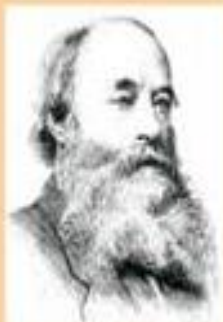


# 1

ТЕРМОДИНАМИКА

## ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ

### ЭКВИВАЛЕНТНОСТЬ ТЕПЛОТЫ И РАБОТЫ



Джеймс Джоуль



Опыт Джоуля



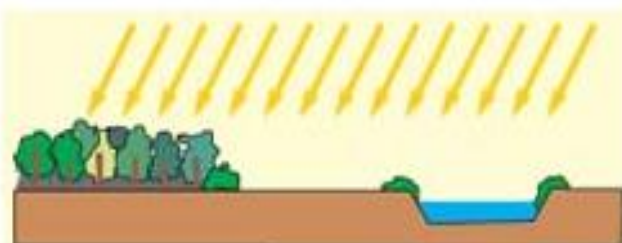
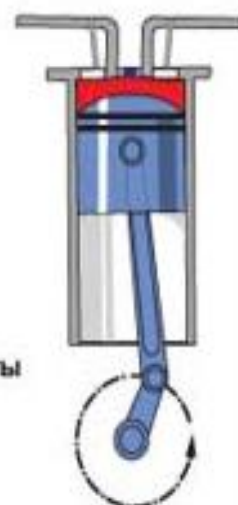
Устройство  
калориметра  
Джоуля

### ДВА СПОСОБА ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ



Изменение внутренней энергии совершением работы

$$\Delta U = A$$

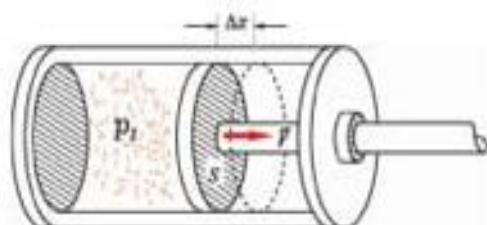


Изменение внутренней энергии теплопередачей

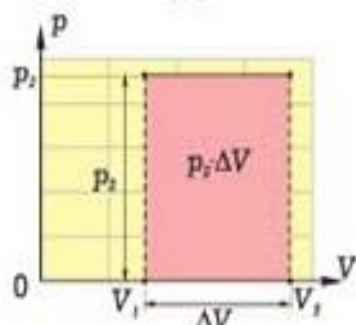
$$\Delta U = Q$$



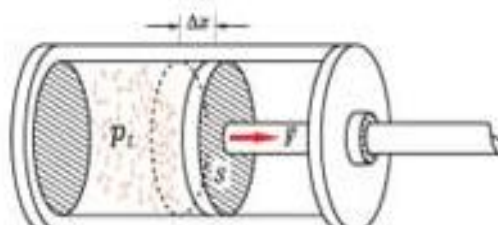
## Изобарное расширение газа



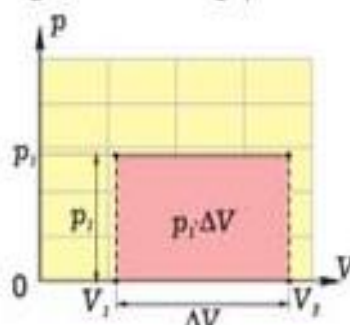
$$A'_1 = F \cdot \Delta x = p_1 \cdot S \cdot \Delta x$$



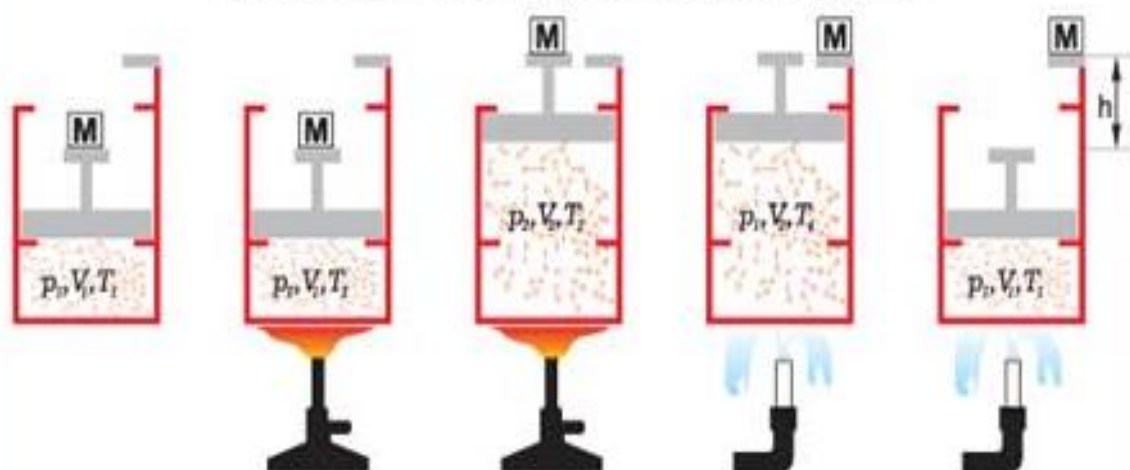
## Изобарное сжатие газа



$$A'_2 = -F \cdot \Delta x = -p_1 \cdot S \cdot \Delta x$$



## ЦИКЛ РАБОТЫ ТЕПЛОВОЙ МАШИНЫ



## РАБОТА ГАЗА ЗА ЦИКЛ

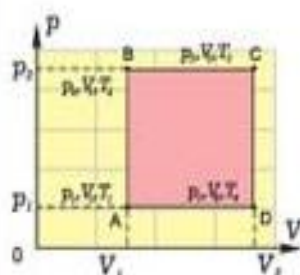
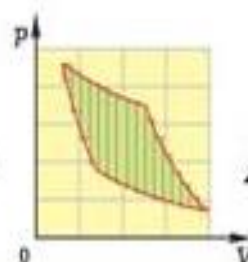


Диаграмма цикла тепловой машины

$$\begin{aligned} A' &= A'_1 + A'_2 = \\ &= p_2 \cdot S \cdot h - p_1 \cdot S \cdot h \\ &= (p_2 - p_1) \cdot \Delta V = \Delta p \cdot \Delta V \end{aligned}$$



$$A' = \sum \Delta p_i \cdot \Delta V_i$$

## ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

## ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Внутренняя энергия изолированной системы не изменяется при любых взаимодействиях внутри системы:  $U = \text{const}$ ,  $\Delta U = 0$ .

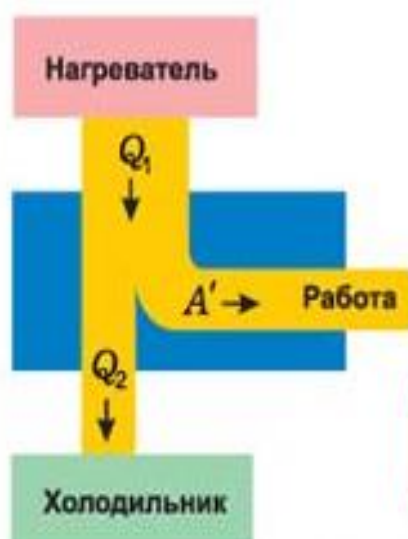
Изменение  $\Delta U$  внутренней энергии неизолированной термодинамической системы равно сумме количества переданной теплоты  $Q$  и работы  $A$  внешних сил

$$\Delta U = Q + A$$

Любая машина может совершить работу  $A'$  над внешними телами только за счет изменения  $\Delta U$  внутренней энергии или получения извне некоторого количества теплоты  $Q$

$$A' = Q - \Delta U$$

## ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ



Невозможно создание периодически действующей тепловой машины, совершающей работу за счет получения количества теплоты от одного тела и не вызывающей при этом никаких изменений в других телах

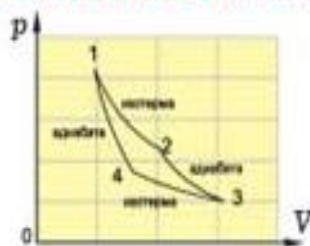
## КПД ТЕПЛОВОЙ МАШИНЫ

$$\eta = \frac{A'}{Q_1} \quad A' = Q_1 - Q_2 \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

## МАКСИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ КПД ТЕПЛОВОЙ МАШИНЫ



Сади Карно



Цикл Карно

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

КПД идеальной тепловой машины



## ПАРОВАЯ МАШИНА ПОЛЗУНОВА



Иван Иванович  
Ползунов

- 1 - топка
- 2 - котел
- 3 - трубы для пара
- 4 - парораспределительное устройство
- 5 и 6 - цилиндры
- 7 - трубы для воды
- 8 - водяной бак
- 9 - полубалансиры
- 10 - тяги
- 11 - воздушные трубы
- 12 - водяные трубы
- 13 - водяной бак

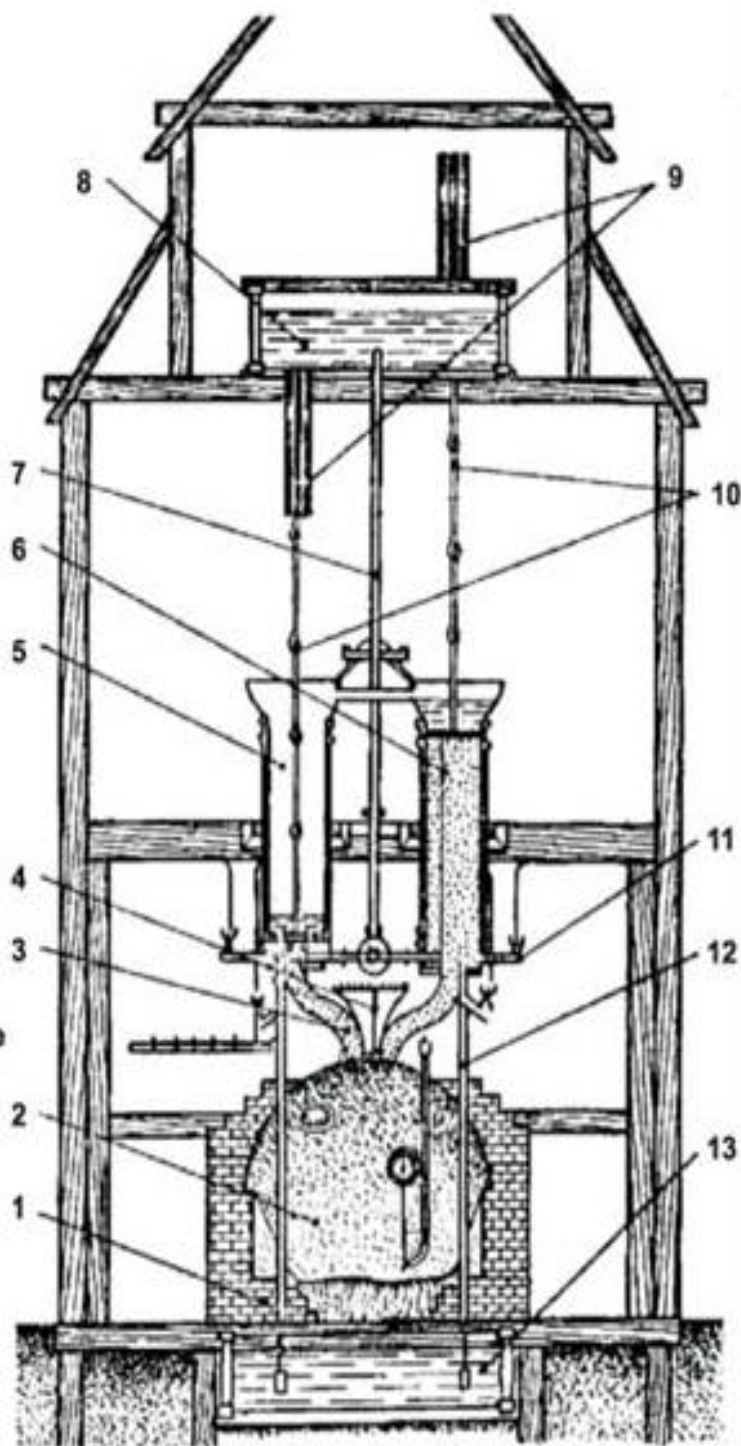
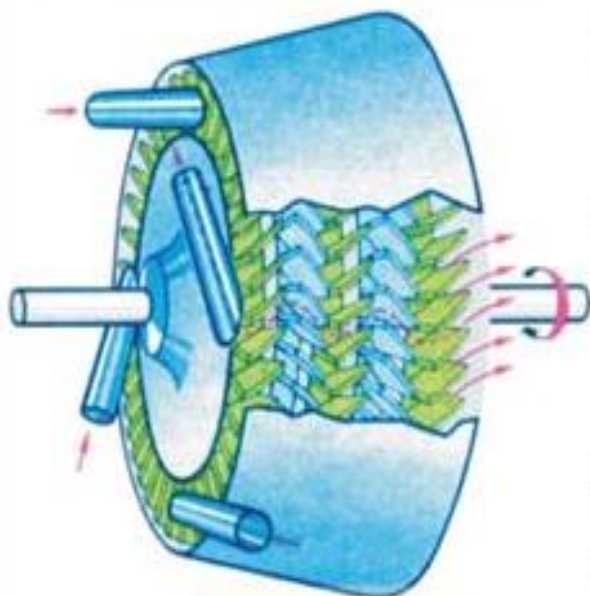


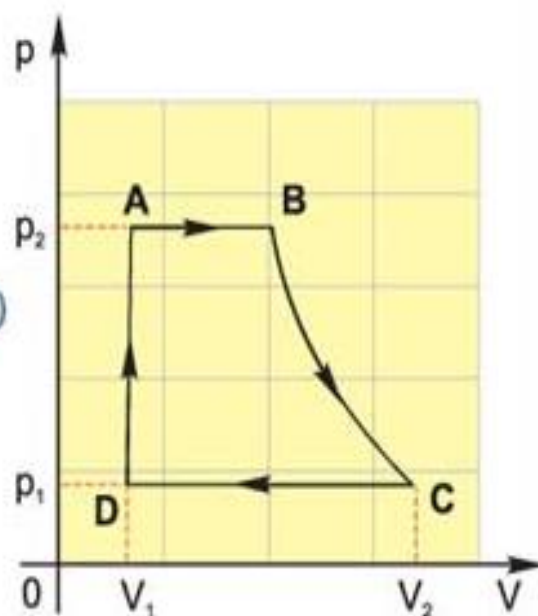
Схема устройства паровой  
машины И.И. Ползунова

## ПАРОВАЯ ТУРБИНА

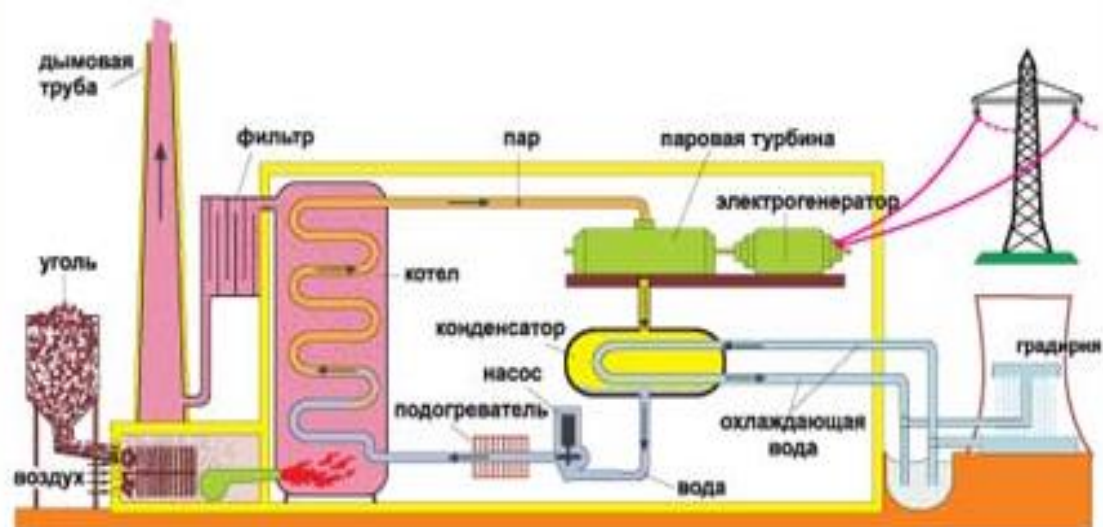
Устройство паровой турбины



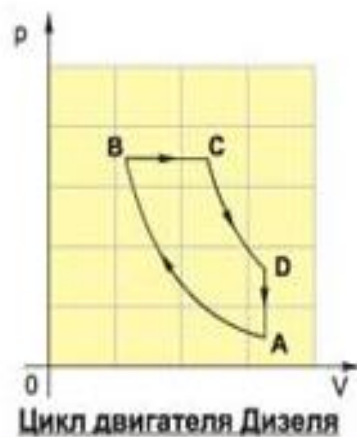
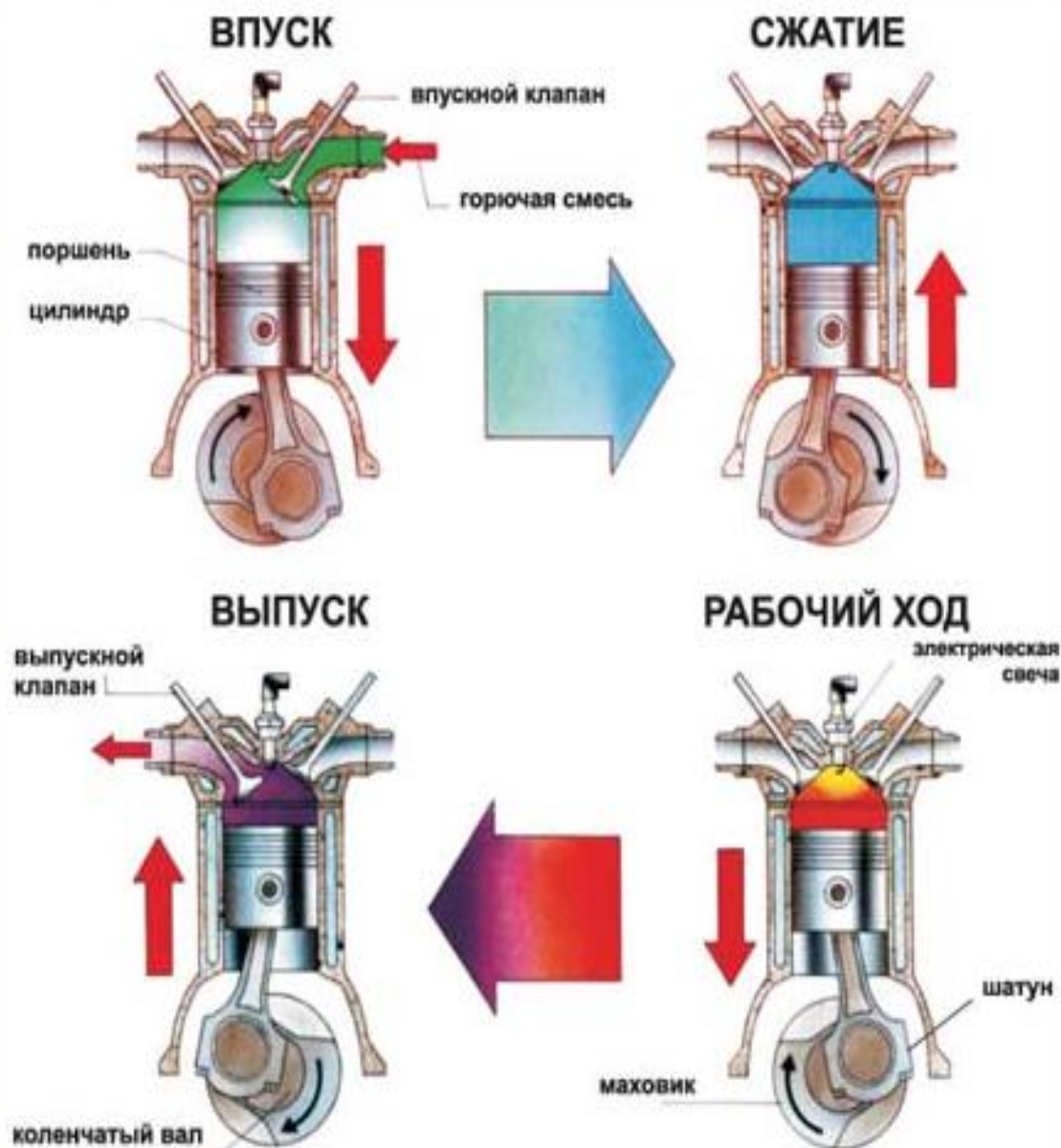
Цикл паровой турбины



## СХЕМА ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ



## ЧЕТЫРЕХТАКТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ





# ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

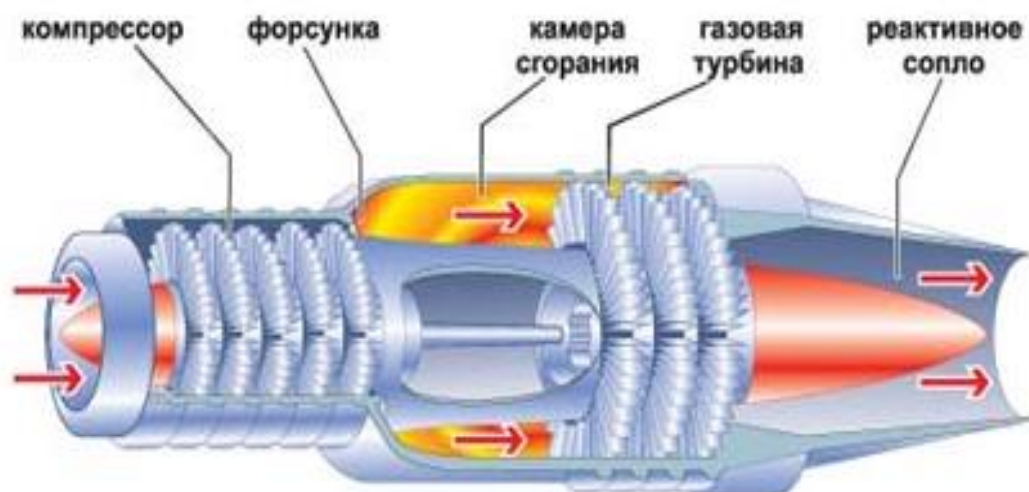


Схема устройства газотурбинного двигателя

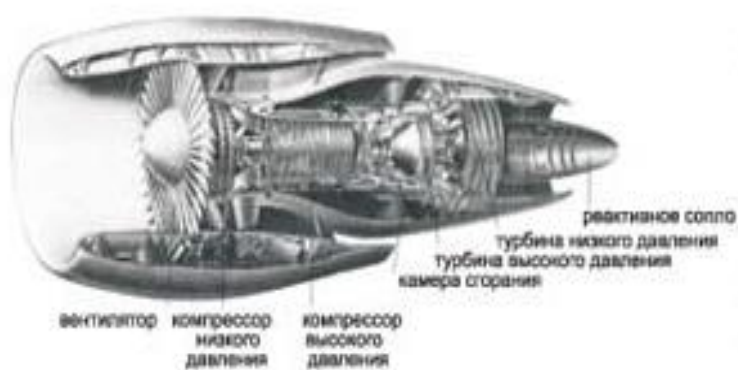
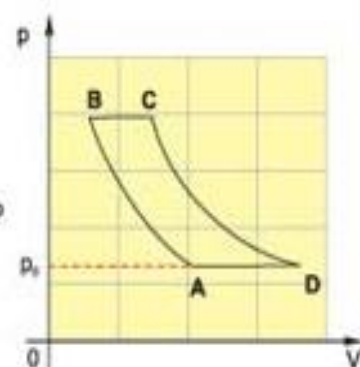


Схема устройства двухконтурного турбореактивного двигателя



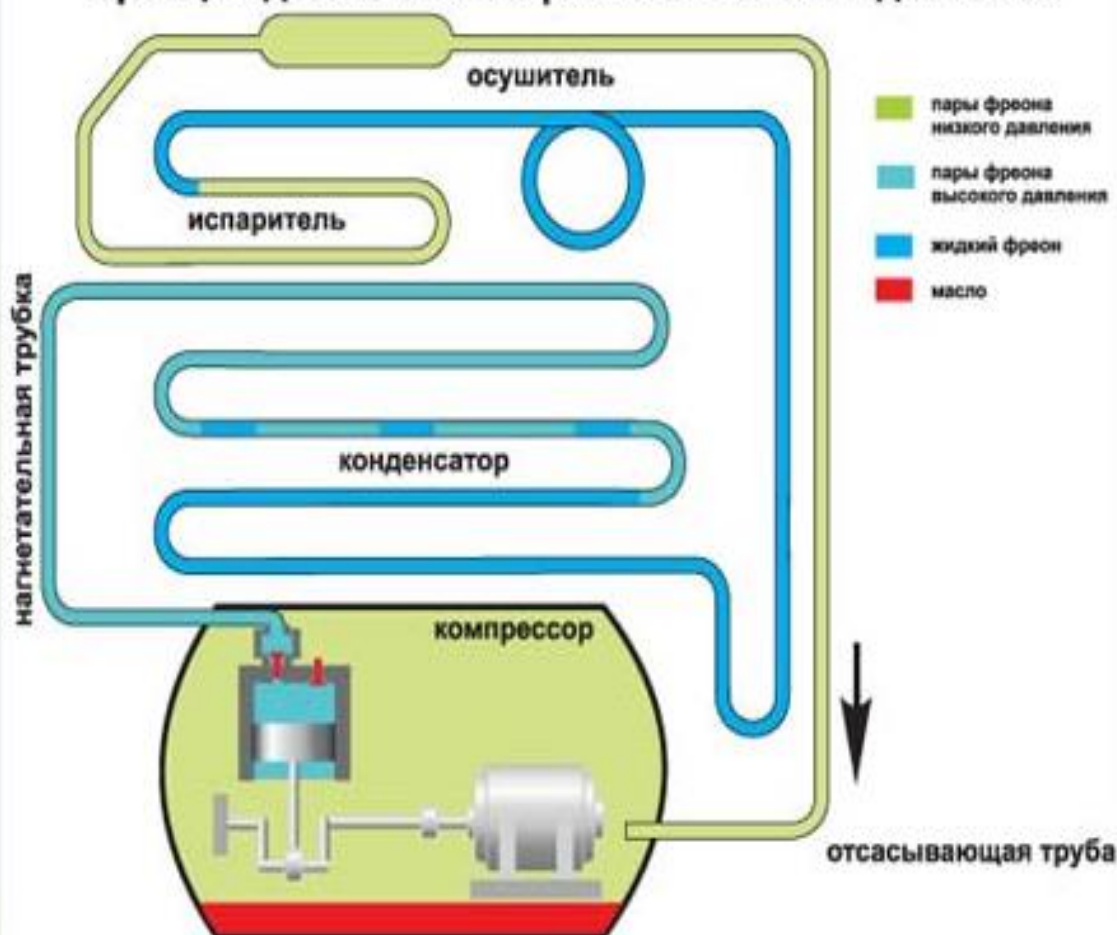
Цикл газовой турбины



Самолет с газотурбинными двигателями

# КОМПРЕССИОННЫЙ ХОЛОДИЛЬНИК

## Принцип действия компрессионного холодильника



## Конструкция компрессионного холодильника





## РАКЕТНЫЕ ДВИГАТЕЛИ



Константин  
Эдуардович  
Циолковский

Формула Циолковского

$$\frac{m_0}{m} = e^{\frac{v}{u}}$$

$m_0$  – начальная масса ракеты

$m$  – конечная масса ракеты

$v$  – конечная скорость ракеты

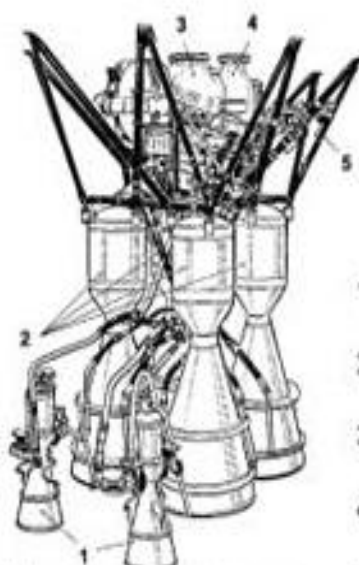
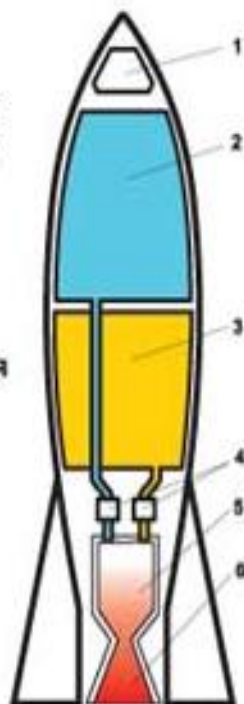
$u$  – скорость истечения газов



Юрий Алексеевич Гагарин

Схема устройства  
жидкостной ракеты

- 1 – полезный груз
- 2 – окислитель
- 3 – горючее
- 4 – насосы
- 5 – камера сгорания
- 6 – сопло



Ракетный двигатель

- 1 – рулевые камеры сгорания и сопла
- 2 – основные камеры сгорания
- 3 – насос подачи окислителя
- 4 – насос подачи горючего
- 5 – силовая рама



Ракета-носитель "Союз"

## ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

Современное мировое потребление энергии

 $4 \cdot 10^{28}$  Дж в год

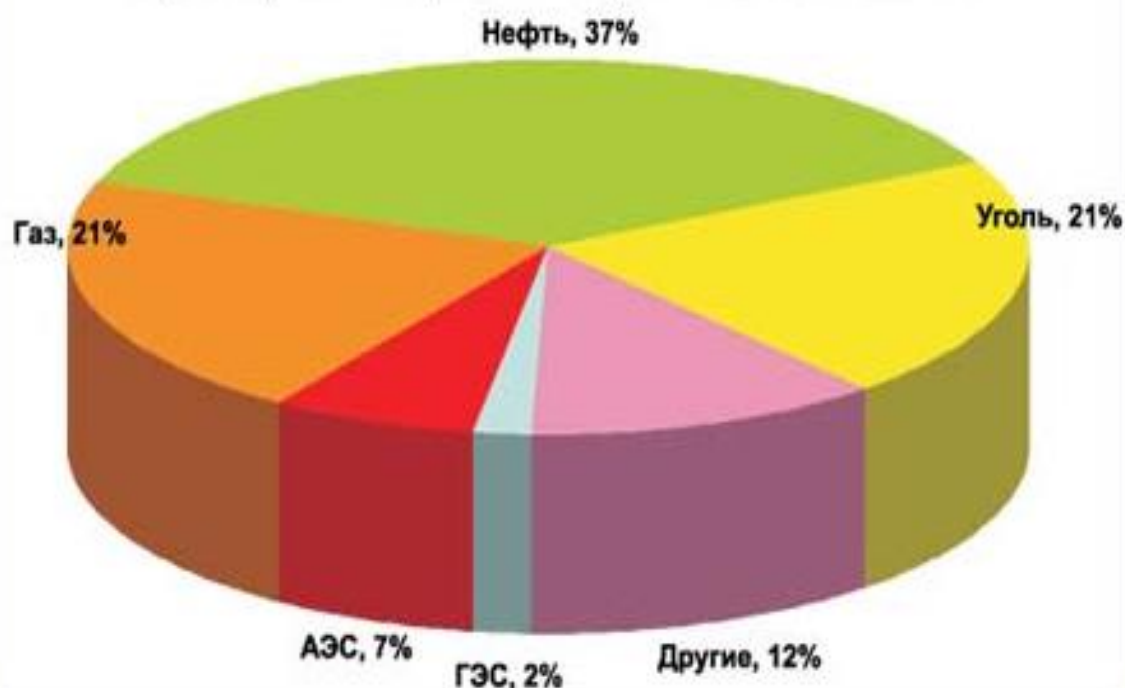
Среднее потребление энергии на душу населения в мире

 $7 \cdot 10^{18}$  Дж в год

Средняя потребляемая мощность на душу населения

2 кВт

## Примерный мировой энергетический баланс



## Мировые энергетические ресурсы

	Разведанные извлекаемые запасы	Годовое потребление	Срок исчерпания запасов
Уголь	$10000 \cdot 10^9$ т ( $3000 \cdot 10^{28}$ Дж)	$2,6 \cdot 10^9$ т ( $8 \cdot 10^{18}$ Дж)	800 лет
Нефть	$140 \cdot 10^9$ т ( $65 \cdot 10^{28}$ Дж)	$3,1 \cdot 10^9$ т ( $14 \cdot 10^{18}$ Дж)	45 лет
Газ	$140 \cdot 10^{12}$ м <sup>3</sup> ( $54 \cdot 10^{28}$ Дж)	$2,4 \cdot 10^{12}$ м <sup>3</sup> ( $9 \cdot 10^{18}$ Дж)	60 лет
Уран	$15 \cdot 10^5$ т ( $6,2 \cdot 10^{29}$ Дж)	$7 \cdot 10^5$ т ( $2,9 \cdot 10^{18}$ Дж)	20 лет

## Энергетические ресурсы России

	Разведанные извлекаемые запасы	Годовое потребление	Срок исчерпания запасов
Уголь	$4000 \cdot 10^9$ т ( $1,2 \cdot 10^{29}$ Дж)	$2,7 \cdot 10^9$ т ( $0,8 \cdot 10^{18}$ Дж)	2500 лет
Нефть	$10 \cdot 10^9$ т ( $4,6 \cdot 10^{28}$ Дж)	$3 \cdot 10^9$ т ( $1,4 \cdot 10^{18}$ Дж)	30 лет
Газ	$30 \cdot 10^{12}$ м <sup>3</sup> ( $12 \cdot 10^{28}$ Дж)	$6 \cdot 10^{11}$ м <sup>3</sup> ( $2,3 \cdot 10^{18}$ Дж)	50 лет