



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

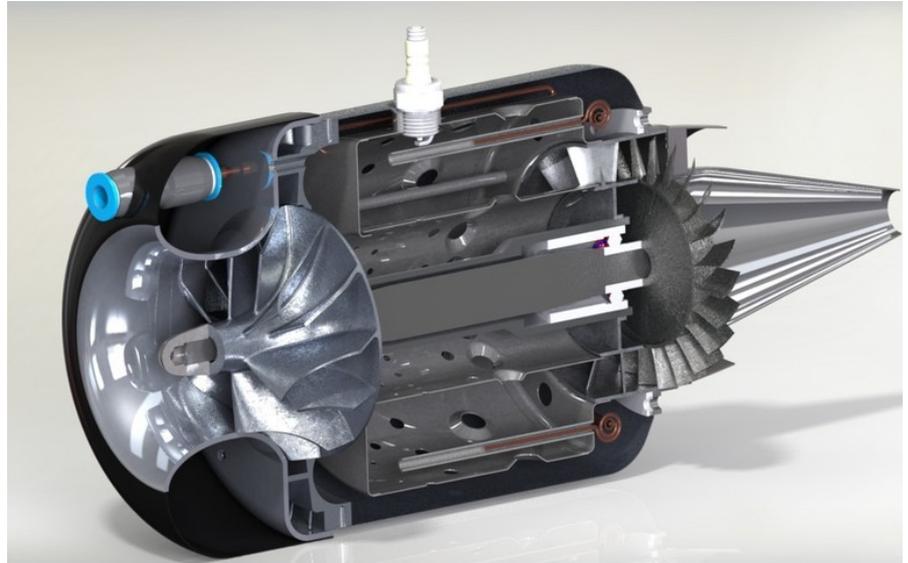
Институт двигателей и энергетических установок
Кафедра теории двигателей летательных аппаратов

Глава 1. Общие вопросы

§ 1.4. Принцип действия и классификация ГТД

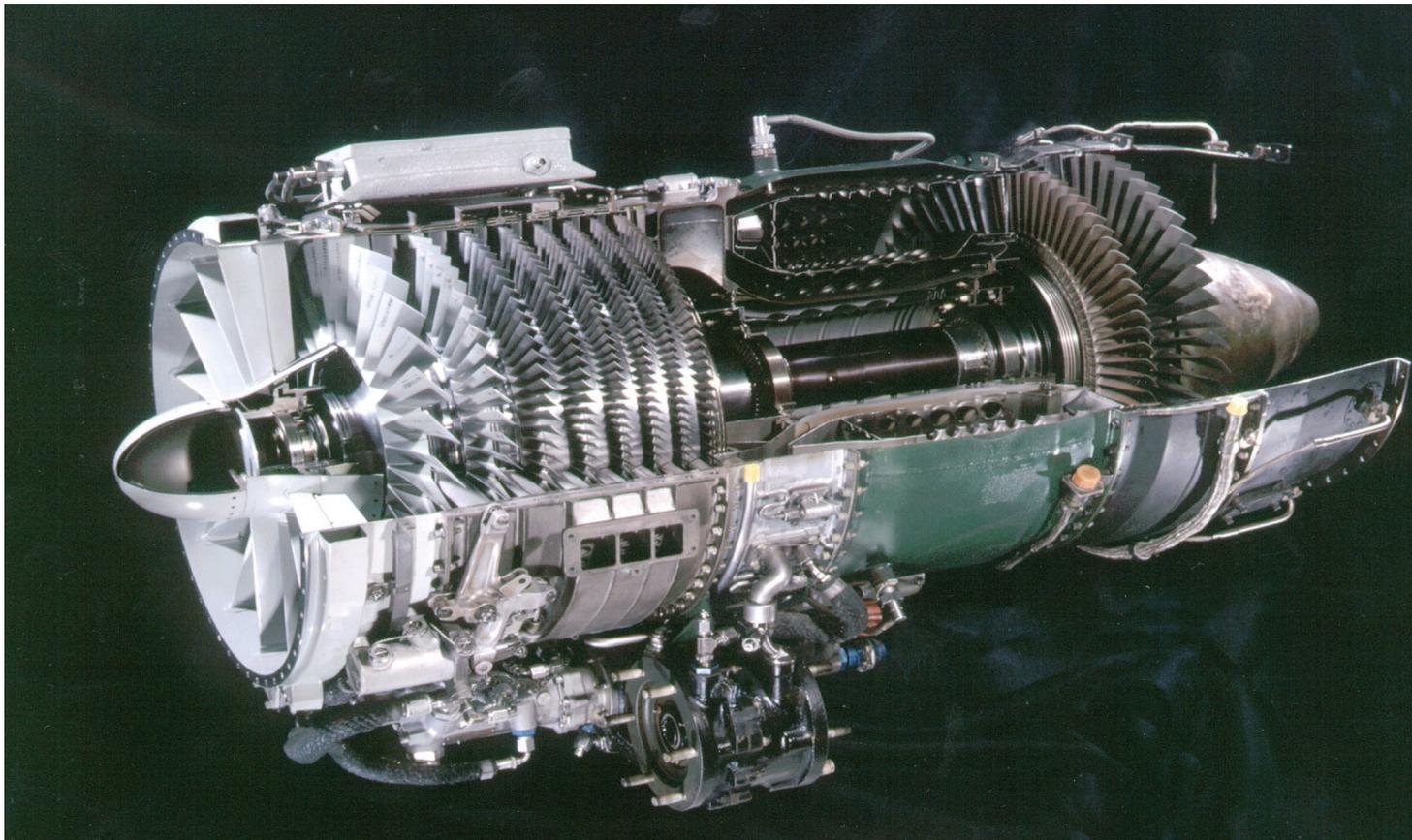
Газотурбинным двигателем (ГТД) называют тепловой двигатель внутреннего сгорания, в состав которого входят:

- входное устройство (ВУ);
- воздушный компрессор (К);
- камера сгорания (КС);
- газовая турбина (Т);
- выходное устройство.



Рабочий процесс ГТД складывается из процессов сжатия рабочего тела во входном устройстве и компрессоре, подвода теплоты в камере сгорания, расширения в турбине и канале выходного устройства.

1.4.1. Турбореактивные двигатели (ТРД)



Во входном устройстве кинетическая энергия воздушного потока, поступающего в двигатель при движении летательного аппарата, частично преобразуется в потенциальную энергию сжатого воздуха.

Далее воздух поступает в компрессор. **В компрессоре** он сжимается в результате подвода механической работы за счет взаимодействия с вращающимися и неподвижными лопаточными венцами.

В камере сгорания в потоке сжатого воздуха сжигается топливо. Химическая энергия топлива преобразуется в тепловую, за счет чего обеспечивается повышение температуры рабочего тела. В результате, из камеры сгорания выходят продукты сгорания (газ), обладающие высокими температурой и давлением, а, соответственно, высокими внутренней и потенциальной энергиями.

В турбине часть энергии газа преобразуется в механическую энергию на валу турбины за счет взаимодействия с лопаточными венцами. Давление и температура рабочего тела снижается. Вырабатываемая турбиной механическая энергия используется для вращения компрессора.

Следует отметить, что от рабочего тела в турбине отбирается столько же энергии, сколько ее подводится к рабочему телу в компрессоре. Однако, благодаря более высокой температуре, относительное изменение давления в турбине меньше, чем в компрессоре и, соответственно, давление за турбиной выше давления перед компрессором.

Компрессор, камера сгорания и турбина поэтому и **называются газогенератором (ГГ)**, так как «генерируют» газ высокого давления и высокой температуры.

Кроме того, расположенные на одном валу **компрессор и турбину** вместе **называют турбокомпрессором (ТК)**.

В сопле внутренняя энергия рабочего тела преобразуется в кинетическую энергию струи, вытекающей из двигателя в окружающую среду. Скорость истечения газа получается больше, чем скорость набегающего потока воздуха (скорость полета).

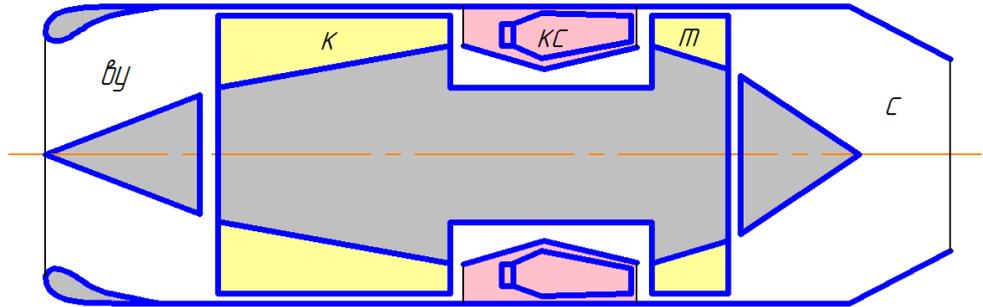
Следовательно, увеличивается полный импульс рабочего тела, проходящего через двигатель, что, согласно теореме импульсов (второму закону механики применительно к потоку газа), происходит за счет воздействия элементов конструкции всех узлов двигателя на поток рабочего тела.

В свою очередь, это сопровождается возникновением силы реакции на элементы конструкции двигателя со стороны потока рабочего тела, действующей по направлению полета и представляющей собой тяговое усилие - силу тяги (тягу).

Основной принцип действия ТРД, а также других типов ГТД прямой реакции, заключается в образовании силы тяги за счет увеличения полного импульса рабочего тела.

Схема одновального ТРД

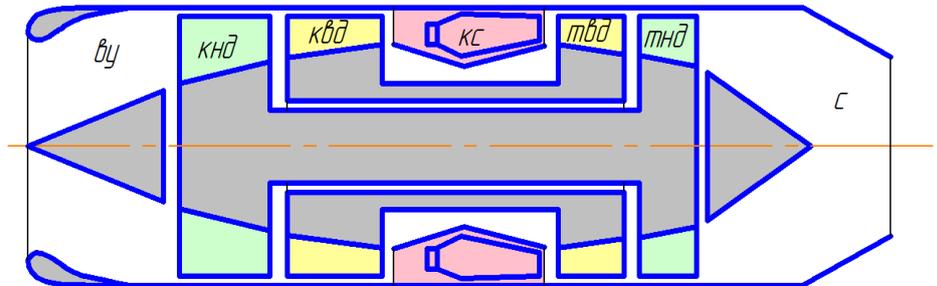
$k + kc + t =$ газогенератор (гр)



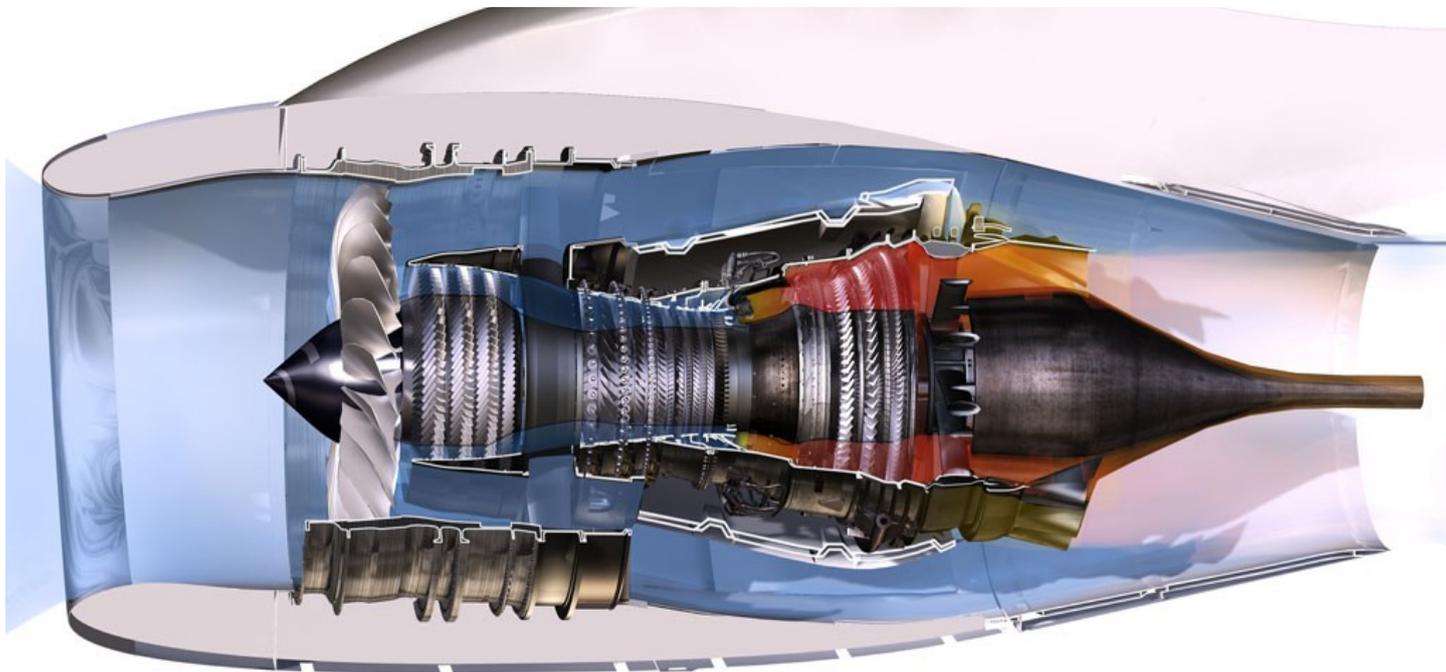
Кроме одновальных ТРД существуют также двухвальные. Они отличаются тем, что компрессор делится на два каскада низкого (нд) и высокого (вд) давления, механически не связанные между собой. Аналогично, турбина так же делится на каскады вд и нд, каждый из которых приводит во вращение соответствующий каскад компрессора.

Схема двухвального ТРД

$квд + твд =$ турбокомпрессор вд
 $кнд + тнд =$ турбокомпрессор нд



1.4.2. Двухконтурные ТРД (ТРДД)



В ТРДД воздух, поступающий из выходного устройства, сначала сжимается в вентиляторе, после чего разделяется на два потока: внутренний и наружный.

Внутренний поток поступает в подпорные ступени или следующие каскады компрессора и далее участвует в процессах аналогичных ТРД.

Наружный поток через канал наружного контура поступает в сопло наружного контура.

В турбине низкого давления часть внутренней энергии рабочего тела преобразуется в механическую и подводится к вентилятору, с помощью которого эта энергия подводится к воздуху, в том числе проходящему через наружный контур, который не участвует в процессе подвода теплоты.

Таким образом, внесенная с топливом энергия подводится в ТРДД не только к воздуху, проходящему через основной (внутренний) контур, но и к дополнительной массе воздуха, проходящей через наружный контур.

Распределение энергии по большей массе рабочего тела — главная особенность ТРДД.

Распределение энергии зависит в основном от **степени двухконтурности** m - отношения расхода воздуха через наружный контур к расходу через внутренний контур[^]

$$m = \frac{G_{II}}{G_I} .$$

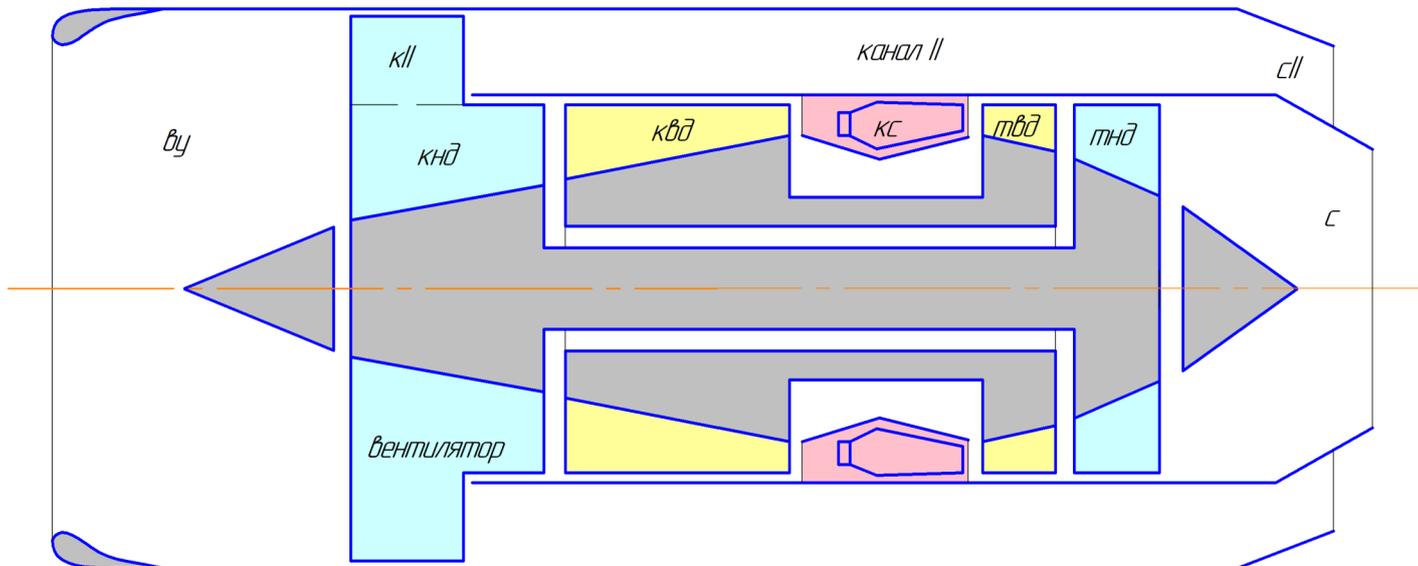
При уменьшении степени двухконтурности характеристики ТРДД приближаются к характеристикам ТРД. При $m=0$ ТРДД преобразуется в ТРД.

Благодаря распределению энергии по большей массе рабочего тела, ТРДД обеспечивает более высокую экономичность по сравнению с ТРД на дозвуковых скоростях полета.

Двухконтурные двигатели как силовые установки магистральных самолетов вытеснили ТРД и получили в настоящее время наибольшее распространение. Широко применяются двигатели со степенью двухконтурности, изменяющейся в диапазоне от 2 до 10. В целях дальнейшего повышения экономичности разрабатываются ТРДД с $m > 15$, которые получили название двигателей со сверхбольшой степенью двухконтурности (ТРДДсв).

Двухконтурные двигатели выполняются в основном двухвальными, а также трехвальными.

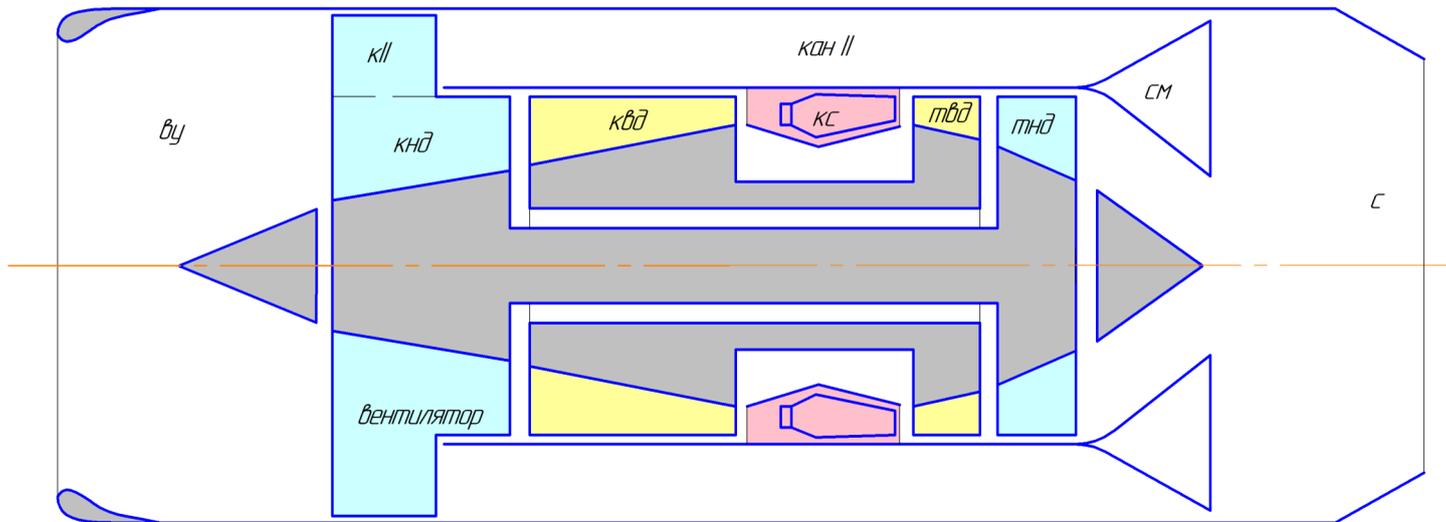
Схема двухвального ТРДД



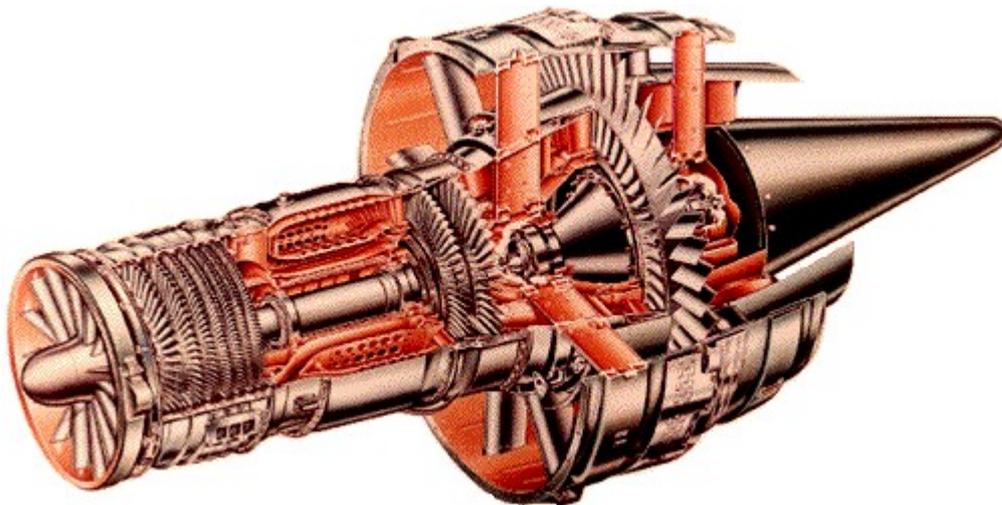
вентилятор + тнд = турбовентилятор

Широкое распространение получили ТРДД со смешением потоков, в частности ТРДД с двухкаскадным компрессором и подпорными ступенями. Применение подпорных ступеней объясняется стремлением получить эффективные двигатели разной тяги на базе одного газогенератора.

Схема двухвального ТРДД со смешением потоков (ТРДДсм)

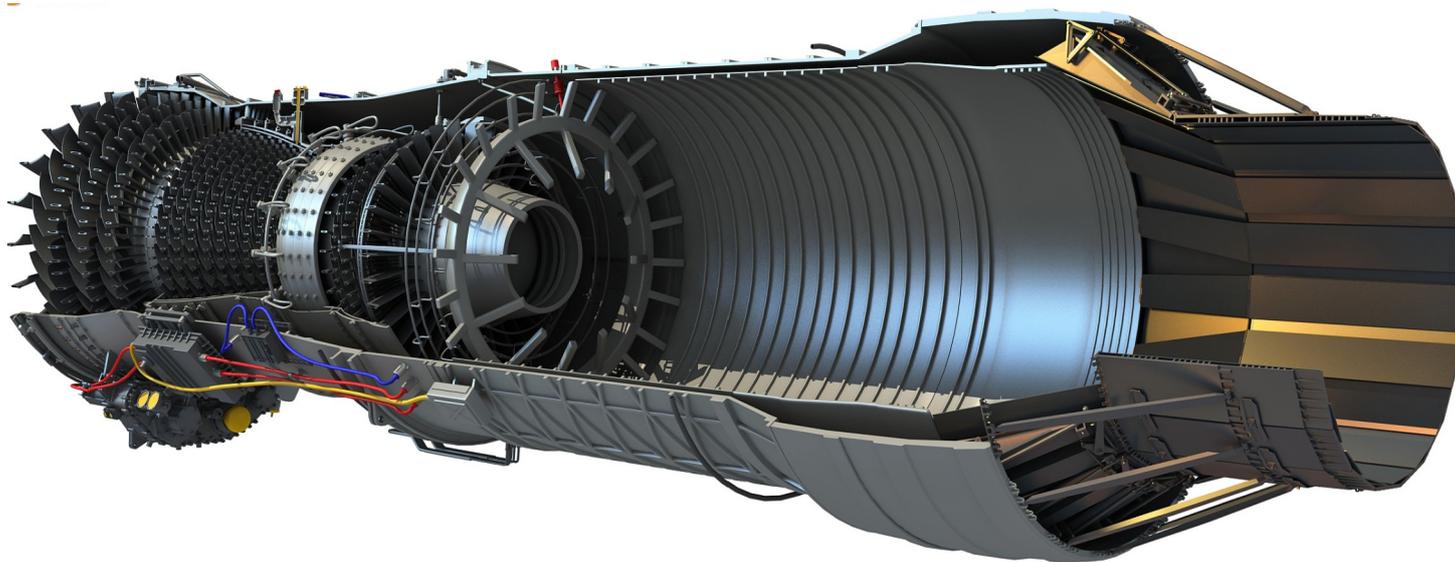


В двухконтурных двигателях с задним расположением вентилятора лопатки вентилятора наружного контура располагаются над лопатками отдельной турбины, образуя с ними одно целое – турбовентиляторную приставку. Такая приставка к одноконтурному ТРД преобразует его в двухконтурный. Двигатели с турбовентиляторной приставкой появились в 50-х годах XX века на базе серийно выпускавшихся ТРД. Они обеспечили существенное снижение удельного расхода топлива и повышение эффективности эксплуатации.



По одновальной схеме двухконтурные двигатели, как правило, не выполняются. Известны, однако, двигатели, например, фирм SNECMA и Turbomeca, выполненные по одновальной схеме. Это либо малоразмерные двигатели, либо двигатели с небольшой степенью двухконтурности и невысокой степенью повышения давления в компрессоре.

1.4.3. Форсажные ТРД и ТРДД (ТРДФ и ТРДДФ)



Сжигание дополнительного топлива в форсажной камере (фк) за турбиной, которое применялось вначале как средство для кратковременного увеличения тяги, оказалось настолько эффективным (в смысле увеличения тяги) и получило такое широкое распространение, что ТРД и ТРДД с форсажными камерами образовали два новых типа авиационных двигателей – ТРДФ и ТРДДФ.

В отличие от обычного ТРД за турбиной ТРДФ расположены диффузор, форсажная камера и регулируемое сопло. В диффузоре скорость потока газа понижается, что необходимо для стабильного сгорания топлива. В форсажной камере температура газа повышается, как правило, до более высоких значений, чем в основной камере. Благодаря этому обеспечивается высокая скорость истечения газа из сопла, а следовательно, высокая тяга.

Существующие двухконтурные двигатели с форсажными камерами выполняются по схеме с общей форсажной камерой (ТРДДФсм).

Схема двухвального ТРДФ

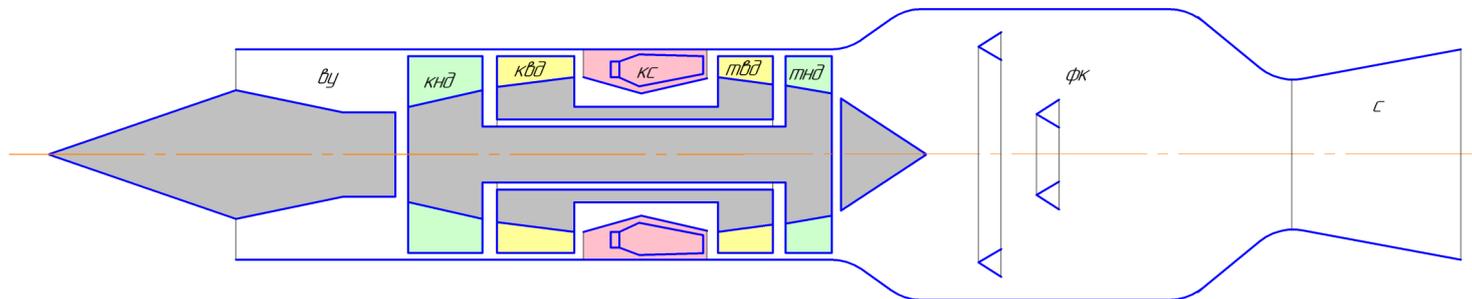
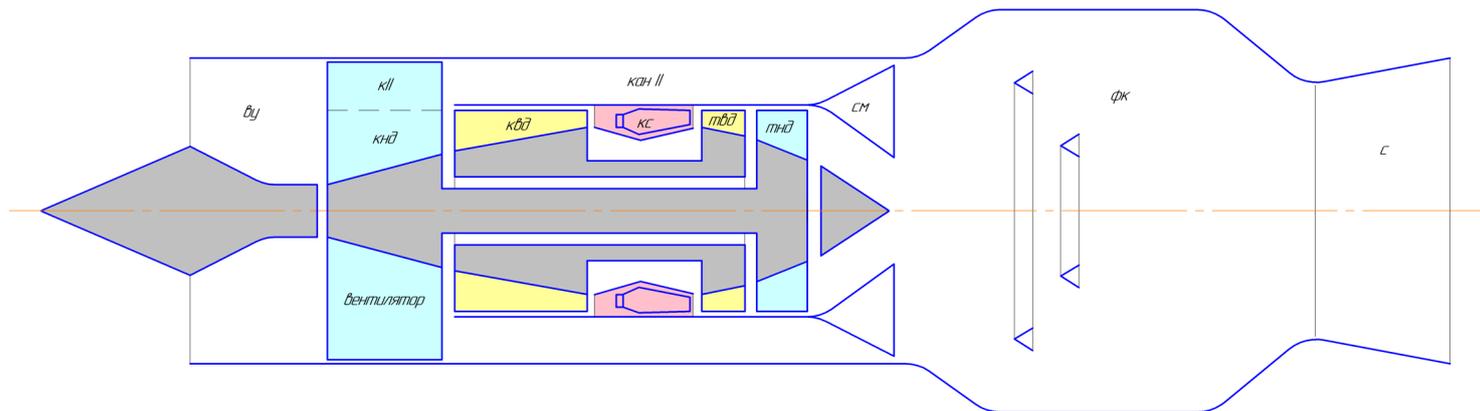
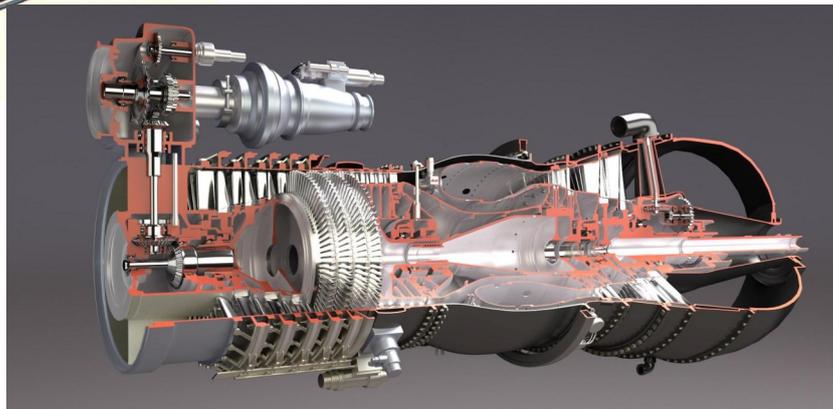
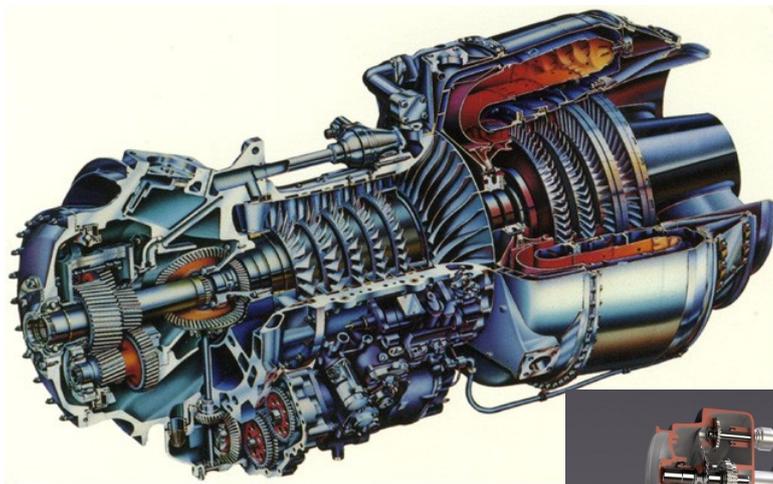


Схема двухвального ТРДДФсм



1.4.4. Турбовинтовые (ТВД), турбовинтовентиляторные (ТВВД) и газотурбинные двигатели со свободной турбиной (ГТД СТ)

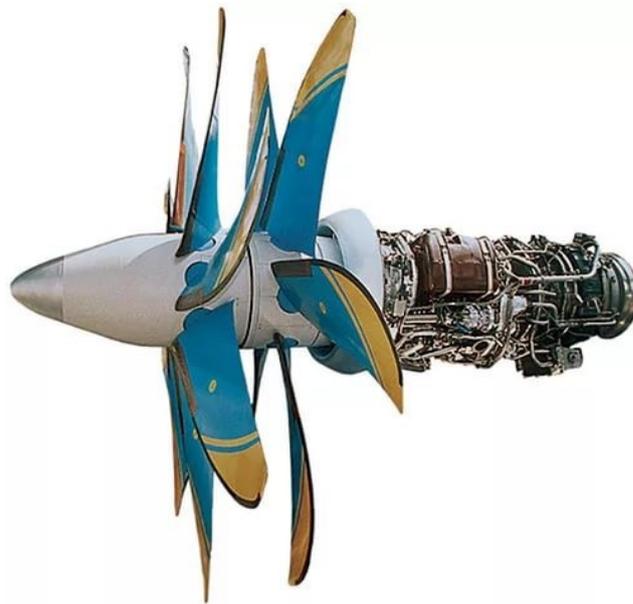


Турбовинтовые, турбовинтовентиляторные и газотурбинные двигатели со свободной турбиной (турбовальные двигатели) – это такие тепловые машины, в которых большая часть полезной энергии преобразуется в турбине в механическую работу и отводится не только на привод компрессора, но и других потребителей.

Если полезная мощность отводится на привод самолетного винта, то это турбовинтовой или турбовинтовентиляторный двигатель.

Винтовентилятором называют высоконапорный винт, специально профилированный для эффективной работы при больших дозвуковых скоростях полета.

ТВВД по принципу действия не отличается от ТВД.



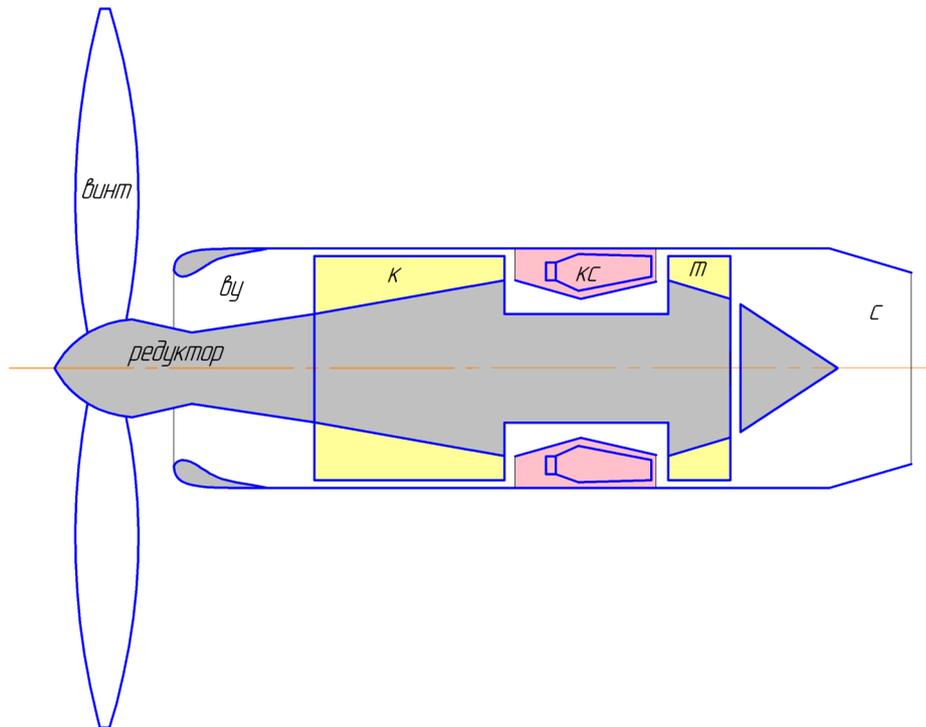
ГТД СТ широко применяются в качестве силовых установок вертолетов, речных и морских судов, для наземного транспорта, на компрессорных газоперекачивающих станциях магистральных газопроводов, пиковых тепловых электростанциях, а также в качестве вспомогательных силовых установок (ВСУ), применяемых на современных самолетах и вертолетах для пуска основных двигателей, питания систем кондиционирования, привода электрогенератора и другого вспомогательного оборудования (ВСУ состоит из малоразмерного ГТД СТ и агрегатов для отбора от него механической энергии или сжатого воздуха).

Принцип действия ТВД аналогичен принципу действия основного контура ТРДД. Но в ТВД часть механической энергии, отбираемой от турбины, передается не в наружный контур, а на привод воздушного винта (через редуктор), с помощью которого образуется тяга.

Винт в данном случае играет роль вентилятора наружного контура, и турбовинтовой двигатель, следовательно, можно рассматривать как частный случай ТРДД с высокой степенью двухконтурности $m=25...100$.

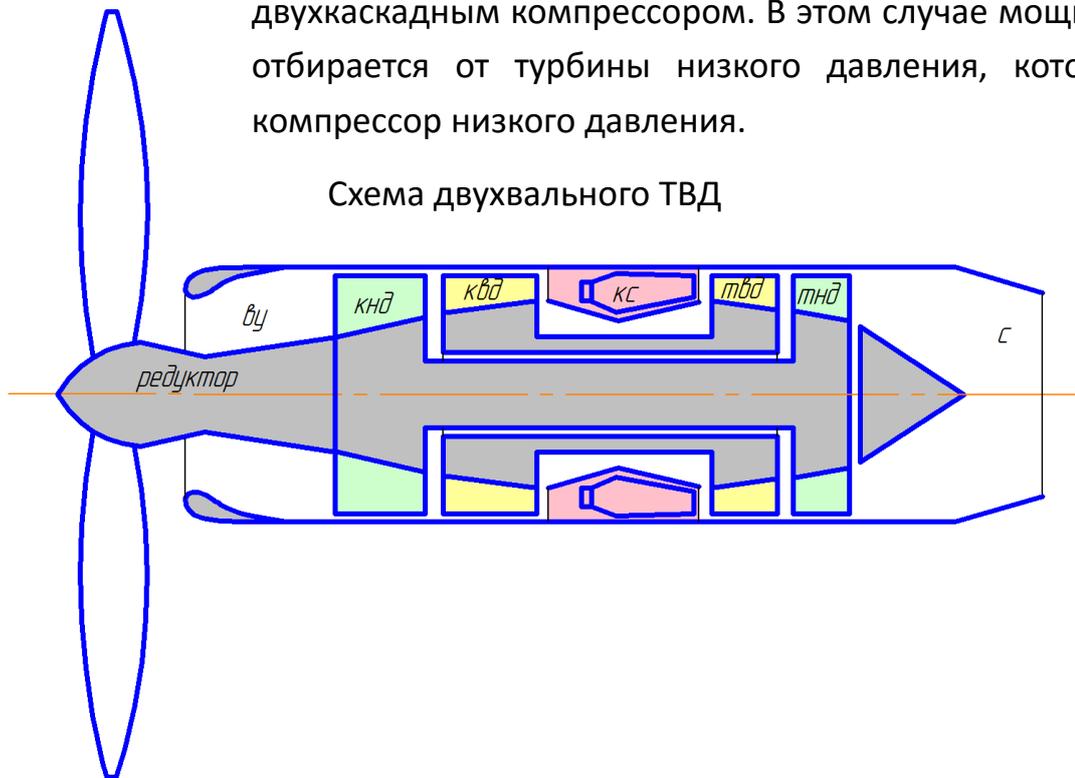
Силовая установка самолета с ТВД состоит из трех агрегатов: винта, редуктора и собственно двигателя. Тяга развивается главным образом винтом (90 % и более) и только небольшая ее часть – собственно двигателем. ТВД с винтом является силовой установкой смешанной тяги.

Схема одновального ТВД



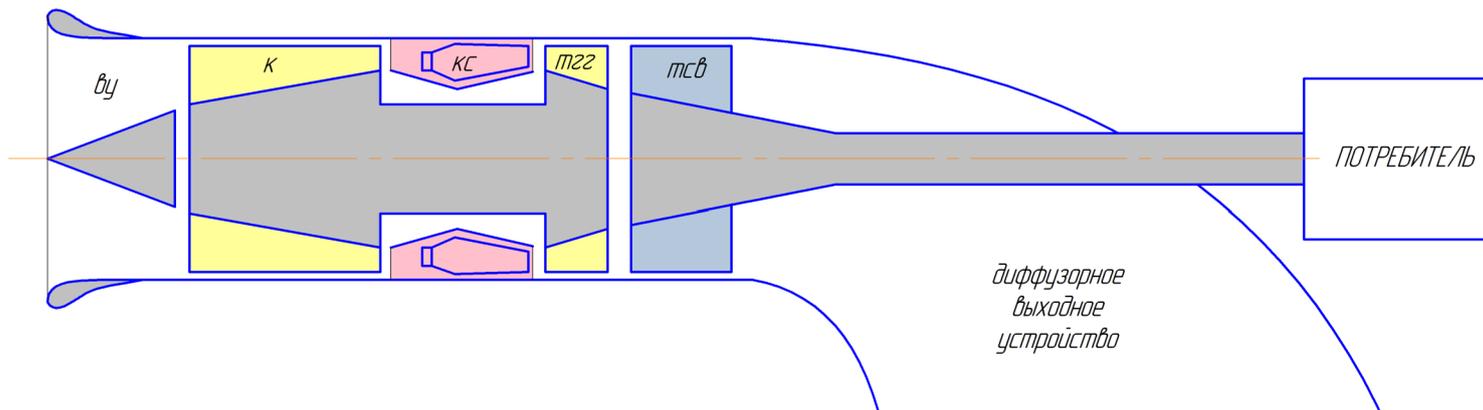
ТВД выполняются, кроме того, по двухвальной схеме с двухкаскадным компрессором. В этом случае мощность на привод винта отбирается от турбины низкого давления, которая приводит также компрессор низкого давления.

Схема двухвального ТВД



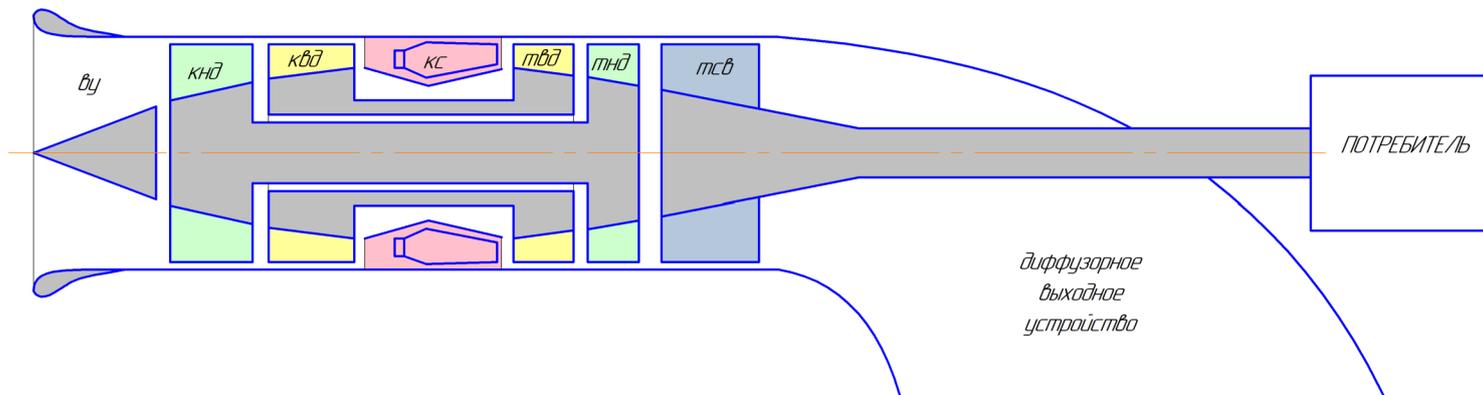
По принципу действия ГТД СТ является частным случаем ТВД. В этом случае вся полезно используемая тепловая энергия преобразуется в турбине в механическую работу. Выходное устройство такого двигателя выполняется диффузорным, что позволяет наиболее полно осуществить указанное преобразование энергии и уменьшить потери кинетической энергии с выхлопными газами. **ГТД СТ** двигатель, следовательно, **является нереактивным двигателем.**

Схема ГТД СТ с одновальным газогенератором и свободной турбиной



Существуют также ГТД трехвальные и четырехвальные ГТД СТ, соответственно, с двухвальным и трехвальным газогенераторами.

Схема ГТД СТ с двухвальным газогенератором и свободной турбиной



1.4.5. Обозначение характерных сечений проточной части ГТД

Основные сечения на входе и выходе узлов ГТД обозначаются следующими символами:

Н	–	сечение невозмущенного потока перед двигателем;
ВХ	–	на входе во входное устройство;
В	–	на выходе из входного устройства (на входе в компрессор);
К	–	на выходе из компрессора (на входе в камеру сгорания);
Г	–	на выходе из камеры сгорания (на входе в турбину);
Т	–	на выходе из турбины;
І	–	на выходе из внутреннего канала (на входе в камеру смешения);
ІІ	–	на выходе из наружного канала;
СМ	–	на выходе из камеры смешения;
Ф	–	на выходе из форсажной камеры сгорания;
С.КР	–	критическое (минимальное) сечение сопла;
С	–	на выходе из сопла.

На схеме ГТД с двухкаскадными компрессором и турбиной сечение между компрессорами нд и вд обозначается ВВД (КНД), а между турбинами вд и нд – ГНД (ТВД).

Схема двухвального ТРД

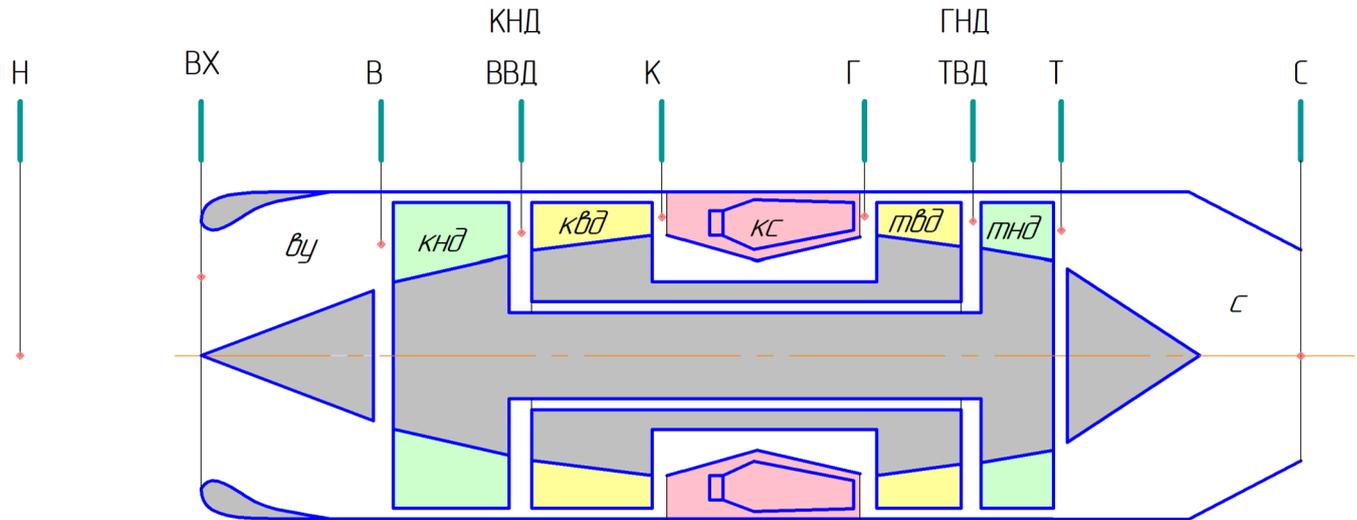


Схема трехвального ТРДД

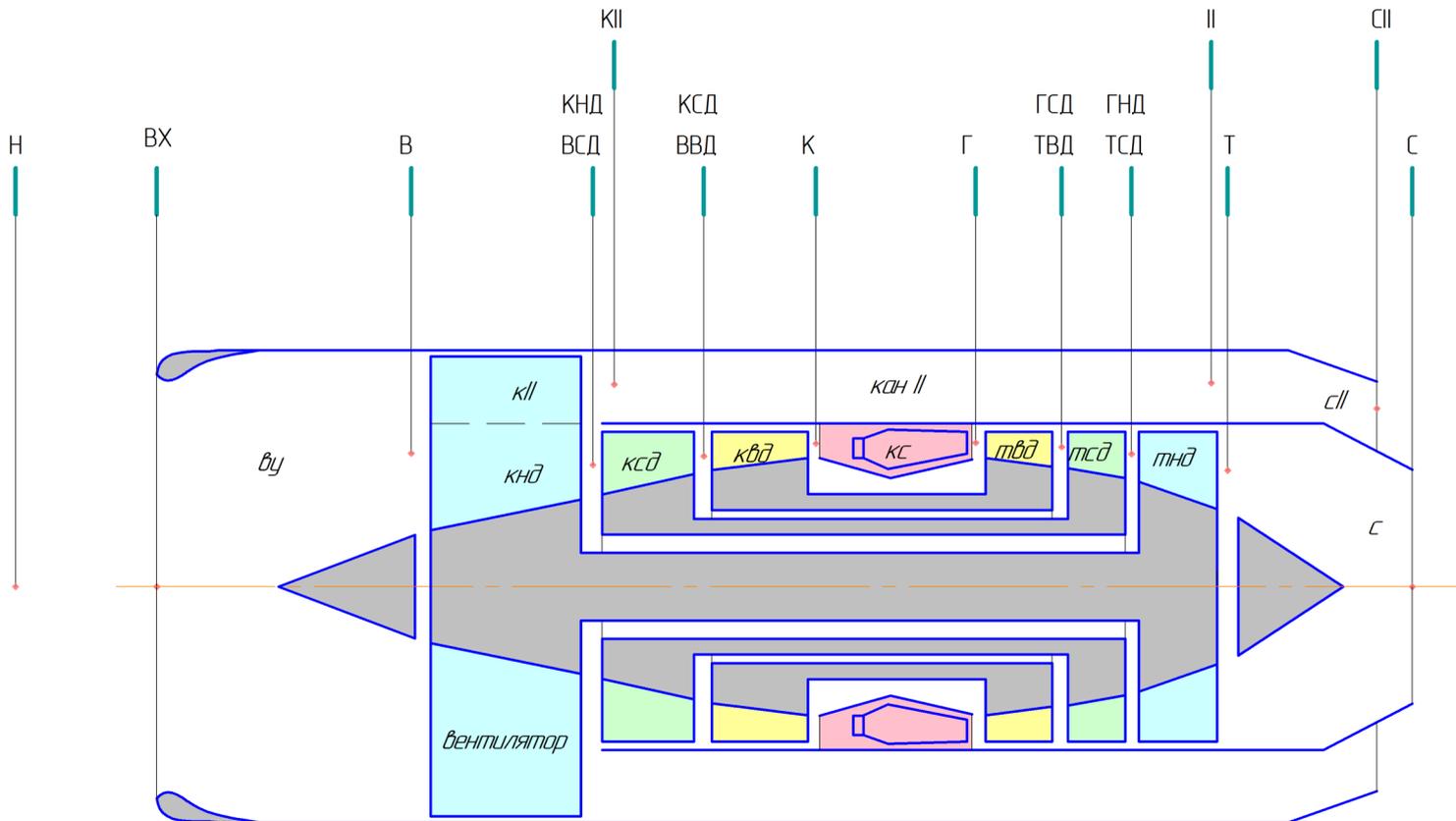


Схема двухвального ТРДДсм

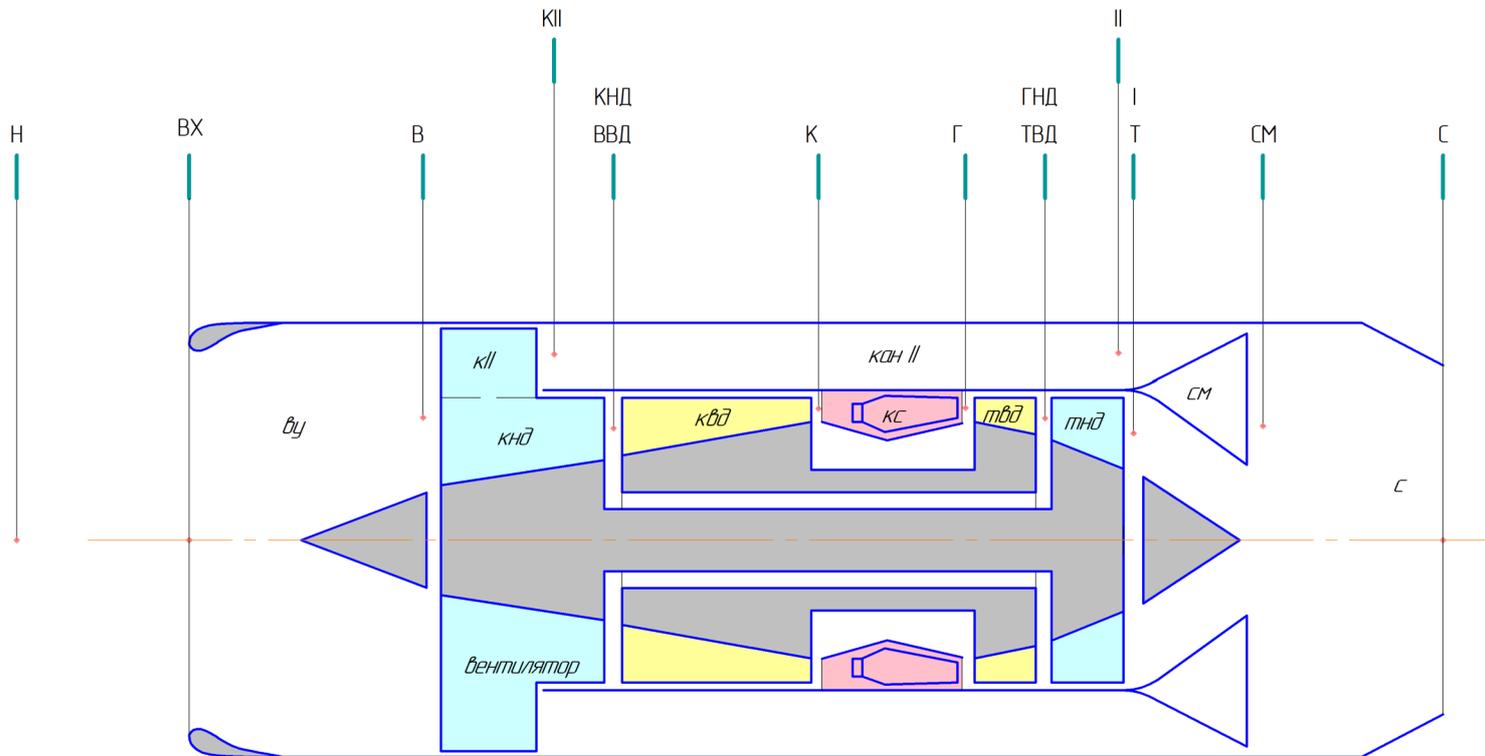


Схема одновального ТРДФ

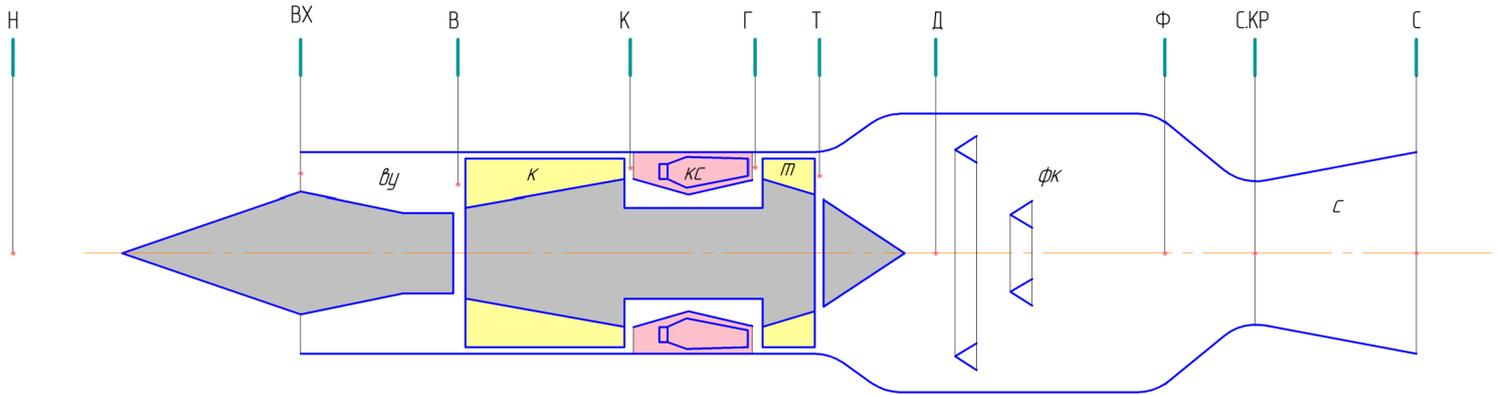


Схема одновального ТВД

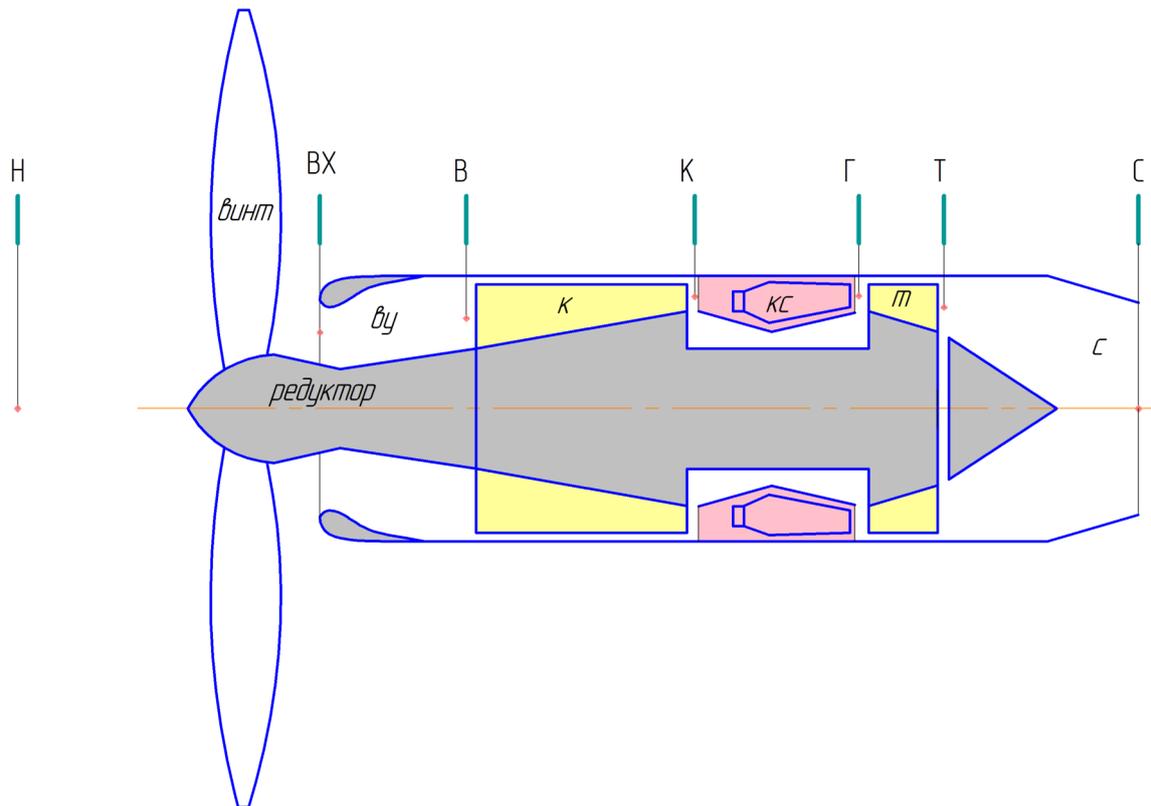
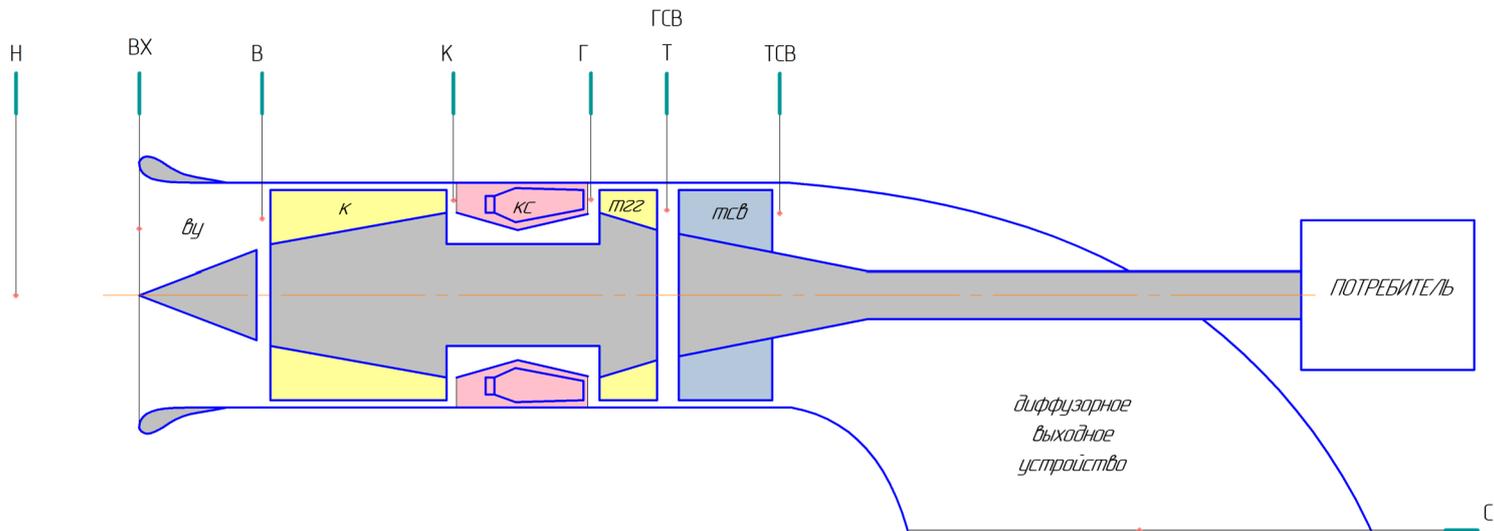
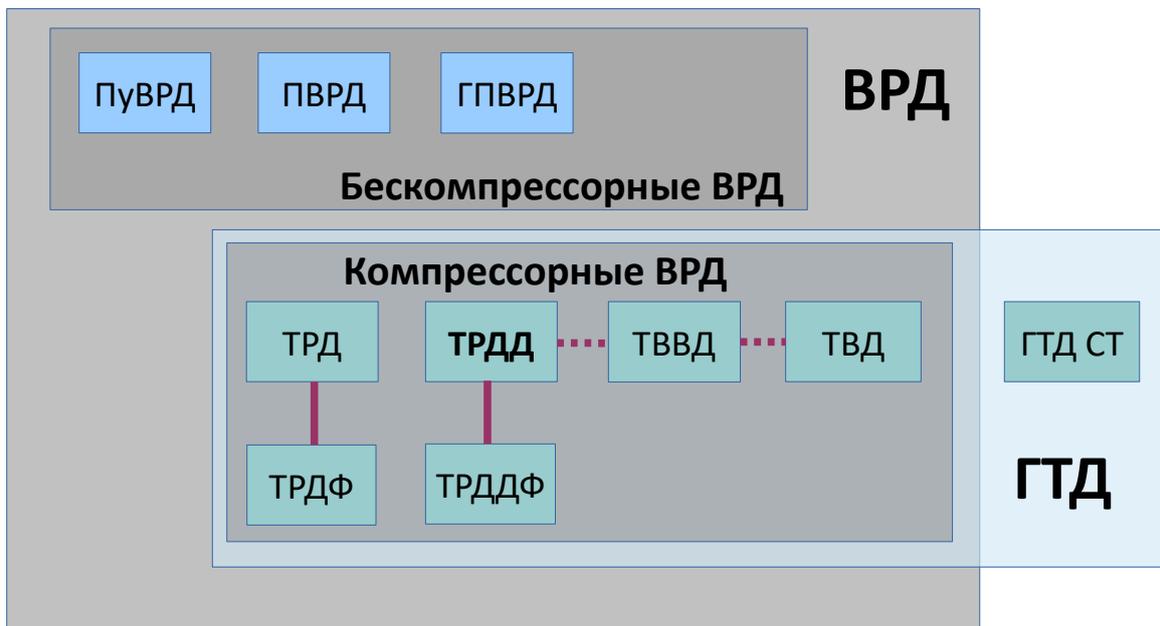


Схема ГТД СТ с одновальным газогенератором и свободной турбиной



1.4.6. Классификация ГТД



Реактивными двигателями называют такие двигатели внутреннего сгорания, в которых химическая энергия топлива преобразуется в кинетическую энергию газовой струи, вытекающей из двигателя, а сила реакции непосредственно используется как движущая сила – сила тяги.

Реактивные двигатели подразделяются на ракетные, воздушно-реактивные и комбинированные.

У ракетных двигателей горючее и окислитель находятся на борту летательного аппарата. В воздушно-реактивных двигателях в качестве окислителя используется кислород воздуха. Комбинированные двигатели представляют собой комбинации ракетных и воздушно-реактивных двигателей или различных типов ВРД.

Воздушно-реактивные двигатели (ВРД) подразделяются на компрессорные и бескомпрессорные, к которым относятся прямоточные (ПВРД), гиперзвуковые ПВРД (ГПВРД) и пульсирующие (ПуВРД).

ГТД включают следующие типы ВРД: ТРД и ТРДФ, ТРДД и ТРДДФ, ТВД, ТВВД; а также не реактивный двигатель - ГТД СТ.

Области применения различных типов двигателей по скорости и высоте полета

