YakovlevIV@mpei.ru

Лекция 2

Определение потребности в энергетических ресурсах на работу технологического оборудования.

Содержание

2.1 Теплота сгорания топлива
2.2 Понятие условного топлива
2.3 Перевод массы натурального топлива в условное
2.4 Теоретический эквивалент тепловой энергии в условном топливе
2.5 Теоретический эквивалент электрической энергии в условном топливе
2.6 Средневзвешенные значения удельных расходов топлива на производство тепловой и электрической энергии
2.7 Единицы измерения количества энергии
2.8 Понятие первичного условного топлива
2.9 Калькулятор перевода расхода натурального топлива в расход условного топлива
Примеры 2.2-2.3
Задачи для самостоятельного решения 2.1 и 2.4
2.10 Энергетический баланс потребителя ТЭР
2. 11 Удельный расход топлива на выработку и отпуск тепловой энергии электрической энергии.
2.12 Потребность в условном топливе для котельной
2.13 Выработка, отпуск тепловой энергии источником и КПД источника
2.14 Выработка, отпуск электрической энергии источником и КПД источника
Примеры 2.5-2.8
Задача для самостоятельного решения 2.9

2.1. Теплота сгорания топлива

- **Теплота сгорания топлива.**
- Различные виды органического топлива, используемые для энергообеспечения потребителей, при сжигании единицы объема или массы выделяют различное количество теплоты.

- Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 кг твердого или жидкого либо 1 м^3 газообразного топлива, называют **теплотой сгорания топлива** (теплотворной способностью топлива).
- Она измеряется в мегаджоулях (либо в гигакалориях), приходящихся на единицу массы или объема.
- МДж/кг, МДЖ/м^3, ккал/кг, ккал/м^3
- Максимальное количество теплоты, которое можно получить в результате химической реакции горения топлива, называют **высшей теплотой сгорания топлива** .

$Q_{\text{в}}^{\text{р}}$ **- высшая теплота сгорания топлива**

2.1. Теплота сгорания топлива

- **Низшая теплота сгорания топлива** отличается от высшей на количество теплоты, которое затрачивается на испарение воды, содержащейся в топливе, а также образующейся в результате химической реакции горения топлива.

- Поскольку теплота, затраченная на испарение влаги, чаще всего удаляется из энергетических установок в виде паров с дымовыми газами, то она редко полезно применяется на практике. Поэтому в теплотехнических расчетах обычно используется низшая теплота сгорания топлива.

$Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ **- низшая теплота сгорания топлива**

2.2. Понятие условного топлива

- Для сопоставления энергетической ценности различных видов топлива и сравнения суммарного потребления энергоресурсов объектами с различной структурой энергетического баланса введено понятие **условного топлива.** В качестве условного принимается топливо, которое имеет низшую теплоту сгорания 29,33 МДж/кг (7000 ккал/кг).

$Q_{ут}$- низшая теплота сгорания условного топлива

$Q_{ут}$=29,33 МДж/кг у. т. **$Q_{ут}$=7000 ккал/кг у. т.**

2.2. Понятие условного топлива

- Введение понятия условного топлива позволяет:
- - сопоставить энергетические затраты двух различных регионов страны, не уточняя какое количество тех или иных конкретных видов топлива сжигается в этих регионах.
- - представить сводный энергетический баланс промышленного предприятия или другого потребителя топливно-энергетических ресурсов, использующего несколько энергоносителей
- - представить удельные показатели энергоэффективности различных потребителей, использующих несколько энергоносителей
- - представить потребность в энергетических ресурсах на работу технологического оборудования

2.3. Перевод массы натурального топлива в условное

- Зная теплоту сгорания любого вида топлива, можно определить его эквивалент в условном топливе:

$$M_{\text{у}i} = M_{\text{н}i} Q^{\text{р}}_{\text{н}i} / 29,33 \qquad \textbf{2.1}$$

,

$$M_{\text{у}i} = M_{\text{н}i} Q^{\text{р}}_{\text{н}i} / 7000 \qquad \textbf{2.2}$$

$M_{\text{у}i}$ — массовый эквивалент *i*-го вида топлива в условном топливе, кг;у. т.;

$M_{\text{н}i}$ масса топлива, кг

$Q^{\text{р}}_{\text{н}i}$ - теплота сгорания, МДж/кг или ккал/кг, *i*-го вида топлива

2.3. Перевод массового расхода натурального топлива в расход условного топлива

Зная теплоту сгорания любого вида топлива и его массовый расход за указанный период, можно определить его эквивалентный расход в условном топливе:

$Q^{р}_{нi}$ МДж/кг или ккал/кг

$$B_{уi} = B_{нi} Q^{р}_{нi} / 29,33 \qquad \textbf{2.3}$$

$$B_{уi} = B_{нi} Q^{р}_{нi} / 7000 \qquad \textbf{2.4}$$

$B_{уi}$ -массовый расход *i*-го вида топлива в условном топливе, кг у.т./период;

$B_{нi}$ -массовый расход *i*-го вида натурального топлива, кг/период;

2.3. Перевод объемного расхода натурального газообразного топлива в расход условного топлива

Зная теплоту сгорания любого вида топлива и его объемный расход за указанный период, можно определить его эквивалентный расход в условном топливе:

$$B_{\text{у}i} = L_{\text{н}i} Q^{\text{р}}_{\text{н}i} / 29,33 \qquad \textbf{2.5}$$

$$B_{\text{у}i} = L_{\text{н}i} Q^{\text{р}}_{\text{н}i} / 7000 \qquad \textbf{2.6}$$

$B_{\text{у}i}$-массовый расход *i*-го вида топлива в условном топливе, -кг у.т./период;

$L_{\text{н}i}$ -объемный расход *i*-го вида натурального газообразного топлива, **нм**^{3}/период;

$Q^{\text{р}}_{\text{н}i}$ -теплота сгорания, МДж/**нм**^{3} или ккал/**нм**^{3}, *i*-го вида топлива

2.3 Перевод объемного расхода натурального топлива в расход условного топлива

- Поскольку один и тот же объем газов при различных температурах и давлениях будет иметь разную массу, то теплота сгорания газов относится к 1 м^3 газа, взятого при нормальных условиях (p = 760 мм рт. ст., t = 0 °С), т.е. на **1 нм^3**.
- В ряде случаев расчет теплоты сгорания газового топлива ведется на 1м^3 при других условиях: p = 760 мм рт. ст., t = 20 °С. В этом случае низшая теплота сгорания

$$Q^{\text{р}}_{\text{н}(t=0^{\circ}\text{C})} = Q^{\text{р}}_{\text{н}(t=0^{\circ}\text{C})} \frac{273{,}15+20}{273{,}15}$$

$Q^{\text{р}}_{\text{н}i}$ ⇨ МДж/**нм3** или ккал/**нм3**

2.4 Теоретический эквивалент тепловой энергии в условном топливе

- Необходимо различать теоретический эквивалент электрической энергии и теплоты в условном топливе и реальные затраты условного топлива, необходимые на их выработку.
- Эквивалент тепловой энергии в условном топливе можно представить как

$$b = \frac{Q}{Q_{\text{ут}} \cdot \eta_{\text{б}}} \qquad \textbf{2.7}$$

- приняв КПД источника равным η=1, а *Q*=1 Гкал

$$b_Q^{\text{т}} = \frac{1\,\text{Гкал}}{Q_{\text{ут}} \cdot 1}$$

Q – количество выработанной источником тепловой энергии, Дж или кал

Теоретический эквивалент тепловой энергии в условном топливе

$$1\,\text{Гкал} = 10^9\,\text{кал} \Rightarrow b_Q = \frac{10^9\,\text{кал}}{7\cdot 10^6\,\text{кал/кг у.т.}} = 142{,}86\,\text{кг у.т.} \approx 143\,\text{кг у.т.}$$

$$1\,\text{Гкал} = 10^9\,\text{кал} \Rightarrow b_Q = \frac{10^9\,\text{кал}}{29{,}33\cdot 10^6\,\text{Дж/кг у.т.}} = \frac{10^9\,\text{кал}\cdot 4{,}19\,\text{Дж/кал}}{29{,}33\cdot 10^6\,\text{Дж/кг у.т.}} =$$

$$= \frac{4190}{29{,}33}\,\text{кг}\cdot\text{у.т.} = 142{,}86\,\text{кг}\cdot\text{у.т.} \approx 143\,\text{кг}\cdot\text{у.т.}$$

$$b_Q^{\text{т}} = \frac{1\,\text{Гкал}}{Q_{\text{ут}}\cdot 1} \Rightarrow b_Q^{\text{т}} = 0{,}143 \quad \textbf{т у.т.}$$

$$1\,\text{Гкал} = 142{,}86\,\text{кг у.т.} \approx 143\,\text{кг у.т.}$$

2.5 Теоретический эквивалент электрической энергии в условном топливе

- Эквивалент электрической энергии в условном топливе можно представить как

$$b_{Э} = \frac{Э}{Q_{ут} \cdot \eta_{Э}} \qquad \textbf{2.8}$$

Э – количество выработанной электрической энергии на источнике с КПД равным $\eta_{Э}$ (брутто)

Приняв КПД источника равным $\eta_{э}$=1, а Э=1 кВт · ч получим теоретическое значение эквивалента единицы (=1 кВт ч) выработанной энергии

$$b_{Э}^{т} = \frac{1\,\text{кВт ч}}{Q_{ут} \cdot 1}$$

Теоретический эквивалент электрической энергии в условном топливе

$$b_{Э}^{т} = \frac{1\,кВт\cdot ч}{Q_{ут}\cdot 1} = 0{,}123$$ **кг у.т.**

$$1\,кВт\cdot ч = \frac{1\,кДж\cdot 3600\,с}{с} = 3{,}6\cdot 10^{3}\,кДж \Rightarrow b_{Э} = \frac{3{,}6\cdot 10^{6}}{29{,}33\cdot 10^{6}\,Дж/кг\times у.т.} =$$

$$= \frac{3{,}6\,Дж}{29{,}33\,Дж/кг\times у.т.} = 0{,}12274\,кг\cdot у.т. \approx 123\,г\cdot у.т.$$

$$1\,кВт \approx 122{,}74\,г\ у.т. \approx 0{,}123\,кг\ у.т.$$

$$1000\,ч \approx 122{,}74\,г\ у.т. \approx 123\,кг\ у.т.$$

2. 6 Средневзвешенное значение удельного расхода топлива на выработку тепловой энергии

- КПД источников тепловой энергии изменяется в пределах 0,55-0,95 в зависимости от типа источника (ТЭЦ районная тепловая станция, местная котельная и т.д).
- Средневзвешенный расход условного топлива на отпуск тепловой энергии источниками, имеющими КПД нетто, можно вычислить, зная структуру теплоснабжения, а именно удельный расход условного топлива на отпуск единицы количества теплоты, КПД нетто источников и их количество.

$$b^{\text{ср}} = \frac{\sum_i b_i N_i}{\sum_i N_i}$$

$$b_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{ут}} \cdot \eta_{\text{н}i}}$$

$$b^{\text{ср}} = \frac{\sum_i \frac{Q_i}{Q_{\text{ут}} \eta_{\text{н}i}} N_i}{\sum_i N_i}$$

2.6 Средневзвешенное значение удельного расхода топлива на выработку электрической энергии

- Средневзвешенный расход условного топлива на выработку тепловой энергии источниками, имеющими КПД брутто, можно вычислить, зная структуру электроснабжения, а именно удельный расход условного топлива на выработку единицы количества электрической энергии, КПД источников и их количество.

$$b^{\text{ср}} = \frac{\sum_i \frac{Э_i}{Q_{\text{ут}} \eta_{\text{б}i}} N_i}{\sum_i N_i}$$

2.6 Средневзвешенные значения удельных расходов топлива на производство тепловой и электрической энергии

- В среднем по стране по итогам 2018 г. на выработку 1 кВт·ч электроэнергии затрачено = 306,2 г условного топлива, а средневзвешенный расход условного топлива на отпускаемую тепловую энергию от ТЭС составил *b* =157,9 килограмма условного топлива на гигакалорию (данные Министерства энергетики России по итогам 2018 г.)

- Эти удельные расходы соответствуют средним по стране КПД при производстве электрической и тепловой энергии. Однако при планировании и внедрении энергосберегающих мероприятий принято, что 1000 кВт • ч электроэнергии соответствует *bЭ* = 0,3445 т условного топлива, а 1 Гкал теплоты соответствует *bQ* = 0,1486 кг условного топлива

$b_Э = 0,3445$ **т у. т. /1000 кВт ч** $b_Q = 0,14286$ **т у. т. /Гкал**

2.6 Средневзвешенные значения удельных расходов топлива на производство тепловой и электрической энергии

- При вычислении энергопотребления объекта в условном топливе нужно использовать данные энергосистемы, а если их нет — то средние по стране значения.

$$M_Q = b_Q Q$$

$$M_Э = b_Э Э$$

$M_Q M_Э$ — массовые эквиваленты теплоты и электрической энергии в условном топливе, т у. т.;

Q, $Э$ — теплота, Гкал, и электрическая энергия, тыс. кВт·ч;

b_Q $b_Э$ — удельные расходы условного топлива на выработку единицы теплоты, т у.т/Гкал, и электрической энергии, т у.т/(тыс. кВт·ч).

2.7 Единицы измерения количества энергии

	1 Гкал	ГДж	1000 кВт ч	т у. т.
1 Гкал	**-**	**4,19**	**1,1639**	**0,143**
1 ГДж	**0,2387**	**-**	**0,2778**	**0,0342**
1000 кВт ч	**0,8592**	**3,6**	**-**	**0,123**

1 Гкал = 10^9 кал

1 кал = 4,19 Дж $\Rightarrow$ *Гкал* = 4,19 *ГДж*

$$1кВт \cdot ч = \frac{1кДж \cdot 3600с}{с} = 3,6 \cdot 10^3 кДж = 3,6 \cdot 10^6 Дж = 3,6 \cdot 10^{-3} ГДж$$

$$1ГДж = \frac{1}{3,6 \cdot 10^{-3}} кВт \cdot ч = 0,2778 \cdot 10^3 кВт \cdot ч$$

$$1Гкал = 4,19ГДж = 4,19 \cdot \frac{1}{3,6 \cdot 10^{-3}} кВт \cdot ч = 1,1639 \cdot 10^3 кВт \cdot ч$$

$$1ГДж = \frac{1}{4,19} Гкал = 0,2387 Гкал$$

$$1000кВтч = \frac{1}{1,1639} Гкал = 0,8592 Гкал$$

$$1000кВтч = \frac{4,19}{1,1639} ГДж = 3,6 ГДж$$

Задача 2.1 для самостоятельного решения

Другой универсальной мерой потребления топлива и энергии является **нефтяной эквивалент.** Это понятие чаще встречается в зарубежной литературе. За нефтяной эквивалент принята 1 т топлива с теплотой сгорания 10 000 ккал/кг (41,9 МДж/кг), близкой к теплоте сгорания сырой нефти, которая составляет 10430—11026 ккал/кг (43,7—46,2 МДж/кг).

При этом 1 т в нефтяном эквиваленте соответствует 1,43 т условного топлива

Задача 1.1. Пользуясь понятием нефтяного эквивалента, заполнить столбец в таблице

	1 Гкал	ГДж	1000 кВт ч	т у. т.	т н.э.
1 Гкал		4,19	1,1639	0,1423	
1 ГДж	0,2387		0,2778	0,0342	
1000 кВт ч	0,8592	3,6		0,123	

2.8 Понятие первичного условного топлива

- **Первичное условное топливо.** При использовании энергетических ресурсов нужно иметь в виду, что их производство также связано с затратами энергии, которая должна быть использована на добычу топлива, его транспортировку потребителю, подготовку или переработку.
- При анализе энергетической эффективности производственных объектов в масштабах региона и страны необходим учет полных затрат энергии на получение продукции.
- Поэтому помимо понятия условного топлива вводится понятие затрат первичного топлива на производство продукции. Последние обычно выражаются в условном топливе и называются **затраты первичного условного топлива на производство продукции,** в которых учитываются ранее указанные затраты энергии, с единицей измерения «тонна первичного условного топлива» (т п.у.т.)

Табл. 1

Топливно-энергетический ресурс	Эквивалент в тоннах первичного условного топлива
1 т энергетического угля (с низшей теплотой сгорания 18,5 МДж/кг)	0,655
1 т мазута (с низшей теплотой сгорания 38,7 МДж/кг)	1,46
1 тыс. м природного газа (с низшей теплотой сгорания 34 МДж/кг)	1,35
1 т у.т. бензина и дизельного топлива (с низшей теплотой сгорания 42,5 МДж/кг)	1,87
1 Гкал тепловой энергии, расходуемой в коммунально-бытовом секторе	0,199
1 Гкал тепловой энергии при производстве в местных котельных и печах	0,237
1 Гкал тепловой энергии в среднем по различным отраслям промышленности (при централизованных источниках)	0,176
1000 кВт • ч электроэнергии	0,389

Пример 2.2

Промышленное предприятие в течение года потребляет:
природного газа
$L_r = 20 \cdot 10^6$ м^3

$B_м = 1{,}2 \cdot 10^3$ т

$B_у = 90 \cdot 10^3$ т

$Q^р_{нг}$ = 7950 ккал/м^3

$Q^р_{нм}$ =10 000 ккал/кг

$Q^р_{ну}$ = 4500 ккал/кг

Определите потребности предприятия в условном и в первичном условном топливе.

Пример 2.2

Для определения расхода энергии в первичном условном топливе следует пересчитать расходы топлива, выраженные в натуральных единицах, на условное топливо:

$$B_{\Sigma} = L_{\text{г}} \frac{Q_{\text{нг}}^{\text{р}}}{7000} + {}_{\text{м}} \frac{Q_{\text{нм}}^{\text{р}}}{7000} + {}_{\text{у}} \frac{Q_{\text{ну}}^{\text{р}}}{7000} =$$

$$= 20 \cdot 10^{6} \frac{7950}{7000} + 1,2 \cdot 10^{6} \frac{10000}{7000} + 90 \cdot 10^{6} \frac{4500}{7000} =$$

$$= 22,70 \cdot 10^{6} + 1,71 \cdot 10^{6} + 55,85 \cdot 10^{6} = 82,30 \cdot 10^{6}$$

кг у.т.

Пример 2.2

- Используя коэффициенты пересчета различных видов топлива, выраженных в условных единицах, на первичное условное топливо Табл. 2, получим

Табл. 2

Топливо	Коэффициент пересчета условного топлива в первичное условное топливо
Мазут	**1,107**
Природный газ	**1,167**
Энергетический уголь	**1,065**

$$B_{\Sigma}^{\text{п.т}} = 22{,}7 \cdot 10^6 \cdot 1{,}167 + 1{,}71 \cdot 10^6 \cdot 1{,}107 + + 57{,}85 \cdot 10^6 \cdot 1{,}065 =$$

$$= 26{,}5 \cdot 10^6 + 1{,}9 \cdot 10^6 + 61{,}6 \cdot 10^6 = 90 \cdot 10^6 \text{ кг п.у.т.}$$

2.9 Калькулятор перевода расхода натурального топлива в расход условного топлива

		В	Qрн, МДж/кг(нм3)	Qут, МДж/кг у.т.	bQ, т у.т./Гкал	bЭ, ту.т./1000кВт ч	Ву, т у.т.
Уголь	т	10	20	29,33			6,819
Пелеты	т	10	16	29,33			5,455
Мазут	т	100	40	29,33			136,379
Дизельное топливо	т	100	42	29,33			143,198
Бензин	т	10	44	29,33			15,002
Природный газ	нм3	10000	35	29,33			11,933
Тепловая энергия	Гкал	100			0,1486		14,86
Электрическая энергия	кВт ч	10000				0,3445	3,445
						Итого	337,091

Калькулятор перевода расхода натурального топлива в расход условного топлива

	Размерность	Вн*i*	Qрн, МДж/кг(нм3)	Qут, МДж/кг у.т.	*bQ*, т у.т./Гкал	bЭ, т у.т./1000кВт ч	Ву, т у.т.
Уголь	т	10	20	29,33			6,819
Пелеты	т	10	16	29,33			5,455
Мазут	т	100	40	29,33			136,379
Дизельное топливо	т	100	42	29,33			143,198
Бензин	т	10	44	29,33			15,002
Природный газ	нм3	10000	35	29,33			11,933
Тепловая энергия	Гкал	100			0,1486		14,86
Электрическая энергия	кВт ч	10000				0,3445	3,445
						Итого	337,091

$$B_{уi} = B_{нi} Q^{р}_{нi} / 29,33$$

$$B_{уi} = L_{нi} Q^{р}_{нi} \cdot 10^{-3} / 29,$$

$$B_Q = b_Q Q$$

$$B_э = b_э Э \cdot 10^{-3}$$

Калькулятор перевода расхода натурального топлива в расход условного топлива

	Размерность	Вн*i*	Qрн, ккал/кг(нм3)	Qут, ккал/кг у.т.	*bQ*, т у.т./Гкал	bЭ, т у.т./1000кВт ч	Ву, т у.т.
Уголь	т	10	4773	7000			6,819
Пелеты	т	10	3819	7000			5,455
Мазут	т	100	9547	7000			136,379
Дизельное топливо	т	100	10024	7000			143,198
Бензин	т	10	10501	7000			15,002
Природный газ	нм3	10000	8353	7000			11,933
Тепловая энергия	Гкал	100			0,1486		14,86
Электрическая энергия	кВт ч	10000				0,3445	3,445
						Итого	337,091

$$B_{yi} = L_{нi} Q^{р}_{нi} \cdot 10^{-3} / 7000$$

$$B_{yi} = B_{нi} Q^{р}_{нi} / 7000$$

$$B_Q = b_Q Q$$

$$B_э = b_э Э \cdot 10^{-3}$$

Пример 2.3

- Допустим, получение одного и того же количества продукции возможно с помощью применения двух различных технологических процессов. В первом случае для производства используется 1,585 т энергетического угля (*Q*рн= 18,5 МДж/кг), во втором — 880 м^3 природного газа (*Q*рн = 33,33 МДж/м^3).

- Если перевести эти расходы на условное топливо, **кг у.т**., получим

$$B_{\text{уу}} = B_{\text{у}} \frac{Q^{\text{р}}_{\text{ну}}}{29{,}33} = 1{,}586 \cdot 10^3 \frac{18{,}5}{29{,}33} = 1000{,}4$$

$$B_{\text{уг}} = L_{\text{г}} \frac{Q^{\text{р}}_{\text{нг}}}{29{,}33} = 880 \frac{33{,}33}{29{,}33} = 1000{,}0.$$

- В том и в другом случае для выработки продукции требуется 1 т у.т. Однако условное топливо не позволяет учесть дополнительные затраты на выработку энергоресурсов.
- Рассчитаем затраты в первичном условном топливе, использовав коэффициенты перерасчета из табл. 1.5. Затраты составят соответственно:

Табл. 2 Коэффициент пересчета условного топлива в первичное условное топливо

Топливо	Коэффициент пересчета условного топлива в первичное условное топливо
Мазут	1,107
Природный газ	1,167
Энергетический уголь	1,065

Пример 2.3

- Рассчитаем затраты в первичном условном топливе, использовав коэффициенты пересчета из табл. 2 Затраты составят соответственно, **т п.у.т**:

$$B_{\text{п.уу}} = B_{\text{уу}} \cdot 1,065 = 1 \cdot 1,065 = 1.065$$

$$B_{\text{п.уг}} = \quad_{\text{уг}} \cdot 1,167 = 1 \cdot 1,167 = 1,167$$

Рассчитаем затраты в первичном условном топливе, использовав коэффициенты пересчета из табл. 1, **т п.у.т**

$$B_{\text{п.уу}} = B_{\text{у}} \cdot 0,655 = 1,586 \cdot 0,655 = 1,039$$

$$B_{\text{п.уг}} = L_{\text{г}} \cdot 1,35 = 0,880 \cdot 1,35 = 1,188$$

Вывод. Для указанных условий выгоднее использовать в качестве топлива уголь.

Некоторое отличие полученных результатов с использованием табл. 1 и табл. 2 связано с тем, что коэффициенты пересчета в табл.2 приводятся при осредненных значениях теплоты сгорания топлива, в то врем как в табл. 1.приведены данные для указанных значений теплоты сгорания.

Пример 2.4 для самостоятельного решения

	Размерность	Вні	Qрн, МДж/кг(нм3)	Qут, МДж/кг у.т.	bQ, т у.т./Гкал	bЭ, т у.т./1000кВт ч	Ву, т у.т.
Уголь	т	10	20	29,33			6,819
Пелеты	т	10	16	29,33			5,455
Мазут	т	100	40	29,33			136,379
Дизельное топливо	т	100	42	29,33			143,198
Бензин	т	10	44	29,33			15,002
Природный газ	нм3	10000	35	29,33			11,933
Тепловая энергия	Гкал	100			0,1486		14,86
Электрическая энергия	кВт ч	10000				0,3445	3,445
						Итого	337,091

$$B_{уi} = B_{нi} Q^{р}_{нi} / 29,33$$

$$B_{уi} = L_{нi} Q^{р}_{нi} \cdot 10^{-3} / 29,$$

$$B_Q = b_Q Q$$

$$B_э = b_э Э \cdot 10^{-3}$$

Промышленное предприятие потребляет в год $5 \cdot 10^5$ нм^3 природного газа (Qнр=35 МДж/нм3), 5 т дизельного топлива (Qнр=40 МДж/кг), 10^6 кВт $\cdot$ч электрической энергии из сети, 1000 Гкал тепловой энергии из тепловой сети.

Потребность в энергоресурсах предприятия (в условном топливе)?

- **2.10 Энергетический баланс потребителя ТЭР**

2.10 Энергетический баланс потребителя ТЭР

- Энергетические балансы составляются с целью определения потребности в топливно-энергетических ресурсах (ТЭР), анализа и оценки эффективности их использования в стране, в отдельном регионе, в отрасли народного хозяйства, на предприятии, в технологической установке и на других объектах, потребляющих ТЭР.

2.10 Энергетический баланс потребителя ТЭР

- **Энергетический баланс** по физической сути представляет собой частное выражение фундаментального закона сохранения энергии, означающее равенство между суммарной подведенной энергией и суммарной полезной и потерянной энергией.

2.10 Энергетический баланс потребителя ТЭР

- **Полезная энергия —** это количество энергии, теоретически необходимое для реализации различных процессов, проведение которых требует затрат энергии
- **Потери энергии** — это разность подведенной и полезной энергии.
- Различают **производительные потери**, которые технологически неизбежны и нормируются,
- и **непроизводительные потери**, которые возникают в результате неправильной эксплуатации оборудования при добыче, транспортировке, хранении, преобразовании и конечном потреблении энергоресурсов. Последние потери могут быть устранены в результате применения организационных или технологических энергосберегающих мероприятий.

2.10 Энергетический баланс потребителя ТЭР

- Энергетические балансы составляются для **потребителей ТЭР**. Среди потребителей ТЭР в зависимости от масштаба рассматриваемого объекта можно выделить:
- экономика страны в целом;
- отрасли экономики страны;
- энергопотребляющие объекты, объединенные по территориальному или производственно-отраслевому признаку;
- общественные, административно-бытовые и жилые здания;
- промышленные, энергетические (электростанции, котельные и т.д.) и транспортные предприятия, объекты сельского хозяйства в целом;
- отдельные цеха предприятий;
- технологические линии;
- установки и аппараты.

2.10 Энергетический баланс потребителя ТЭР

- Энергетические балансы могут составляться по суммарному потреблению всех видов энергоресурсов (топливо, электрическая и тепловая энергия и др.). Такие балансы называются сводными. **Сводные энергетические балансы** отражают равенство приходной и расходной частей всех видов энергетических ресурсов. **Частные энергетические балансы** составляются по одному из видов энергоресурсов, например по электроэнергии.

2.10 Энергетический баланс потребителя ТЭР

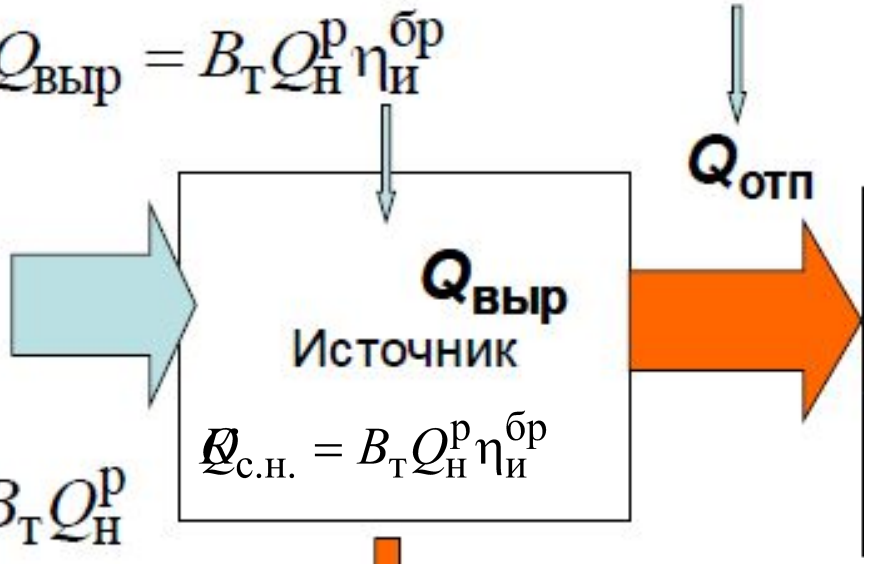
2.10 Тепловые балансы системы теплоснабжения, источника тепловой энергии, тепловой сети

- Система теплоснабжения представляет совокупность источника тепловой энергии, тепловой сети транспорта и распределения энергии с теплоносителем и потребителя.
- Последовательно рассмотрим тепловые балансы для источника (ТЭЦ, котельная), тепловой сети и потребителя тепловой энергии.
- Тепловые балансы представим в укрупненном виде, не детализируя составляющие тепловых потерь для каждого из рассматриваемых объектов.
- Для оценок тепловых потерь используем понятие коэффициента полезного действия (КПД).
- Тепловые балансы составляем в единицах количества тепловой энергии (Дж, кал), полагая известным расход топлива на источнике и теплоту сгорания натурального топлива. Все составляющие баланса представим в долях от располагаемой энергии, представляющей собой энергию сжигаемого на источнике топлива.
- Представить баланс в условном топливе не представляется сложной задачей. Достаточно поделить все составляющие баланса на теплоту сгорания условного топлива.

Тепловой баланс источника (ТЭЦ,котельной)

$$Q_{\text{отп}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}}$$

$$Q_{\text{выр}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}}$$



$$Q_{\text{с.н.}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}}$$

$$Q_{\text{расп}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}$$

$$Q_{\text{расп}} = Q_{\text{выр}} + Q_{\text{и}}^{\text{пот}}$$

$$Q_{\text{и}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} (1 - \eta_{\text{и}}^{\text{бр}})$$

$$Q_{\text{расп}} = Q_{\text{с.н.}} + Q_{\text{и}}^{\text{пот}} + Q_{\text{отп}}$$

Тепловой баланс котельной. КПД брутто

$$Q_{\text{расп}} = Q_{\text{выр}} + Q_{\text{и}}^{\text{пот}}$$

$$Q_{\text{выр}} = Q_{\text{расп}} - Q_{\text{и}}^{\text{пот}}$$

$$\eta_{\text{и}}^{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{выр}}}{Q_{\text{расп}}} = 1 - \frac{Q_{\text{и}}^{\text{пот}}}{Q_{\text{расп}}}$$

$$Q_{\text{выр}} = Q_{\text{расп}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}}$$

$$Q_{\text{и}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} (1 - \eta_{\text{и}}^{\text{бр}})$$

Тепловой баланс котельной. КПД нетто

$$Q_{\text{расп}} = Q_{\text{с.н.}} + Q_{\text{и}}^{\text{пот}} + Q_{\text{отп}}$$

$$Q_{\text{отп}} = Q_{\text{расп}} - (Q_{\text{с.н.}} + Q_{\text{и}}^{\text{пот}})$$

$$\eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} = \frac{Q_{\text{отп}}}{Q_{\text{расп}}} = 1 - \frac{Q_{\text{с.н.}} + Q_{\text{и}}^{\text{пот}}}{Q_{\text{расп}}}$$

$$Q_{\text{выр}} = Q_{\text{расп}}\eta_{\text{и}}^{\text{бр}} = B_{\text{т}}Q_{\text{н}}^{\text{р}}\eta_{\text{и}}^{\text{бр}}$$

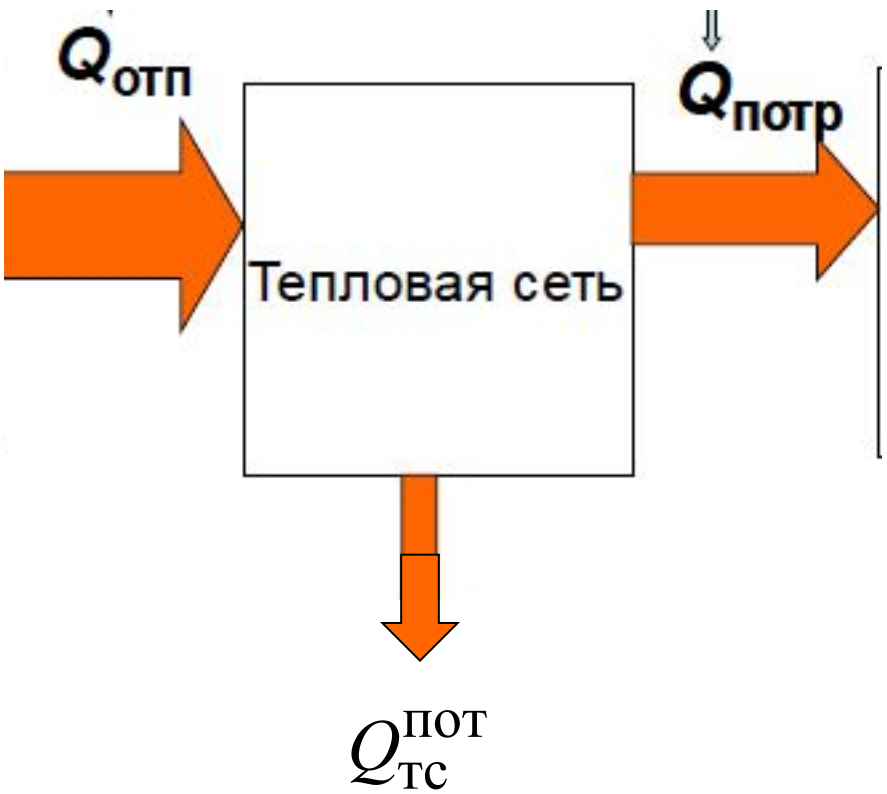
$$Q_{\text{с.н.}} = B_{\text{т}}Q_{\text{н}}^{\text{р}}\eta_{\text{и}}^{\text{бр}}$$

$$Q_{\text{и}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}}Q_{\text{н}}^{\text{р}}(1 - \eta_{\text{и}}^{\text{бр}})$$

$$Q_{\text{отп}} = B_{\text{т}}Q_{\text{н}}^{\text{р}}\eta_{\text{и}}^{\text{нетто}}$$

$$\eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} = 1 - \frac{K B_{\text{т}}Q_{\text{н}}^{\text{р}}\eta_{\text{и}}^{\text{бр}} + B_{\text{т}}Q_{\text{н}}^{\text{р}}(1 - \eta_{\text{и}}^{\text{бр}})}{B_{\text{т}}Q_{\text{н}}^{\text{р}}} = \eta_{\text{и}}^{\text{бр}}(1 - K)$$

Баланс тепловой сети



$$Q_{\text{отп}} = Q_{\text{потр}} + Q_{\text{тс}}^{\text{пот}}$$

$$Q_{\text{потр}} = Q_{\text{отп}} - Q_{\text{тс}}^{\text{пот}}$$

$$\eta_{\text{тс}} = \frac{Q_{\text{потр}}}{Q_{\text{отп}}} = 1 - \frac{Q_{\text{тс}}^{\text{пот}}}{Q_{\text{отп}}}$$

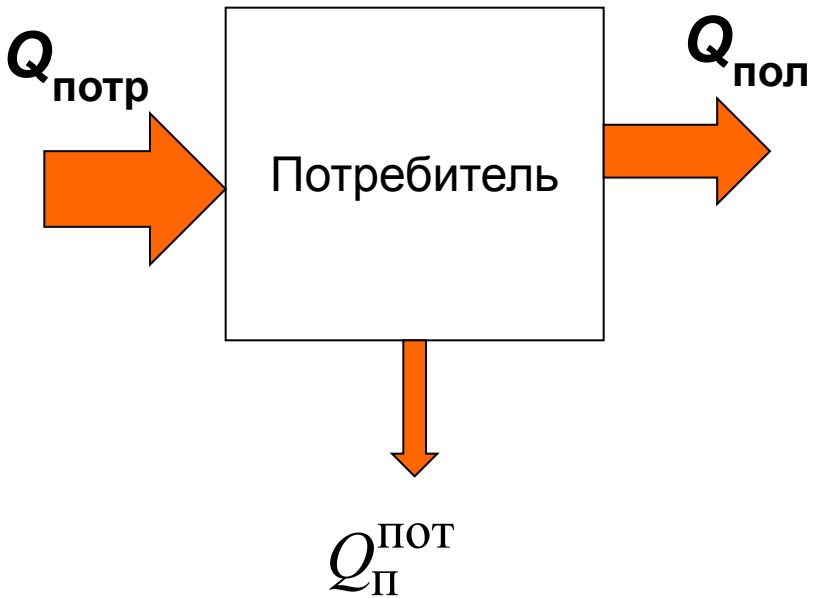
$$Q_{\text{потр}} = Q_{\text{отп}}\eta_{\text{тс}}$$

$$Q_{\text{отп}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}}$$

$$Q_{\text{потр}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{тс}}$$

$$Q_{\text{тс}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} (1 - \eta_{\text{тс}})$$

Тепловой баланс потребителя



$$Q_{\text{потр}} = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{п}}^{\text{пот}}$$

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{потр}} - Q_{\text{п}}^{\text{пот}}$$

$$\eta_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{потр}}} = 1 - \frac{Q_{\text{и}}^{\text{пот}}}{Q_{\text{потр}}}$$

$$Q_{\text{потр}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{тс}}$$

$$Q_{\text{пол}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{тс}} \eta_{\text{п}}$$

$$Q_{\text{п}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{тс}} (1 - \eta_{\text{п}})$$

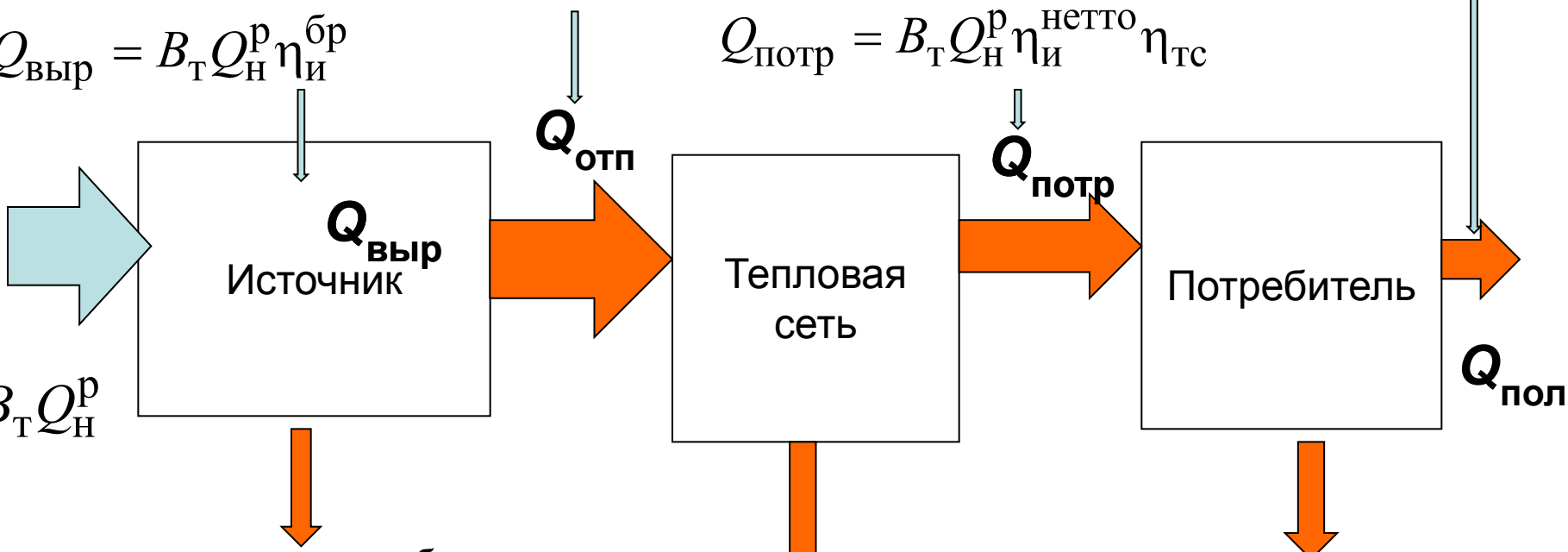
Тепловой баланс системы теплоснабжения

$$Q_{\text{отп}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}}$$

$$Q_{\text{пол}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{тс}} \eta_{\text{п}}$$

$$Q_{\text{выр}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}}$$

$$Q_{\text{потр}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{тс}}$$



$$Q_{\text{и}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} (1 - \eta_{\text{и}}^{\text{бр}})$$

$$Q_{\text{п}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{тс}} (1 - \eta_{\text{п}})$$

$$Q_{\text{тс}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} (1 - \eta_{\text{тс}})$$

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{с.н.}} + Q_{\text{пол}} + (Q_{\text{и}}^{\text{пот}} + Q_{\text{тс}}^{\text{пот}} + Q_{\text{п}}^{\text{пот}})$$

Тепловой баланс системы теплоснабжения

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{с.н.}} + Q_{\text{пол}} + (Q_{\text{и}}^{\text{пот}} + Q_{\text{тс}}^{\text{пот}} + Q_{\text{п}}^{\text{пот}})$$

$$Q_{\text{с.н.}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}}$$

$$Q_{\text{пол}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{тс}} \eta_{\text{п}}$$

$$Q_{\text{и}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} (1 - \eta_{\text{и}}^{\text{бр}})$$

$$Q_{\text{п}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{тс}} (1 - \eta_{\text{п}})$$

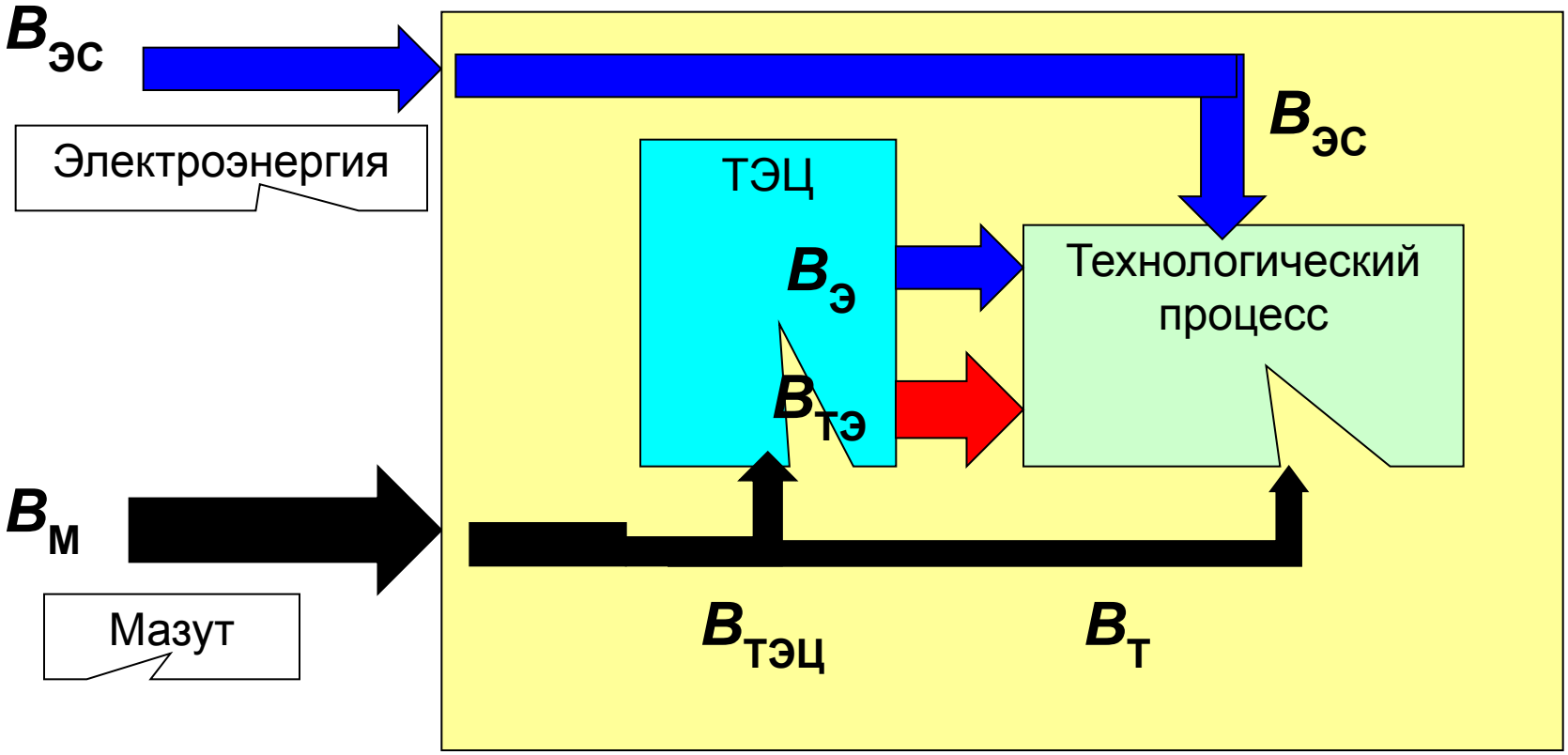
$$Q_{\text{тс}}^{\text{пот}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} (1 - \eta_{\text{тс}})$$

$$B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \left[\begin{array}{l} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}} K + \eta_{\text{и}}^{\text{бр}} \eta_{\text{тс}} \eta_{\text{п}} (1 - K) + (1 - \eta_{\text{и}}^{\text{бр}}) + \\ + \eta_{\text{и}}^{\text{бр}} (1 - \eta_{\text{тс}})(1 - K) + \eta_{\text{и}}^{\text{бр}} \eta_{\text{тс}} (1 - \eta_{\text{п}})(1 - K) \end{array} \right]$$

$$\eta_{\text{и}}^{\text{нетто}} = \eta_{\text{и}}^{\text{бр}} (1 - K)$$

К примеру 2.5

$$B_{\text{прих}} = B_{\text{ЭС}} + B_{\text{М}}$$



$$B_{\text{расх}} = B_{\text{ЭС}} + B_{\text{Т}} + B_{\text{Э}} + B_{\text{ТЭ}}$$

Приходная часть энергетического баланса. т у.т./год

$$B_{\text{прих}} = B_{\text{ЭС}} + B_{\text{М}}$$

Расходная часть энергетического баланса. т у.т./год

$$B_{\text{расх}} = B_{\text{ЭС}} + (B_{\text{Т}} + B_{\text{Э}} + B_{\text{ТЭ}})$$

Энергетический баланс, т у.т./год

$$B_{\text{ЭС}} + B_{\text{М}} = B_{\text{ЭС}} + B_{\text{Т}} + B_{\text{Э}} + B_{\text{ТЭ}}$$

Потребление мазута в условном топливе, т у.т./год

$$B_{\text{М}} = B_{\text{Т}} + B_{\text{Э}} + B_{\text{ТЭ}}$$

Потребление электроэнергии из сети в условном топливе, т у.т./год

$$B_{\text{ЭС}} = b_{\text{Э}} \text{Э}_{\text{С}}$$

К примеру 2.5

$$B_{\text{М}} = B_{\text{Т}} + B_{\text{Э}} + B_{\text{ТЭ}}$$

$$B_{\text{Т}} = B_{\text{МТ}} \frac{Q^{\text{р}}_{\text{н.м}}}{Q_{\text{ут}}} = 400 \frac{12100}{7000} = 691{,}1$$

$$B_{\text{Э}} = b_{\text{Э.ТЭЦ}} \text{Э} = 0{,}32 \cdot 20 \cdot 10^{6} \cdot 10^{-3} = 6{,}4 \cdot 10^{3}$$

$$B_{\text{ТЭ}} = b_{Q.\text{ТЭЦ}} Q = 160 \cdot 50 \cdot 10^{3} \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{3}$$

$$B_{\text{ЭС}} = b_{Q} \text{Э}_{\text{С}} \cdot 10^{-3} = 0{,}3445 \cdot 80 \cdot 10^{6} \cdot 10^{-3} = 27{,}56 \cdot 10^{3}$$

т · у.т./год

$$\text{Э}_{\text{С}} = 80 \cdot 10^{6} \cdot \text{кВт} \cdot \text{ч}$$

$B_{\text{МТ}} = 400 \cdot$ т у.т.

$Q^{\text{р}}_{\text{н.м}} = 12100$ ккал/кг

$b_{Q\text{ТЭЦ}} = 160$ кг у.т./Гкал

$b_{\text{Э.ТЭЦ}} = 0{,}320$ кг у.т./кВт · ч

$b_{Q} = 0{,}3445$ т у.т./Гкал

$\text{Э} = 50000$ кВт

К примеру 2.5

$$\eta_{тэ}^{бр} = \frac{b_{Q.ТЭЦ}}{b_Q^т}$$

$$\eta_{ээ}^{бр} = \frac{b_{Э.ТЭЦ}}{b_Э^т}$$

Поступление

$$B_М = B_т \frac{Q_н^р}{Q_{ут}} + B_{тэ} \frac{Q_н^р}{Q_{ут}} + + B_{ээ} \frac{Q_н^р}{Q_{ут}} =$$

$$= B_т \frac{Q_н^р}{Q_{ут}} + \left[B_{тэ} \frac{Q_н^р \eta_{тэ}^{бр}}{Q_{ут}} + B_{тэ} \frac{Q_н^р (1 - \eta_{тэ}^{бр})}{Q_{ут}} \right] + \left[B_{ээ} \frac{Q_н^р \eta_{ээ}^{бр}}{Q_{ут}} + + B_{ээ} \frac{Q_н^р (1 - \eta_{ээ}^{бр})}{Q_{ут}} \right]$$

Расход $$B_М = B_Т \frac{Q_{н.м}^р}{Q_{ут}} + b_{Э.ТЭЦ} Э + b_{Q.ТЭЦ} Q$$

$$b_Э^т = \frac{1 кВт \cdot ч}{Q_{ут} \cdot 1} = 0,123$$ **г у.т.**

$$b_Q^т = 0,143$$ **т у.т./Гкал**

Удельный расход условного топлива на выработку и отпуск тепловой энергии электрической энергии. Расход топлива на выработку и отпуск тепловой энергии и электрической энергии за период.

2.11 Удельный расход условного топлива

- Удельный расход условного топлива, кг у.т., на выработку 1 ГДж тепловой энергии вычисляют по формуле

$$b_{\text{выр}} = \frac{34{,}12}{\eta_{\text{и}}^{\text{бр}}} \qquad \textbf{кг у.т./ГДж}$$

- Если надо рассчитать расход условного топлива, кг у.т., при выработке 1 Гкал тепловой энергии, используют формулу

$$b_{\text{выр}} = \frac{142{,}86}{\eta_{\text{и}}^{\text{бр}}} \qquad \textbf{кг у.т./Гкал}$$

$\eta_{\text{к}}^{\text{бр}}$ КПД (брутто) источника (котельной, ТЭЦ) без учета расхода теплоты на собственные нужды котельной

2.11 Удельный расход условного топлива

- Удельный расход условного топлива, кг у.т./ГДж или кг у.т./Гкал, на отпуск тепловой энергии, можно определить по формулам соответственно

$$b_{\text{отп}} = \frac{34{,}12}{\eta_{\text{и}}^{\text{нт}}}$$

$$b_{\text{отп}} = \frac{142{,}86}{\eta_{\text{и}}^{\text{нт}}}$$

- $\eta_{\text{и}}^{\text{нт}}$ — КПД (нетто) источника (котельной, ТЭЦ) с учетом расхода теплоты на собственные нужды котельной

2.12 Потребность в условном топливе для котельной

- Потребность в условном топливе для котельной, **т у. т.**, находят умножением общего количества вырабатываемой теплоты $Q_{выр}$, на удельную норму расхода условного топлива для выработки 1 ГДж (Гкал) теплоты

$$B_у = Q_{выр} \cdot b_{выр} 10^{-3},$$

- Потребность в условном топливе на производство тепловой энергии, отпускаемой с коллекторов котельной $Q_{отп}$, **т у.т.**, определяют по формуле

$$B_у = Q_{отп} b_{отп} \cdot 10^{-3},$$

2.13 Выработка, отпуск тепловой энергии источником и КПД источника

$$\eta_{\text{и}}^{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{выр}}}{B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \Leftrightarrow Q_{\text{выр}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}} \Leftrightarrow B_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{выр}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}}}$$

$$\eta_{\text{и}}^{\text{нт}} = \frac{Q_{\text{отп}}}{B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}}} \Leftrightarrow Q_{\text{отп}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нт}} \Leftrightarrow B_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{отп}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нт}}}$$

$$\eta_{\text{т}}^{\text{бр}} = \frac{b_Q^{\text{т}}}{b_{\text{выр}}}$$

$$b_{\text{выр}} = \frac{142{,}86}{\eta_{\text{и}}^{\text{бр}}}$$ **кг у.т./Гкал**

$$b_{\text{выр}} = \frac{34{,}12}{\eta_{\text{и}}^{\text{бр}}}$$ **кг у.т./ГДЖ**

$$\eta_{\text{т}}^{\text{нт}} = \frac{b_Q^{\text{т}}}{b_{\text{отп}}}$$

$$b_{\text{отп}} = \frac{142{,}86}{\eta_{\text{и}}^{\text{нт}}}$$ **кг у.т./Гкал**

$$b_{\text{отп}} = \frac{34{,}12}{\eta_{\text{и}}^{\text{нт}}}$$ **кг у.т./ГДЖ**

2.14 Выработка, отпуск электрической энергии источником и КПД источника

$$\eta_{э}^{бр} = \frac{Э_{выр}}{B_{т} Q_{н}^{р}} \Leftrightarrow Э_{выр} = B_{т} Q_{н}^{р} \eta_{и}^{бр} \Leftrightarrow B_{т} = \frac{Э_{выр}}{Q_{н}^{р} \eta_{и}^{бр}}$$

$$\eta_{и}^{нт} = \frac{Э_{отп}}{B_{т} Q_{н}^{р}} \Leftrightarrow Э_{отп} = B_{т} Q_{н}^{р} \eta_{и}^{нт} \Leftrightarrow B_{т} = \frac{Э_{отп}}{Q_{н}^{р} \eta_{и}^{нт}}$$

$$\eta_{э}^{бр} = \frac{b_{Э}^{т}}{b_{выр}} \qquad b_{выр} = \frac{122,74}{\eta_{э}^{бр}}$$

кг у.т./10^3 кВт ч

$$\eta_{э}^{нт} = \frac{b_{Э}^{т}}{b_{отп}} \qquad b_{отп} = \frac{122,74}{\eta_{э}^{нт}}$$

кг у.т./10^3 кВт ч

Пример 2.6

Пример 3.2. Определить удельный расход натурального топлива — природного газа с низшей рабочей теплотой сгорания $Q_{н}^{р}$ = 8100 ккал/м^3 и условного топлива на выработку $Q_{выр}$ = 1 Гкал тепловой энергии, если известно, что КПД котельной установки $\eta_{ка}^{бр}$ = 0,90.

Решение. Удельный расход природного газа на выработку 1 Гкал (10^9 кал) тепловой энергии

$$b_{г} = \frac{Q_{выр} 10^{-3}}{\eta_{ка}^{бр} Q_{н}^{р}} = \frac{10^9 \cdot 10^{-3}}{0,9 \cdot 8100} = 137,2 \text{ м}^3/\text{Гкал}.$$

Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепловой энергии

$$b_{у} = \frac{Q_{выр} 10^{-3}}{\eta_{ка}^{бр} \cdot 7000} = \frac{10^9 \cdot 10^{-3}}{0,9 \cdot 7000} = 158,7 \text{ кг у.т/Гкал}.$$

Пример 2.7

Пример 3.3. Определить изменение в расходах топлива и КПД котельной, вырабатывающей 10^5 Гкал/год тепловой энергии, при переводе ее с мазута на природный газ, если известно, что удельный расход мазута составлял 131 кг/Гкал, а удельный расход природного газа составляет 137 м^3/Гкал. Низшая рабочая теплота сгорания мазута 9500 ккал/кг, природного газа — 8100 ккал/м^3.

Решение. Переводим годовой расход мазута в условное топливо:

$$B_{\text{м.у}} = b_{\text{м}} \frac{Q^{\text{р}}_{\text{н.м}}}{7000} = 131 \cdot 10^2 \frac{9500}{7000} = 177{,}8 \cdot 10^2 \text{ т у.т/год.}$$

Годовой расход природного газа составит

$$B_{\text{г}} = b_{\text{г}} Q_{\text{выр}} = 137 \cdot 10^5 \text{ м}^3\text{/год,}$$

что эквивалентно потреблению условного топлива в количестве

$$B_{\text{г.у}} = B_{\text{г}} \frac{Q^{\text{р}}_{\text{г.м}}}{7000} = 137 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \frac{8100}{7000} = 158{,}5 \cdot 10^2 \text{ т у.т/год.}$$

Пример 2.7

Уменьшение расхода условного топлива при переходе с мазута на природный газ составит

$$\Delta B = B_{\text{м.у}} - B_{\text{г.у}} = (177,8 - 158,5)10^2 = 19,3 \cdot 10^2 \text{ т у.т/год.}$$

При работе на мазуте КПД котельной (брутто)

$$\eta_{\text{к.м}}^{\text{бр}} = \frac{142,86}{b_{\text{м.у}}} = \frac{142,86}{\left(B_{\text{м.у}} \cdot 10^{-3} / Q_{\text{выр}}\right)} = \frac{142,86}{(177,8 \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} / 10^5)} = 0,80 .$$

При работе на природном газе КПД котельной (брутто)

$$\eta_{\text{к.г}}^{\text{бр}} = \frac{142,86}{b_{\text{г.у}}} = \frac{142,86}{\left(B_{\text{г.у}} \cdot 10^{-3} / Q_{\text{выр}}\right)} = \frac{142,86}{(158,5 \cdot 10^2 \cdot 10^{-3} / 10^5)} = 0,90 .$$

Расход топлива при переходе с мазута на природный газ уменьшится на 1930 т у.т/год, КПД котельной (брутто) возрастет на 10 %.

Пример 2.8 Предприятие за год потребляет из сети 10^6 кВт ч электрической энергии. Удельный расход условного топлива на отпуск энергии на ТЭЦ составляет 0,340 кг у.т./кВт ч.

Определите расход природного газа на ТЭЦ на отпуск электрической энергии и количество располагаемой предприятием энергии в условном топливе, если потери при передаче энергии в сети составляют 3%. Теплота сгорания природного газа $Q_н^р = 8100$ ккал/нм^3

Решение. Расход природного газа на отпуск электрической энергии в сеть в условном топливе составляет

$$B_{г.у} = b_э Э = 0,340 \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} = 3400 \text{ т у.т./год.},$$

Переводим полученный расход в расход натурального топлива с заданной теплотой сгорания:

$$B_г = B_{г.у} \frac{7000}{Q_{н.г}^р} = 3400 \cdot 10^3 \frac{7000}{8100} = 2975000 \text{ нм}^3\text{/год}$$

Расход природного газа на ТЭЦ на отпуск электрической энергии равен 2976000 нм^3.

Количество располагаемой предприятием энергии в условном топливе:

$$B_{потр.у} = \frac{B_г Q_{н.г}^р}{7000} \eta_{эс} = B_{г.у} \eta_{эс} = 3400 \cdot 0,97 = 3298 \text{ т у.т./год.}$$

Пример 2.9

- Полезная тепловая нагрузка потребителя составляет 1 Гкал/ч. КПД нетто источника тепловой энергии $\eta_и$=0,8. Для выработки тепловой энергии на источнике используется природный газ с рабочей низшей теплотой сгорания $Q_н^р$=8353 ккал/нм^3.
- Потери в тепловой сети составляют 15%. Потери у потребителя равны 10%.
- Система работает 5000 часов в году.
- Насколько снизится годовое потребление топлива на источнике, если потери теплоты в тепловой сети в результате реализации энергосберегающих мероприятий уменьшатся на 5%?

Пример 2.9

$$Q_{\text{пол}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нт}} \eta_{\text{тс}} \eta_{\text{п}}$$

Полезная нагрузка потребителя

$$B_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нт}} \eta_{\text{тс}} \eta_{\text{п}}}$$

Часовой расход топлива в нм^3/ч

$$B_{\text{т}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нт}} \eta_{\text{тс}} \eta_{\text{п}}}$$

Годовой расход топлива нм^3/год при существующих потерях в сети

$$B_{\text{т}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нт}} \eta_{\text{тс}}^{\text{у}} \eta_{\text{п}}}$$

Годовой расход топлива нм^3/год при сниженных потерях в сети

$$\Delta B_{\text{т}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нт}} \eta_{\text{п}}} - \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нт}} \eta_{\text{п}}} = \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{нт}} \eta_{\text{п}}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{тс}}} - \frac{1}{\eta_{\text{тс}}^{\text{у}}} \right)$$

Пример 2.9

Разница в годовом расходе топлива на источнике при уменьшении потерь в сети составит, **нм^3/год**

$$\Delta B_{\text{т}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{пол}}\tau}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}\eta_{\text{и}}^{\text{нт}}\eta_{\text{п}}} - \frac{Q_{\text{пол}}\tau}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}\eta_{\text{и}}^{\text{нт}}\eta_{\text{п}}} = \frac{Q_{\text{пол}}\tau}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}\eta_{\text{и}}^{\text{нт}}\eta_{\text{п}}}\left(\frac{1}{\eta_{\text{тс}}} - \frac{1}{\eta_{\text{тс}}^{\text{у}}}\right)$$

$$\Delta B_{\text{т}}^{\text{год}} = \frac{1\cdot 10^6 \cdot 5000}{8353\cdot 0,8\cdot 0,9}\left(\frac{1}{0,85} - \frac{1}{0,9}\right) = 54338$$

Полезная тепловая нагрузка потребителя составляет 1 Гкал/ч=10^6 ккал/ч. КПД нетто источника тепловой энергии $\eta_{\text{и}}$=0,8, $\eta_{\text{п}}$=0,9, $\eta_{\text{тс}}$=0,85 (после энергосберегающих мероприятий $\eta_{\text{тс}}$=0,9)

Пример 2.9

Разница в годовом расходе условного топлива на источнике при уменьшении потерь в сети составит, **т у. т./год**

$$\Delta B_{\text{у.т}}^{\text{год}} = \Delta B_{\text{т}}^{\text{год}} \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{7000} = \frac{Q_{\text{пол}} \tau \cdot 10^{-3}}{7000 \eta_{\text{и}}^{\text{нт}} \eta_{\text{п}}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{тс}}} - \frac{1}{\eta_{\text{тс}}^{\text{у}}} \right)$$

$$\Delta B_{\text{т}}^{\text{год}} = \frac{1 \cdot 10^{6} \cdot 5000 \cdot 10^{-3}}{7000 \cdot 0,8 \cdot 0,9} \left(\frac{1}{0,85} - \frac{1}{0,9} \right) = 64,84$$

Полезная тепловая нагрузка потребителя составляет 1 Гкал/ч=10^6 ккал/ч. КПД нетто источника тепловой энергии $\eta_{и}$=0,8, $\eta_{п}$=0,9, $\eta_{тс}$=0,85 (после энергосберегающих мероприятий $\eta_{тс}$=0,9)

Контрольные вопросы

- 1.