрастает и реактивная тяга. ТРДДФ используются на самолетах с большой тяговооруженностью и большими максимальными числами  $M$  полёта ( $M_{п} = 2,0...3,5$ ), поэтому они оборудуются сверхзвуковым входным устройством и реактивным соплом с расширяющейся частью после критического сечения (сопло Лавала)



## Турбовинтовой двигатель (ТВД)

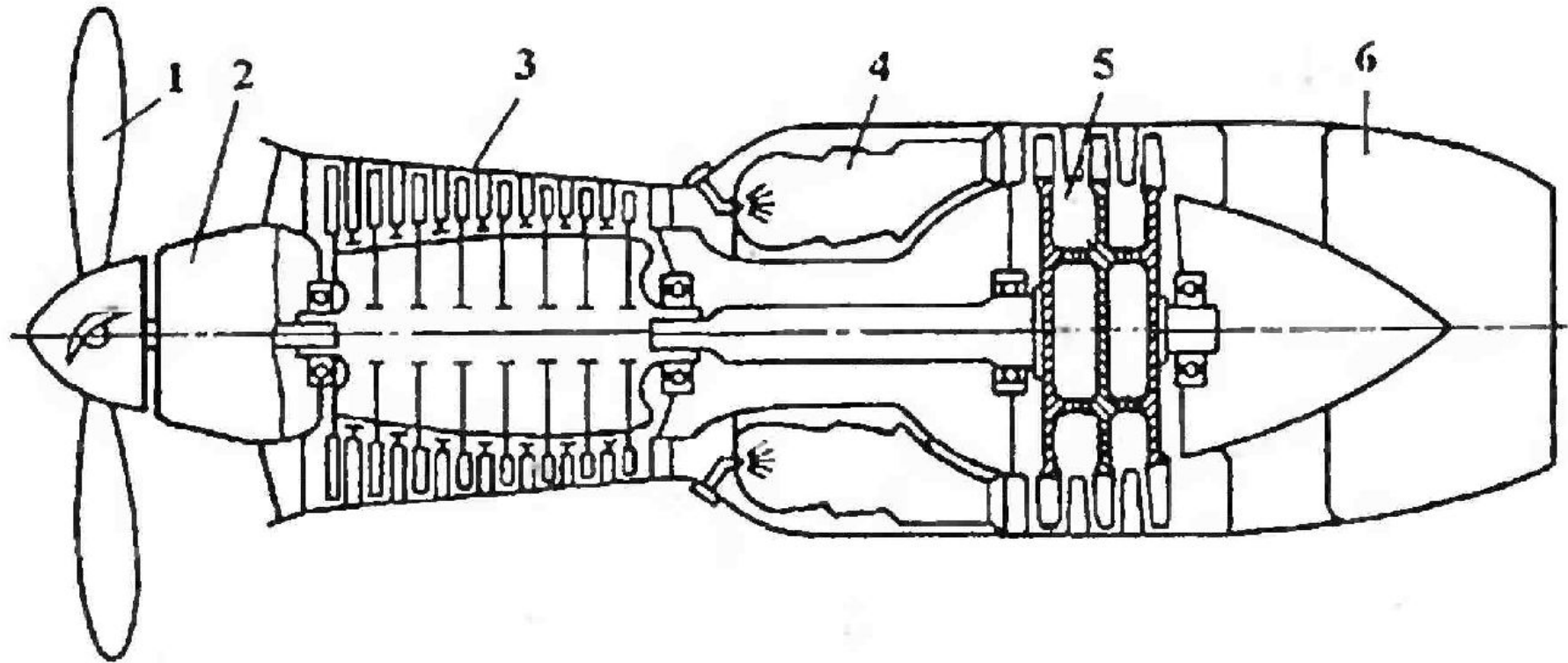


Рис. В.7. Схема ТВД:

1 — винт изменяемого шага; 2 — редуктор; 3 — компрессор;  
4 — камера сгорания; 5 — турбина; 6 — реактивное сопло

## Принцип действия турбовинтового двигателя (ТВД)

□ **Турбовинтовой двигатель** - тип газотурбинного двигателя, в котором основная часть энергии горячих газов используется для привода воздушного винта через понижающий частоту вращения редуктор, и лишь небольшая часть энергии преобразуется через реактивную тягу двигателя. Наличие понижающего редуктора обусловлено необходимостью преобразования мощности: турбина — высокооборотный агрегат с малым крутящим моментом, в то время как для вала воздушного винта требуются относительно малые обороты, но большой крутящий момент.



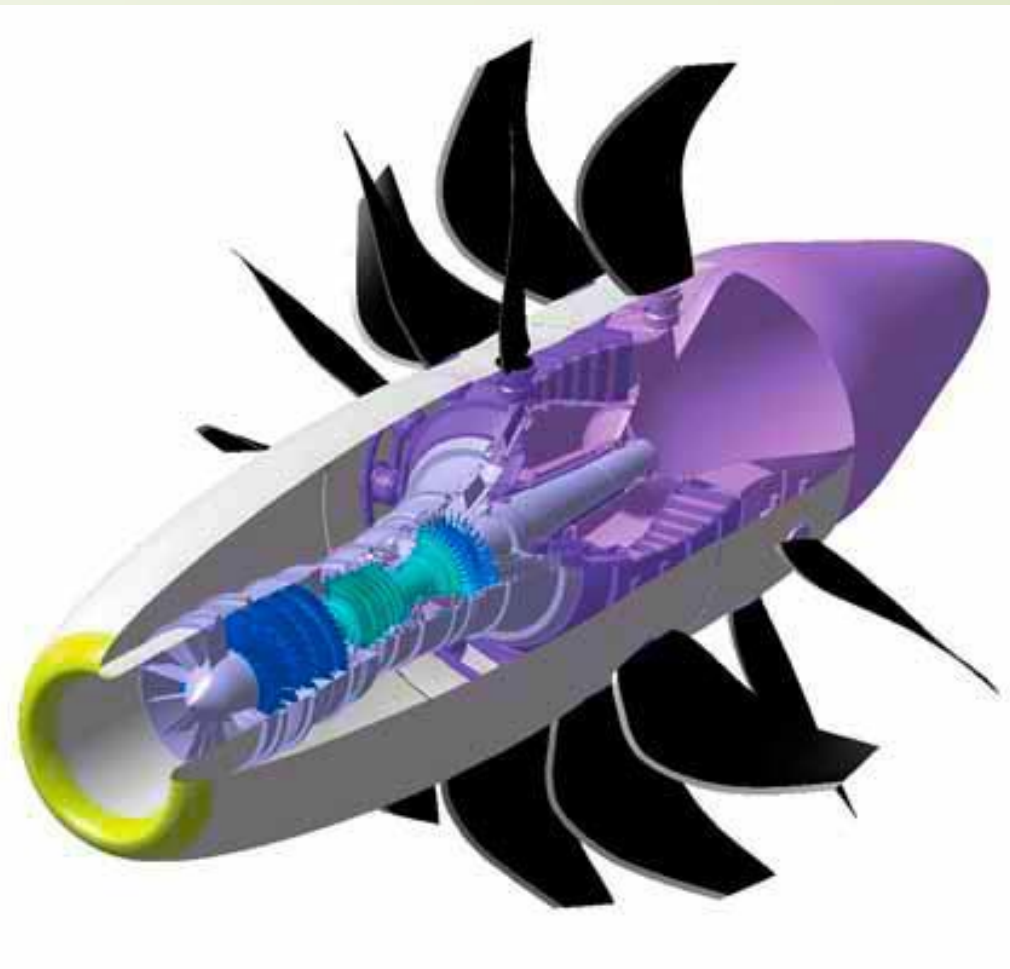


## Турбовинто-вентиляторный двигатель (ТВВД)

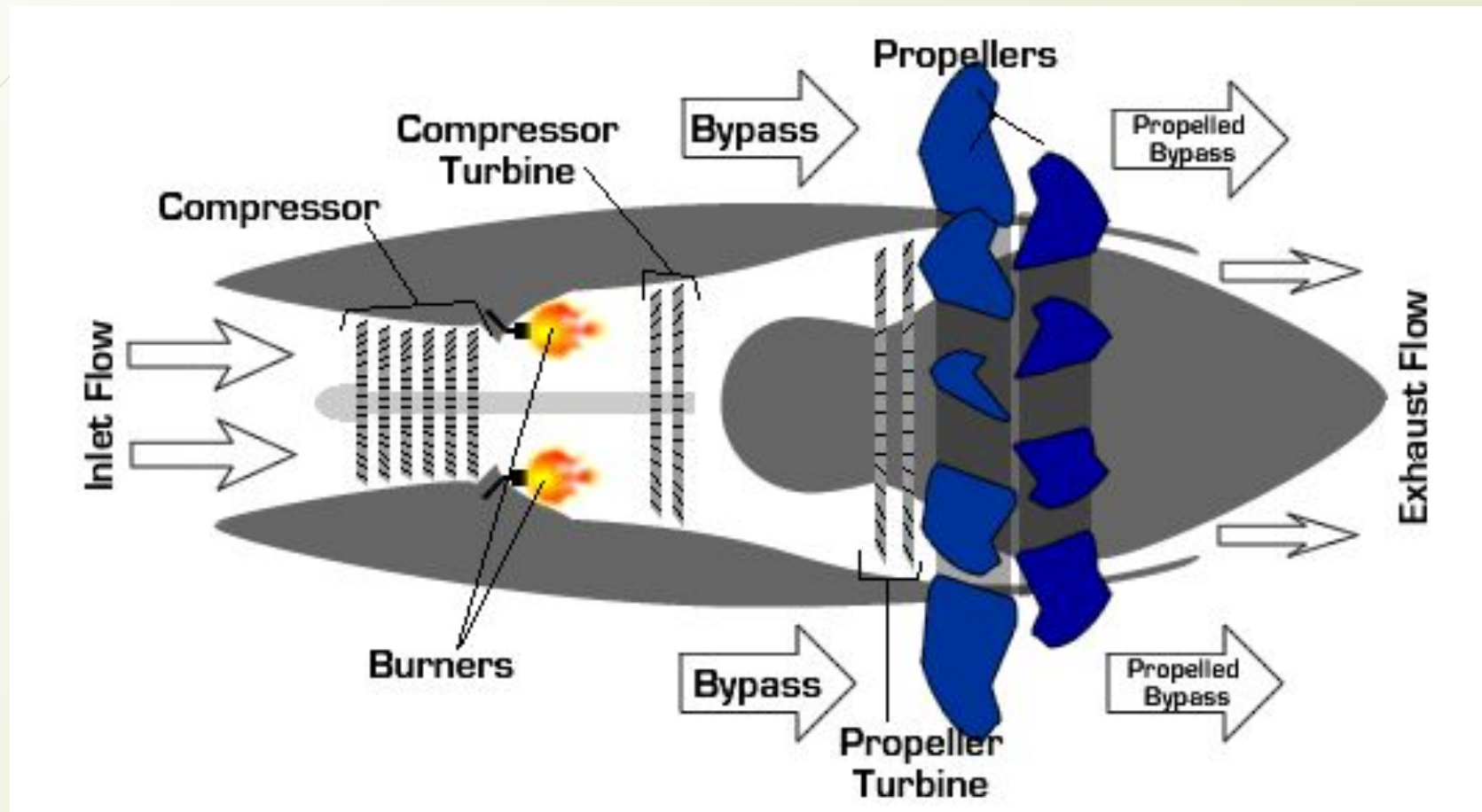
Турбовинтовентиляторный двигатель (ТВВД) – это двигатель, с высокой степенью двухконтурности (от 20 до 90) сочетает преимущества использования воздушного винта и вентилятора.

Как известно, ТВД является наиболее экономичным типом моторов, использование которого позволяет значительно сократить расходы на топливо, но при этом он довольно шумный и не может развивать сверхзвуковые скорости. Тяга в ТВД образуется преимущественно за счет вращения лопастей воздушного винта, имеющего довольно большой диаметр, а реактивная ее составляющая не превышает 10-20%.

В свою очередь, ТВРД представляет собой реактивный двухконтурный двигатель, конструкция и принцип работы которого позволяют уменьшить расход топлива в сравнении с обычными турбореактивными двигателями. Самолеты с ТВРД могут развивать сверхзвуковые скорости, а экономия топлива обеспечивается наличием второго контура – кольцевого канала, опоясывающего внутренний корпус. Вентилятор в таком двигателе не создает непосредственно тягу, как воздушный винт, а является, по сути, компрессором низкого давления, нагнетающим воздух в первый и второй контур.



# Принцип действия турбовинтовентиляторного двигателя (ТВВД)



## Принцип действия турбовинтовентиляторного двигателя (ТВВД)

После сжатия в компрессоре воздушный поток под давлением поступает в камеру сгорания, где находятся топливные форсунки и воспламенители. Сама камера сгорания может быть кольцевой или же состоять из нескольких отдельных жаровых труб. В ней воздух перемешивается с впрыснутым через форсунки топливом, образуя топливный заряд, который воспламеняется и сгорает, образуя расширенные газы.

Продукты горения в виде газов, находящихся под высоким давлением, выходят из камеры сгорания и попадают на лопасти турбины. Турбина, как и компрессор, имеет неподвижные и подвижные лопатки, только устанавливаются они наоборот: сначала газы проходят через неподвижные лопатки, выравнивая свое направление, а затем попадают на подвижные, отдавая им часть своей энергии. За счет воздействия газов на лопатки турбина вращается, приводя в движение компрессор, закрепленный с ней на одном валу. Как и компрессор, турбина состоит из нескольких ступеней, но их количество не превышает 5-ти.

В турбовинтовентиляторном двигателе кроме основной турбины есть еще одна, вращающая винтовентилятор, и эти турбины работают независимо одна от другой. Вал привода вентилятора обычно размещается внутри вала привода компрессора, при расположении винтовентилятора в передней части двигателя. Если винтовентилятор располагается в задней части ТВВД, то свободная турбина связана напрямую с винтами через корпус, что упрощает конструкцию. Турбина винтовентилятора размещена за основной турбиной и приводится в движение все теми же газами.

После прохождения турбин отработанные газы, все еще имеющие высокую скорость и температуру, выходят наружу через сопло, образуя реактивную тягу. Сопло в самом простом исполнении – это сужающаяся труба, но в некоторых случаях можно регулировать ее сечение и даже направленность выхода реактивного потока.

## Турбовальный двигатель (ТВаД)

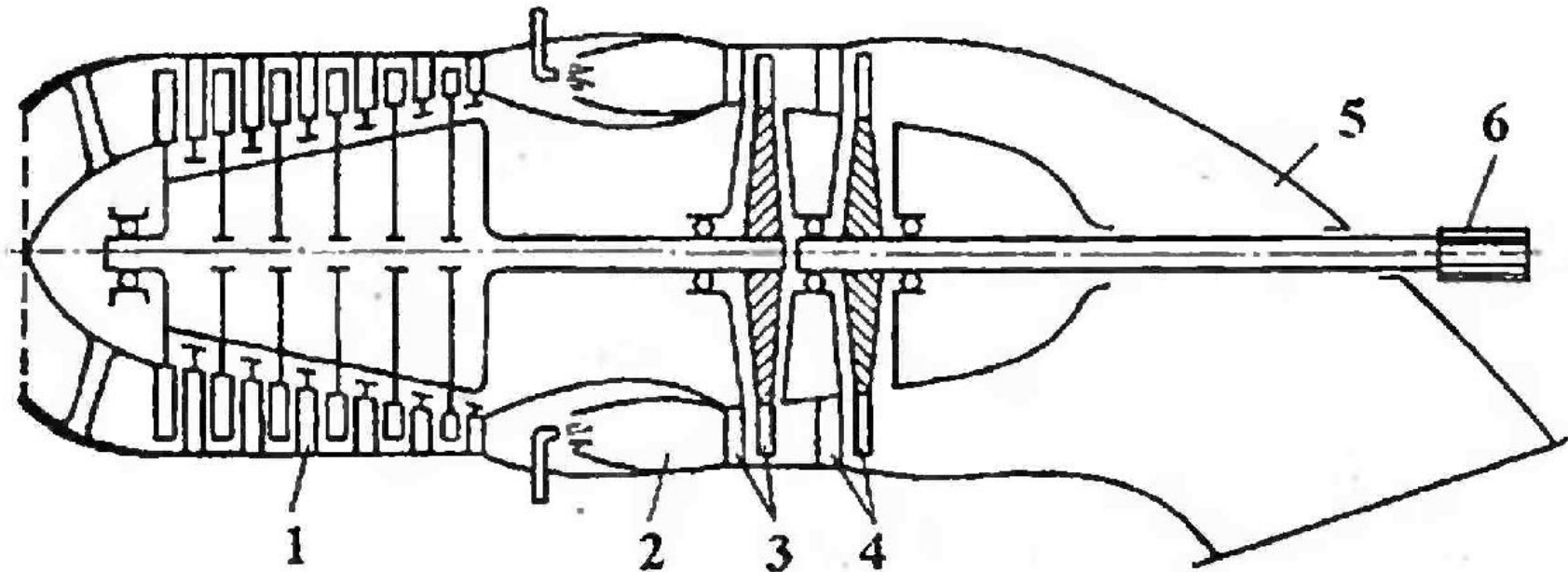


Рис. В.8. Схема турбовального двигателя:  
1 — компрессор; 2 — камера сгорания; 3 — турбина компрессора;  
4 — свободная турбина; 5 — выходной патрубок;  
6 — вал свободной турбины