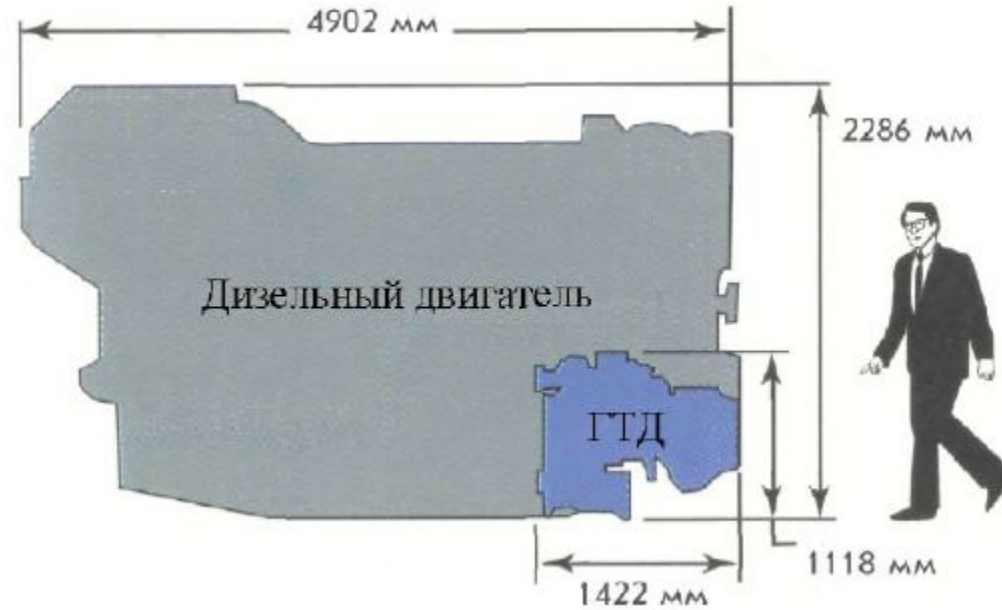


**КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ УЗЛОВ И  
ДЕТАЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК  
(СУ)**

**Лекция №3**

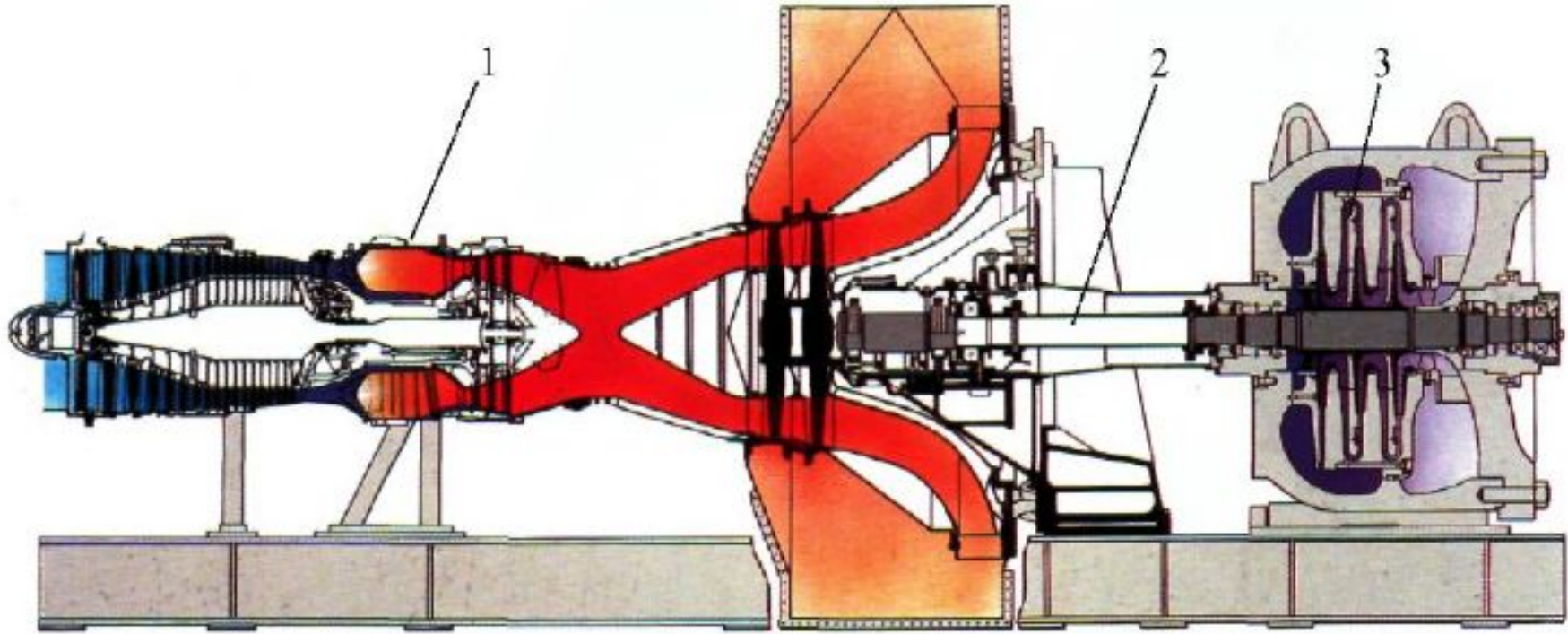
ГТД наземного и морского применения



Сравнение дизельного двигателя и ГТД мощностью 3 МВт.

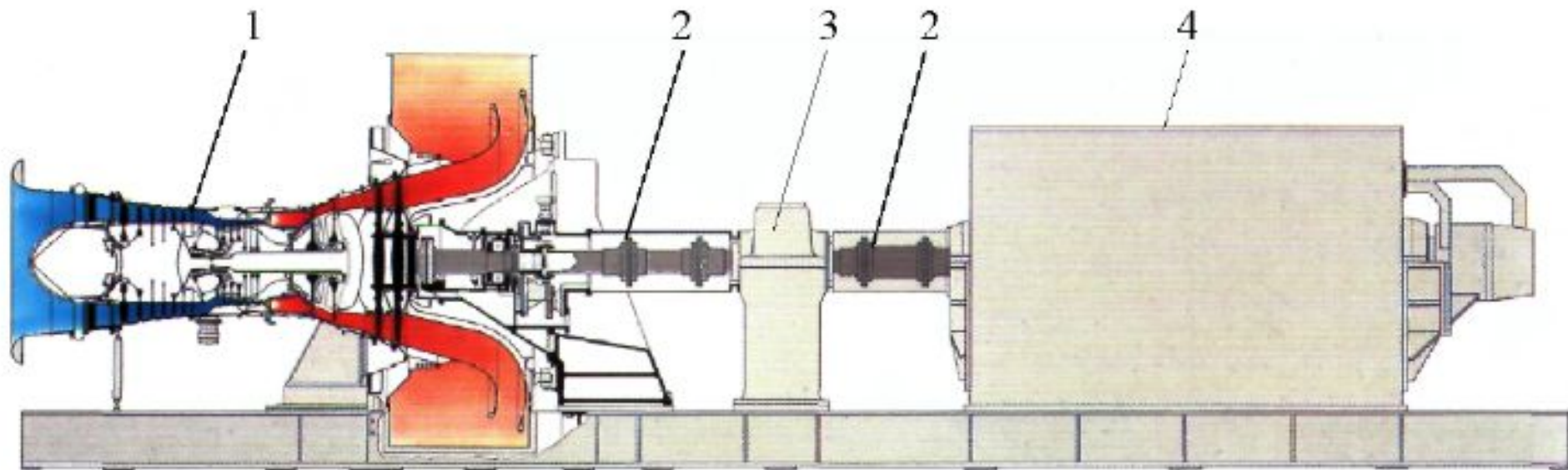
## Преимущества:

1. Большая мощность в одном агрегате;
2. Компактность, малая масса;
3. Уравновешенность движущихся элементов;
4. Широкий диапазон применяемых топлив;
5. Легкий и быстрый запуск, в т.ч. при низких температурах;
6. Хорошие тяговые характеристики;
7. Высокая приемистость;
8. Хорошая управляемость.



Применение ГТД для привода нагнетателя природного газа:

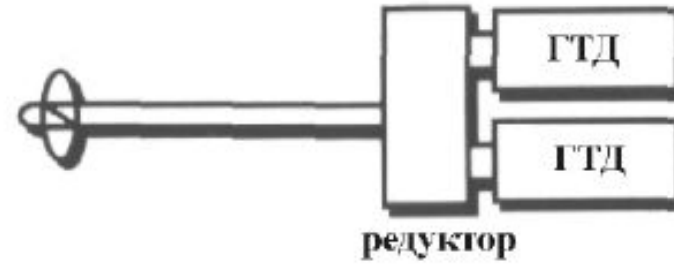
1. ГТД; 2. Трансмиссия; 3. Нагнетатель.



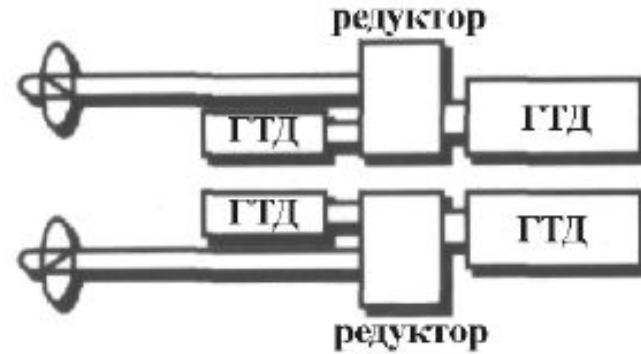
Применение ГТД для привода электрогенератора:  
1. ГТД; 2. Трансмиссия; 3. Редуктор; 4. Газогенератор.



Морской силовой агрегат с ГТД равной мощности



Морской силовой агрегат с ГТД различной мощности



Применение ГТД в составе морского силового агрегата.

# НПКГ «Зоря» - «Машпроект» (г. Николаев, Украина)

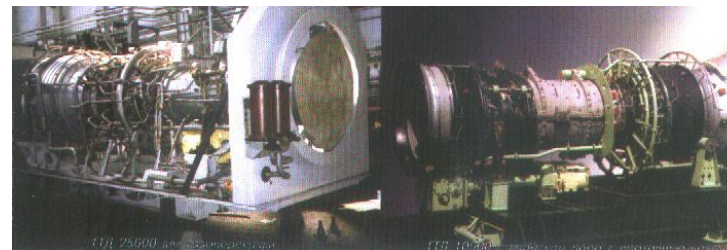
с 1954 г. - на море



с 1968 г. - в энергетике



с 1973г. - в газовой отрасли



Тип двигателя	Мощность, МВт	КПД, %	Тг/Тт °С	Степ. повыш. давления	Начало серийного произв-ва
ГТД2500	2,85	28,5 (82)	950/435	12	1994
ГТД3000	3,36	31	1025/420	14	1981
ГТД3200	3,4	31	1005/460	12	1998
ГТД3200 РГ	3,4	40	950/330	7	2000
ГТД6000	6,7	31,5 (83)	1015/420	14	1978
ГТД8000	8,3	33	1100/440	15,7	1978
ГТД10000	10,8	36	1183/460	19,5	1998
ГТД15000	17,5	35 (84)	1070/420	19,6	1998
ГТД25000	27,5	36,5 (86)	1260/480	21,8	1995
ГТД 110	110	36	1210/517	14,8	1998



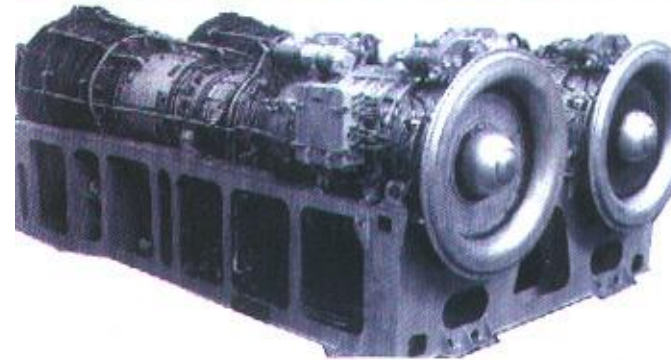
# КОРАБЕЛЬНОЕ ГАЗОТУРБОСТРОЕНИЕ



ГТД применяются в ВМФ РФ, США, ВБр., Италии и др. стран, в гражданском флоте их используют на скоростных паромах, современных танкерах и сухогрузах, на дорогих яхтах



Первая всережимная газотурбинная установка М-2



Главный газотурбинный агрегат М-3



## **Требования, предъявляемые к энергетическому оборудованию:**

1. Высокий ресурс (не менее 100000 часов);
2. Долгий срок службы (не менее 25 лет);
3. Высокая надежность;
4. Ремонтопригодность в условиях эксплуатации;
5. Умеренная стоимость применяемых конструкционных материалов и ГСМ для снижения стоимости производства и эксплуатации;
6. Отсутствие жестких габаритно-массовых характеристик, характерных для авиационных ГТД.

**Вышеописанные требования сформулировали конструктивный облик наземных ГТД:**

- 1. Максимально простая конструкция;**
- 2. Использование недорогих материалов с относительно низкими характеристиками;**
- 3. Массивные корпуса с горизонтальными разъемами для возможности выемки и ремонта ГТД в условиях эксплуатации;**
- 4. Конструкция камеры сгорания, допускающая замены жаровых труб в условиях эксплуатации;**
- 5. Использование подшипников скольжения;**
- 6. Применение щеточных уплотнений.**

# ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАЗЕМНЫМ ГТУ

## *Стандарты*

ГОСТ 29328-92 “Установки газотурбинные для привода турбогенераторов. Общие технические условия”.

ГОСТ 28775-90 “Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия”.

### 1. Требования к основным данным ГТУ.

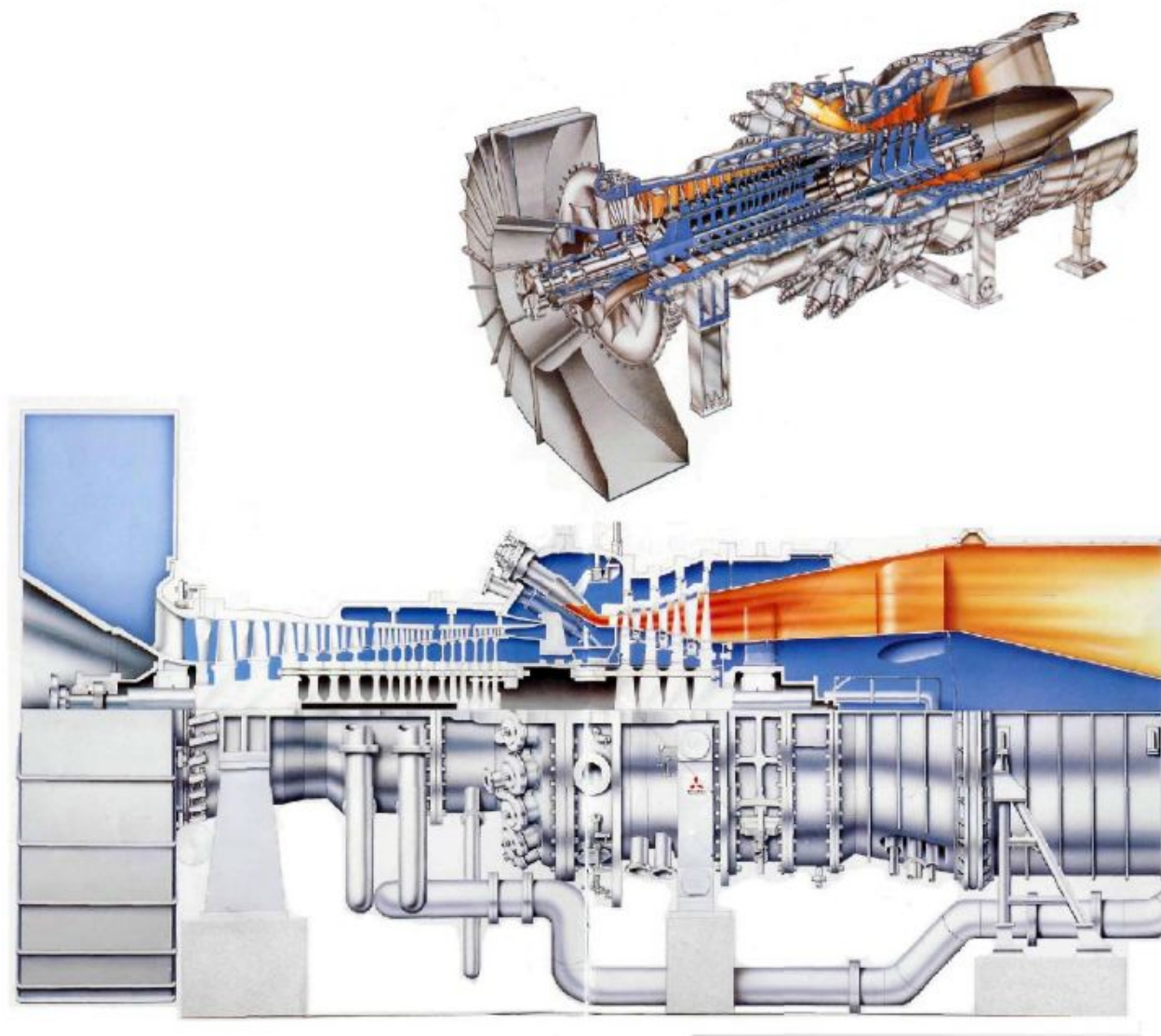
- мощность и к.п.д. (ISO) и регламентируются условиями эксплуатации и требованиями заказчика;
- для энергетических ГТУ мощность ГТУ на пиковом режиме должна быть на 10% выше, чем в базовом;
- снижение мощности за межремонтный период не должно превышать 4% номинальной, а снижение к.п.д. – 2%.

### 2. Требования к ресурсу ГТУ.

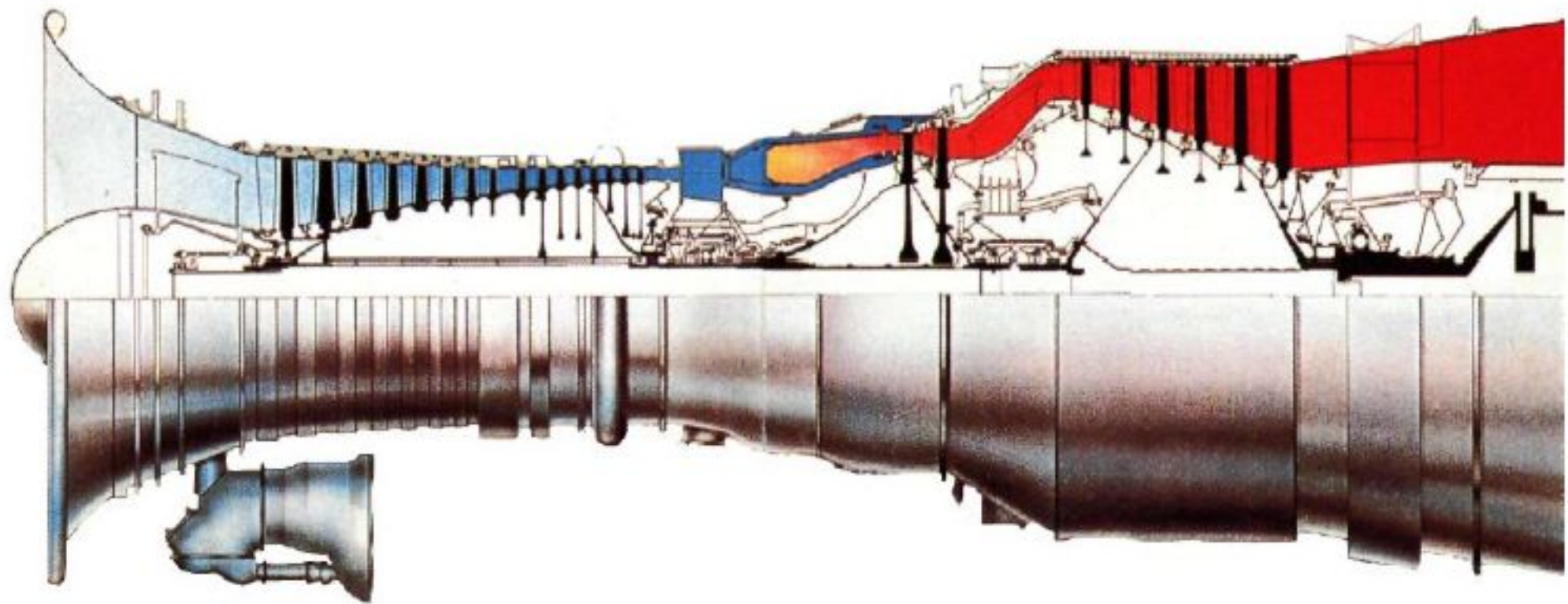
- полный ресурс 100 000 часов, межремонтный ресурс 25000 часов.

### 3. Требования к экологическим характеристикам ГТУ.

- для ГПА уровень эмиссии NOx не более 150 мг/нм<sup>3</sup>;
- для энергетических ГТУ с 1995 года уровень эмиссии NOx не более 50 мг/нм<sup>3</sup>;
- допустимые характеристики шума на рабочих местах производственных предприятий не должны превышать 80 дБА, а в жилых помещениях и общественных зданиях – 40 дБА днем и 30 дБА ночью.



Стационарный ГТД Mitsubishi.



Стационарный ГТД, конвертированный из авиационного двигателя.



Электростанции



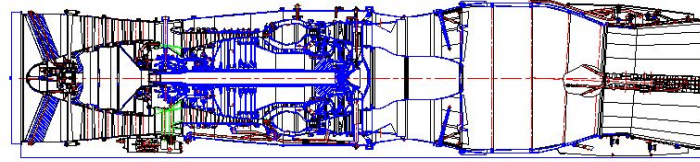
Корабельные ГТУ



Газотурбовозы



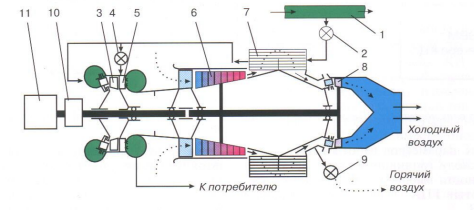
Авиационный ГТД



ГПА



Турбогазодетандеры



Пожаротушени



ГТУ



Автотранспор

т





# Основные конструктивные доработки авиационных ГТД при создании ГТУ

- изменения, обеспечивающие преобразование конструктивной схемы базового авиадвигателя в ГТУ
- “ресурсные” изменения, обеспечивающие выполнение требований по ресурсу, надежности и безопасности эксплуатации ГТУ
- «эксплуатационные» изменения, связанные с отличиями условий эксплуатации базового авиационного двигателя и ГТУ и способствующие улучшению характеристик ГТУ
- доработка камеры сгорания (и топливной системы) с необходимыми экологическими характеристиками, работающей не на керосине, а на топливе, заданном заказчиком (в энергетике обычно - природный газ и дизельное топливо)
- создание силовой турбины, если ее нет в конструкции базового двигателя и невозможно подобрать из существующих
- создание редуктора (или его переделка) для ГТУ, в которых частота вращения силовой турбины не соответствует требуемой, например, для электрогенератора или газоподкачивающего компрессора
- разработка принципиально новой системы автоматического управления (САУ), отвечающей условиям применения ГТУ
- разработка системы контроля и диагностики технического состояния ГТУ (обычно встроенной в САУ)
- доработка масляной системы, рассчитанной на длительную работу ГТУ

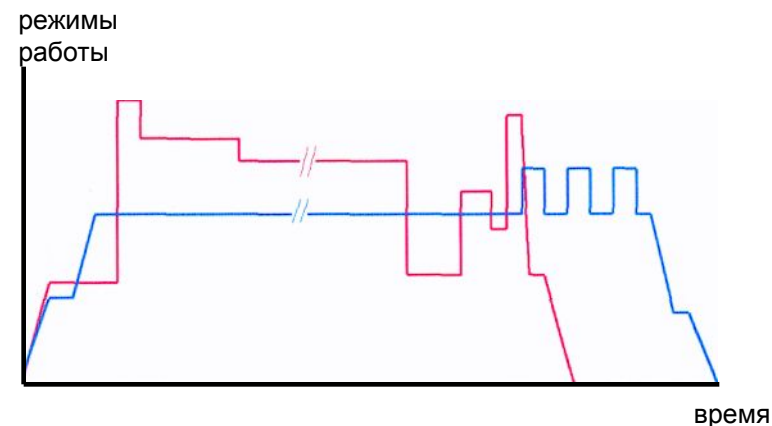
# Основные конструктивные доработки авиационных ГТД при создании ГТУ

## ГТД магистральных ЛА

- средняя межремонтная наработка на крыле - 6000-12 000 час
- максимальная - до 43000 час
- назначенный ресурс основных деталей 2000-30000 циклов

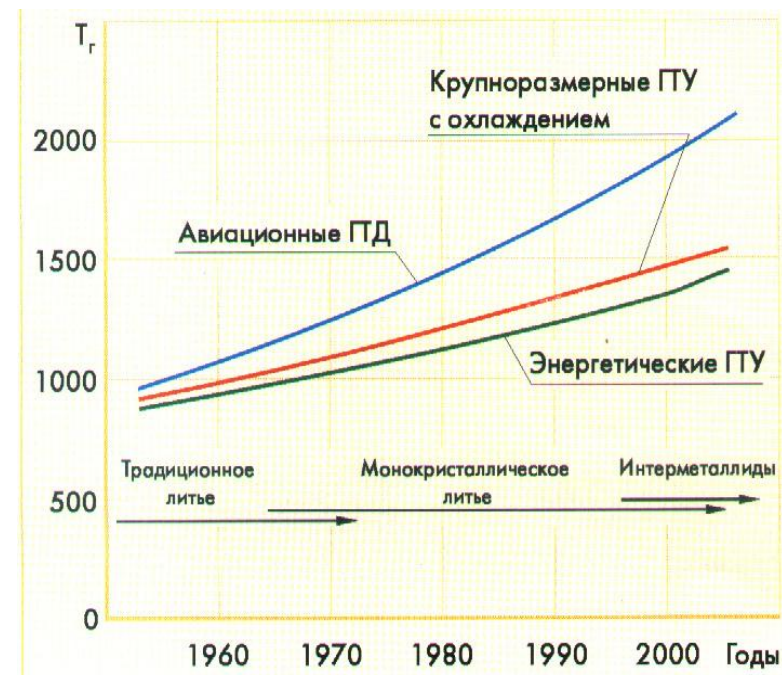
## ГТУ

- ресурс до ремонта - 25000 час
- назначенный ресурс > 100000 час



## “Ресурсные” изменения по сравнению с авиационным ГТД:

- снижение напряженности режима работы, выбранного в качестве номинального, (уменьшение  $T_r$  на  $\Delta T_r = 150-200$  К)
- усиление корпусов, шестерен, замена подшипников на более мощные и долговечные и т.п.
- изменения силовой схемы установки для увеличения прочности и жесткости конструкции, а также снижения стоимости (замена в компрессоре части  $T_i$  деталей на стальные, подбор более дешевых материалов дисков турбин, замена лабиринтных уплотнений с мельхиоровыми покрытиями на более мягкое для предотвращения “закусывания” при внеплановых быстрых остановках ГТУ и др.)
- модернизация опор (масляного картера, опор турбин с целью уменьшения теплоподвода от горячего тракта и др.)



# Основные направления создания ГТУ следующего поколения на базе АД

1. Повышение удельных параметров ГТУ для энергетики, газоперекачки и транспорта:

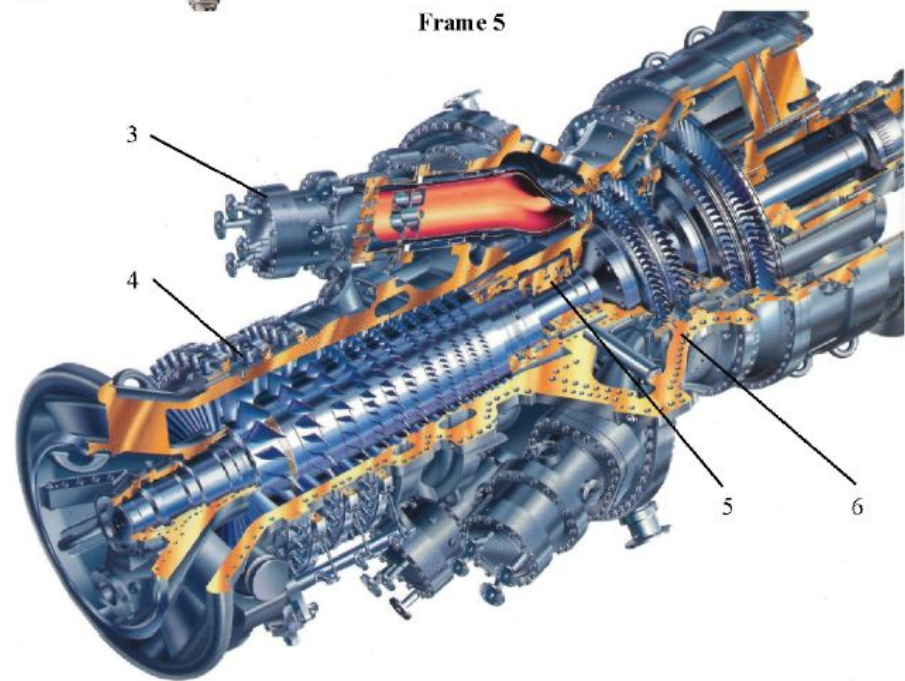
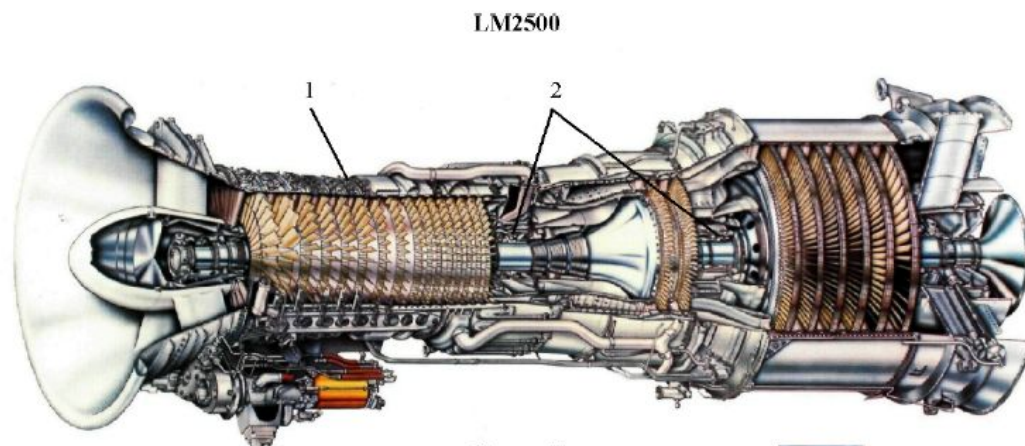
-исследования и разработки по освоению высоких температур газа перед турбиной  $T_r^* = 1700-1800$  К и  $\pi_k^* = 30$  и более

- исследования и разработки по внедрению сложных циклов (регенеративный, STIG, ГТП и пр.)

2. Разработка методологии обеспечения ресурса (назначенного - 100000 часов, межремонтного - 25000 – 50000 часов)

3. Разработка и внедрение малоэмиссионных камер сгорания с  $Nox \ll 50$  мг/нм<sup>3</sup>

4. Использование перспективных конструкторских и технологических разработок, узлов и газогенераторов перспективных авиадвигателей для разработки ГТУ



Сравнение стационарного и конвертированного ГТД.



## ОКБ И ЗАВОДЫ ОТРАСЛИ

АО "Авиадвигатель"

ГТУ-2,5П  
ГТУ-4П (ПМ)  
ГТУ-6П (ПМ)  
ГТУ-7П  
ГТУ-10П  
ГТУ-12П (ЭР)  
ГТУ-16П (ЭР)  
ГТУ-18ПС  
ГТУ-25П (ЭР)

ГУП "Завод им.Климова"

ГТП-0,8  
ГТП-1,25  
ГТП-2,5  
ГТП-1,5

ФГУП ЦИАМ-ТМКБ "Союз"  
ГТЭ-20/55СТ

СНТК  
им.Кузнецова,  
ККБМ, КПБМ

НК-12СТ  
НК-14СТ  
НК-16СТ  
НК-36СТ  
НК-38  
НК-37



ФГУП  
"НПП"Мотор"  
ГТЭ-8/95  
ГТЭ-10/95

ОАО "НПО "Сатурн"

ГТЭС-2,5  
ГТД-4РМ  
ГТД-6РМ  
ГТД-6,3РМ  
ГТД-8РМ  
ГТД-110  
ПГУ-350  
АЛ-31СТ  
АЛ-31СТЭ  
АЛ-2,5÷6 (НИР)

ФГУП "ММПП "Салют"

ГТУ-10С  
ГТУ-20С  
ПГУ-60С (на базе газогенер. изд. 89)

## ЦИАМ

- Стенд для испытаний ГТУ
- Центр сертификации
- Научно-техническая поддержка создания ГТУ в отрасли и разработка методологии создания ГТУ
- Малоэмиссионные камеры сгорания с  $NO_x < 50 \text{ мг/м}^3$
- Предложения по созданию перспективных высокотемпературных ГТУ с  $T_r^* = 1700-1750\text{K}$  (охлаждение турбины ЖВСК, пар)
- Газотурбинная приставка
- ГТУ для железнодорожного транспорта
- Турбодетандеры, хлопкоуборочный комбайн, ветрогазотурбинные установки, приборы и пр.

## НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ГТУ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ ФИРМ GENERAL ELECTRIC (США) И SIEMENS (ЕВРОПА)

Фирма	Дженерал Электрик				Сиенс
Наименование ГТУ	MS7001G	MS9001G	MS7001H	MS9001H	501G
Температура газ перед турбиной, К	1700	1700	1700	1700	1700
Расход воздуха, кг/с	558	685	558	685	552,7
Охлаждение турбины	воздух	воздух	пар	пар	
Эмиссия NOx, ppm	25	25	9	25	
<b>Простой цикл</b>					
Мощность, МВт	240	282			232,5
Тепловой поток, кДж/квт ч	9115	9115			9221
КПД, %	39,5	39,5			
<b>Комбинированный цикл – STIG (ГТУ + паровая турбина)</b>					
Наименование ГТУ	S107G	S109G	S107H	S109H	
Мощность, МВт	350	420	400	480	
Тепловой поток, кДж/квт ч	6207	6207	6000	6000	
КПД, %	58	58	60	60	