

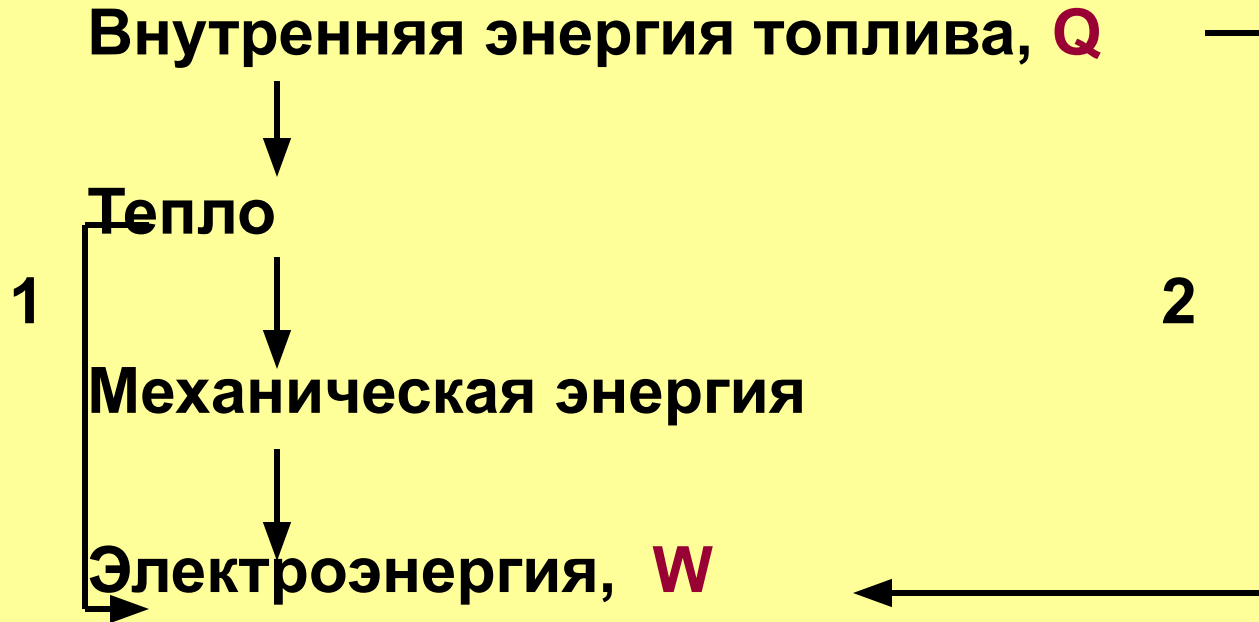


## Экономика Отрасли (Энергетика)

### **Тема 3. Методы преобразования энергии.**

- 3.1. Схемы преобразования энергии.
- 3.2. Тепловая схема паротурбинной энергетической установки.
- 3.3. Законы преобразования тепла в работу.
- 3.4. Термодинамический КПД цикла преобразования тепла в работу. Цикл Карно.
- 3.5. Методы повышения КПД термодинамических циклов.
- 3.6. Газотурбинный цикл Брайтона.
- 3.7. Паротурбинный цикл Рэнкина.
- 3.8. Минимальная стоимость и оптимальный КПД космической энергоустановки.

# 3.1. Схемы преобразования энергии.

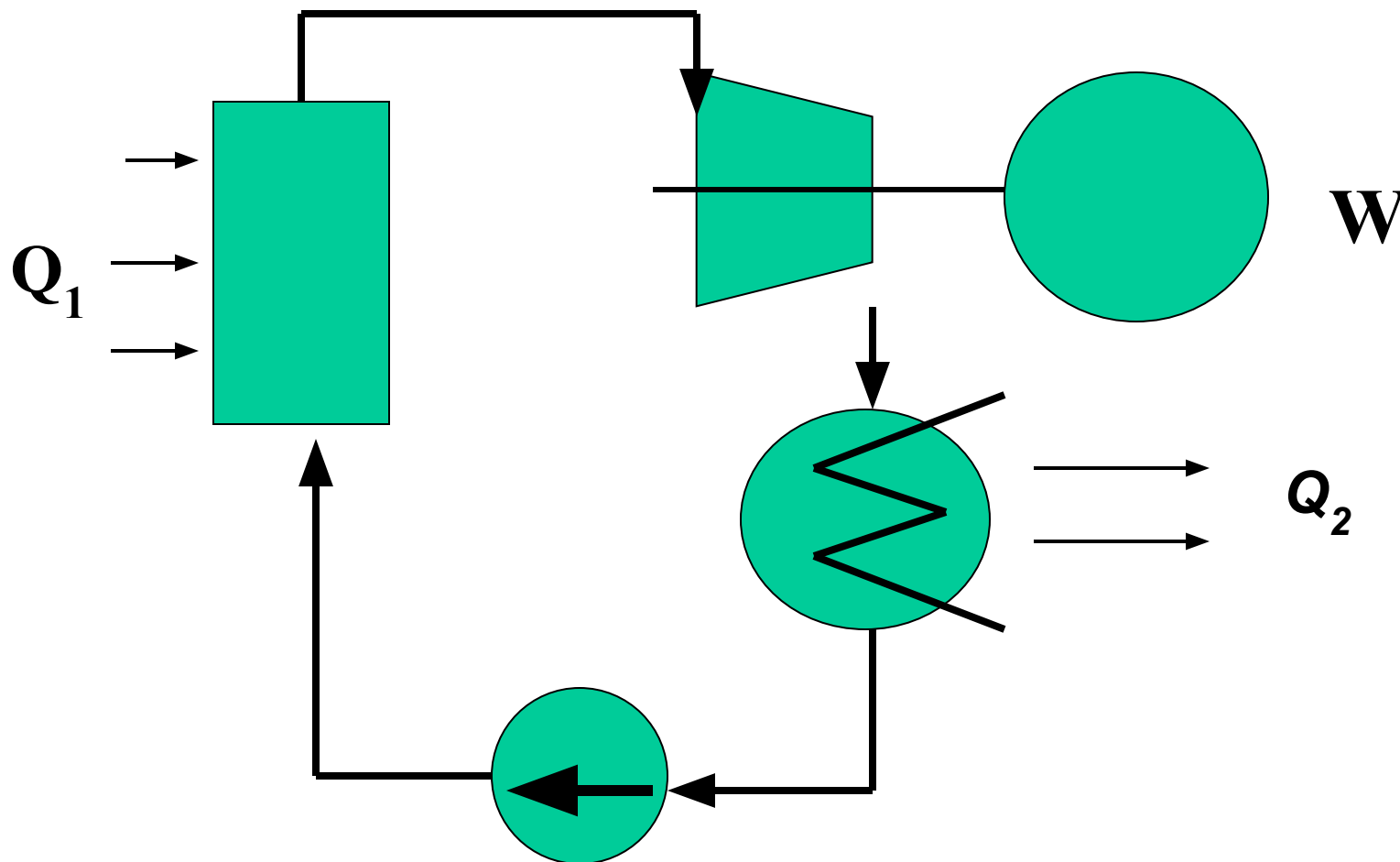


1 и 2 – прямое преобразование.

КПД:  $\eta = W/Q$  – показывает, какая часть затраченной энергии превратилась в полезную работу.



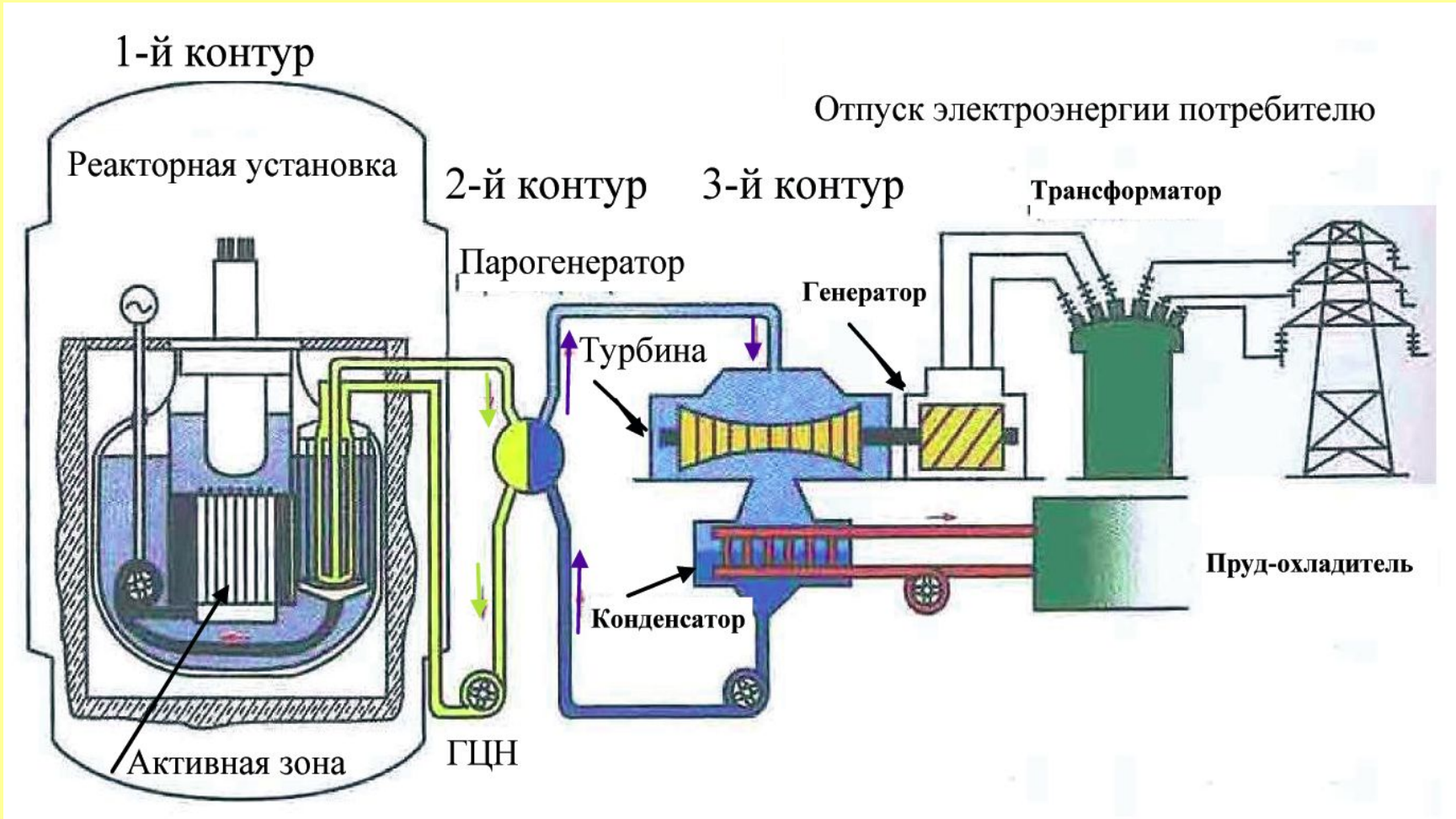
## 3.2. Тепловая схема паротурбинной энергетической установки.



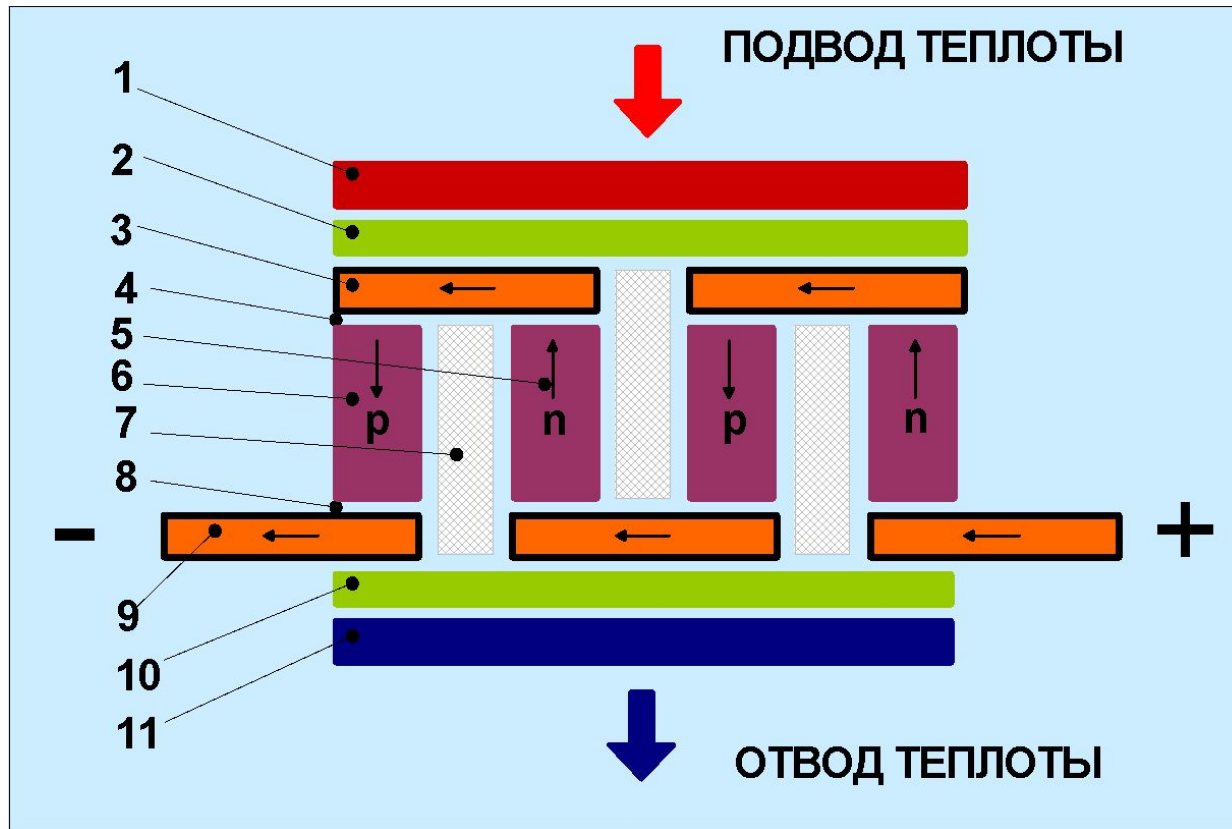
Цикл был предложен в 50-х годах 19-го века почти одновременно шотландским инженером и физиком У.Рэнкиным (Rankine, 1820-72) и немецким физиком Р.Клаузиусом (1822-88). Обычно этот цикл называют **циклом Рэнкина**.



## 3.2. Тепловая схема паротурбинной энергетической установки.



# Функциональная схема термоэлектрической батареи

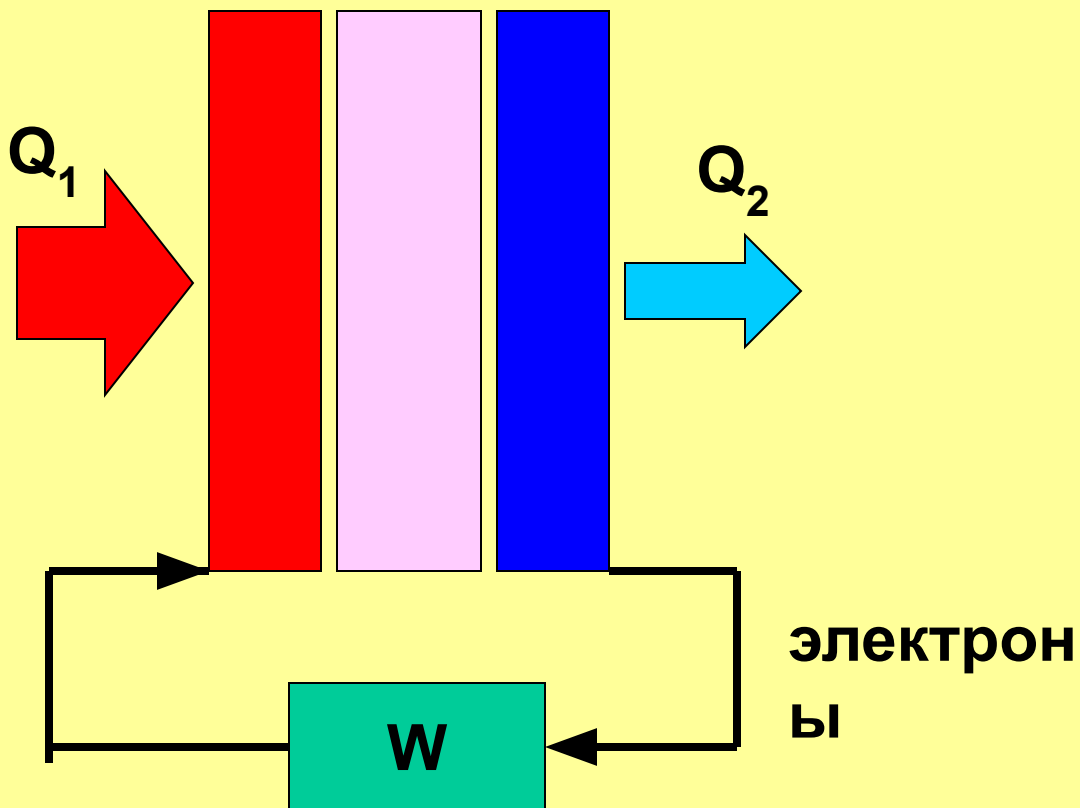


1 – «горячий» теплопровод; 2, 10 – электроизоляция; 3, 9 – коммутационные шины; 4 – «горячий» спай; 5 – термостолбик n – типа; 6 – термостолбик p – типа; 7 – теплоизоляция; 8 – «холодный» спай; 11 – «холодный» теплопровод

# 3.1. Схемы преобразования энергии.



## Термоэмиссионные преобразователи тепла в электричество



### 3.3. Законы преобразования тепла в работу.



**Первый закон термодинамики** представляет собой *количественное* выражение закона сохранения и превращения энергии.

**Второй закон термодинамики** характеризует *качественную* сторону процессов преобразования энергии, указывая возможность (или направление) протекания процесса.

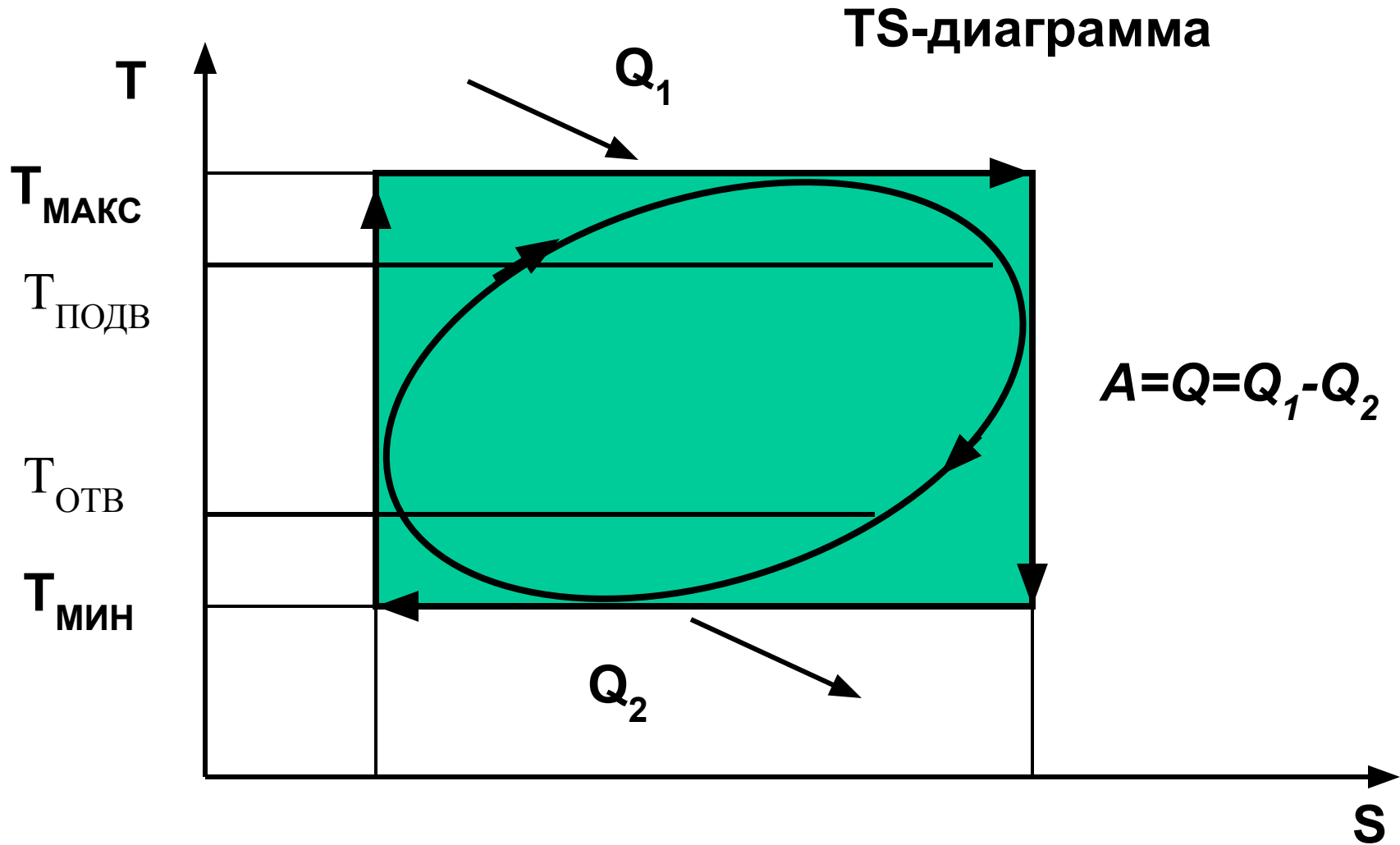
$$dQ = dU + dA.$$

$$dS = dQ/T \text{ или } dQ = T dS.$$

$$A = Q = Q_1 - Q_2$$



### 3.4. Термодинамический КПД цикла преобразования тепла в работу. Цикл Карно.







### 3.4. Термодинамический КПД цикла преобразования тепла в работу. Цикл Карно.

Если энергия  $W$ , отпускаемая потребителю, задана, то чем выше КПД цикла  $\eta$ , тем меньше расходуется топлива (меньше  $Q_1$ ) и меньше тепловое загрязнение окружающей среды  $Q_2$ .

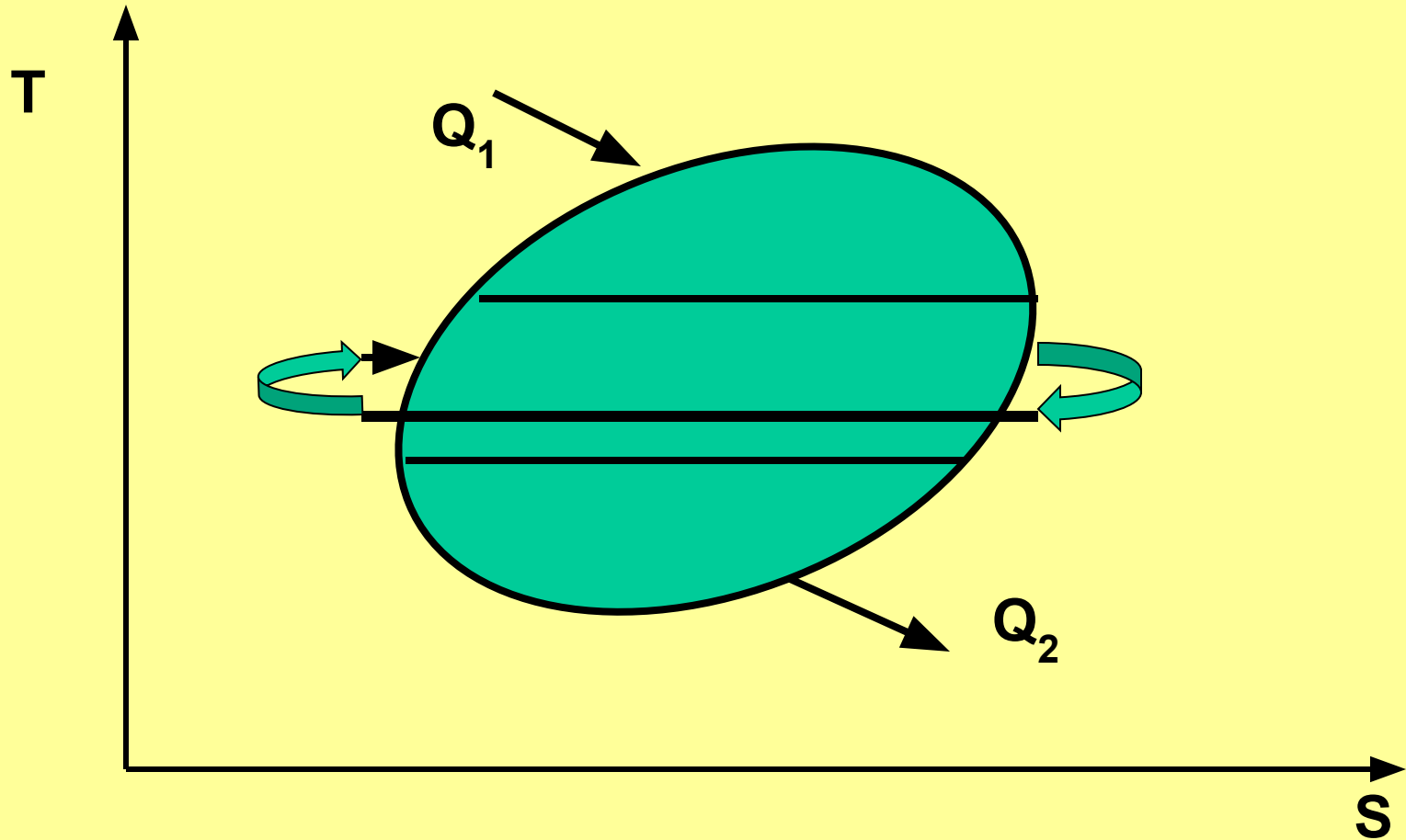
$$\eta = \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (3.2)$$

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{\Delta T}{T_{\text{ПОДВ}}} = 1 - \frac{T_{\text{ОТВ}}}{T_{\text{ПОДВ}}}. \quad (3.12)$$

# 3.5. Методы повышения КПД термодинамических циклов.



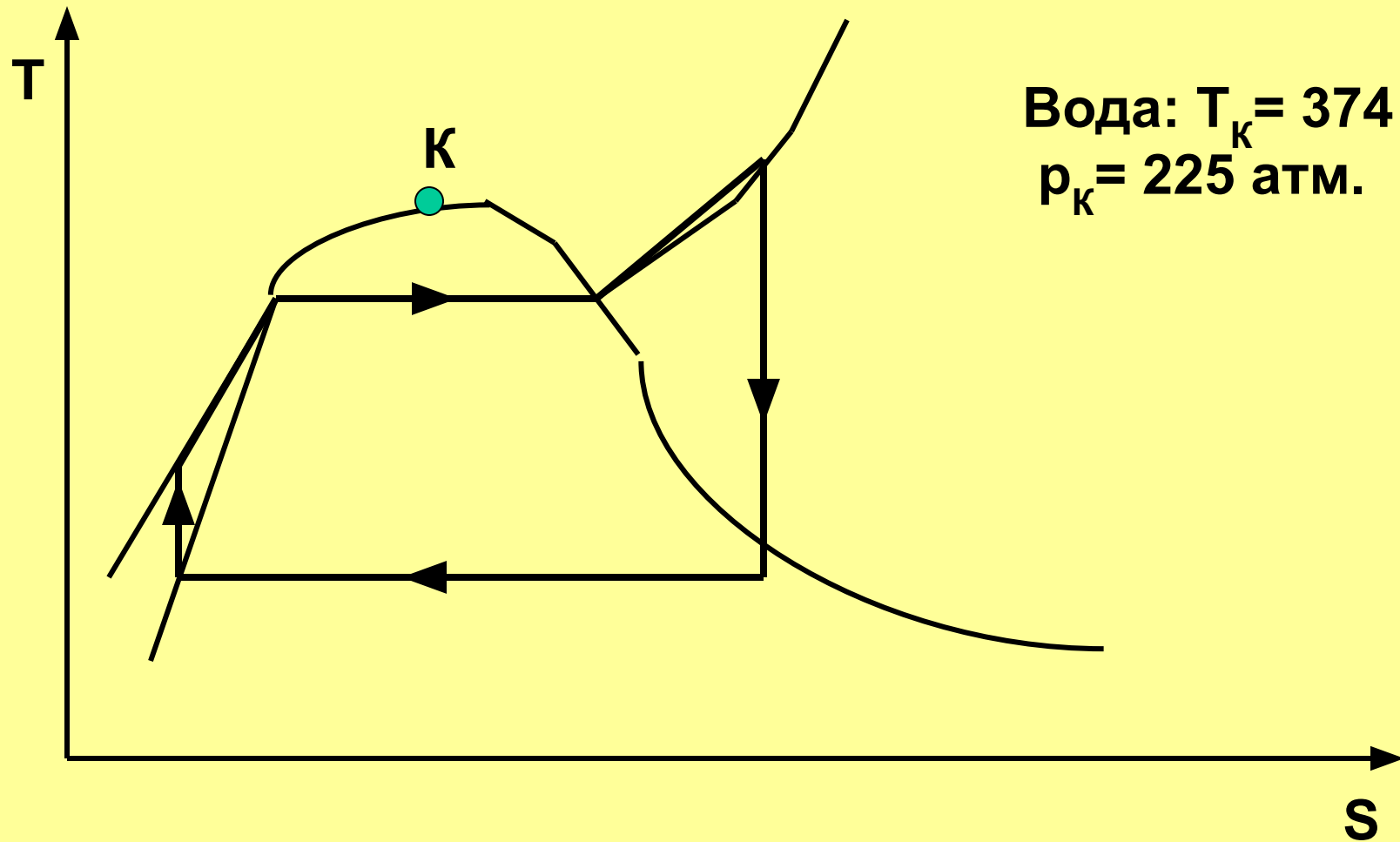
## Регенерация тепла в цикле





## 3.6. Газотурбинный цикл Брайтона.

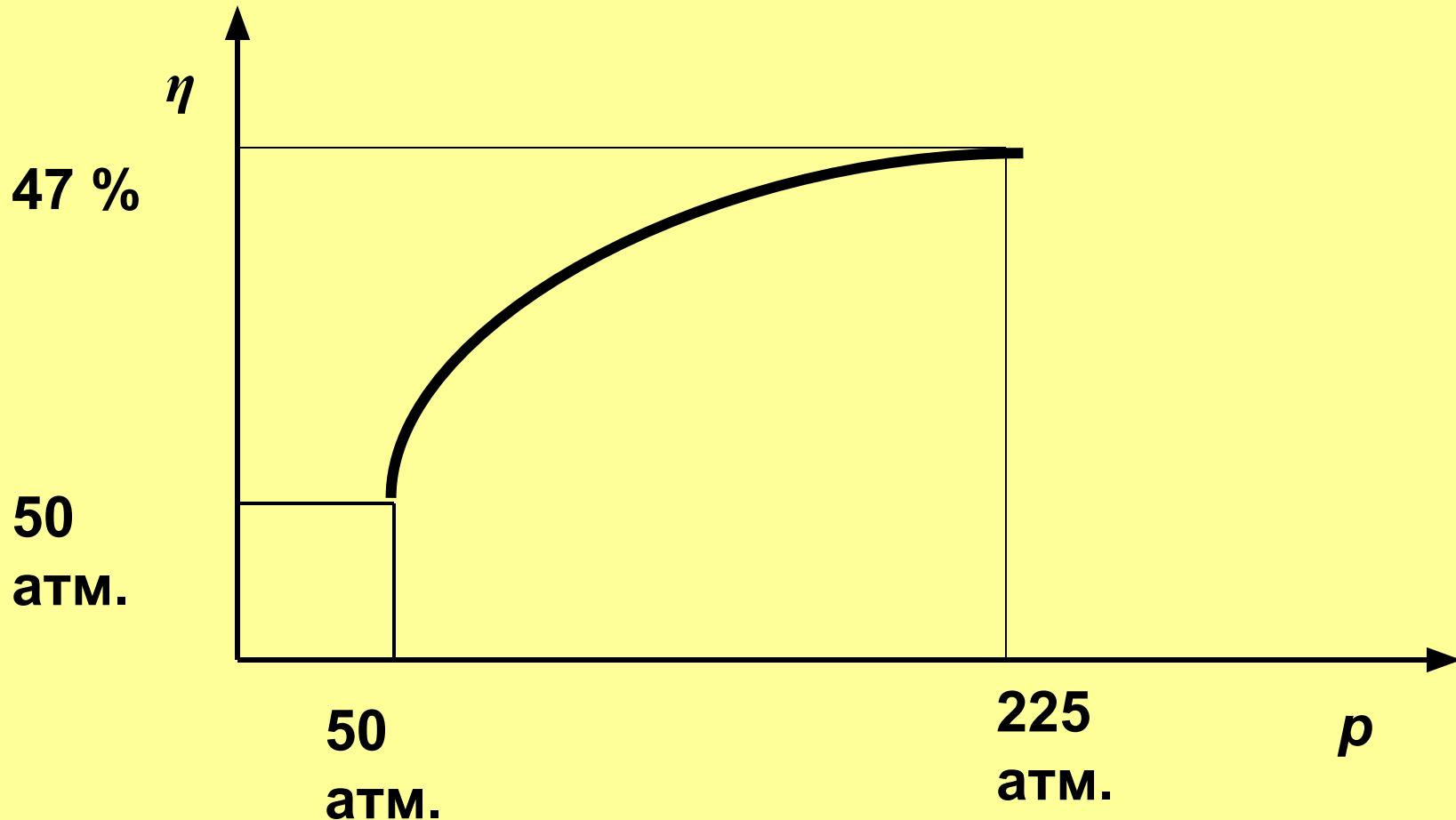
# 3.7. Паротурбинный цикл Рэнкина.





## 3.7. Паротурбинный цикл Рэнкина.

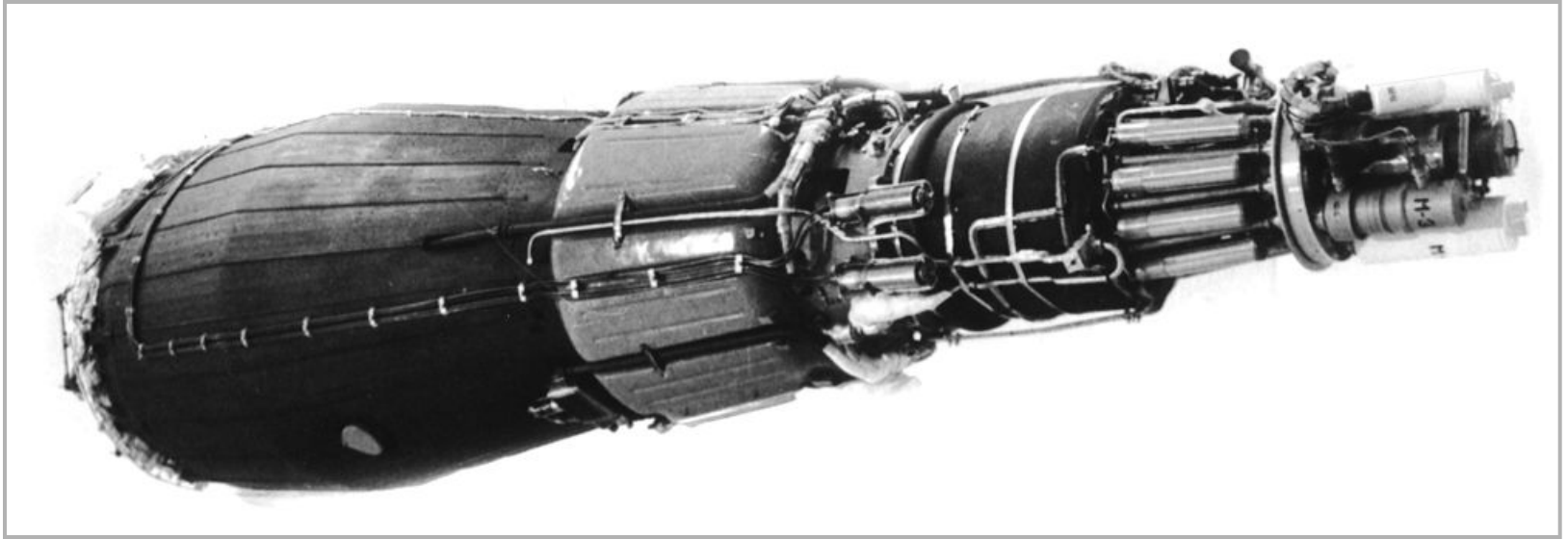
***Рост КПД сопровождается сильным ростом давления воды.***





## Космическая энергетика

Когда говорят о «Глобализации экономики», об «Электронном бизнесе» и об «Информационной экономике», то не всегда ясно представляют масштабы технических средств для обеспечения телекоммуникаций. Невозможно представить себе всемирную связь без спутниковых систем ретрансляции, способных десятилетиями работать в космических условиях без вмешательства человека. При потребностях электропитания таких спутников около 100 кВт наиболее перспективны ядерные энергетические установки с компактными реакторами-преобразователями



**Космическая ядерная энергетическая установка  
«ТОПАЗ» (первое поколение, с натрий-калиевым  
теплоносителем)**



### 3.8. Минимальная стоимость и оптимальный КПД космической энергоустановки.

***В земной энергетике задача повышения КПД продиктована экономией топлива.***

***В космосе выбор КПД связан с минимизацией массы установки в расчете на единицу мощности. Для мощных установок основной вклад в массу вносит холодильник-излучатель, сбрасывающий избыточное тепло цикла в космос тепловым излучением (другого механизма нет).***

***Поэтому в космических аппаратах нашли применение методы прямого преобразования энергии:  
Термоэлектрические, термоэмиссионные, солнечные батареи, топливные элементы.***





### 3.8. Минимальная стоимость и оптимальный КПД космической энергоустановки.

**Оптимальный КПД для космоса 20-25 %.**

$$\eta = W / Q_1 = 1 - Q_2 / Q_1 = \eta_T \cdot \eta_{BH};$$

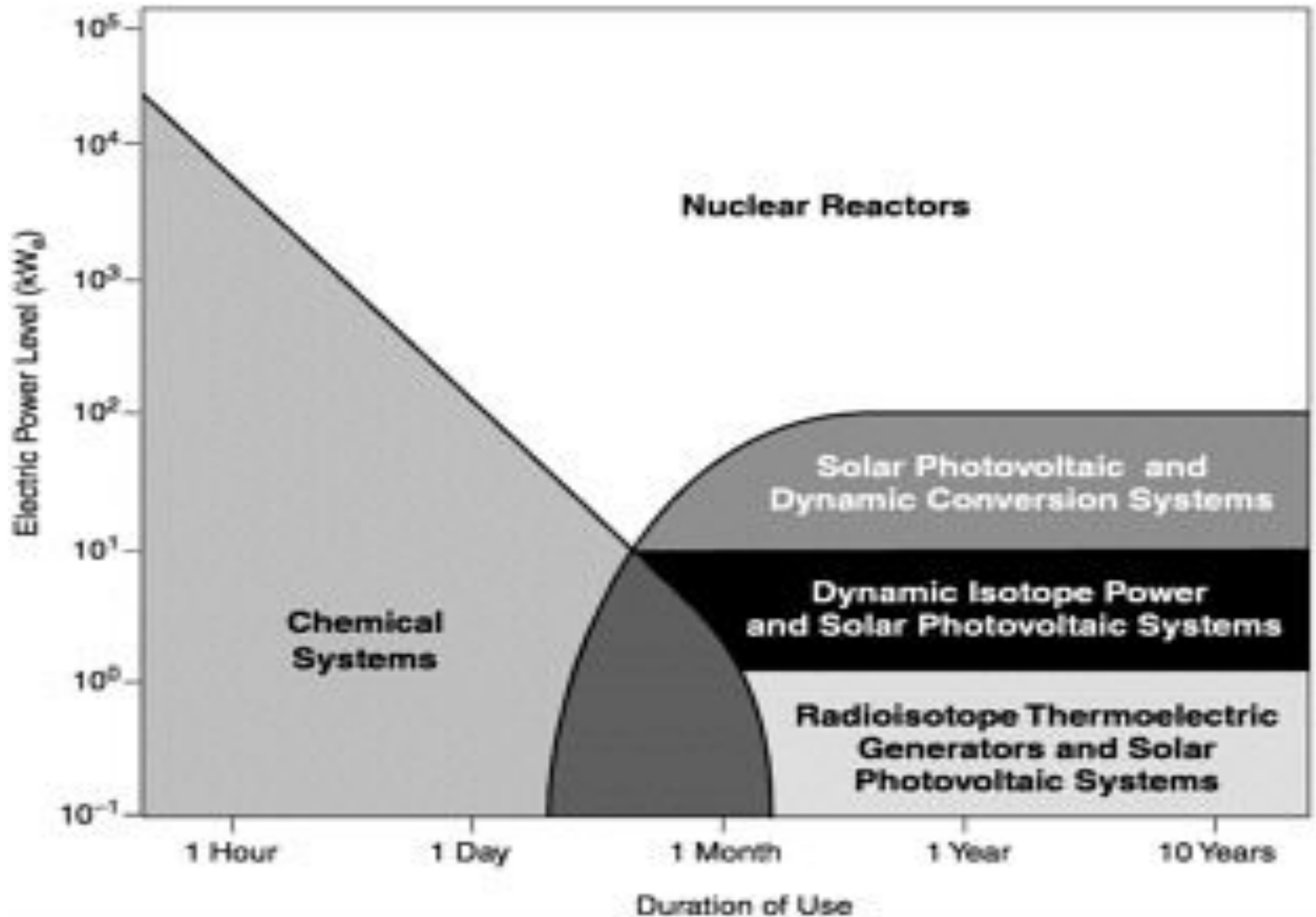
$$\eta_T = 1 - T_2 / T_1;$$

$$Q_2 = F \sigma T^4;$$

$$\frac{W}{F} = \frac{\eta Q_1}{F} = \sigma T_1^4 \frac{\eta_T \eta_{BH} (1 - \eta_T)^4}{1 - \eta_T \eta_{BH}}.$$

$$1 - \eta_T - 4\eta_T (1 - \eta_T \eta_{BH}) = 0.$$

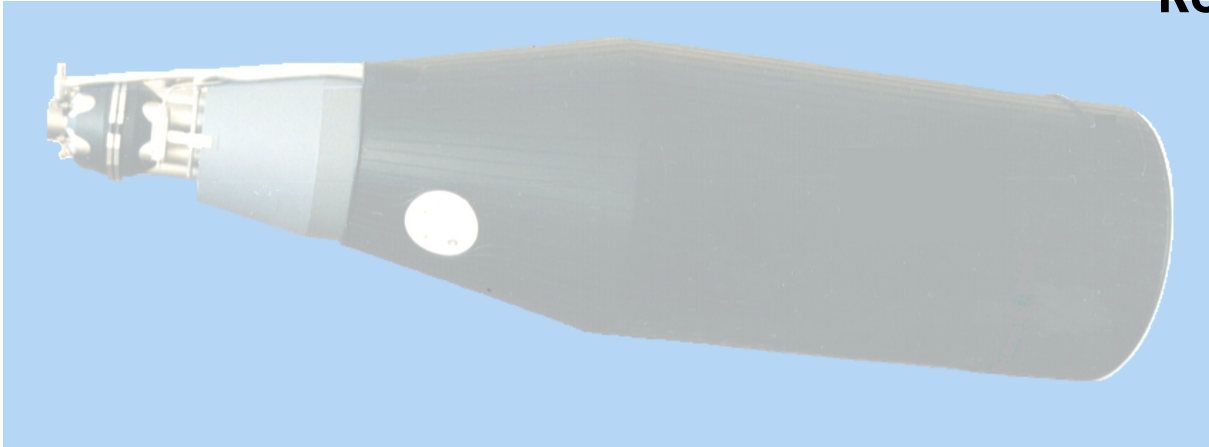
$$\eta_T = 0,2 - 0,25.$$



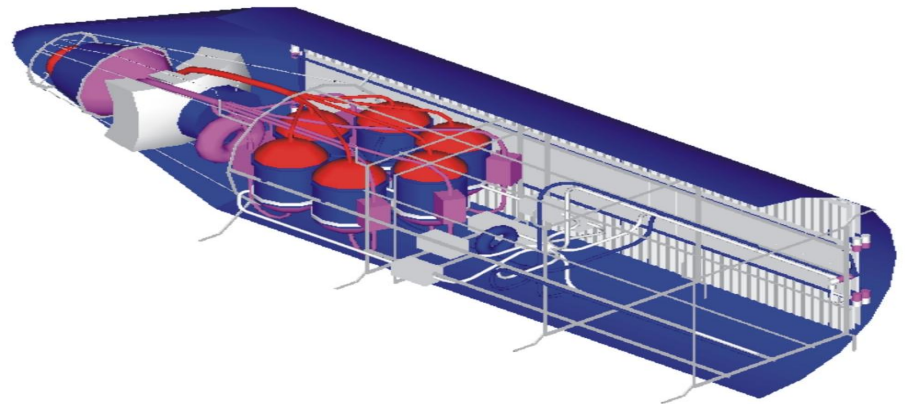
**Power system options for specific mission durations.**



## Космическая ЯЭУ «БУК»



**Схема космической ЯЭУ  
«БУК-ТЭМ» с трубчатыми  
термоэлектрическими  
кремний-германиевыми  
преобразователями  
нового поколения**



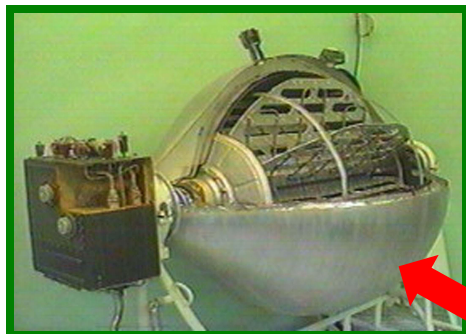
# Основные технические характеристики ЯЭУ «БУК» и «БУК-ТЭМ»

Параметр	Значение	
	«БУК»	«БУК-ТЭМ»
Тепловая мощность, кВт	~100	~4000
Электрическая мощность, кВт		
в транспортном режиме с ЭРДУ	–	100
в номинальном режиме	~3	50
Планируемый ресурс, лет	~0,4	10
Масса, т:		
• с натриевым ЖМТ	~0,9	~8
• с литиевым ЖМТ	(K-Na)	~6

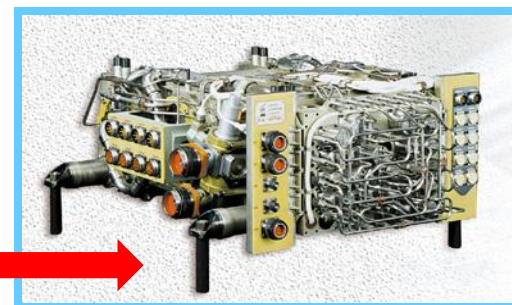
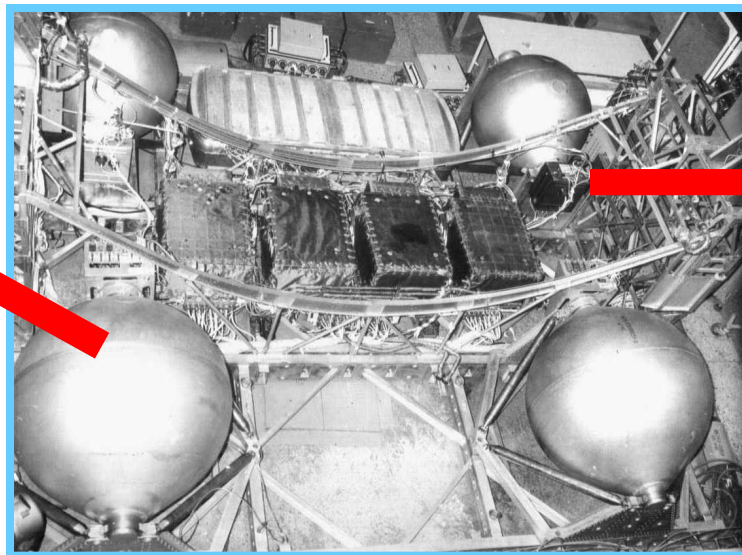


# Энергоустановка с ЭХГ «Фотон» для КК «Буран» (1978-1990 гг.)

$N = 40$  кВт,  $W = 2000$  кВт·ч



Блок криогенного  
водорода



Электрохимический  
генератор  
 $N = 10$  кВт