



# Эксергетический баланс

# Термодинамические методы анализа энергобалансов

- Для оценки эффективности технологических систем и процессов используют материальные балансы и энергетические балансы, базирующиеся на законах сохранения массы и энергии.
- Энергетический баланс учитывает только количественные соотношения преобразования энергии, на основе которых определяется энергетический коэффициент полезного действия, но при этом не дается оценка количественного различия энергоресурсов различной физической природы и разного потенциала.
- В связи с этим энергетические балансы дополняют эксергетическим балансом, основанном на одновременном учете первого и второго законов термодинамики.

# Первый закон термодинамики

- Для составления и анализа энергетических балансов может быть использован первый закон термодинамики—частный случай закона сохранения энергии в применении к термическим процессам. Тепловая энергия  $Q$ , полученная системой, расходуется на увеличение внутренней энергии  $U$  системы и на совершение работы  $A$ .

$$Q = \Delta U + A$$

- При изобарном процессе полученная системой теплота расходуется на приращение энтальпии  $H$

$$H = U + pV,$$

где  $p$ -давление,  $V$ -объем

# Второй закон термодинамики

- Второй закон термодинамики позволяет предсказывать принципиальную возможность и направление протекания различных процессов и конечные состояния, которых они достигают. Для изолированной системы направление процесса определяется изменением энтропии **S**.
- Дифференциал энтропии **dS** в обратимом процессе равен отношению приращения теплоты, полученного системой, к абсолютной температуре системы

$$dS = \delta Q / T$$

Для изолированной системы энтропия может только возрастать **dS > 0** и максимальна в состоянии равновесия **dS = 0**

Максимальная полезная работа - эксергия теплоты **Q** - представляет собой работу равновесного цикла Карно

$$L = Q(1 - T_u / T_z)$$

- где **T<sub>u</sub>**- температура окружающей среды, **T<sub>z</sub>**- температура производства теплоты.

# Эксергия

- Энергия может быть представлена на  $T, s$  диаграмме как площадь фигуры, лежащей ниже температуры производства теплоты  $T_z$ . Часть тепловой энергии над линией температуры окружающей среды  $T_u$  - эксергия - имеет термодинамическую ценность и может быть преобразована в другие виды энергии, часть тепловой энергии ниже линии температуры окружающей среды, анергия - термодинамически бесполезна.



# Эксергетический баланс

- Потеря работоспособности системы обусловлена рассеиванием энергии вследствие неравновесности процессов. Для эксергии неприменим закон сохранения, сумма эксергий всех элементов системы в ходе процесса уменьшается. Уравнение Гюи-Стодолы позволяет определить эксергетические потери  $D$

$$D = T_u \Delta S,$$

где  $\Delta S$ -изменение энтропии

Чем больше неравновесность процессов, тем меньше производимая системой работа.

- Уравнение эксергетического баланса имеет вид

$$\sum E' = \sum E'' + D,$$

где  $\sum E'$  и  $\sum E''$  -входящие и выходящие потоки эксергии,  $D$  -потери эксергии.

# Эксергетический коэффициент полезного действия

$$\eta_{\text{э}} = \Sigma E'' / \Sigma E' < 1$$

- Эксергетический коэффициент полезного действия показывает степень приближения системы к идеальной,  $\eta_{\text{э}}$  всегда меньше единицы.
- Все реальные процессы необратимы, чем больше приращение энтропии в результате их протекания, тем больше эксергетические потери и меньше производимая работа.

На основании эксергетического коэффициента полезного действия можно:

- объективно сравнивать процессы, предназначенные **для одной цели**, и выбирать наиболее эффективный с эксергетической точки зрения процесс,
- определить целесообразность усовершенствования процесса,
- оценить влияние на эффективность процесса различных статей расхода энергии, определить целесообразность применения различных способов улучшения показателей процесса.