

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. **Хрони́на 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.Б. 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 вертолёт

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 \$
РОССИЯ				
ОАО СНТК им. КУЗНЕЦОВА, Самара				
НК-12	12500-	1150	1956	
ТУ-95, ТУ-114, АН-22	15000лс			
НК-8	95-110кН	1200	1964	
ТУ-154, ИЛ-62				
НК-93	180кН	1520	1990	
ОАО «АВИАДВИГАТЕЛЬ», Пермь				
Д30КП ИЛ-76	120кН	1427	1974	
Д30 КУ ИЛ-62М, ТУ-154М	110кН	1385	1974	
ПС-90 ИЛ-96	160кН	1565	1991	2
ОАО «РЫБИНСКИЕ МОТОРЫ»				
SAM-146	71		2008	
УКРАИНА				
«Прогресс. ЗМКБ им. Ивченко», Запорожье				
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	
США				
PRATT&WHITNEY				
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
GENERAL ELECTRIC				
GE-90 Boeing 777	389		1995	5
ВЕЛИКОБРИТАНИЯ				
ROLLS-ROYCE				
RB. 211-525B L-1011-500/200	227кН	1550	1976	2,6
ФРАНЦИЯ-США				
SNECMA				
CFM.-56-3 (SNECMA-GE), B-737/300	92кН	1539	1983	2

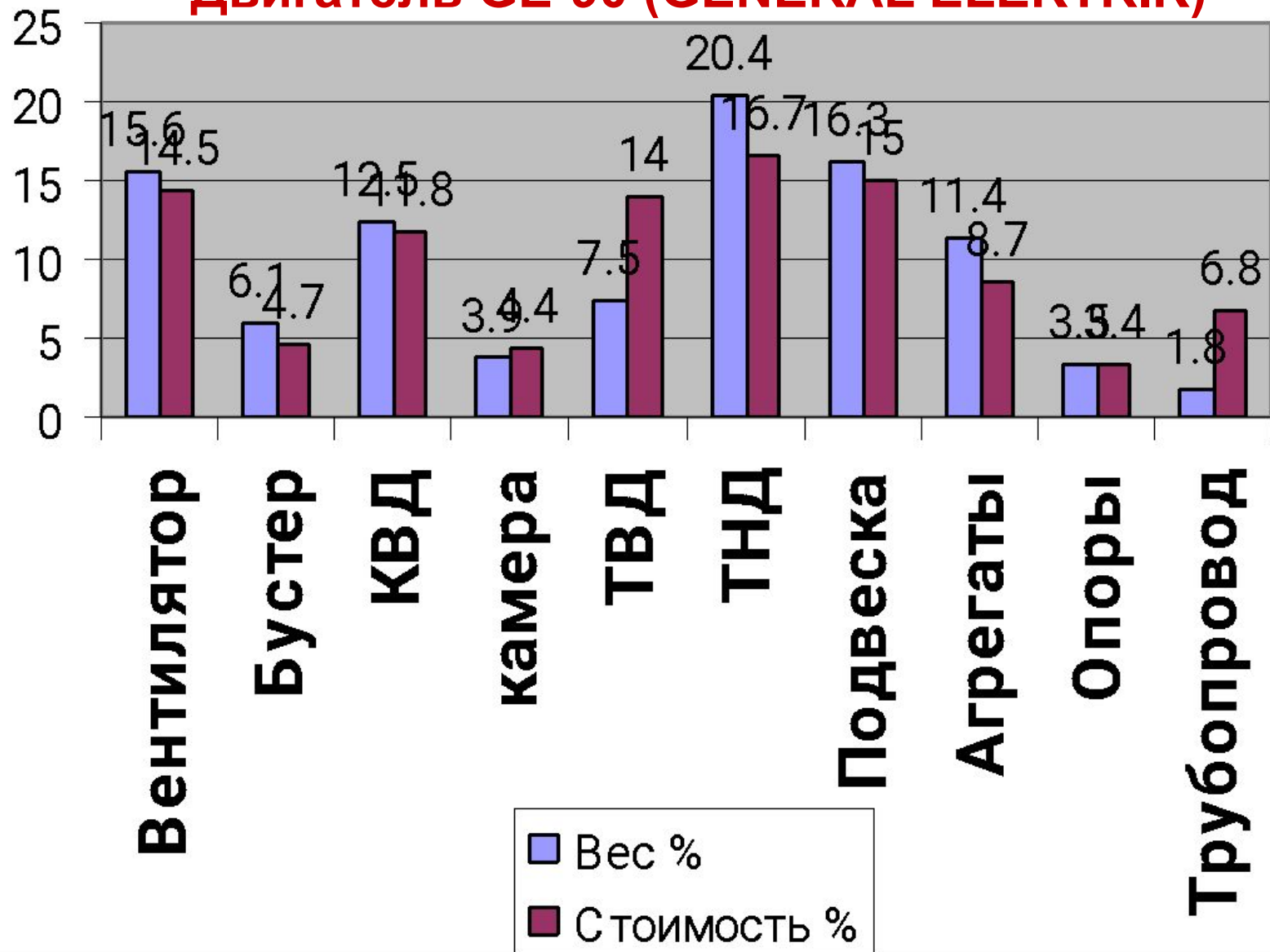
СТОИМОСТЬ ДВИГАТЕЛЕЙ И РАЗРАБАТЫВАЕМЫЕ В РОССИИ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

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 A-380 – двигатели Engine Alliance [GP7270](#) (A380-871)

Engine Alliance [GP7272](#) (A380-862)

Двигатели фирмы Роллс-Ройс:

Trent 970, Trent 970B (A380-841,842,)

Trent 972, Trent 972B (A380-842)

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:

A319, A320, A321, A340, 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.

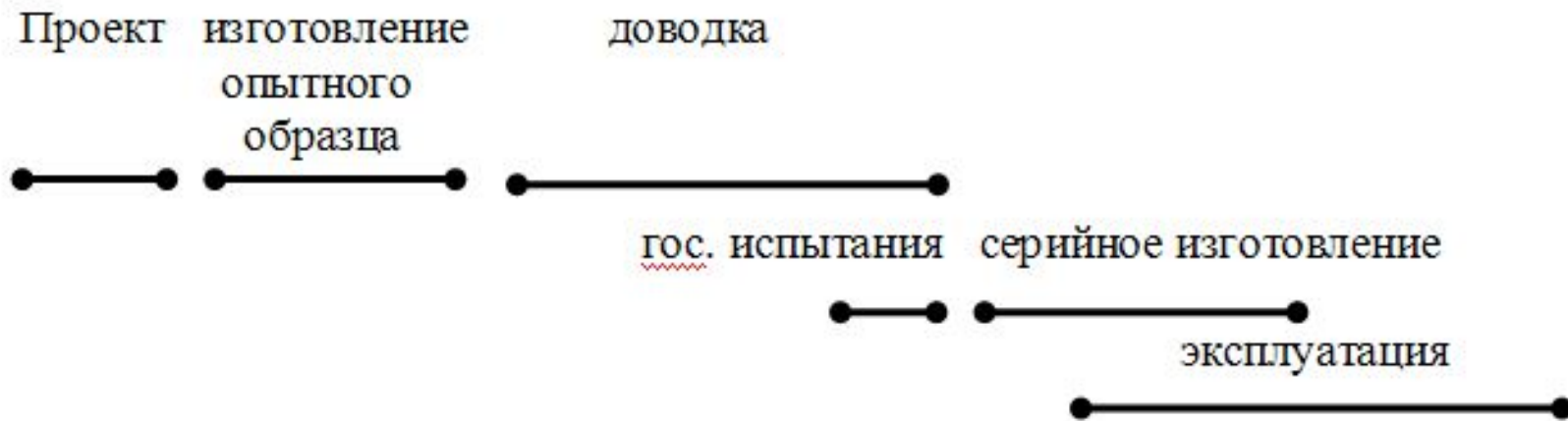
После получения ТЗ начинается непосредственно процесс проектирования двигателя, включающий в себя стадии (**ГОСТ 2.103-68**), приведенные в таблице 1.1.

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.

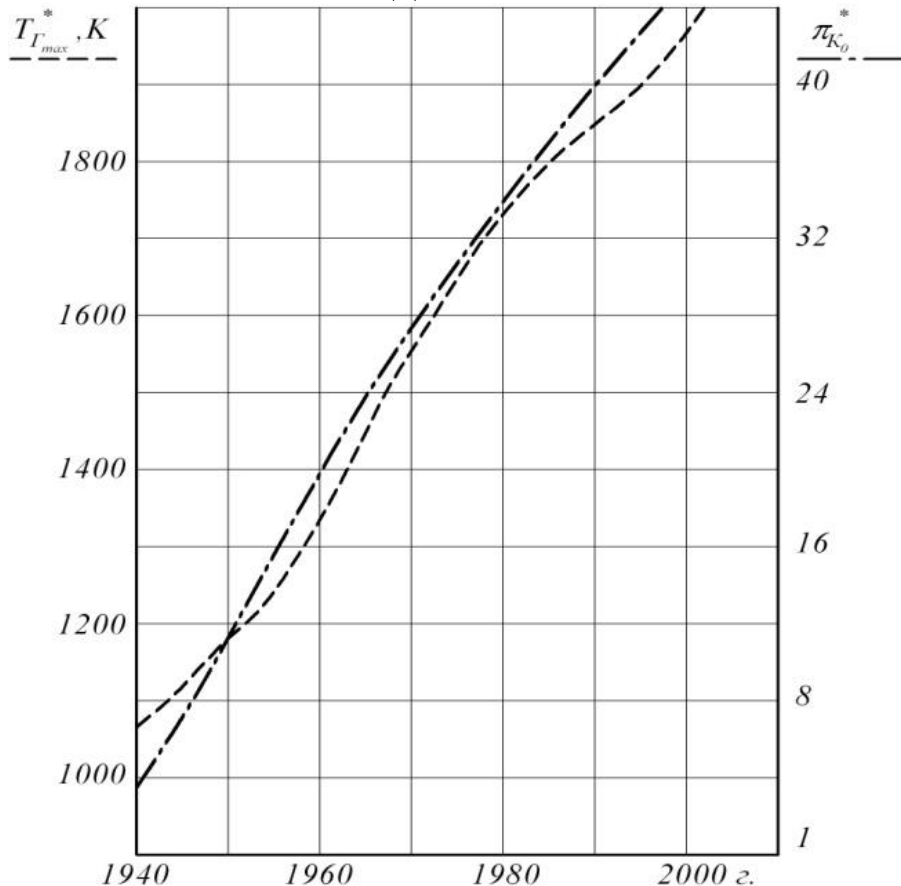
Пути снижения: совершенствование цикла
(повышение степени повышения давления в
компрессоре - до 40...60, повышение температуры
газа перед турбиной, изменение степени
двухконтурности), повышение к.п.д. узлов.

СНИЖЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА

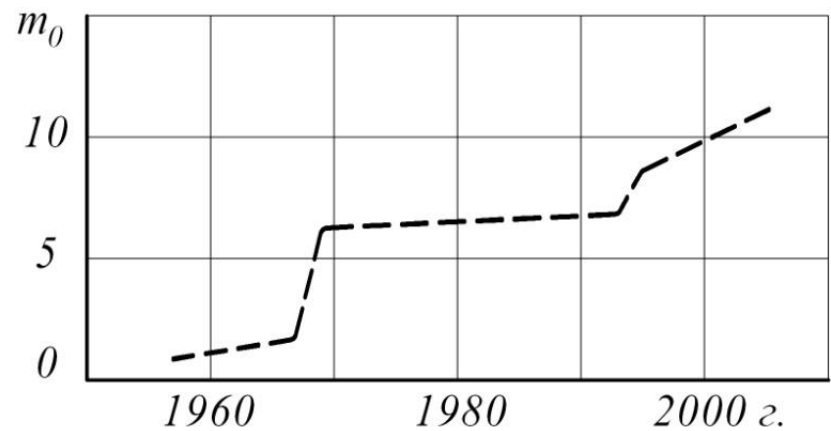
Повышение T_g и

p_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