

НИ Томский политехнический университет

**Эксергетический анализ
и технико-экономическое
обоснование технологий
преобразования энергии**

Доц. Ромашова Ольга Юрьевна

Календарный план

изучения дисциплины
«**Эксергетический анализ и ТЭО технологий преобразования энергии**»
студентами гр. 5БМ7Э

Образовательная программа: *13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника*

Квалификация – *магистр*

Профиль подготовки - *Экологически чистые технологии преобразования энергоносителей*

Вид занятий	Объем в час
Лекции	8
Лабораторные занятия	24
Курсовая работа	
Самостоятельная работа	76
Форма отчетности	Д-зач., Экз.

Эксергетический анализ технических систем

Эксергия – работоспособность вещества и энергии (энергетические ресурсы системы, пригодные для получения работы) по отношению к данным условиям окружающей среды.

Эксергия – мера полноты превращения энергии в работу.

Эксергия термодинамической системы – это количество полезной (превратимой) энергии, которая может быть получена от системы при её обратимом переходе из данного состояния в состояние равновесия с окружающей средой.

Эксергетические функции – зависимости для расчета эксергии

П. Грассман

Работа является «ценностью», «валютой» по отношению ко всем видам энергии

Термин «Эксергия» введен в 1956 г. З.Рантом по предложению Р. Планка. Он состоит из двух частей : греч. Слова **erg (on)** – работа, сила, и приставки **ex**, означающей «из», «извне».

Роль ЭА

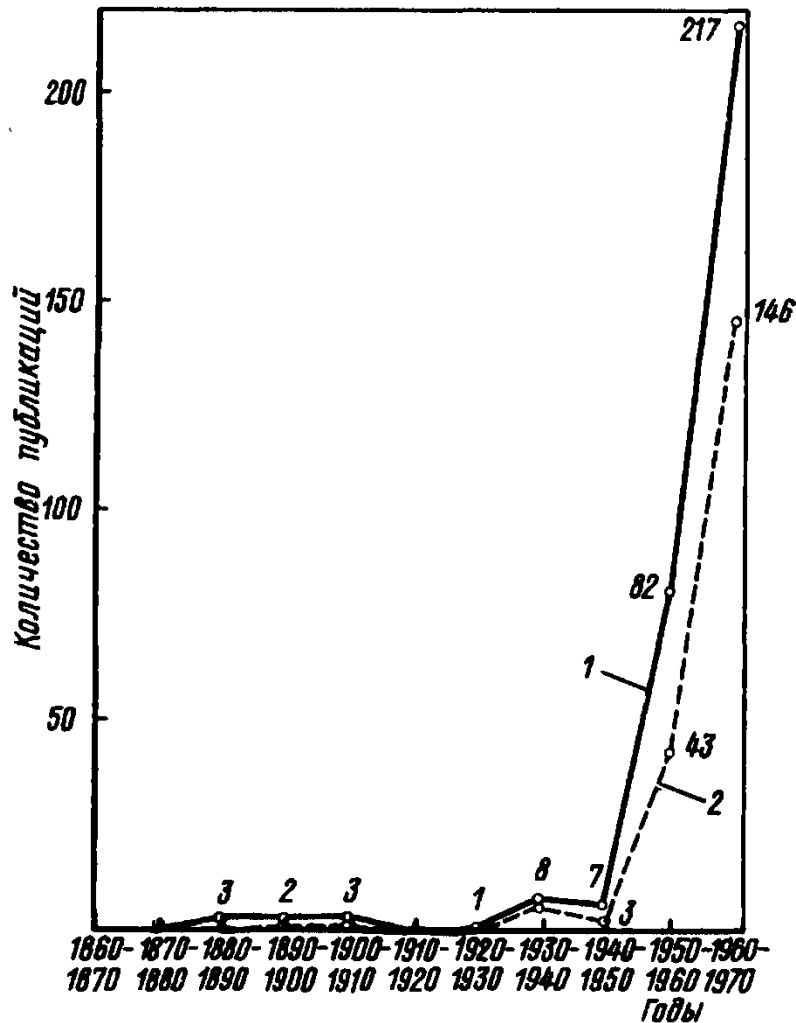


Рис. 0.1. Количество публикаций (статьи, книги) по эксергетическому методу с 1870 по 1970 гг.:

1 – общее количество; 2 – публикации по практическому применению метода

Развитие энергетики

1) Экстенсивный путь
(увеличение энергетических мощностей)

2) Интенсивный путь –

- термодинамический анализ существующих и проектируемых схем,
- оптимизация параметров,
- разработка высокоэффективных технологий и аппаратов

Этапы создания высокоэффективных технологических решений на основе ЭА

1. Анализ существующей или проектируемой схемы с точки зрения т/д совершенства
 - Используются методы материального, теплового и эксергетического балансов.
 - Результат анализа – степень т/д совершенства системы и формулирование требований к ней (определяют МОДЕРНИЗАЦИЮ существующей или СИНТЕЗ новой ЭСистемы)
 - Экс метод – теоретическая база т/д анализа. Он составлен на базе I и II уровней ТД и позволяет выполнить как относительную (экс КПД), так и абсолютную оценку совершенства системы.

Подведенная эксергия к системе → MIN
Эксергетический КПД → MAX

2. Разработка теплотехнических и технологических решений

3. Оптимизация параметров энергетической системы

Выбор критерия (напр, минимум себестоимости получаемого продукта)

Последовательность ЭА

1. В зависимости от целей исследования выделяется часть системы (элемент или группа элементов) и составляются эксергетические балансы.

Для анализа нужно знать параметры на контрольной поверхности рассматриваемой части системы.

2. Для каждой анализируемой части на основе эксергетических балансов составляются термодинамические характеристики двух видов: абсолютные и относительные.

Абсолютные х-ки дают эксергию различных видов на входе (расход) и выходе (производительность), а также значения потерь.

Относительные х-ки оказывают степень т/д совершенства (КПД) и относительное значение данной части и ее влияние на другие части и систему в целом.

Области приложения ЭА в технике

I. Термодинамические задачи

1. Оценка и сопоставление энергетических ресурсов (в т.ч. и вторичных)
2. Определение степени т/д совершенства систем и отдельных ее частей (предельные КПД в конкретных условиях)
3. Определение принципиальной возможности осуществления нового процесса или создания агрегата любой сложности без его внутр. анализа
4. Вычисление внутренних потерь от необратимости
5. Т/д оптимизация системы и ее элементов; определение наивыгоднейших режимов работы

II. Технико-экономические задачи

1. Технико-экономическая оптимизация пар-ров установки, определение наиболее выгодных условий работы
2. Распределение затрат топлива и энергии между продуктами в комплексных производствах. Составление тарифов на различные энергоносители
3. Оценка качества и техн. уровня оборудования по уд. зкс. показателям
4. Построение рядов систем и оборудования, обоснование норм уд. расхода энергии и материалов.
5. Разработка наивыгоднейших с тех-экон. т. зр. режимов эксплуатации в комплексных производствах

Основные методы анализа ТД систем

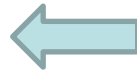
1. Энергетический (метод тепловых балансов (на основе I з-на ТД)

Составляются тепловые балансы, на основании которых определяются показатели работы установок

- термический КПД (тепловые двигатели);
- холодильный к-т (ХМ);
- К-т преобразования (трансформации) - ТНУ

Критерий ТД совершенства – термодинамический КПД = отношение полученного полезного эффекта к затратам энергии

Абсолютная мера степени ТД совершенства – величина подвода энергии от внешнего источника.



По умолчанию принимается, что все выходящие из системы потоки отводятся в окр ср, т.е. не участвуют в процессе передачи энергии и не могут совершать полезную энергию.

2. Эксергетический метод (учитывает как I-ый, так и II –ой з-ны ТД)

Основан на введении понятия термодинамических потенциалов



Определение работоспособности потоков вещества и энергии в любой точке системы (по отношению к окр ср)

Термодинамические потенциалы

ТД потенциалы – это ТД параметры системы, разность которых на границе системы с окр ср служит причиной возникновения энергетического взаимодействия

Произведение такого параметра на изменение связанной с ним координаты состояния дает количество энергии, передаваемой через границу системы при взаимодействии с ней.

ТД потенциал	Вид энергетического взаимодействия	Количество передаваемой энергии
T	Термическое	$T \cdot ds = \delta q$
p	Механическое	$p \cdot dv = \delta l$
μ	Химическое	$\mu \cdot dm = \delta u$

ТД потенциалы не обладают свойством аддитивности

К ТД потенциалам также относят функции, изменение которых в соответствующих обратимых процессах равно работе

Функции Как ТД потенциал
Энтропия S
Внутренняя энергия u
Энтальпия h
Энергия Гельмгольца f=u-T·S
Энергия Гиббса g=h - T·S

Недостаток функций S, h, .. как ТД потенциалов – Они определяют работу «изнутри» системы, а не при переходе к пар-рам окр ср

Эксергия как ТД потенциал позволяет найти макс. Работу по отношению к окр ср.

Критерии метода тепловых балансов и их недостатки

1. Схема КЭС

Абсолютный электрический КПД

$$\eta_{\text{Э}} = \eta_t \cdot \eta_{\text{КУ}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{oi}} \cdot \eta_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{г}}$$

Потери теплоты:
КУ – (10-15) %,
конденсатор – 60% и более

Количественный анализ различных КПД дает ложное представление о распределении перерасхода топлива, вызванного тепловыми процессами в элементах оборудования

Экс метод- основной перерасход топлива, вызванный тепловыми процессами - в котле (60-80)%
В конденсаторе – (5-7) %

2. Теплообменный аппарат

2.1. Тепловой КПД

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_1}$$

Отведенная энергия

Подведенная энергия

$$T > T_{oc}$$

(+) $\eta < 1$ –
Тепловой КПД м.б. критерием!

$$T < T_{oc} \Rightarrow Q_2 > Q_1$$

Тепловой
поток от окр ср
к раб телу

(-) $\eta > 1$ - ?????

2.2. К-т использования теплоты с учетом вторичных энергоресурсов

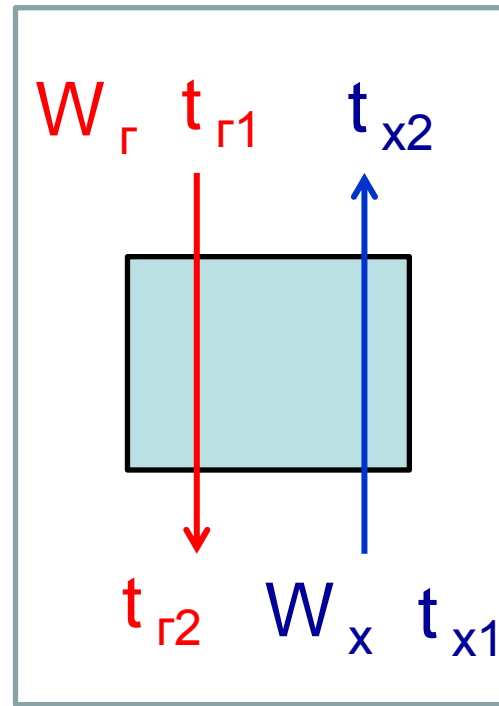
$$\eta_u = \frac{Q_2 + Q_u}{Q_1}$$

Энергия, использованная в
других процессах, не
связанных с рассматриваемым

2.3. Температурный КПД теплообменника

$$\eta_T = \frac{Q_2}{Q_{\max}}$$

максимально возможный тепловой поток, м. б. передан только в идеальном противоточном ТО с бесконечно большой поверхностью теплопередачи



$$Q_2 = W_r \cdot (t_{r1} - t_{r2}) = W_x \cdot (t_{x2} - t_{x1})$$

$$Q_{\max} = W_{\min} \cdot (t_{r1} - t_{x1})$$

$W = G \cdot c$
– водяной эквивалент

Наименьший
водяной эквивалент

Общий недостаток всех КПД – невозможность оценки степени ТД совершенства энерготехнологической системы (качественное различие входящих в тепловой баланс потоков не учитывается, т.к. с т зр | з-на все формы энергии - равноценны)

Понятие «энергии» как общей меры движения материи недостаточно для решения технических задач.

Техническая ценность энергии зависит не только от параметров системы, но и от параметров окр ср

Реальные процессы проходят в условиях взаимодействия с окр ср.С. Большое значение в ЭА приобретает окр. Окр ср х-ся тем, что ее пар-ры не зависят от пар-ров системы и в большинстве случаев могут оставаться постоянными

Взаимодействие системы с окр средой

1. Обратимое (идеальный процесс) – **работа равна убыли эксергии**
2. Необратимое (реальный процесс) – **работа меньше убыли эксергии**

Критерии энергетической эффективности не позволяют определять местные необратимые потери.

ЭА дает информацию о распределении необратимых потерь как внутренних, так и внешних по отдельным стадиям рабочего процесса.

Окружающая среда

Пар-ры ОС

P_0, T_0, Φ_0

Хим. состав

1. Хар-ся тем, что ее параметры не зависят от параметров рассматриваемой системы

2. Все компоненты окр. Ср. д. находиться в полном т/д равновесии

При полном равновесии системы и среды эксергия системы равна нулю

Взаимодействие системы с ОС:

- ОБРАТИМОЕ (идеальный процесс);
- НЕОБРАТИМОЕ (реальный процесс)

До тех пор, пока все параметры системы и ее частей не сравнялись с соответствующими пар-ми ОС, равновесие не будет достигнуто и система во взаимодействии со средой м. произвести или отдать некоторую внешнюю работу, т.е. обладает некоторой эксергией

Идеальный процесс – работа равна эксергии (убыли эксергии)

Реальный процесс – работа меньше убыли эксергии.

Часть эксергии не превращается в работу, а исчезает (!!!) – рассеивается

1 закон ТД : Энергия не исчезает, а превращается из одной формы в другую

Виды энергии и их превратимость

Формы энергии

1) Энергия первого вида

полностью превратима в любые другие формы энергии (организованная форма энергии, не м. хар-ся энтропией).
М.б. полностью использована в технических целях

- Электрическая
- Механическая
- Магнитная

...

Приращение энергии системы

$$\sum W' = \sum W'' + \Delta W$$

Сумма подведенных потоков энергии

Сумма отведенных потоков энергии

2) Энергия второго вида –

не м.б. полностью превратима в другие формы энергии (нерганизованная форма)
Ее превратимость определ-ся пар-ми системы и пар-ми окр ср

- Тепловой поток
- Излучение
- Химическая

...

Эксергия – мера пригодности любого вида энергии для получения энергии первого рода

внешним приемником энергии от системы при ее обратимом переходе из данного состояния в состояние полного равновесия с окр. средой.

Возможности взаимного преобразования одних видов энергии в другие

Вид энергии		№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
Механическая		1	+	+	+	+		+	+
Электрическая		2	+	+	+	+		+	+
Внутренняя энергия тела	Молекулярная	3	○	○	+	○		+	○
	Химическая	4	○	○	+	○		+	○
	Ядерная	5	+	+	+	+		+	+
Энергия в переходе	Теплота	6	○	○	+	○		○	○
	Работа	7	+	+	+	+		+	+

+ - полное преобразование одного вида энергии в другой

○ - частичное преобразование одного вида энергии в другой

Сопоставление особенностей энергии и эксергии

	Энергия W	Эксергия E
1	Зависит только от параметров вещества или потока энергии и <u>не зависит от параметров окр. ср.</u>	<u>Зависит</u> как от параметров системы, так и <u>от параметров окр. ср.</u>
2	Всегда имеет значение, отличное от нуля (ур-ние Эйнштейна $W=mc^2$)	Может иметь значение, равное нулю (при полном равновесии с окр. ср.)
3	Подчиняется закону сохранения (I-ый з-н ТД) и <u>уничтожаться не может</u>	Подчиняется закону сохранения в обратимых процессах; <u>в реальных (необратимых) частично или полностью уничтожается (ДИССИПАЦИЯ)</u>
4	<u>Преобразуемость</u> одних видов в другие <u>ограничена</u> по условиям II-ого з-на ТД для всех процессов, в том числе и обратимых	<u>Преобразуемость</u> одних составляющих в другие <u>не ограничена для обратимых</u> процессов по условиям II-ого з-на ТД

Эксергия, ее виды и составляющие

1. Энергия первого вида

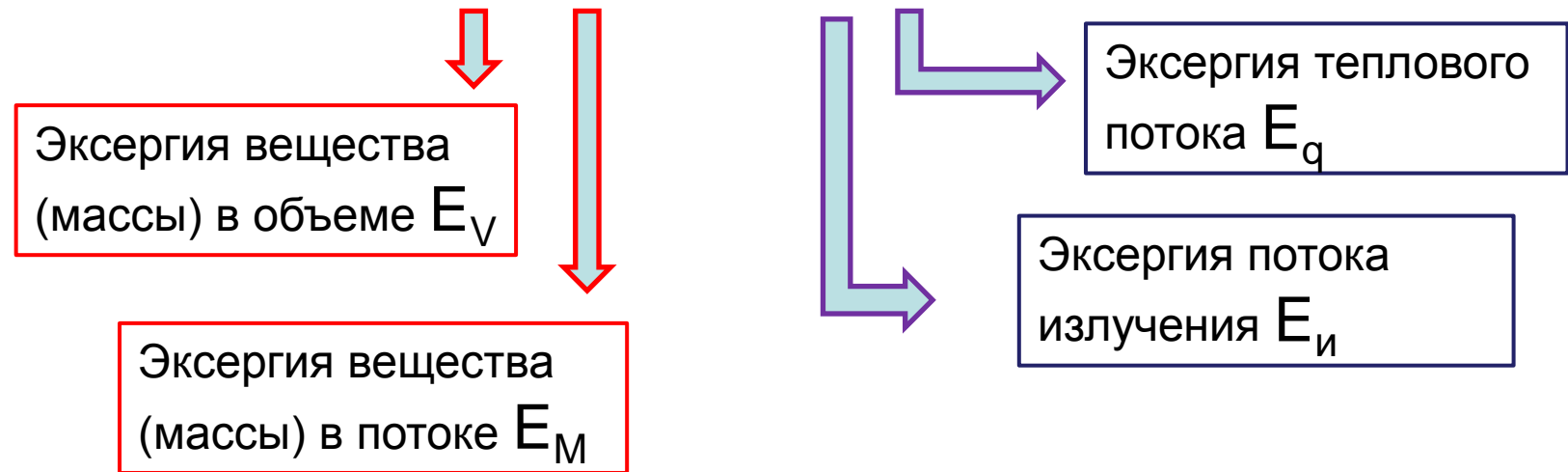
- механическая (кинетическая и потенциальная)
- электрическая (электростатическая и электродинамическая);
- Ядерная.

$$E = W$$

2. Энергия второго вида (неупорядоченная, $S > 0$)

$$E < W$$

2.1. E делится по признаку **наличия** или **отсутствия** тела - носителя эксергии

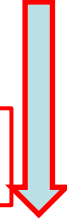


Эксергия, ее виды и составляющие

2.2. E_M делится на виды в зависимости от формы энергетического взаимодействия с окр средой через контрольную поверхность системы



Термическое взаимодействие - T

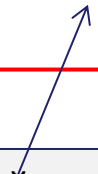


Деформационное взаимодействие - P



Реакционное (концентрационное) взаимодействие – химический потенциал μ

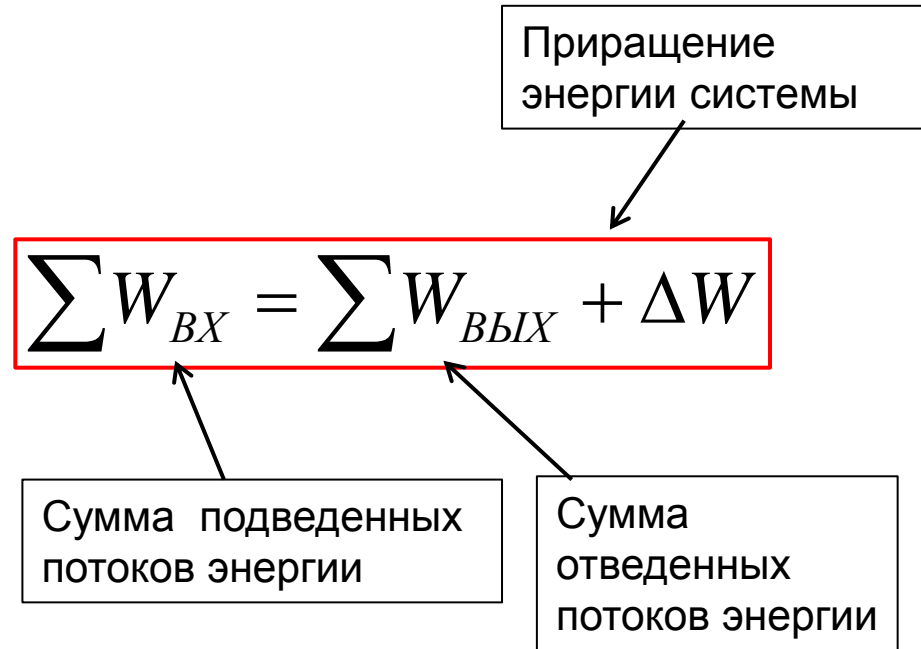
Необходим обмен массой с окр ср



Виды и составляющие эксергии вещества в объеме и потоке

		Силы Взаимодейс твия с окр. ср.	Вид эксергии	Обозначен ие
Вещество	Объем	T	Термическая	
	Поток	p	Механическая (деформационная)	
	Объем	μ (хим. потенциал)	Реакционная	
	Поток		Концентрационная	
Энергия	Поток	T	Теплоты	
			Излучения	

Энергетический баланс системы



Для стационарного процесса

$$\sum W_{BX} = \sum W_{BIX}$$

Эксергетический баланс системы

Уравнение эксергетического баланса

Приращение эксергии системы между нач. и кон. точками процесса

$$\sum E_{BX} \geq \left(\sum E_{ВЫХ} + \Delta E \right)$$

Сумма подведенных потоков эксергии

Сумма отведенных потоков эксергии

Для стационарного процесса

$$\Delta E = 0$$

$$\sum D = \sum E_{BX} - \sum E_{ВЫХ}$$

Потери эксергии

Для стационарного обратимого процесса

$$\Delta E = 0$$

$$\sum D = 0$$

Эксергетический баланс системы

$$\sum E_{BX} = \sum E_{BIX} + \sum D$$

эксергия, вводимая
в техническую
систему (установку)

$$\sum E_{BX}$$



$$\sum E_{BIX}$$

эксергия,
выводимая из
установки

$$\sum D$$

Суммарные
потери от
необратимости
(**ДИССИПАЦИЯ**
энергии)

Обратимые процессы

$$\sum D = 0$$

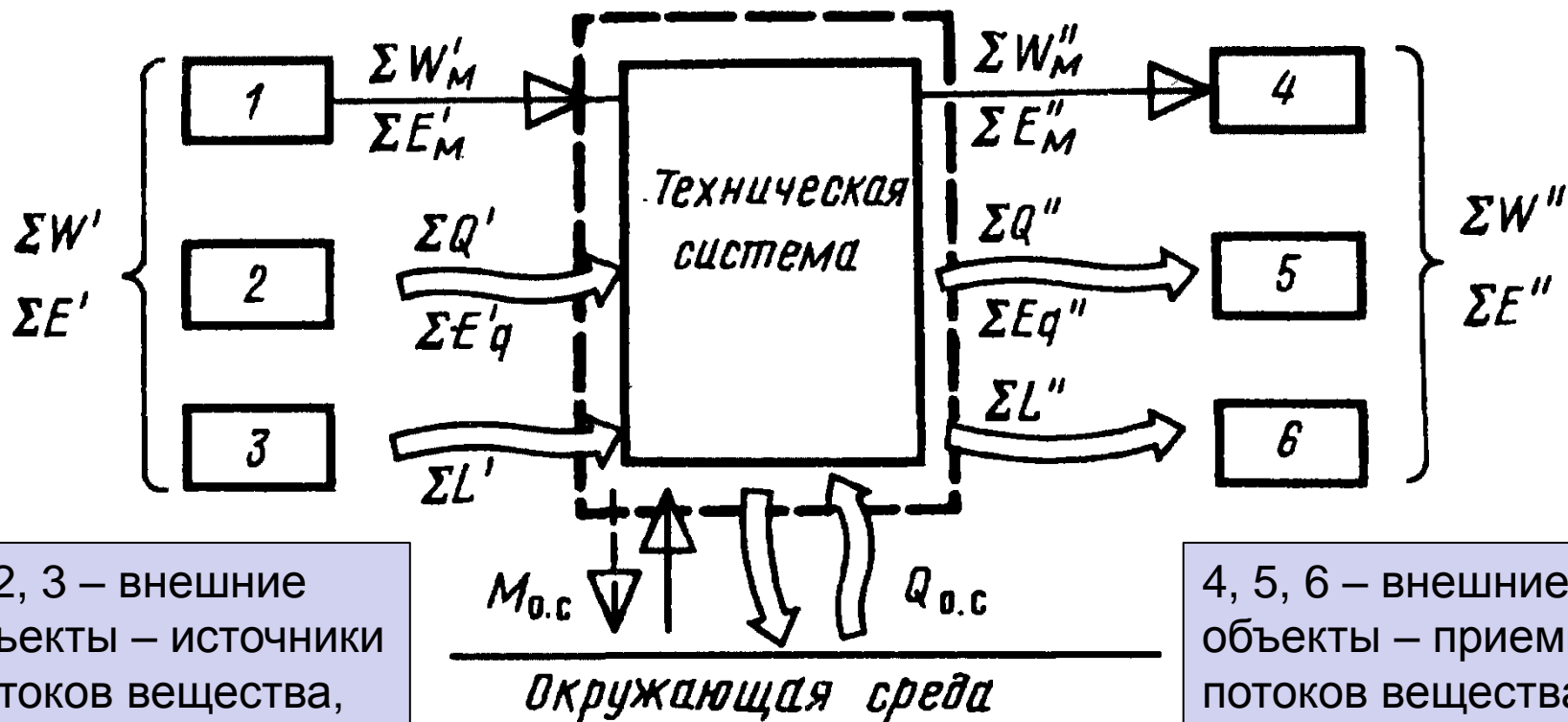


$$\sum E_{BX} = \sum E_{BIX}$$

Эксергетический КПД

$$\eta_{ex} = \frac{\sum E_{BIX}}{\sum E_{BX}} = \frac{\sum E_{BX} - \sum D}{\sum E_{BX}} = 1 - \frac{\sum D}{\sum E_{BX}}$$

Схема взаимодействия технической системы с окр ср и находящимися в ней объектами



1, 2, 3 – внешние объекты – источники потоков вещества, тепловых потоков и работы

4, 5, 6 – внешние объекты – приемники потоков вещества, тепловых потоков и работы

$$\sum E'_M + \sum E'_q + \sum L' = \sum E''_M + \sum E''_q + \sum L'' + \sum \Delta E_V + \sum D$$

Приращение эксергии вещества в объеме, (для стационарных пр-сов $\Sigma_{V=0}$)