



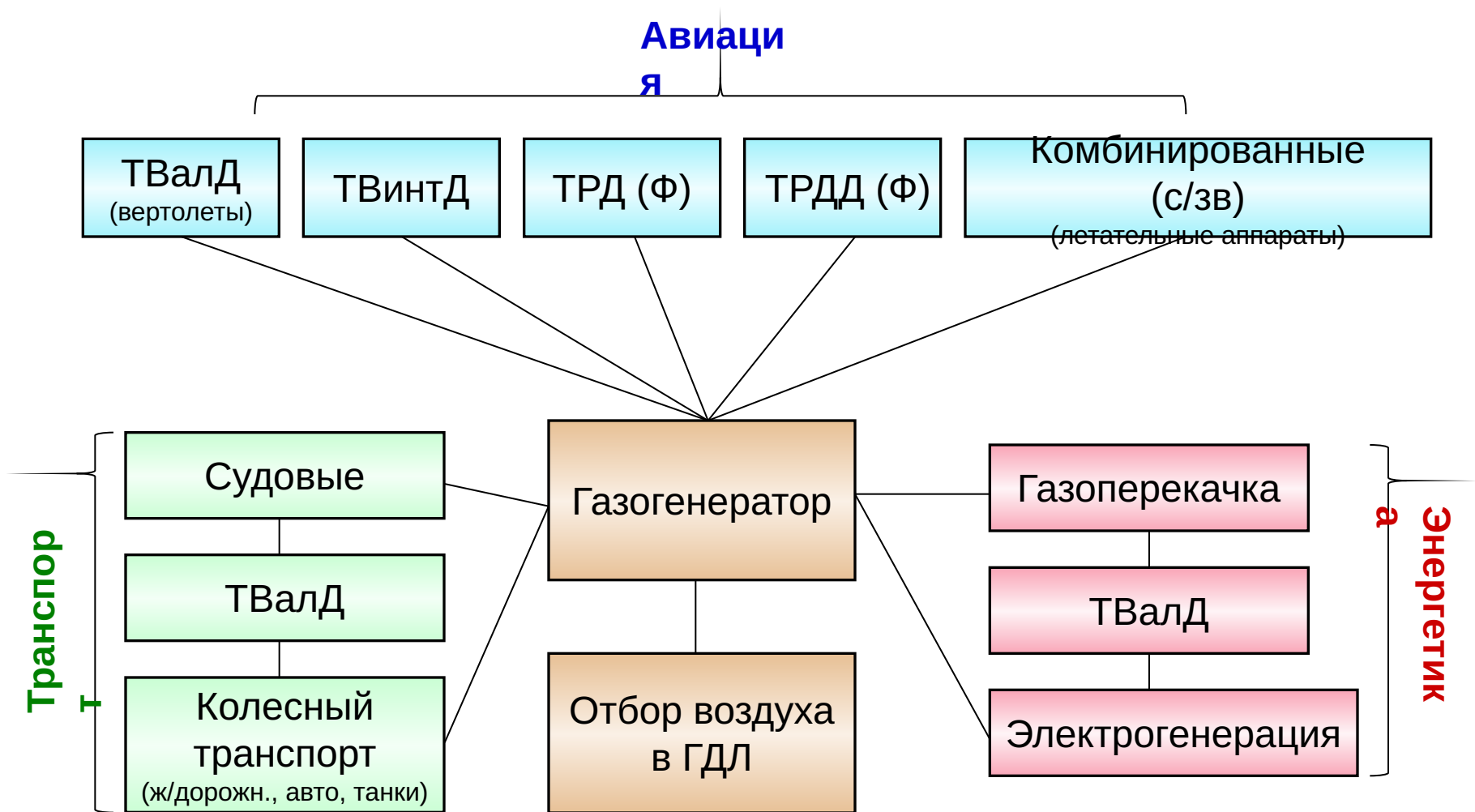
Российская Академия Наук

Газовые турбины в энергетике – задачи и возможности

Ст. Петербург
Симпозиум «ГЛЭН»
04.VI.2008

Академик
О.Н. Фаворский

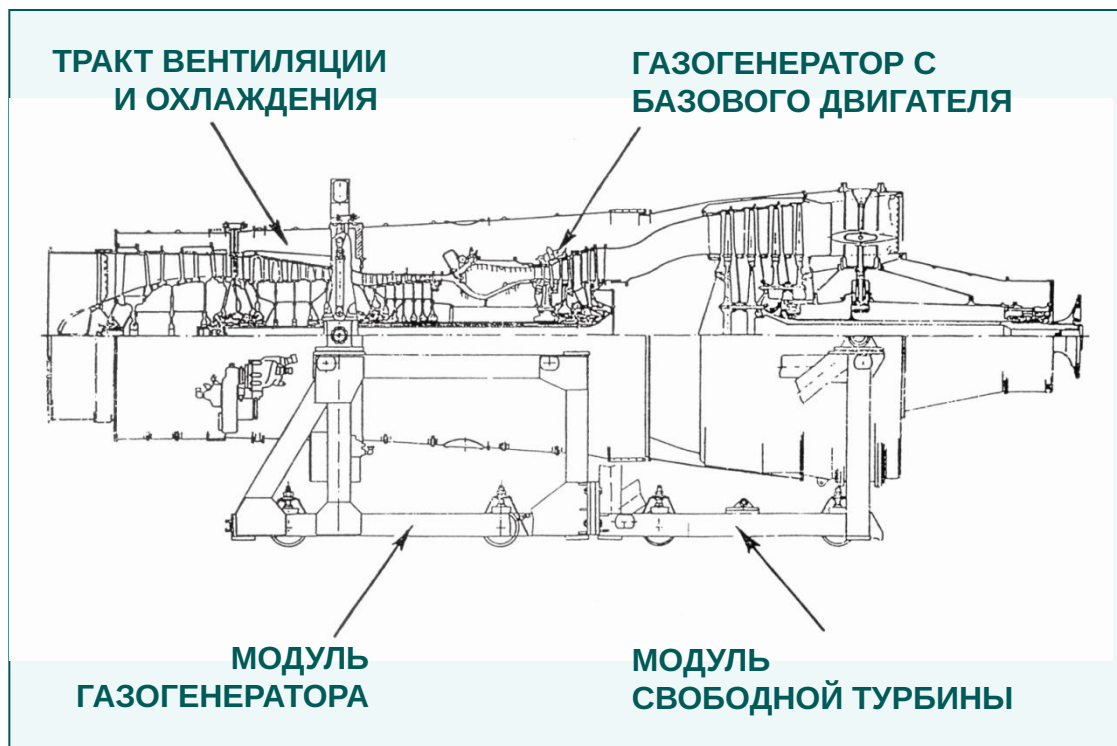
ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ (ГТД)



ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НК-37

Технические характеристики (стандартные условия, газовое топливо)

Мощность, кВт	25000
Эффективный коэффициент полезного действия, %	36.4
Частота вращения ротора силовой турбины, об/мин	3000
Степень повышения давления	23.12
Температура газов перед турбиной, К	1420
Общетехнический ресурс, час	3000



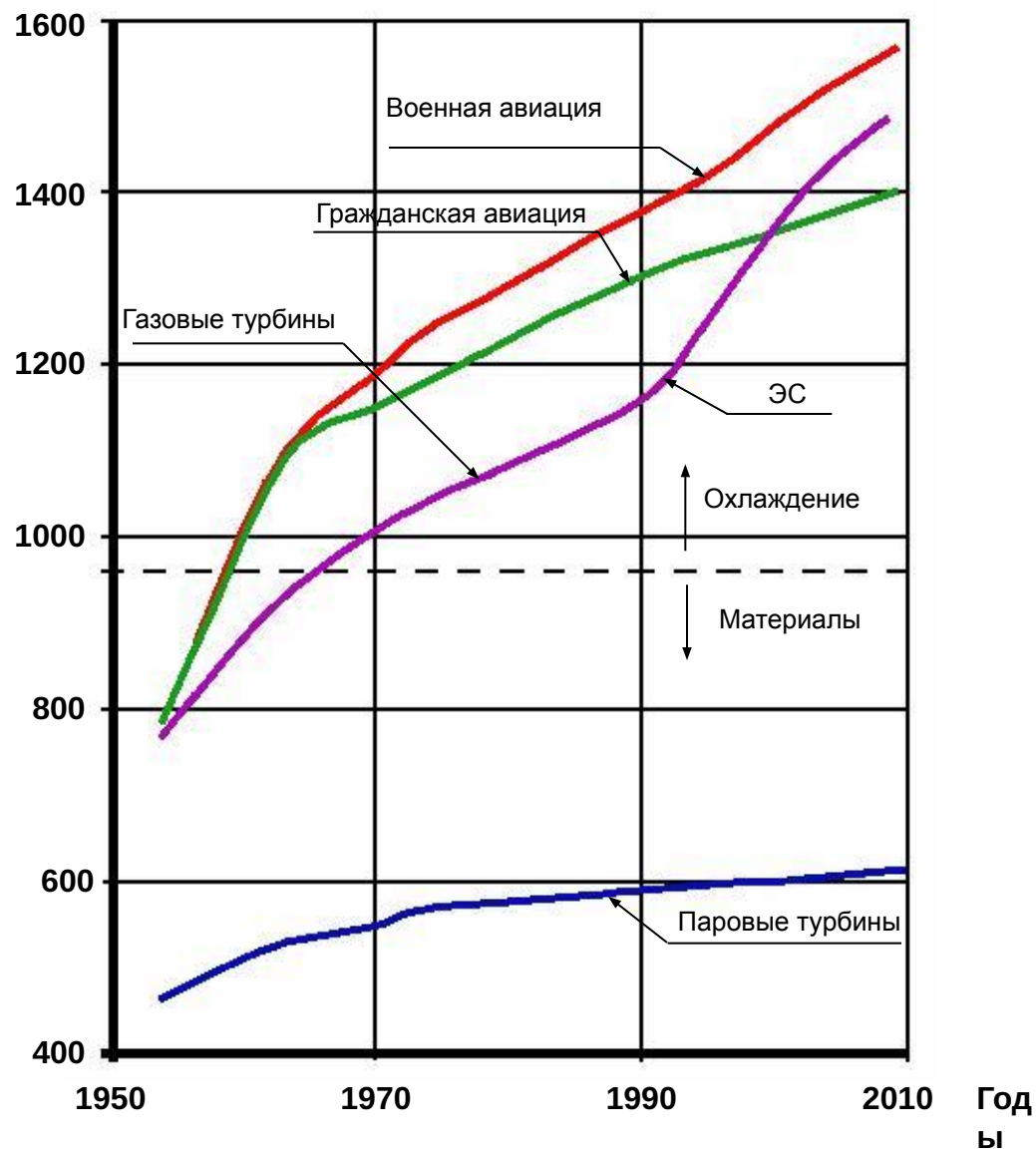
ТОПЛИВНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ (КПД цикла)

Решающее влияние в преобразовании энергии топлива в механическую энергию на валу теплового двигателя оказывает **максимальная температура сгоревших газов $T_{\max}$**

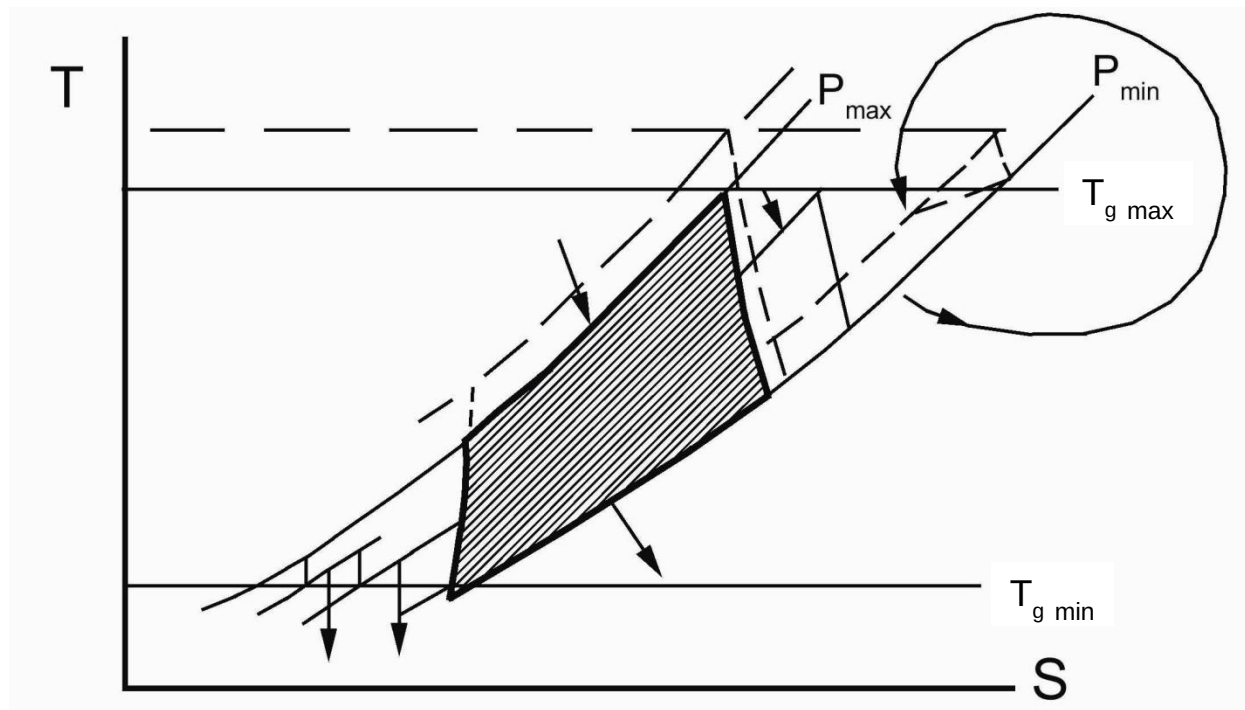
	Поршневые двигатели	Паровые турбины	Газовые турбины	Парогазовые установки
$T^{\circ}\text{C}$	1800 - 2200	300 - 620	700 - 1700	800 - 1500
КПД %	40 - 50	20 – 47 (36%)	20 – 45 (36%)	40 – 60 (65) (52%)
Доля в РФ _{max}	~ 3%	~ 94,5%	~ 1%	~ 1,5%

Потери – энергия (Т) отработавших газов

$T_{г\text{ макс}}, ^\circ\text{C}$



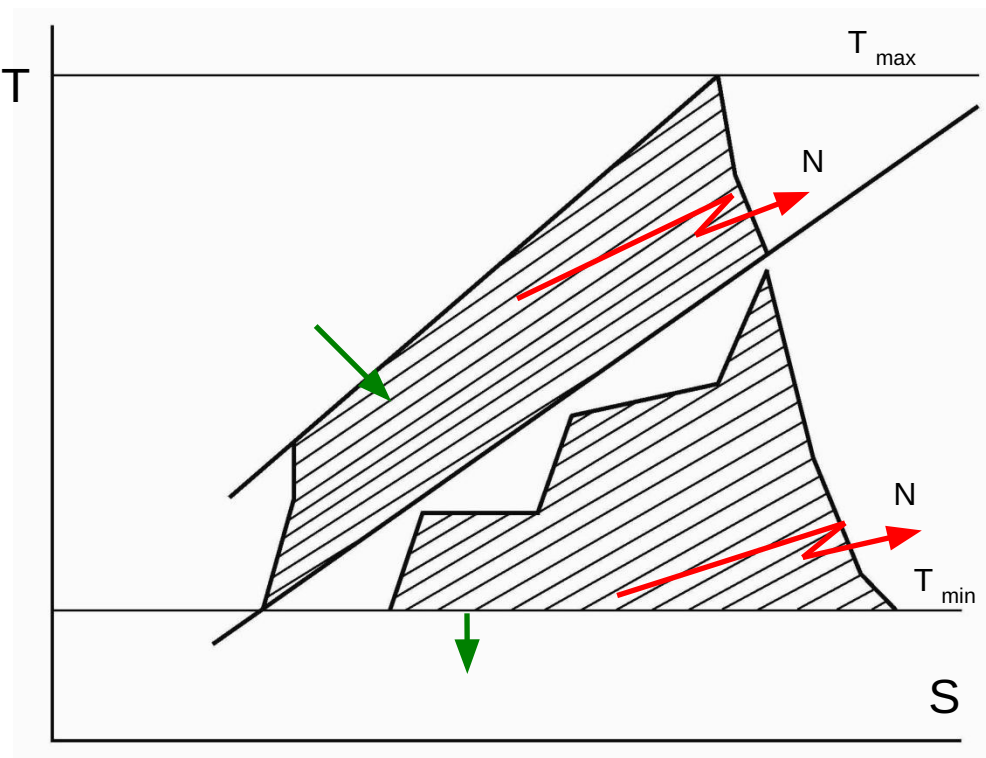
ГАЗОТУРБИННАЯ УСТАНОВКА (ГТУ)



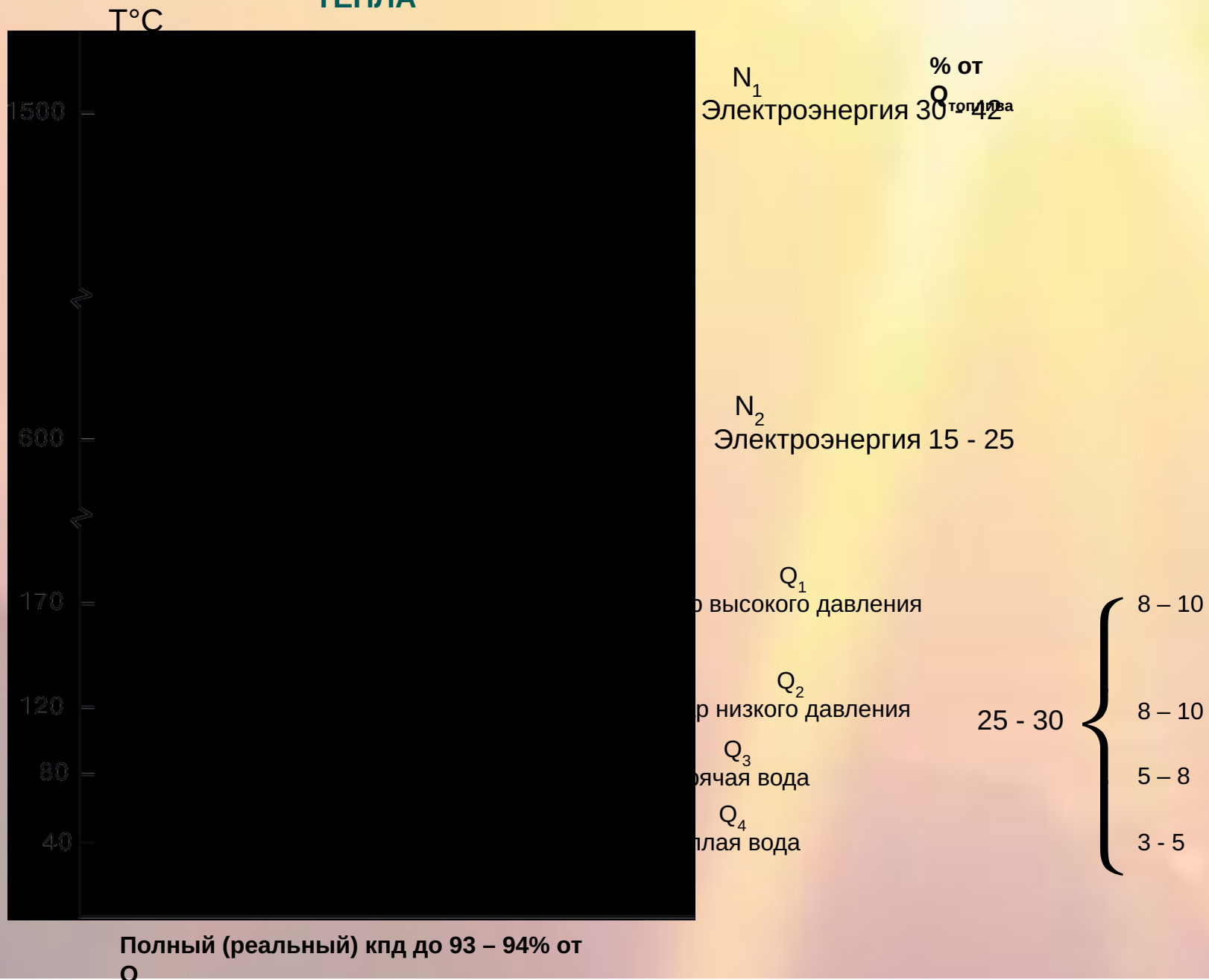
Развитие параметров				Усложнение цикла ($\Pi_k = 5$; $T_r = 1200^\circ\text{C}$; $\eta = 30\%$)			
Π_k	5	15	35	1. Регенерация тепла в теплообменнике ($\Delta\text{вр} = 4\%$)	$\sigma = 0.8$	0.9	0.95
$T_r, ^\circ\text{C}$	700	1000	1300	2. + промoxл. + промподогрев ($\sigma = 0.8$)		$\eta = 44\%$	51% 55%
$\eta, \%$	18	32	42	Исх. +2ПО +1ПП			
				$\eta = 44\%$	54% 56%		
				3. Регенерация тепла паром (пар. oхл.; $\Pi_k = 60$ $T_r = 1600^\circ\text{C}$)		$\eta \sim 65\%$	(Карно = 85%)

РАЗВИТИЕ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

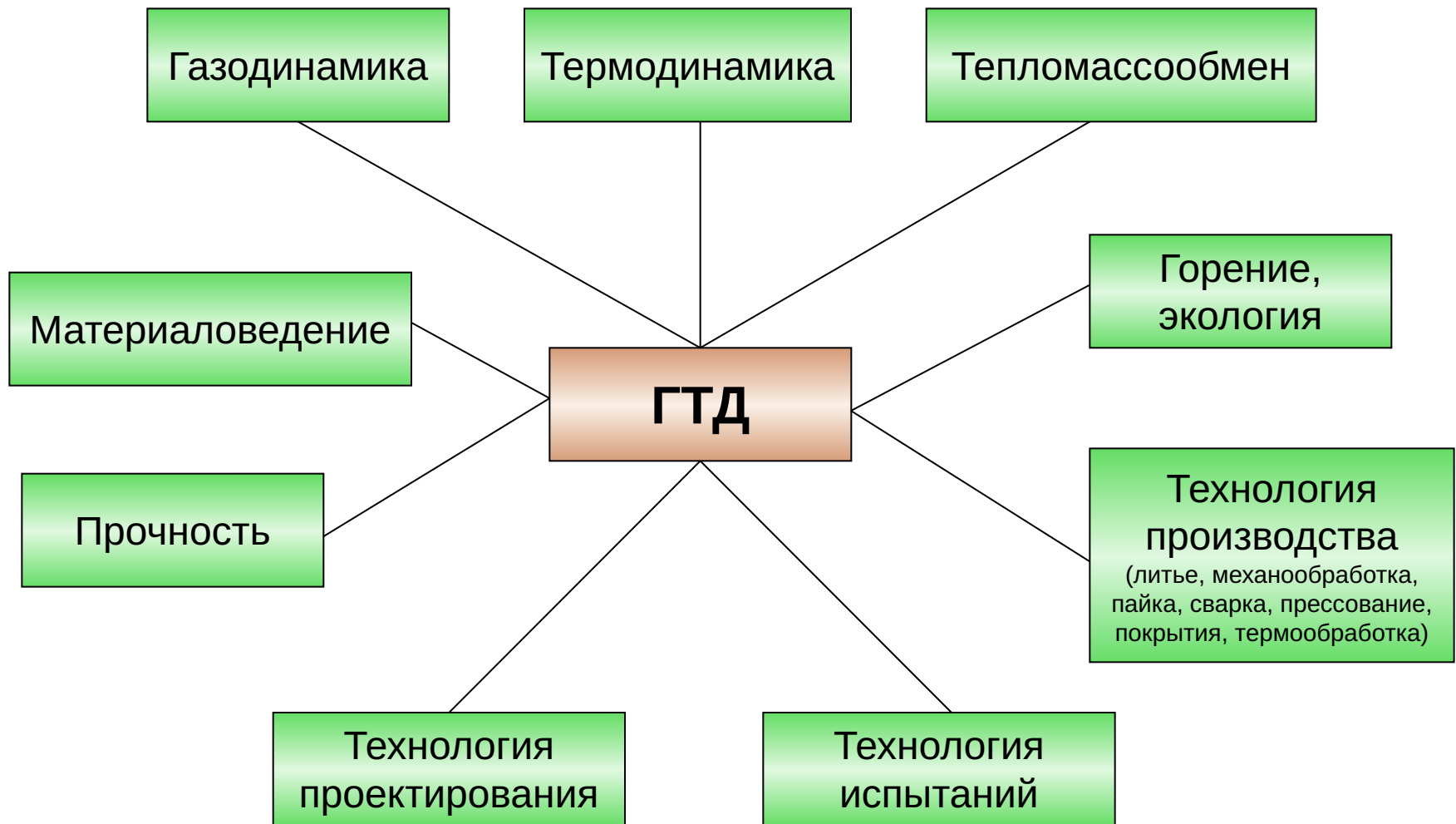
	Макс. КПД, %
Топливный элемент + усовершенств. ПГУ	70%
Усовершенств. ПГУ 62 – 64%	
Простая ПГУ 52 – 56%	
Газовая турбина + топливный элемент	54 – 56%
Современная газовая турбина	42 – 44%
Простая газовая турбина	32 – 36%
Современная усоверш. газовая турбина	42 – 44%-48%
Простая паровая турбина	30 – 34%



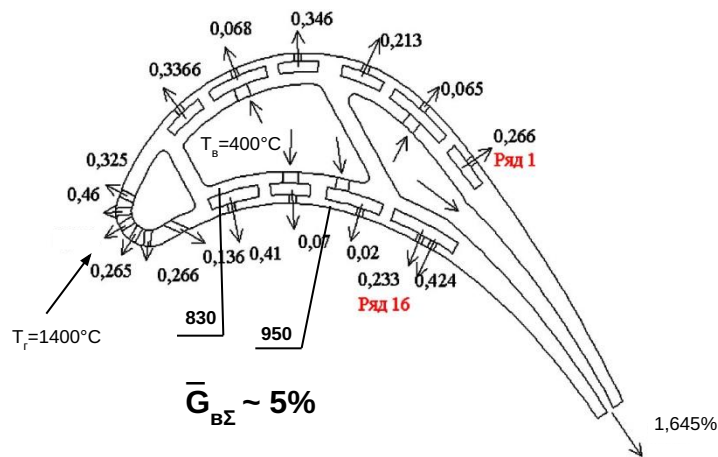
ЭФФЕКТИВНОСТЬ «КАСКАДИРОВАНИЯ» ТЕПЛА



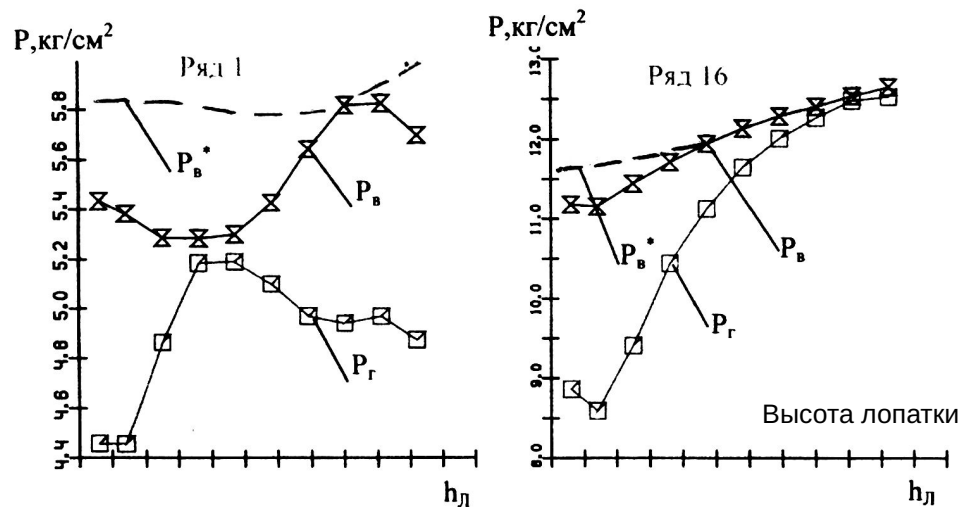
ГТД – РЕЗУЛЬТАТ КОМПЛЕКСА ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК



ОХЛАЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ

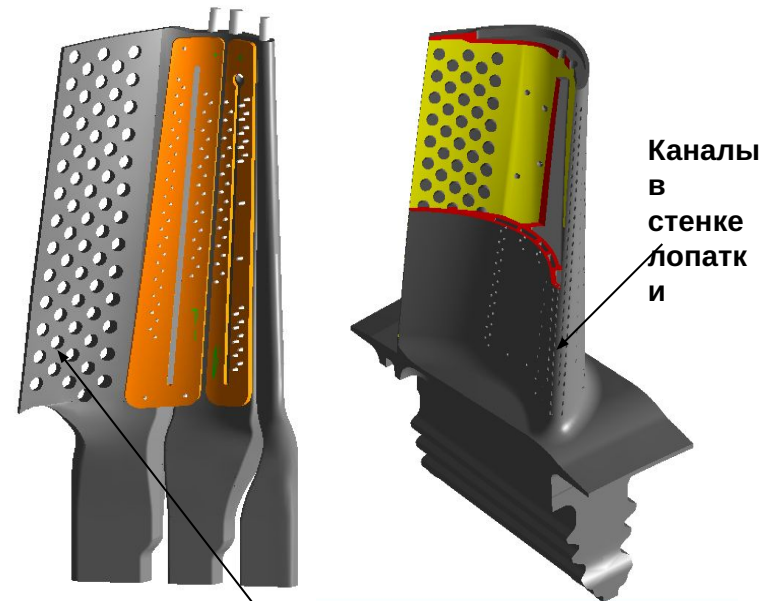


Давление газа на поверхности и воздуха в каналах



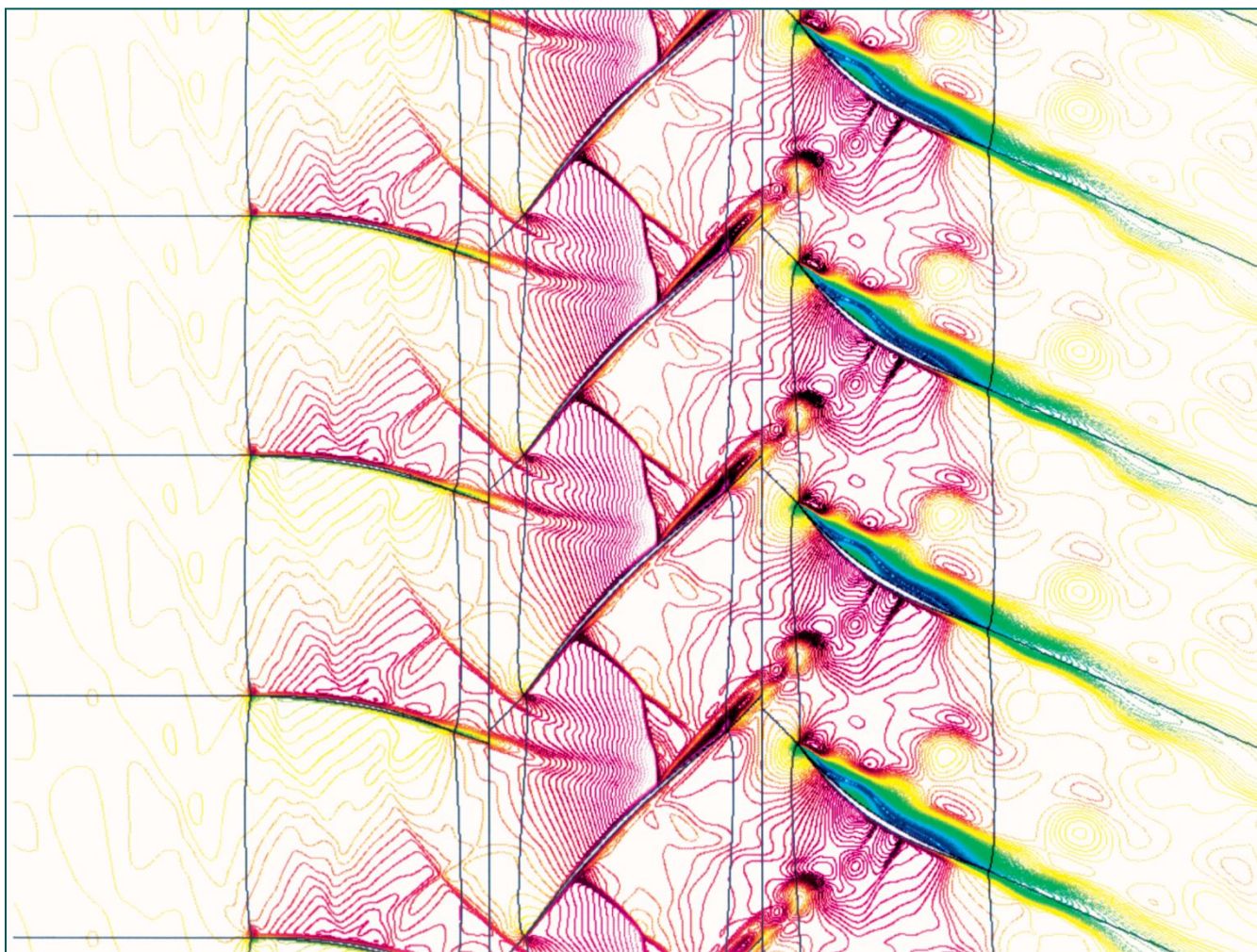
Задачи:

- Уменьшение расхода воздуха
- Выравнивание поля температур в лопатке
- Возможность уменьшения веса



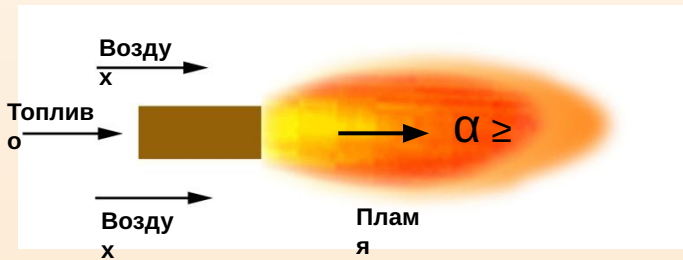
Стержни, образующие каналы в стенке лопатки при литье

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ РОТОР-СТАТОР ВЗАИМОДЕЙСТВИИ

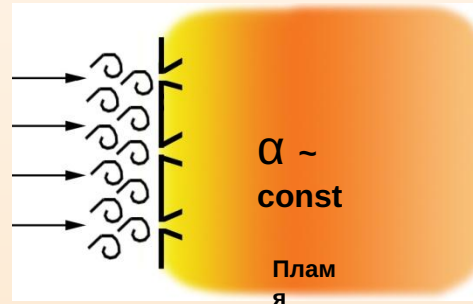


ГОРЕНИЕ

Гетерогенное



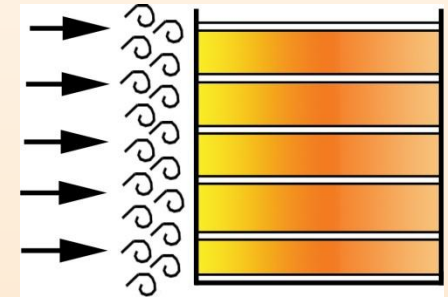
Гомогенное



Смеситель

Стабилизатор

Каталитическое



Катализатор

Проблемы

Полнота сгорания, Смешение, Стенки Стабильность фронта

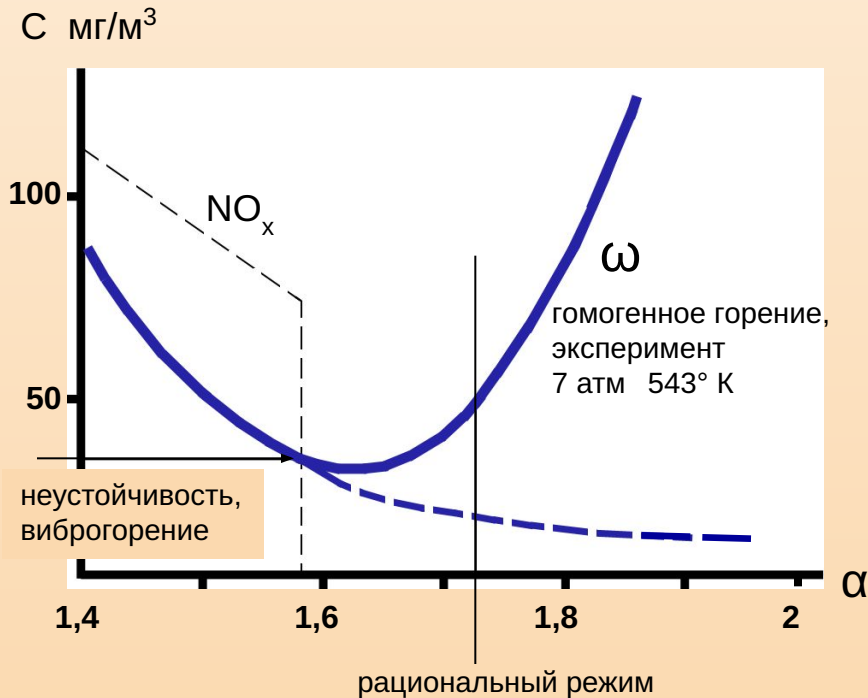
Параметры

H_u — Ккал/кг
 $\bar{\eta}$ — полнота сгорания
 $\bar{w}$ — расход топлива
 T_{max}
 α
 Δp — эффективность использования

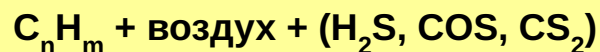
$T_{max} \sim 2000^\circ\text{C}$ 1500 1000

$NO_x \sim 150 - 500 \text{ ppm}$ 15 - 60 1 - 3

Сотни уравнений химических реакций с новыми эффектами взаимодействия частиц и неравномерностью процессов по тракту



КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГОРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ В КАМЕРАХ СГОРАНИЯ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ЭНЕРГОУСТАНОВОК



Кинетика горения различных углеводородов: CH_4 , C_3H_8 ... $i-C_8H_{18}$, $n-C_{10}H_{22}$

Кинетика образования N-содержащих компонентов

Механизм Зельдовича

N_2O механизм

Механизм Фенимора

NNH механизм

Механизм образования элементов группы HNO_y

Кинетика образования S-содержащих компонентов: SO_2 , SO_3 , HSO_3 , H_2SO_4 и др.

Кинетика образования ионов: NO^+ , H_3O^+ , NO_3^- , SO_2^- , HSO_4^- , $C_xH_y^+$ и др.

H_2O , CO , CO_2 , H , O , OH , NO_2 , CH , CH_2O , органика, сажевые предвестники (полииновые и полиароматические молекулы)

NO_x , HNO_y , N_xH_y , C_xH_y

SO_2 , SO_3 , H_2SO_4

NO^+ , H_3O^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_3^- , HSO_4^- , $C_xH_y^+$, полиароматические углеводородные и фуллереноподобные ионы

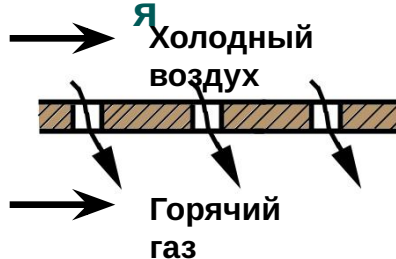
Формирование газообразных соединений, жидких сульфатных и сажевых аэрозолей в выхлопных струях

СХЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СТЕНОК

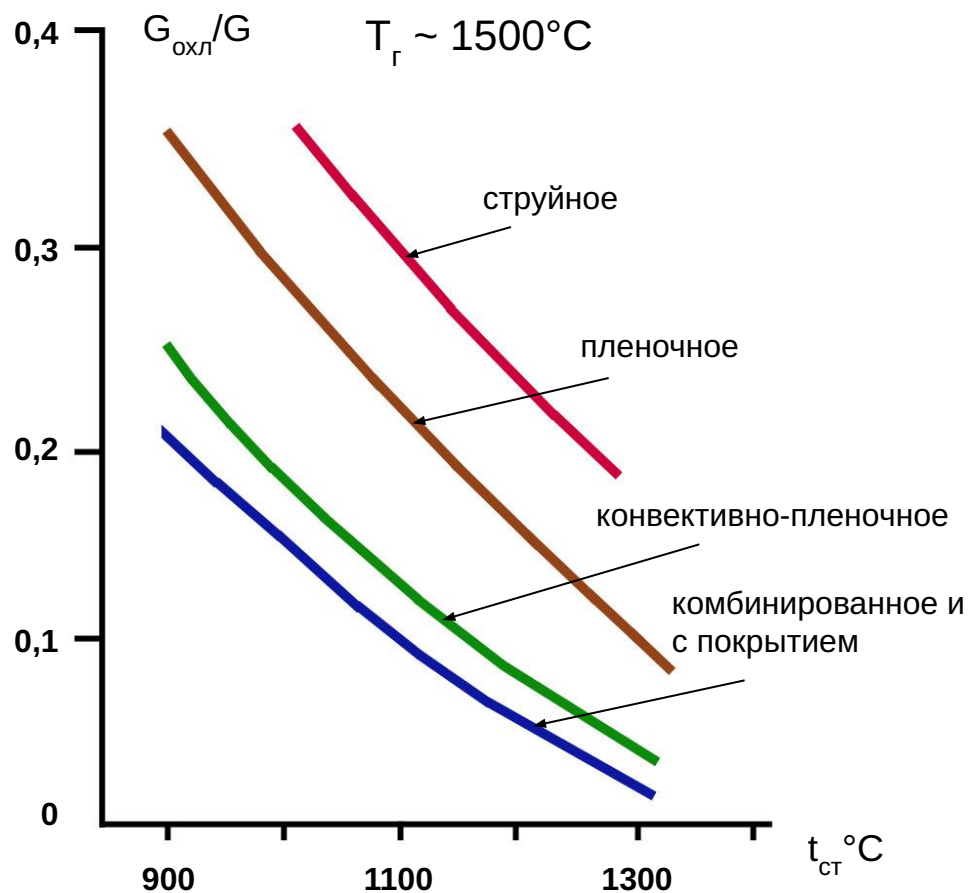
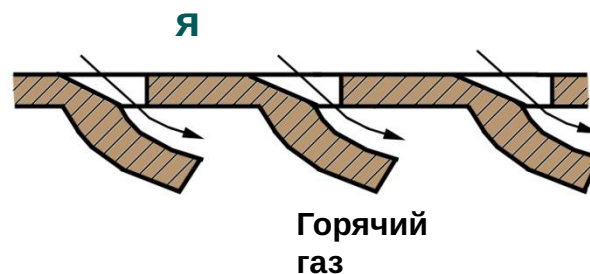
Конвективна



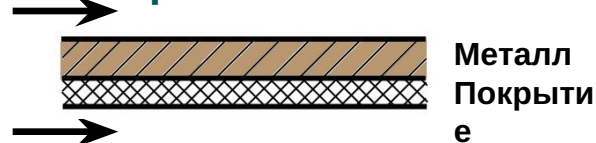
Струйна



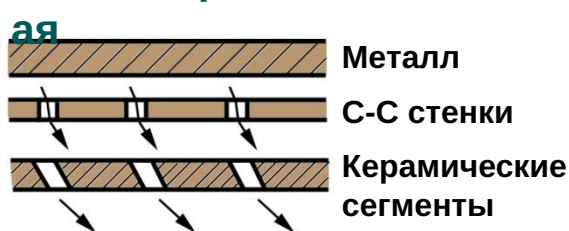
Пленочна



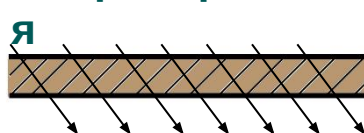
С покрытием



Комбинированн



Микропориста



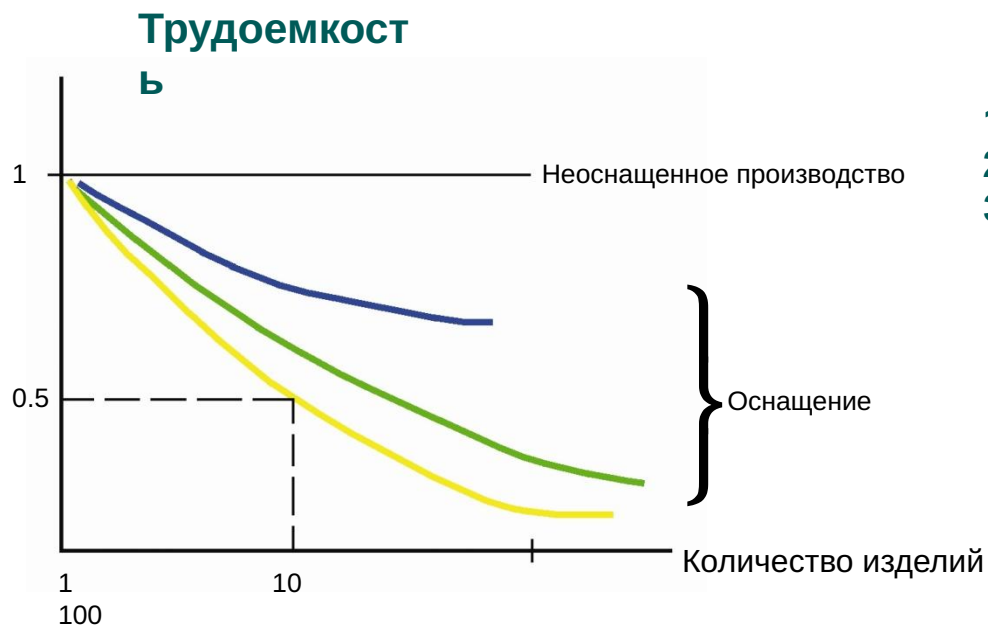
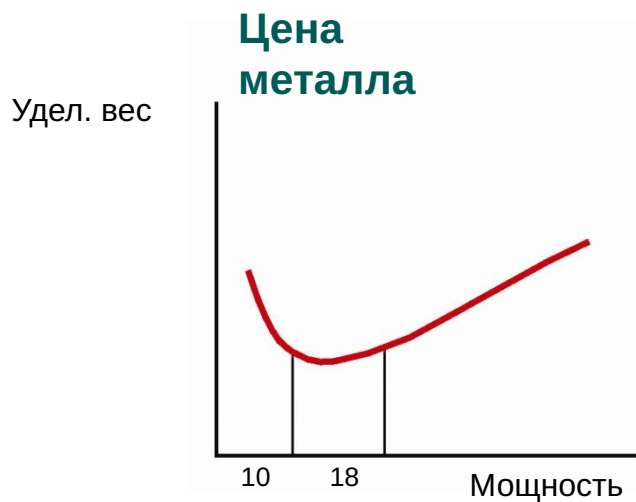
ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ГТУ

Показатель	Тип ГТУ, изготовитель, год выпуска									
	ГТ-600 -1,5, НЛЗ	ГТ-7 00-4, НЛЗ	ГТ-3 5, ХТГЗ	ГТ-7 00-1 2М, НЛЗ	ГТ-7 00-2 5, ЛМЗ	ГТ- 12-3, ЛМЗ	ГТУ- 50, ХТГЗ	ГТ-4 5, ХТГЗ	ГТ-10 0, ЛМЗ	ГТ-15 0, ЛМЗ
	1955	1957	1970	1961	1969	1955	1960	1989	1969	1989
Начальная температура газов, °С	600	700	770	700	700	$\frac{650^*}{650}$	$\frac{800^*}{770}$	900	$\frac{750^*}{750}$	1100
Мощность ГТУ. МВт:	1,72	3,9	31	10,5	23,0	13,6	43,5	51,0	91	144
КПД ГТУ, %:	18,2	16,0	23,5	24,5	22,0	25,0	27,8	28,0	27,1	30
Расход воздуха, кг/с	29,2	45,9	227	92,0	188	91,5	190	271	427	630
Максимальное давление в цикле, 10 ⁵ Па	3,57	4,92	6,55	6,85	9,15	14,6	16,35	7,8	22,3	13,0

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ПАРОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

Разработчик, производитель	Модель	Модель ГТ/ПТ	Производитель ГТ/ПТ	Год начала серийного производства ГТ	Электрическая мощность, МВт	КПД, %	Номинальная мощность ГТ/ПТ, МВт
ОАО ЛМЗ	ПГУ-270	ГТЭ-180/ К-100	ОАО ЛМЗ/ ОАО ЛМЗ	Проект	270	54,5	178/100
	ПГУ-450	ГТЭ-160/ К-150	-«-	2001	450	51,7	150/190
	ПГУ-230	ГТЭ-150/ К-70	-«-	Проект	230	51,2	150/70
НПО «Сатурн»	ПГУ-170	ГТД-110/ ПТУ-60	НПО «Сатурн» / ОАО ЛМЗ	2002	170	52,8	110/60
	ПГУ-325	ГТД-100 / К-110-6,5	-«-	Проект	325	51,5	107,5/110
ОАО «Турбомотор- ный завод»	ПГУ-150	ГТЭ-45У / Т-40-7,5	ОАО «Турбомо- торный завод»	Проект	125	50,5	42/40

СТОИМОСТЬ - РАЗМЕРНОСТЬ ГТУ



Модульность

- Б**
1. Вес узлов (краны, фундаменты...)
 2. Время простоя в ремонте
 3. Качество ремонта - ресурс

Главный конструктор и руководитель МНПО Союз (завод 300)

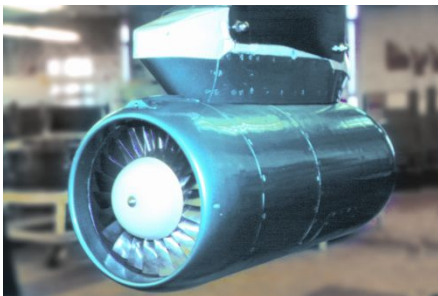
1973-1987 г.г.



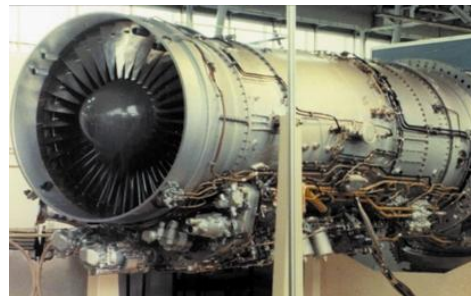
P27B-300

Созданы:

- завершение доводки и сдача в эксплуатацию двигателя P27-300;
- газотурбинный двигатель P95-300, одновальный, двухконтурный, уникальный по весу и экономичности;
- газотурбинный двигатель P79-300, двухконтурный с форсажом в поворотном на 110° сопле, до сих пор нет аналогов в мире;
- длительно работающий газодинамический лазер 180 кВт (18 кВт/кг возд.) на основе P27-300;
- турбовальный двигатель ТВ-О-100 (720 л.с.);
- проект ГТУ 25 МВт для Невского завода (изготовлены и испытаны)



P95-300



P79B-300



Сопло (P79B-300)



ТВ-О-300



ГАЗОТУРБИННАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА ГТЭ-20/55СТ

Производственное объединение «Нафтан» г. Новополоцк, Беларусь

Номинальная/пиковая мощность, МВт - 20

Коэффициент полезного действия
на номинальном режиме, % - 33

Введена в эксплуатацию в 2000 – 2001 г.г.
Окупилась в 2005 г.



ГАЗОТУРБИННАЯ ЭНЕРГОУСТАНОВКА ГТЭ-30-300

Номинальная/пиковая мощность, МВт - 30/33

Коэффициент полезного действия
на номинальном режиме, % - 36

РОССИЙСКИЕ ГТУ МАЛОЙ МОЩНОСТИ



ГТУ-2.5П



ГТУ-4П



ГТУ-16П



АЛ-31СТ

Марка	Город, фирма МВт	Мощность, КПД, %
-------	---------------------	---------------------

ТЭС-75	Калуга, ОКБМ	0.075 12
ГТЭ-1500	Ст. Петербург, Пролет.завод	1.2 21
ГТУ-1500	Ст. Петербург, НПО Климова	1.2 25
ГТУ-2.5П	Пермь, Авиадвигатель	2.5 21.8
ГТА-2,5Р/Н	Рыбинск, Сатурн	2.5 26.5
ГТУ-4П	Пермь, Авиадвигатель	4.0 24.7
ГТУ-6П	Пермь, Авиадвигатель	6.3 26.9
ГТД-6РМ	Рыбинск, Сатурн	6.6 25
ГТУ-95	Уфа, Мотор	10 31
ГТ-9000	Вельск, Эн.авиа	9 37.2
НК-14Э	Самара, НПО Кузнецова	10 32
ГТУ-16П	Пермь, Авиадвиг.	16.4 35.8
ГТЭ-16	Ст. Петербург, Невск. завод	16 32.5
НК-1618	Самара, НПО Кузнецова	16 29
ГТЭ-16	Екатеринбург, Турбомотор.	16 30.4
ГТЭ-20/55Ст	Москва, Энергоавиа	20 31.7
ГТУ-20С	Москва, Салют	20 32.6
НК-37	Самара, НПО Кузнецова	25 36



ГТЭ-1500



НК-14Э



НК-37

За 2001-2007 г.г. введено:

в электроэнергетике 226 агрегатов (160 российских) — около 1300 мВт

УДЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ РОССИЙСКИХ ПГУ И ГТУ-ТЭЦ на газе

Удельная стоимость российских ПГУ и ГТУ-ТЭЦ на газе, дол/кВт

		ПГУ 500 мВт/ВТИ		ГТУ-ТЭЦ 20мВт/55ст	
Газотурбинная установка		117	20%	165	54%
Паровая турбина		63	10.8	-	-
Котел	99 17	100	16.6		
Электрооборудование		49	8.4	40	6.7
КИП и автоматика		45	7.7	25	4.2
Пароводяной тракт		47	8	-	-
Проект	54 9.2	35	5.2		
Строительство	45 7.7	35	5.2		
Финобеспечение		65	11.1	20	3.3
В с е г о:		584	100%	420	100%

ГТУ

N - 157 МВт Сименс V – 94,2 143 дол/кВт
 N – 169,2 МВт GE PG – 92,31 154 дол/кВт
 N – 165 МВт Alstom GT - 13 157 дол/кВт

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГТУ В ЭНЕРГЕТИКЕ, РАБОТАЮЩЕЙ НА ГАЗЕ

Замена 50% ПТ на ПГУ

ТЭЦ КЭС централизованные децентрализованные

+13 ГВт +12 ГВт +65 ГВт +22 ГВт

$\Sigma 25$
ГВт

Замена 50% котельных на ГТУ-ТЭЦ

$\Sigma 87$
ГВт

$\Sigma 112$ ГВт – без строительства новых

- А) тот же газ, но меньше тепла на 20% то же тепло, но больше газа на 22%
- Б) то же тепло, но больше газа на 13% (вдвое выгоднее, чем новые ТЭС)

