

# ЭКСЭРГИЯ

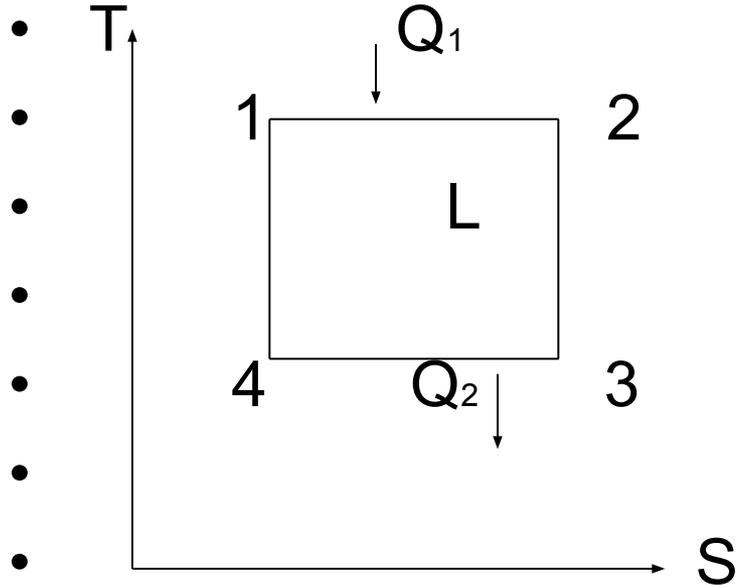
*Эксэргия является работой обратимого цикла, для которого окружающая среда служит холодным источником тепла.*

Рассмотрим физический смысл этого определения. В своих работах Сади Карно сформулировал главное условие, обеспечивающее получение максимально возможной работы. Это условие гласит: **«Для получения максимально возможной работы не должно иметь место теплообмен между телами с заметной разностью температур»**

Этому условию полностью отвечает цикл Карно, представленный на рисунке.

## ЦИКЛ КАРНО В T S-диаграмме

- В цикле Карно горячий источник отдаёт тепло  $Q_1$  при постоянной температуре  $T_1$ , а рабочее тело получает



это количество тепла, изменяя своё состояние по линии 1-2 так, что его температура не меняется, оставаясь на бесконечно малую величину меньше  $T_1$ .

- Такая же картина наблюдается при теплообмене между рабочим телом и холодным источником.

Изменяя своё состояние по линии 3-4 при постоянной температуре, превышающей на бесконечно малую величину температуру холодного источника  $T_2$ , рабочее тело отдаёт холодному источнику тепло  $Q_2$ .

Остальные два процесса (2-3 и 4-1) протекают без подвода и отвода тепла (адиабатный процесс), тем самым не нарушают не нарушают условие Карно для получения максимально возможной работы.

Для получения максимальной работы Сади Карно сформулированное условие «*Для получения максимально возможной работы не должен иметь место теплообмен между телами с заметной разностью температур*».

Термический КПД не определяет степень совершенства цикла, ибо обратимые циклы всегда предельно совершенны, но зато он чётко показывает влияние граничных условий обратимого цикла на эффективность перевода тепла в работу.

Факт не полного соответствия термического КПД формулировке Карно можно показать на примере математической записи термического цикла Карно, приводимых во многих литературных источниках.

$$\eta_{\text{tmax}} = 1 - (T_2/T_1),$$

где,  $T_1$  – температура подвода тепла в процессе;  $T_2$  – температура отвода тепла в окружающую среду, **т.е. в рассматриваемом процессе не используется (температура уходящих газов).**

Ввиду того что  $T_2$  и  $T_1$  всегда положительные, с математических позиций значение  $\eta_{\text{tmax}}$  может меняться от нуля (при  $T_1 = T_2$ ) до единицы ( $T_1 = \infty$ ). Первый случай вполне вероятен и вытекает из второго начала термодинамики, а второй случай не реален, поскольку нереален горячий источник с температурой равной  $\infty$  (бесконечности), так как температура это есть показатель нагретости тела, а не отвлечённая величина.

Поэтому эффективность использования первичной энергии целесообразно оценивать через работу, которую можно совершить, используя первичную энергию. Для цикла Карно уравнение максимальной работы запишется как:

$$L_{\max} = Q_1 - \int T_2 (dQ_1/T_1).$$

Так как в наших условиях конечным холодным источником является окружающая среда, температура которой остаётся постоянной в момент сброса тепла, не использованного в рассматриваемом нами процессе ( $T_0 = \text{const}$ ) и не зависит от работы цикла, то максимальная работа цикла запишется как

$$L_{\max} = E = Q_1 - T_0 \int_a^b (dQ_1/T_1), \quad \text{отсюда}$$

$$Q_1 = E + T_0 \int_a^b (dQ_1/T_1).$$

Величина **E** представляет собой максимально возможную работу системы, в которой холодным источником является окружающая среда. В результате многочисленных обсуждений определения данной величины её назвали **эксергией**, а её физическое определение, следующее:

**«Эксергия является работой обратимого цикла, для которого окружающая среда служит холодным источником тепла».**

Введение понятия эксергии, позволяет более полно оценить эффективность работы отдельных элементов энергетической установки, за счёт приближения реальных процессов к обратимым процессам. Почему же эксергетический метод оценки эффективности работы энергоисточника не использовался ранее?

Это связано с сравнительной оценкой термодинамической и экономической эффективности. А именно, термодинамическая эффективность, как следует из второго начала термодинамики, определяется разностью температур горячего источника ( $T_1$ ) и температуры сбросного тепла ( $T_2$ ), чем она больше при постоянной температуре горячего источника, тем выше термический КПД. Однако с уменьшением выходной температуры ( $T_2$ ) увеличивается поверхность элементов установки, в которых осуществляются процессы теплообмена, следовательно, увеличиваются капитальные затраты, что приводит к ухудшению экономических показателей установки в целом. Этот эффект существенно зависит от первоначальной стоимости первичной энергии, т.е. стоимости топлива. Чем выше стоимость топлива, тем меньше влияние капитальной составляющей на технико-экономические показатели энергетической установки. В связи с тем, что в последние годы резко повысились цены на органическое топливо эксергетический метод оценки эффективности работы элементов энергоустановок стал востребован, а отсюда и те тепловые схемы, которые при дешевом топливе считались экономически не целесообразными, одной из которых и является когенерационная установка.