

# **Авиационные двигатели как объект производства**

**Новиков Дмитрий Константинович**

# СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Скубачевский Г.С.** Авиационные ГТД. Конструкция и расчет деталей. – М.: Машиностроение – с 1970 года издания.
- 2 **Масленников М.М., Шальман Ю.И.** Авиационные ГТД. – М.: Машиностроение. - 1975.
- 3 Под ред. **Хроница Д.В.** Конструкция и проектирование авиационных ГТД. – М.: Машиностроение. - 1989.
- 4 **Иноземцев А.А., Нихамкин М.А., Сандрацкий В.Л.** Основы конструирования авиационных двигателей и энергетических установок. – М.: Машиностроение, 2008г. В 5 томах.
- 5 **Зрелов В.А., Маслов В.Г.** Основные данные отечественных ГТД и их применение при учебном проектировании. – Самара, 1999. – 159с.
- 7 **Шустов И.Г.** Авиационные, ракетные, морские промышленные двигатели 1944-2000. Москва, “АКС – Конверсалт”, 2000. – 407с.
- 8 **Старцев Н.И.** Конструкция и проектирование турбокомпрессора ГТД. Самара, 2006г.
- 9 **Трянов А.Е.** Особенности конструкции узлов и систем авиационных двигателей и энергетических установок. Самара, 2011г.

В переводе с латинского **constructio**

– это построение, составление,  
расположение частей чего-либо.

В энциклопедическом словаре указывается,

что **конструкция** в технике – это

- **схема** устройства и работы машины, сооружения или узла, а также природа материалов, из которых сделаны части
- **сами машины, сооружения, узлы и их детали.**

Соответственно **«конструирование»** – это процесс создания конструкции.

# ВАЖНОСТЬ РАЗРАБОТКИ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Академик К.В. Фролов, директор института Машиноведения РАН

в статье, посвященной годовщине кончины Н.Д.Кузнецова писал так

(цитата из статьи в журнале

«Проблемы машиностроения и надежности машин», 1996г, №6):

«Авиационные ГТД синтезируют в себе

все новейшие достижения фундаментальных и прикладных наук: газовой динамики, теории горения, механики и теории машин, математики, физики, химии, физики и механики твердого тела, термодинамики, тепло- и массообмена, прочности, материаловедения и других областей знаний,

используемых при проектировании и доводке изделий».

Страны, создающие и производящие авиационные ГТД,

однозначно можно отнести к индустриально развитым.

Неслучайно один из десятка научно-технических приоритетов США

обозначен кратко **«Газотурбинные двигатели».**

От этого приоритета зависит многое».

До конца 80-х годов прошлого столетия в СССР ГТД уделялось много внимания.

Поэтому в СССР был изобретен и впервые в мире создан двухконтурный двигатель для пассажирского самолета (Д-20П) и самый мощный в мире ТВД (НК-12).

Самолеты с отечественными двигателями выпускались в большом количестве для нужд гражданской и боевой авиации.

# СОВРЕМЕННЫЙ РЫНОК АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Он представлен сегментами двигателей для самолётов и вертолётов

Государственная программа РФ «Развитие авиационной промышленности» на 2013-2025 годы

За исключением вертолётостроения, на сегодняшний момент российская авиационная промышленность сохраняет конкурентоспособность лишь на военных сегментах рынка

## Самолётостроение



Пассажирские ВС (магистральные, региональные, авиация - бизнес, малая, боевая авиация), транспортные и специальные ВС

## Вертолётостроение



Сверхлегкие и легкие вертолеты средние/тяжелые гражданские, военные вертолеты

## Двигателестроение



Двигатели для самолетов и вертолетов

Объем мирового рынка и объем производства в России, 2010 год:  
Гражданский сегмент/военный сегмент

Мир: ~\$96млрд/~\$55млрд    Мир: ~\$6млрд/~\$10млрд    Мир: ~\$26млрд/~\$15млрд

РФ: ~\$0,2млрд/~\$4млрд    РФ: ~\$0,4млрд/~\$1,2млрд    РФ: ~\$0,2млрд/~\$1млрд

## Конкурентное положение РФ на мировом рынке

Россия занимает уверенную позицию на рынке военных ВС и практически не представлена в гражданских самолетах

Россия занимает устойчивую позицию в сегментах средних и тяжелых вертолетов

Относительно устойчивое положение в военном сегменте

**Таблица 1. ОСНОВНЫЕ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНЫЕ ФИРМЫ**

Фирма – изготовитель, двигатель, самолет	Тяга, мощность на взлете	Тг. Град К	год	Цена сер. разраб. Млн \$
<b>РОССИЯ</b>				
<b>ОАО СНТК им. КУЗНЕЦОВА, Самара</b>				
НК-12 ТУ-95, ТУ-114, АН-22	12500- 15000лс	1150	1956	
НК-8 ТУ-154, ИЛ-62	95-110кН	1200	1964	
НК-93	180кН	1520	1990	
<b>ОАО «АВИАДВИГАТЕЛЬ», Пермь</b>				
Д30КП ИЛ-76	120кН	1427	1974	
Д30 КУ ИЛ-62М, ТУ-154М	110кН	1385	1974	
ПС-90 ИЛ-96	160кН	1565	1991	2
<b>ОАО «РЫБИНСКИЕ МОТОРЫ»</b>				
SAM-146	71		2008	
<b>УКРАИНА</b>				
<b>«Прогресс. ЗМКБ им. Ивченко», Запорожье</b>				
АИ-24 АН-24	2400лс	1150	1960	
Д-36 Як-42, АН-72, АН-74	65кН	1450	1977	
Д-18 АН-124, АН-125	234кН	1610	1984	
Д436Т1 Ту-334	75...82кН	1450	1997	
<b>США</b>				
<b>PRATT&amp;WHITNEY</b>				
JT-8D-217 Boeing 727, 737, DC-9	65...95кН	1380	1981	1,95
JT-9D-7R4 Boeing 747, 767, DC-10, A300, A310	200...250	1494-1709	1980	3,9
PW-2037 Boeing 757, McDonnell Douglas C-17, ИЛ-96М	170...200 кН	1669	1983	3,8 1000
PW-4000 A300,310,330, Boeing 747, 777, MD-11	226...455 кН	1626	1987	4,8 700
<b>GENERAL ELECTRIC</b>				
GE-90 Boeing 777	389		1995	5
<b>ВЕЛИКОБРИТАНИЯ</b>				
<b>ROLLS-ROYCE</b>				
RB. 211-525B L-1011-500/200	227кН	1550	1976	2,6
<b>ФРАНЦИЯ-США</b>				
<b>SNECMA</b>				
CFM.-56-3 (SNECMA-GE), B-737/300	92кН	1539	1983	2

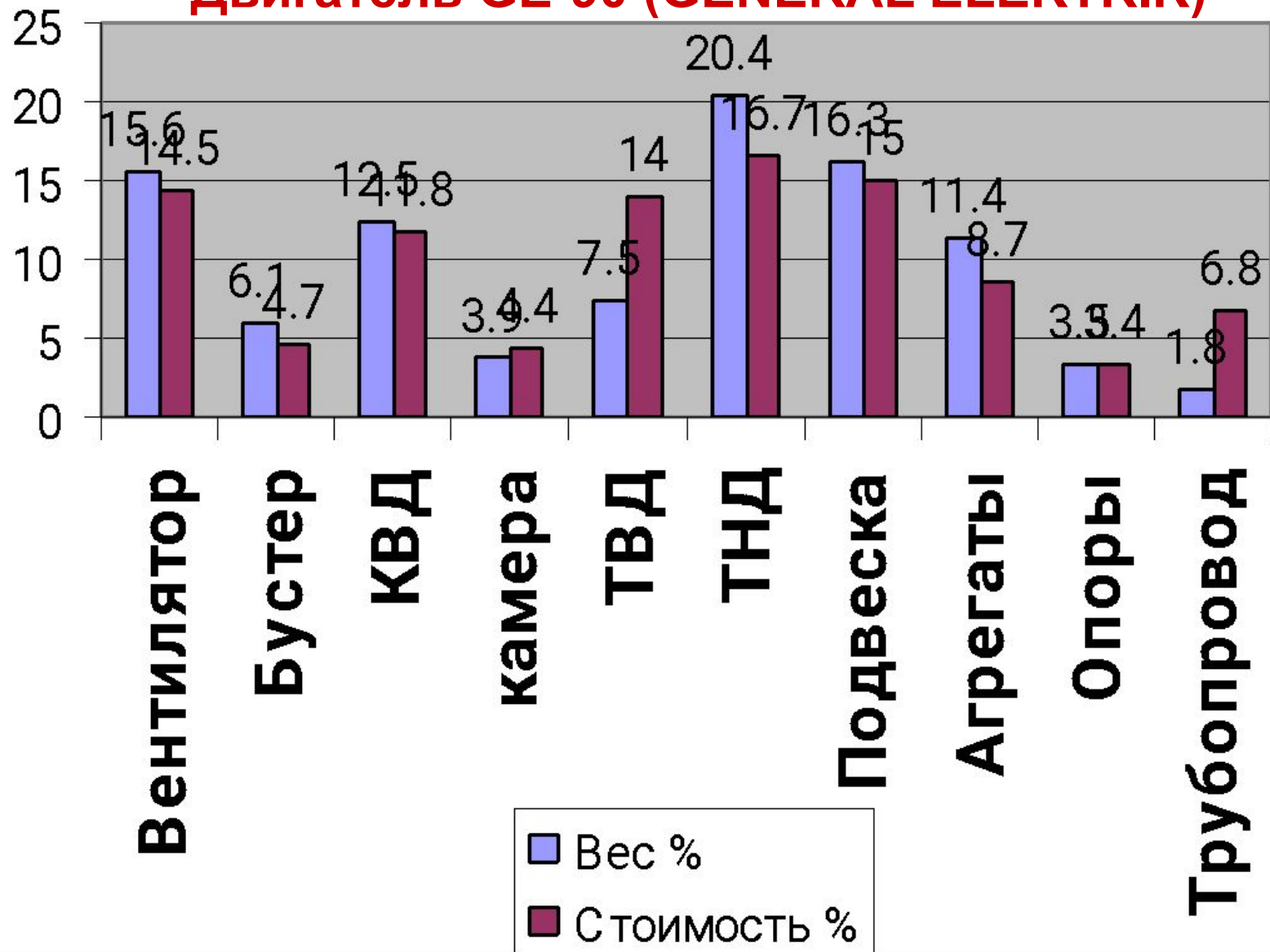
# **СТОИМОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ И РАЗРАБАТЫВАЕМЫЕ В РОССИИ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ**

**Стоимость двигателя составляет 18...35% от стоимости самолета.**

**Бомбардировщик В-1 (двигатель F101-GE) (1974 г.):  
разработка - 2,7 млрд.\$, стоимость серийного самолета - 100 млн.\$ (ПС-90А – 3 млрд.руб.; «Бурлак» - 1,3 млрд.руб.).**

**Стоимость разработки двигателей: JT3D (1960 год) - 5 млн. \$.; CFM-56 (1974 год) - 400 млн.\$.; TRENT - 2,3 млрд.\$.**

## Двигатель GE-90 (GENERAL ELEKTRIK)





## В настоящее время Российские ключевые двигатели (поддерживаемые государством):

- Для дальнемагистральных (дальность полета при максимальной коммерческой нагрузке 4500-5500 км) и среднемагистральных (1200-2200 км) самолетов - ПС-90А и НК-93;
- Для тяжелых и легких ближнемагистральных (600-1200 км) самолетов Суперджет– двигатель SAM-146 и МС-21- двигатель ПД-14;

# Основные современные зарубежные двигатели

Самолет А-380 – двигатели Engine Alliance [GP7270](#) (А380-871)

Engine Alliance [GP7272](#)(А380-862)

Двигатели фирмы Роллс-Ройс:

Trent 970, Trent 970В (А380-841,842,)

Trent 972, Trent 972В (А380-842)

Engine Alliance - [General Electric - Aviation](#) Engine Alliance - General Electric - Aviation, [Pratt & Whitney](#) Engine Alliance - General Electric - Aviation, Pratt & Whitney, [SNECMA](#) Engine Alliance - General Electric - Aviation, Pratt & Whitney, SNECMA и [MTU](#). **CFM International**

**Совместное предприятие, образованное в 1974 году двумя ведущими производителями авиадвигателей Snecma (Франция) и GE Aircraft Engines (США). Занимается разработкой, производством и обслуживаем авиационных двигателей. Поставляет двигатели для самолетов:**

А319, А320, А321, А340, Boeing 737

# ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

## Стадии проектирования

Началу проектирования ГТД предшествует выдача конструктору двигателя

### **технического задания (ТЗ)**

разработчиком летательного аппарата (ЛА).

**ТЗ** формулируется на основании задания на создание ЛА, технических требований (ТТ) к ЛА

и предварительных совместных конструктивных проработок ЛА и двигателя.

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ** содержит:

- Основное назначение
- Основные технические характеристики
- Важнейшие ТТ и показатели качества
- Техничко-экономические и специальные требования, связанные со спецификой применения разрабатываемого двигателя.

После получения ТЗ начинается непосредственно процесс проектирования двигателя, включающий в себя стадии (**ГОСТ2.103-68**), приведенные в таблице 1.1.

Каждая стадия проектирования считается завершенной после ее утверждения и проведения необходимых согласований

# СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

- Техническое предложение (совместная работа самолетной и двигательной фирм);
- эскизный проект (компоновочный чертеж двигателя, газодинамические и прочностные расчеты узлов; этот проект проходит экспертизу в центральных институтах - ЦИАМ, ЦАГИ, ВИАМ и др. и утверждается финансирующей организацией);
- технический проект (рабочие чертежи всех узлов);
- рабочие документы (полная конструкторская и технологическая документация, позволяющая изготавливать, собирать и испытывать двигатель).

# ЭТАПЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ДВИГАТЕЛЯ



Традиционно процесс создания двигателя состоял из последовательных этапов: проектирование, изготовление опытного образца, доводка, государственные испытания, серийное изготовление и эксплуатация.

В настоящее время сразу же после начала проектирования начинаются параллельно все этапы.

Государственные испытания после 8 месяцев с начала серийного изготовления. После них начинается эксплуатация.

Такая методология стала возможной благодаря параллельной доводке всего двигателя и отдельных узлов и элементов на испытательных стендах.

Цель: Цикл создания АД - 24 месяца. (упреждающая доводка узлов на стендах)

# ВИДЫ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

К конструкторским документам относят графические и текстовые документы, которые в отдельности или в совокупности определяют состав и устройство изделия и содержат необходимые данные для его разработки или изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта.

Вид документа	Определение
Чертеж детали	Документ, содержащий изображение детали и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля
Сборочный чертеж	Документ, содержащий изображение сборочной единицы и другие данные, необходимые для ее изготовления и контроля
Спецификация	Документ, определяющий состав сборочной единицы
Ведомость спецификаций	Документ, определяющий состав сборочной единицы
Технические условия	Документ, содержащий требования к изделию, его изготовлению, контролю, приемке и поставке, которые нецелесообразно указывать в другой КД.
Расчет	Документ, содержащий расчеты параметров и величин, например расчеты на прочность

# ВЫБОР ТИПА И ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ

определяется назначением самолета

Пассажирский дозвуковой самолет большой дальности - ТРДД с высокими степенью сжатия в компрессоре и степенью двухконтурности.

Сверхзвуковой многоцелевой самолет - ТРДДФ с малой степенью двухконтурности.

# ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ АД

1. Минимизация удельного расхода топлива
2. Минимизация удельной массы двигателя
3. Надежность
4. Технологичность
5. Экология

**ЭСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ!!!**



# УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ТОПЛИВА

равен отношению расхода топлива равен отношению расхода топлива  
(на единицу расстояния или времени) к мощности или к тяге

Определяет дальность полета и экономичность.

Достижения: ТРД - 0,8...0,9 кг/дан.ч; ТРДД ( $m=2$ )

0,7...0,78; ТРДД ( $m=5...6$ ) 0,56...0,58; ТВВД - 0,4...0,45.

Пути снижения: совершенствование цикла

(повышение степени повышения давления в

компрессоре - до 40...60, повышение температуры

газа перед турбиной, изменение степени

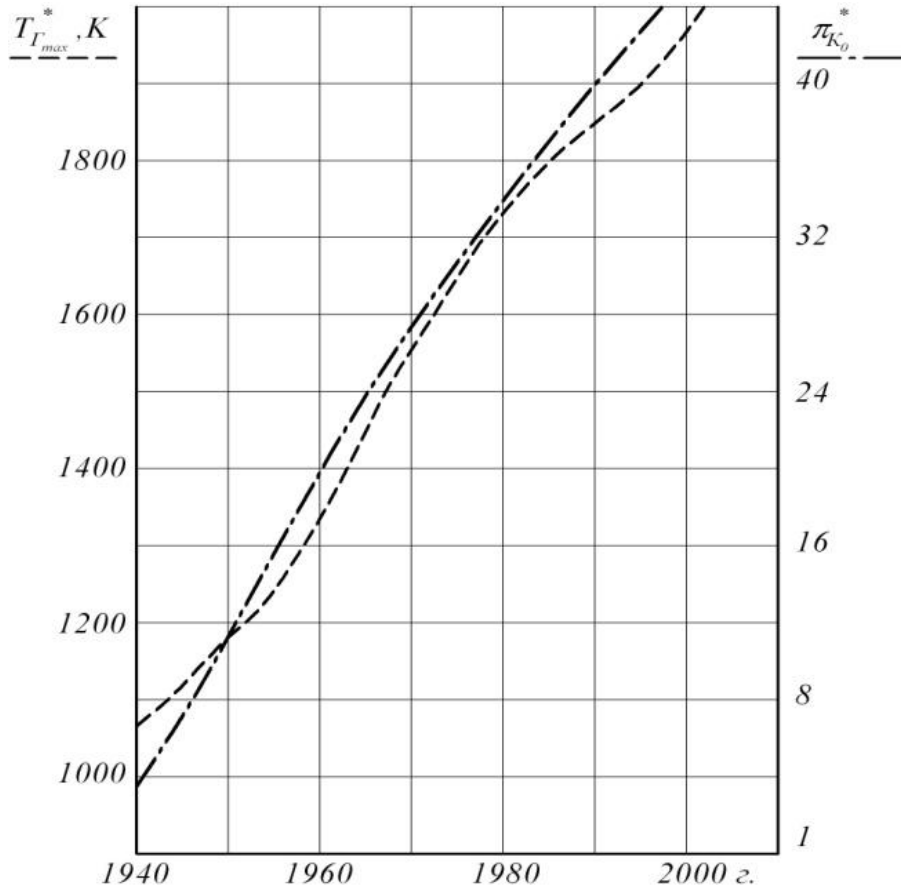
двухконтурности), повышение к.п.д. узлов.

# СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА

Повышение  $T_{г}$  и

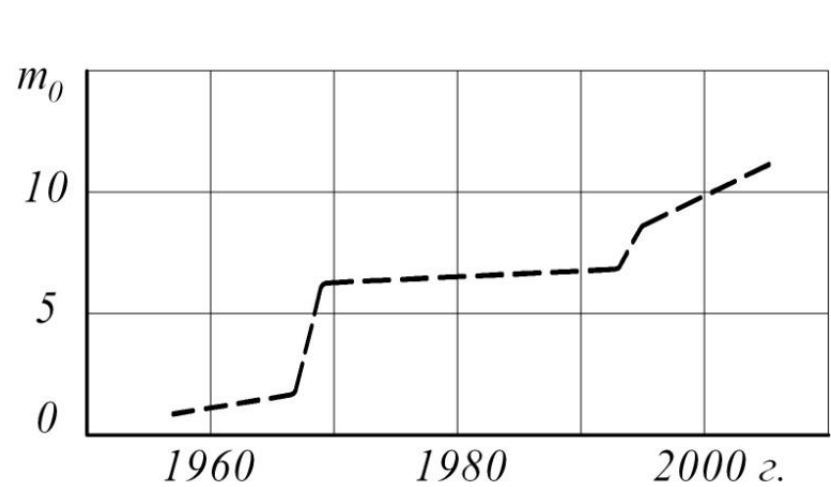
$r_k$

по годам



Рост степени двухконтурности

по годам



# **УДЕЛЬНАЯ МАССА ДВИГАТЕЛЯ**

**Отношение массы двигателя к удельной тяге и расходу воздуха. Определяет эффективность нагрузки и тяговооруженность самолета.**

**Пути уменьшения: повышение удельной тяги, увеличение степени сжатия на одной ступени компрессора (до 1,4), увеличение теплового перепада на ступени турбины, уменьшение количества лопаток, применение высокопрочных материалов, совершенствование методов проектирования и прочностных расчетов.**

## Удельная масса двигателей

ТРД	ТРДД	ТРДДФ
0,3...0,24	0,21...0,14	0,23...0,11-0,08

Тяговооруженность двигателей - отношение тяги к весу

Тип самолета			с форсажом
Пассажирские	Ил-86,	0,252	
	Ту-154	0,317	
Грузовые	Ил-76	0,306	
Бомбардировщи ки	В-1	-	0,302
Истребители	F-15	0,76	1,24
	F-16	0,67	1,11