

# КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК (СУ)

## Лекция №1

Введение. Авиационный двигатель (АД) –  
высокотехнологичный продукт.

Этапы разработки и проектирования ГТД.

Общие сведения о газотурбинных двигателях  
(ГТД).

# 1. ВВЕДЕНИЕ

## АВИАЦИОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ – ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОДУКТ

Обеспечение конкурентоспособности АД и прибыльности в процессе его жизненного цикла:

- **при создании:**

- обеспечение постоянной технологической готовности к конкурентной борьбе на рынке АД на основе государственного управления созданием НТЗ
- сокращение сроков создания АД
- увеличение ресурса и сроков службы АД
- снижение вредного воздействия на экологию

- **при модернизации в рамках семейства:**

- создание семейств АД разной тяги и назначения на основе базового ГГ

- **в процессе реализации:**

- объединение фирм для повышения уровня специализации и расширения рынков сбыта

- **в процессе эксплуатации:**

- развитие системы интегрированной логистической поддержки АД
- переход к эксплуатации АД «по надежности» и «по состоянию»

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ БОЕВОЙ АВИАЦИИ

Стратегическая	Тактическая	Учебно-тренировочная	Военно-транспортная	Специальная
<ul style="list-style-type: none"><li>• Бомбардировщики-ракетоносцы</li><li>• Крылатые ракеты</li><li>• Разведчики</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Истребители (в т.ч. СКВ (ВП), истреб. – бомб)</li><li>• Перехватчики</li><li>• Штурмовики</li><li>• Вертолеты</li><li>• БПЛА</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• УТС</li><li>• Легкие боевые самолеты</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• ВТС</li><li>• Топливо-заправщики</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Санитарные самолеты</li><li>• ДРЛО и др.</li></ul>

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СОЗДАНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БОЕВОЙ АВИАЦИИ

1. Разработка авиационных двигателей (АД) военного назначения основывается на передовых достижениях отечественного и зарубежного авиадвигателестроения в области проектирования, производства, испытаний и эксплуатации двигателей летательных аппаратов, опыте предшествующих разработок, прогрессивных схемных, конструктивных, материаловедческих, технологических решениях и опираться на постоянно совершенствующиеся научную, методическую, производственную и испытательную базы промышленности и заказчика;
2. Создание опытных АД (базовых или модернизированных двигателей – новых АД) должно быть подготовлено научно-техническим и технологическим заделом, имеющимся у разработчиков (изготовителей);
3. Авиационные двигатели как особо сложные и наукоемкие составные части (СЧ) летательных аппаратов военного назначения (ЛА) создаются в рамках государственного оборонного заказа, формируемого на основе государственной программы вооружения на соответствующий период, а также других программ и планов государства;
4. Создание опытных АД для иностранных заказчиков осуществляется по решениям Правительства РФ на основе заключенных контрактов и межправительственных соглашений;
5. Создание АД может осуществляться несколькими предприятиями промышленности в порядке кооперации.

## **СТАДИИ РАЗРАБОТКИ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БОЕВОЙ АВИАЦИИ**

1. Разработка двигателя включает стадию создания НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА (НТЗ) и стадию ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ (ОКР) по двигателю.
2. Стадия создания НТЗ состоит из двух этапов: поисковые НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ (НИР) и разработка ТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ (ТП) или АВАНПРОЕКТА.
3. На стадии создания НТЗ должна быть обеспечена технологическая готовность узлов и систем двигателя, а на стадии ОКР – технологическая готовность к производству двигателя.
4. Разработка нового двигателя обеспечивается математическим моделированием на всех этапах его жизненного цикла, включая определение технического облика, проектирование, производство, эксплуатацию и сервисное обслуживание.
5. Комплексный подход к созданию исходного проекта двигателя должен базироваться на современных в своей основе методах и программах, позволяющих осуществлять термодинамический расчет двигателя и определять его характеристики с учетом особенностей системы автоматического управления и прочности двигателя.
6. Математическая модель (ММ) должна непрерывно совершенствоваться по мере накопления экспериментальных данных по узлам и системам на различных этапах создания двигателя; быть пригодна для использования в моделях систем верхнего уровня, включая модель ЛА для определения его жизненного цикла.

## ЗАВЕРШЕНИЕ ОКР АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БОЕВОЙ АВИАЦИИ

1. На каждом этапе создания АД головной разработчик (разработчики) знакомит заказчика и соответствующие НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ОРГАНИЗАЦИИ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ (НИО МО) с технической документацией и ходом работ.
2. Для оценки текущего состояния работ на всех этапах создания АД заказчик может создавать экспертную комиссию с участием представителей заказчика НИО МО, головного разработчика и НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИНСТИТУТЫ (НИИ) промышленности. Рассмотрение и приемку всех этапов создания АД осуществляет комиссия, назначенная заказчиком.
3. Рассмотрение результатов ОКР и ее приемку осуществляет государственная комиссия по ГСИ АД.

## **СОЗДАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА**

**Создание научно-технического задела (НТЗ) осуществляется в целях:**

- Получения, апробации и накопления знаний в области перспективного авиадвигателестроения;
- теоретической проработки и экспериментальной проверки новых идей, технических и технологических решений, реализация которых при создании опытных АД обеспечивает требуемый научно-технический уровень, повышение качества, снижение технического риска, сроков и стоимости разработок АД новых поколений;
- обеспечения условий для опережающей готовности АД (их демонстрационных элементов и специальных частей) к прогнозируемым срокам создания соответствующих ЛА;
- недопущения отставания в развитии АД от зарубежных аналогов конкурентов.

**Работы по формированию и накоплению НТЗ необходимо проводить непрерывно, на основе долгосрочных планов и целевых программ, не связанных непосредственно с разработкой конкретных образцов АД, а их результаты должны являться базой для создания в сжатые сроки и последующего совершенствования таких образцов.**

**Проведение работ по НТЗ должно обеспечивать создание:**

- Общего НТЗ для решения актуальных проблем развития военного авиадвигателестроения;
- объектно-ориентированного НТЗ для разработки конкретных (демонстрационных, экспериментальных) образцов АД, их составных частей, систем, агрегатов и средств технического обслуживания.

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКОГО ПРЕДЛОЖЕНИЯ (АВАНПРОЕКТА) АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

1. Техническое предложение (ТП) является завершающим этапом стадии создания НТЗ;
  2. Основанием для выполнения ТП является решение заказчика. Этим же решением поручается выдача ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ (ТТЗ) на выполнение ТП.
  3. Проект ТТЗ на ТП разрабатывается НИО МО совместно с НИИ промышленности. ТТЗ, утвержденное заказчиком, выдается разработчикам, с которыми заключается контракт для разработки ТП.
  4. В рамках ТП выполняются:
    - расчетные, аналитические, проектные работы;
    - работы по экспериментальному подтверждению ТП, в том числе на моделях, экспериментальных узлах и системах, газогенераторе и двигателе-демонстраторе;
    - обоснование и разработка предложений к ТТЗ на ОКР.
  5. При разработке ТП по АД должны проводиться работы:
    - анализ концепции создаваемого двигателя и альтернативных вариантов;
    - ТЭО возможности создания двигателя, стоимости его жизненного цикла (в т.ч. оценка ориентировочной стоимости выполнения ОКР, затрат на подготовку серийного производства и изготовление серийных АД, стоимости эксплуатации АД в войсках и др.);
    - обоснование выбора оптимального варианта и состава АД;
    - выбор основных показателей назначения, оптимальных параметров двигателя, технических решений по отдельным элементам, материалов, технологий, топлив и масел;
    - обоснование запаса по температуре газа;
2. оценка уровня технического совершенства АД, его соответствия современным отечественным и зарубежным достижениям науки и техники, конкурентоспособности двигателя на внешнем рынке;
- 3. разработка математических моделей двигателей, его узлов и систем.**



## ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ (ОКР)

1. Основанием для выполнения опытно-конструкторской работы по созданию АД (ОКР по АД) является Постановление правительства РФ, проект которого готовят заказчик и головные разработчики АД и ЛА;
2. Целью ОКР является разработка опытного АД в соответствии с ТТЗ (ТЗ) заказчика, проведение доводки и требуемого объема испытаний для проверки заданного уровня показателей качества и адаптации двигателя в составе силовой (двигательной) установки (СУ, ДУ) создаваемого ЛА (АК), а также подготовка серийного производства АД.
3. В контрактах на проведение ОКР в соответствии с утвержденными ТТЗ определяются:
  - ОТД, ЭТХ и требуемый уровень параметров (с учетом потребных запасов) двигателя;
  - количество опытных двигателей и сроки их создания;
  - цена двигателя, формируемая с учетом потребного уровня параметров, ЭТХ, ресурсов и необходимого объема затрат на разработку, доводку, совершенствование двигателя;
  - объем производства и поставок двигателя для проведения испытаний и опытной эксплуатации;
  - кооперация опытных и серийных предприятий по изготовлению опытных двигателей и их составных частей, экономические (финансовые, материальные), правовые и организационно-технические принципы взаимодействия участников ОКР, включая распределение интеллектуальной собственности.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАЗРАБОТОК (ОКР)

Проектирование и доводка перспективных АД должны осуществляться с применением САПР, основанных на CALS-технологии (автоматизации проектирования, подготовки производства, инженерного анализа и комплексного информационного сопровождения ЖЦ АД на базе широкого использования ММ высокого уровня, методов математического моделирования газодинамических и тепловых процессов в двигателе, его узлах, деталях, системах и агрегатах, а также напряженно-деформированного состояния элементов конструкции).

Проект двигателя, его основных узлов и деталей выполняется с применением прогрессивных технических решений, материалов, технологий, апробированных при выполнении поисковых НИР

и НИЭР, а также на ранее созданных двигателях.

Проект должен содержать основные эксплуатационно-технические характеристики, включая экологические (шум, эмиссию и др.), чертежи (габаритные и продольного разреза двигателя), предложения по использованию топлив, масел и др.

Проводится формирование расчетных испытательных циклов на основании типовых полетных циклов, заданных в ТТЗ, а также опыта эксплуатации прототипов с целью дальнейшего их использования в программах испытаний.

## ЭТАПЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ НА СТАДИИ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАЗРАБОТОК (ОКР)

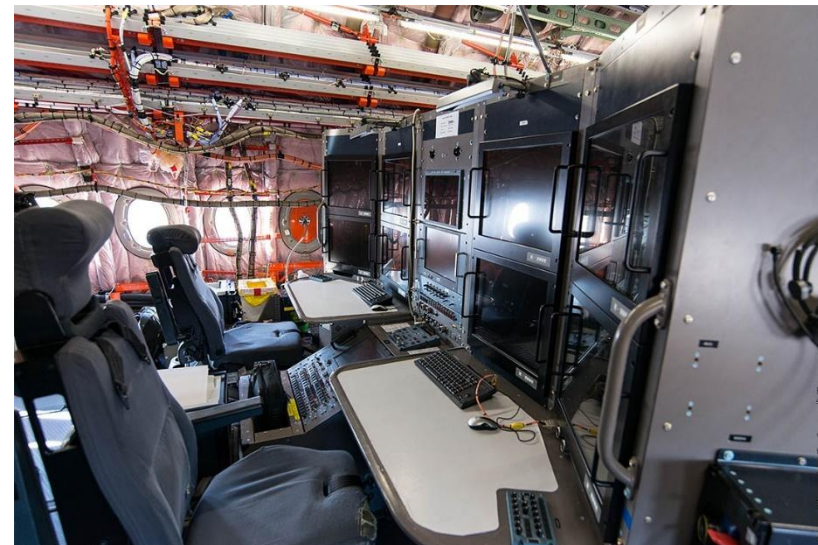
При выполнении ОКР предусматривается четыре этапа проведения экспериментальных работ:

- доводка основных узлов и систем на автономных стендах и установках;
- доводочные испытания АД и его составных частей в обеспечение начала ЛКИ;
- предварительные испытания АД и его составных частей на соответствие требованиям ТТЗ (ТЗ) и для оценки готовности АД к ГСИ (этап до начала ГСИ);
- **государственные стендовые испытания АД (этап ГСИ).**

**Летные доводочные испытания ЛА и АД проводятся их головными разработчиками и другими исполнителями по согласованным программам с целью проверки летно-технических, эксплуатационных характеристик и других показателей качества, совместного функционирования АД и ЛА в реальных летных условиях, надежности, безопасности полетов и др.**



# ЭТАПЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ НА СТАДИИ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАЗРАБОТОК (ОКР)



## **ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ (ГСИ) НА СТАДИИ ОКР**

**Государственные стендовые испытания проводятся с целью:**

- определения технических, эксплуатационных и других характеристик АД и оценки его соответствия требованиям ТТЗ;
- проверки надежности АД в течение начального ресурса до первого ремонта;
- выдачи заключения о готовности АД к проведению ГИ ЛА;
- установления контрольного образца (эталоны) для серийного производства;
- определения пригодности АД для серийного производства и принятия на снабжение МО.

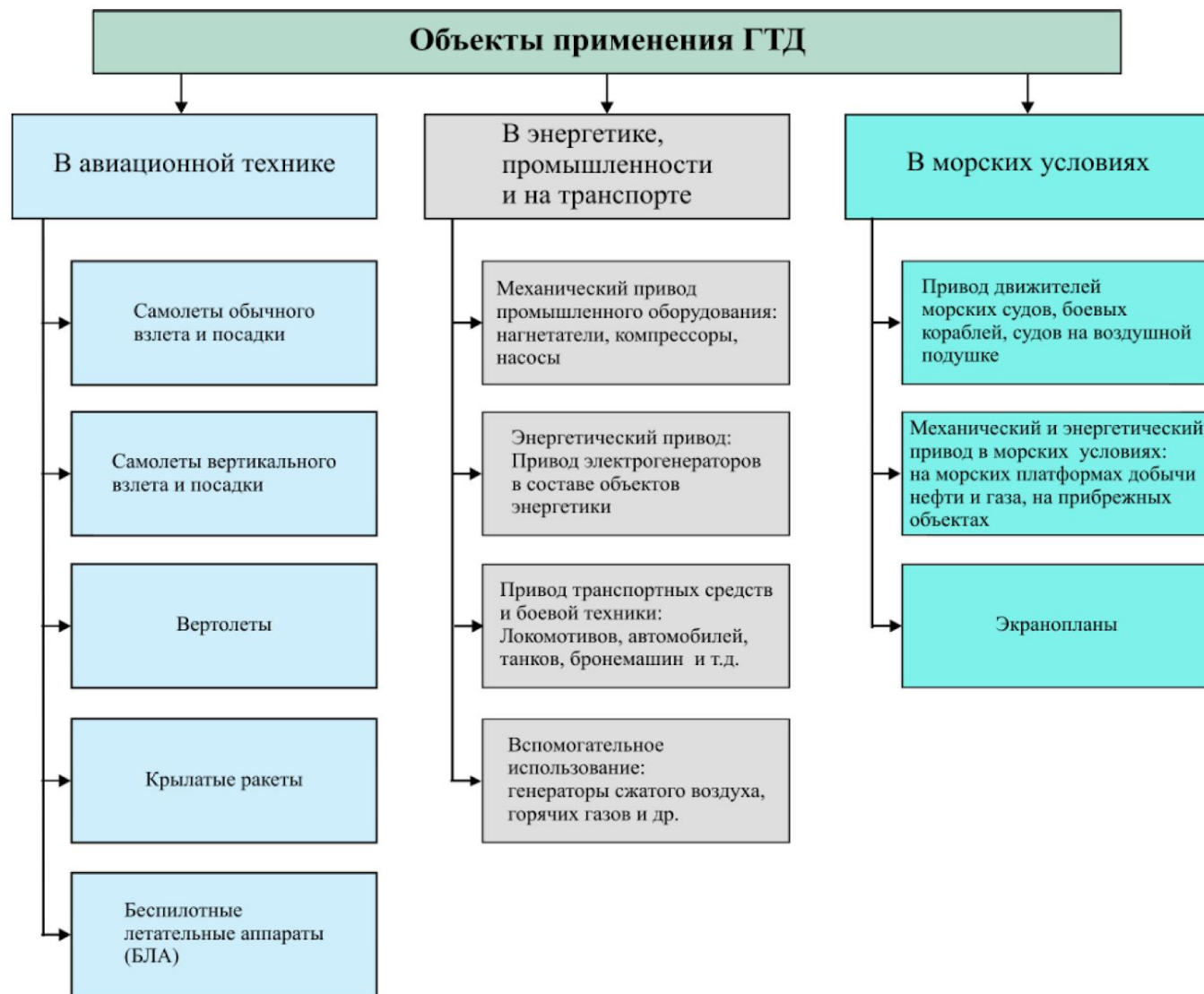
**Государственные стендовые испытания АД включают следующие основные виды работ:**

- до начала стендовых ресурсных испытаний;
- стендовые ресурсные испытания в соответствии с программой ГСИ конкретного типа АД;
- работы по АД после проведения стендовых ресурсных испытаний;
- обработку материалов, анализ и оценку результатов испытаний;
- оформление отчетной документации по испытаниям;

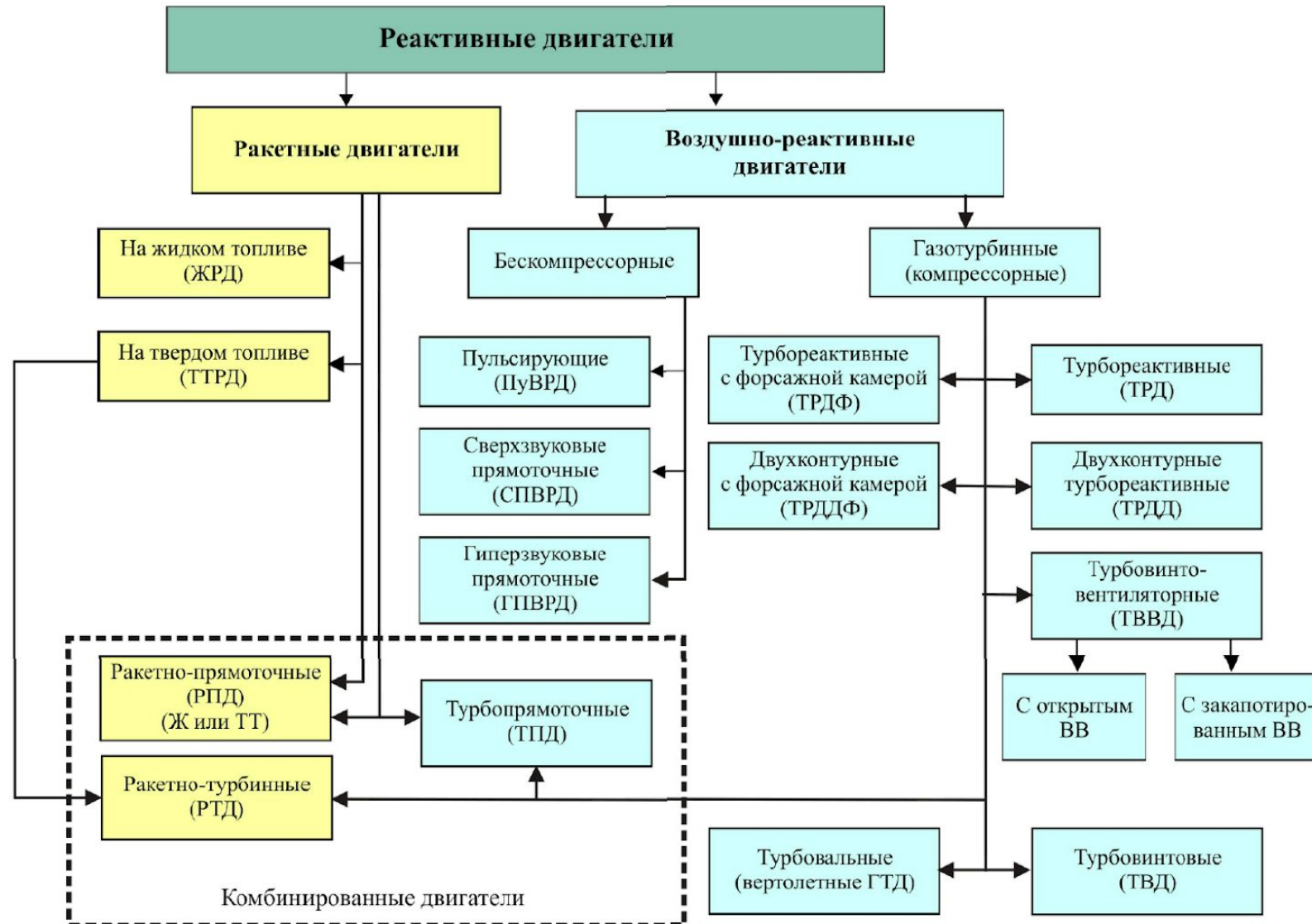
**После утверждения Акта по ГСИ головной разработчик АД (соисполнители) совместно с заказчиком и головной федеральный орган принимают решение об организации и сроках серийного производства АД, прошедшего ГСИ.**



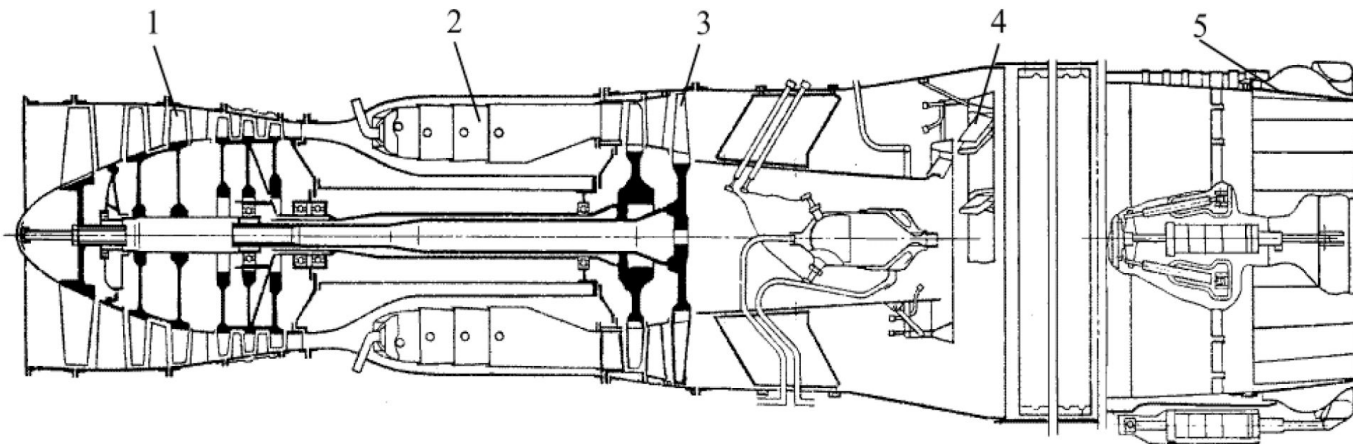
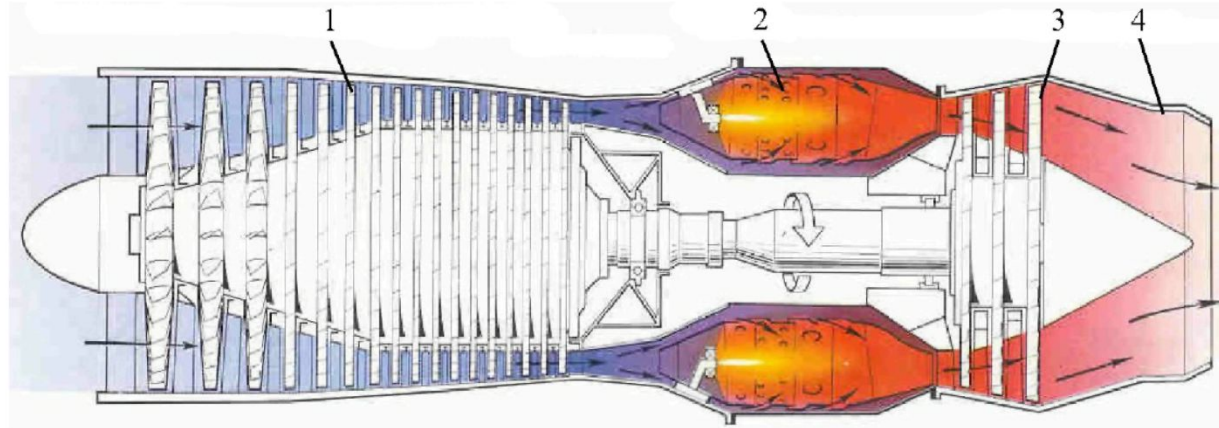
# КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО НАЗНАЧЕНИЮ И ОБЪЕКТАМ ПРИМЕНЕНИЯ



# КЛАССИФИКАЦИЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

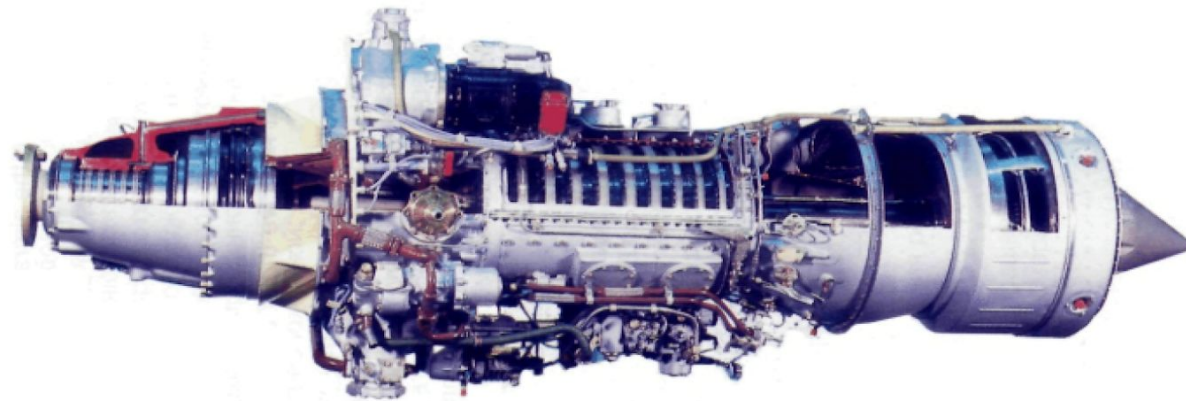
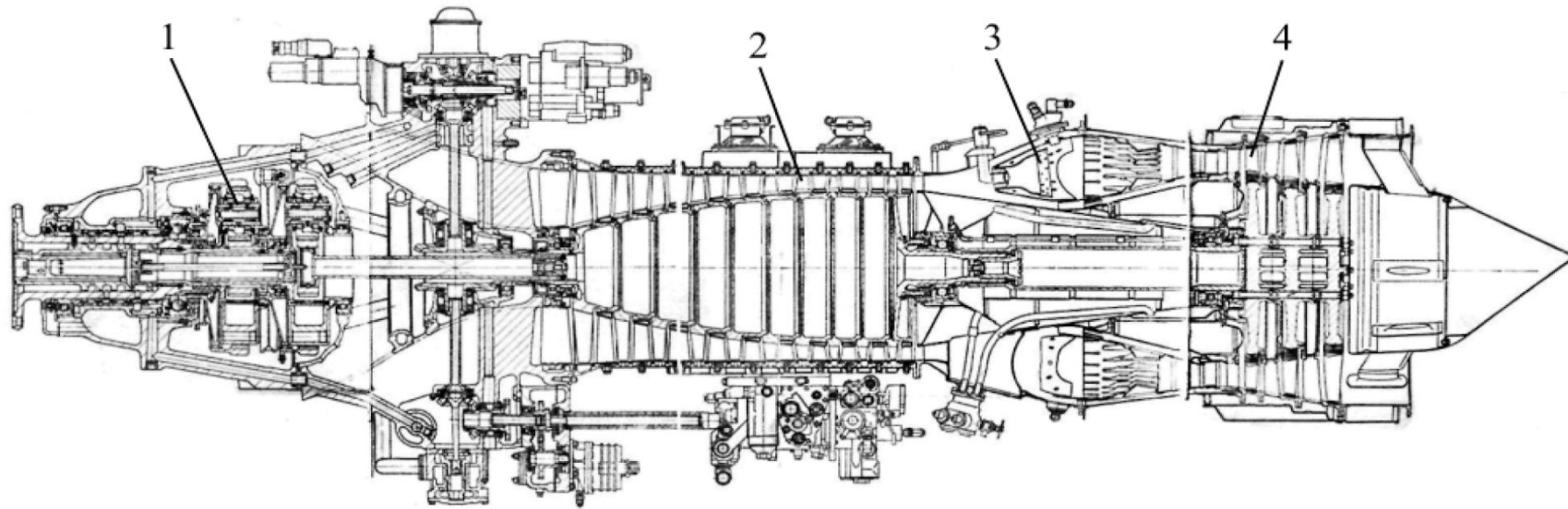


# ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АВИАЦИОННЫХ ГТД Турбореактивные двигатели (ТРД)

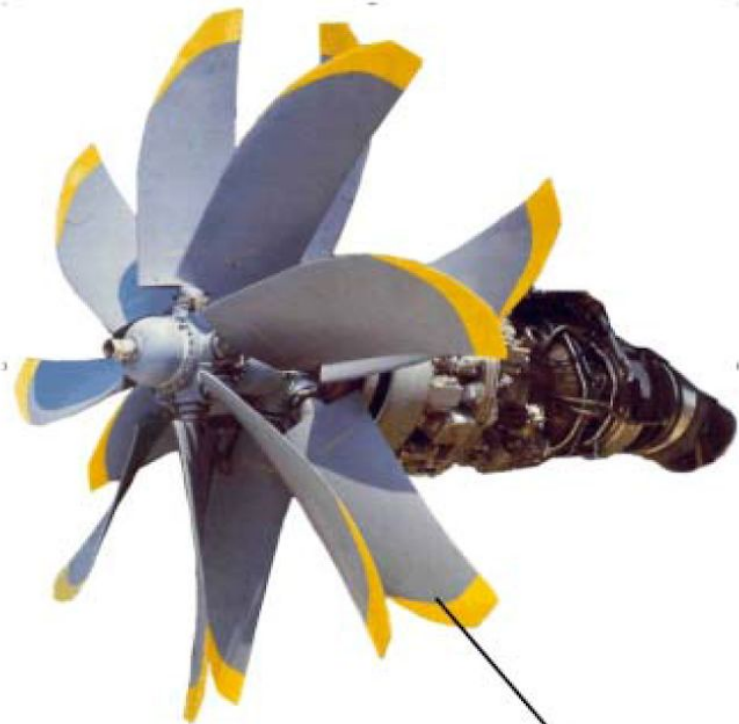




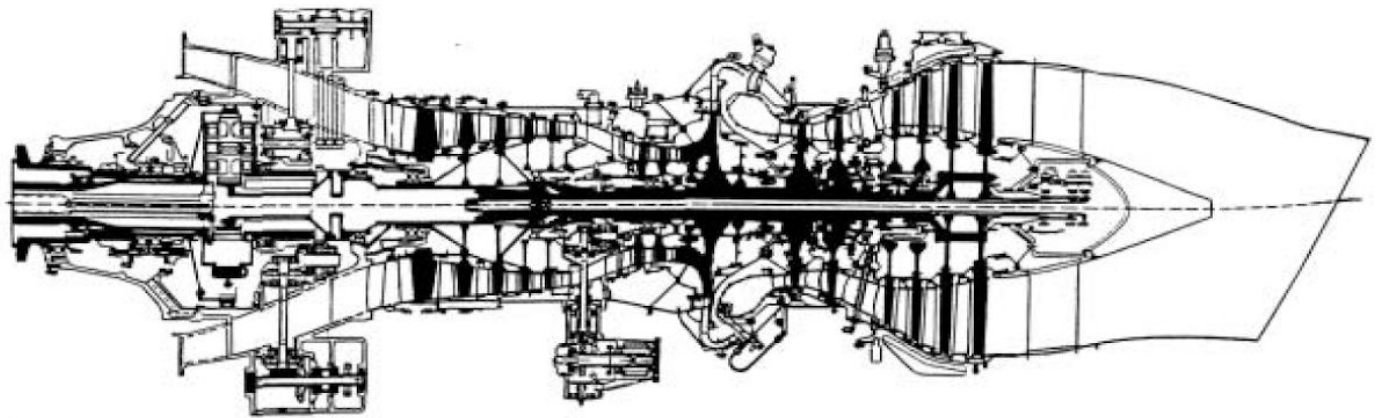
# ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АВИАЦИОННЫХ ГТД Турбовинтовые ГТД и вертолетные двигатели



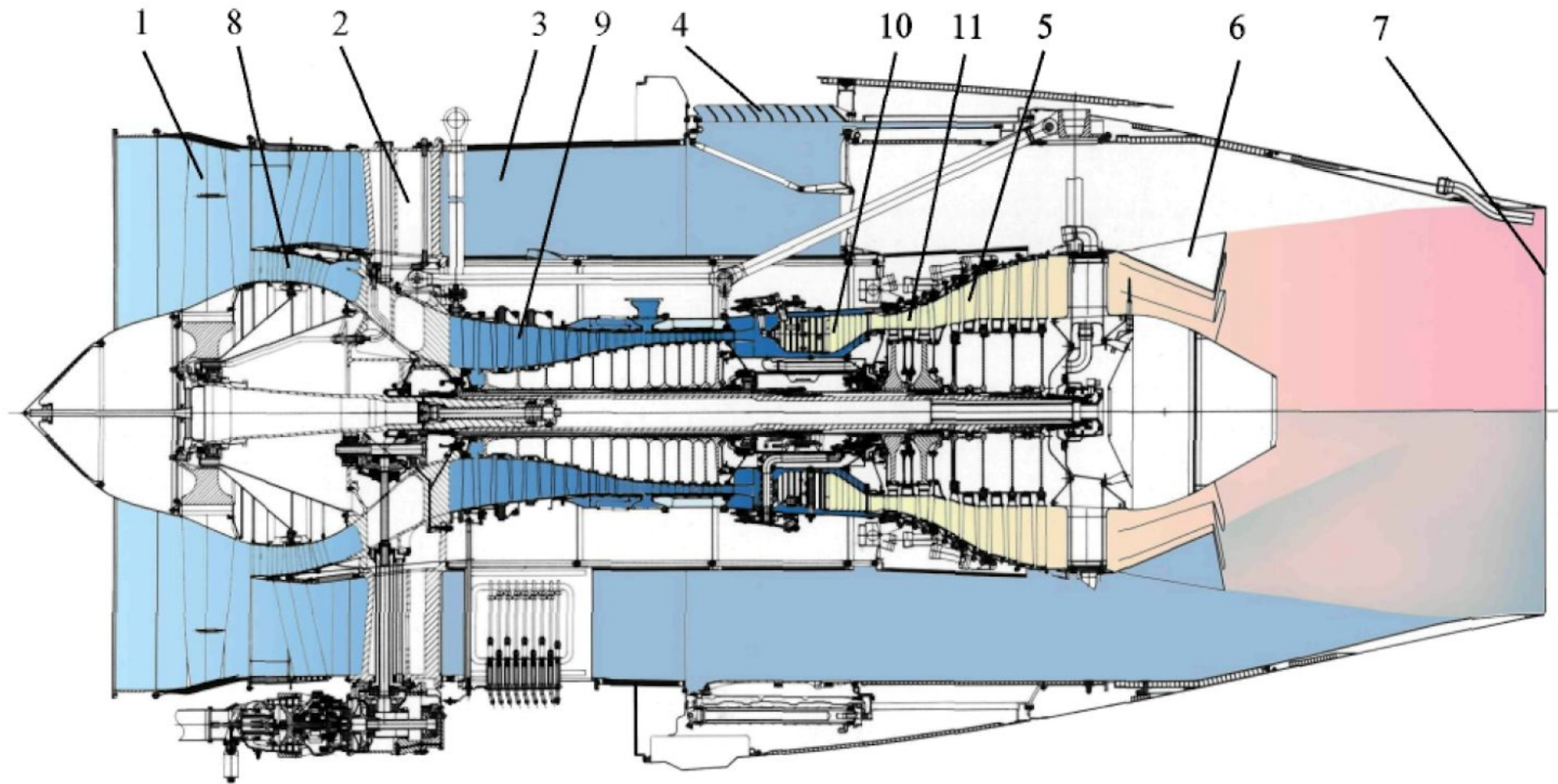
**ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АВИАЦИОННЫХ ГТД**  
**Турбовинтовые ГТД и вертолетные двигатели**



двухрядный винтовентилятор



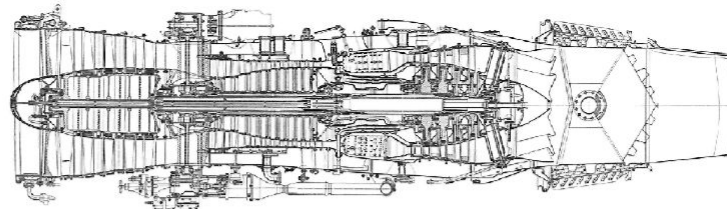
**ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АВИАЦИОННЫХ ГТД**  
**Двухконтурные турбореактивные двигатели (ТРДД)**



# ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АВИАЦИОННЫХ ГТД

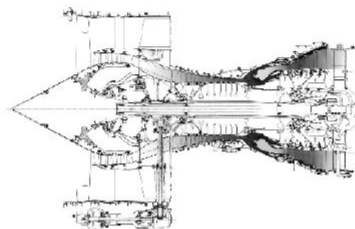
## Классификация ТРДД по степени двухконтурности

ТРДД с низкой степенью  
двухконтурности  $m = 0,3...3,0$

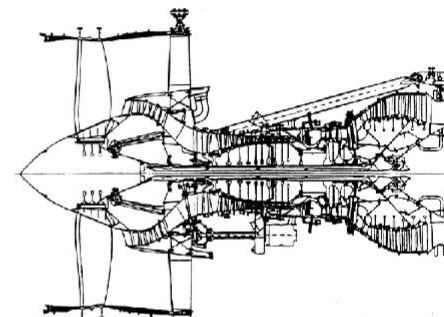


ТРДД Д-30 III серии ( $m = 0,8$ )

ТРДД с высокой степенью  
двухконтурности  $m = 4,0...9,0$

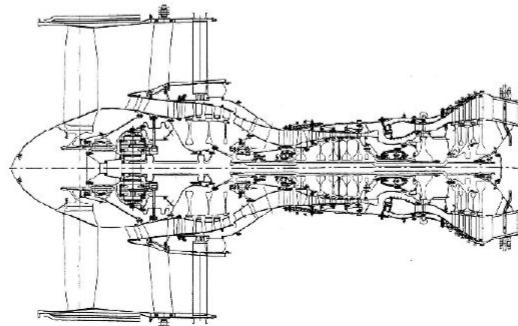


ТРДД CFM56-3 ( $m = 5,0$ )



ТРДД GE90 ( $m = 8,4$ )

ТРДД со сверхвысокой степенью  
двухконтурности  $m = 9,0...12,0$



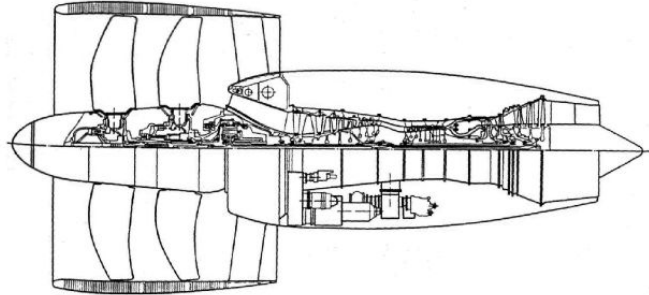
ТРДД PW8000 (проект  $m = 10...11$ )

# ОСНОВНЫЕ ТИПЫ АВИАЦИОННЫХ ГТД

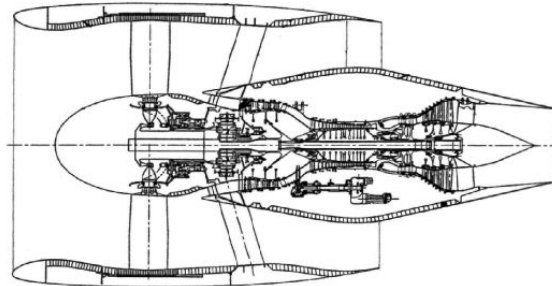
## Классификация ТРДД по степени двухконтурности

ТВВД с закапотированным ВВ  $m = 12,0 \dots 20,0$

ТВВД НК-93 с двухрядным ВВ  
( $m = 16$ )



ТВВД ADP с однорядным ВВ  
(проект  $m = 14$ )



ТВВД с открытым ВВ  $m = 30,0 \dots 50,0$

ТВВД Д-27 с двухрядным ВВ ( $m \sim 50$ )

