

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 Коэффициент 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 м³ 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/м³, ккал/кг, ккал/м³**
- Максимальное количество теплоты, которое можно получить в результате химической реакции горения топлива, называют **высшей теплотой сгорания топлива** .

Q_B^p

- **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_H^p

- 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).

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

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

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:

$$M_{yi} = M_{ni} Q_{ni}^p / 29,33$$

2.1

$$M_{yi} = M_{ni} Q_{ni}^p / 7000$$

2.2

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

M_{ni} — масса топлива, кг

Q_{ni}^p — 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_{Hi}^p **МДж/кг**
или **ккал/кг**

$$B_{yi} = B_{Hi} Q_{Hi}^p / 29,33$$

2.3

$$B_{yi} = B_{Hi} Q_{Hi}^p / 7000$$

2.4

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

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

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

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

$$B_{yi} = L_{Hi} Q_{Hi}^p / 29,33$$

2.5

$$B_{yi} = L_{Hi} Q_{Hi}^p / 7000$$

2.6

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

L_{Hi} - **объемный расход** i -го вида натурального газообразного топлива, **нм³/период**;

Q_{Hi}^p - теплота сгорания, **МДж/нм³** или **ккал/нм³**, 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 ($p = 760 \text{ мм рт. ст.}, t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$), т.е. на **1 нм³**.
- В ряде случаев расчет теплоты сгорания газового топлива ведется на 1 м^3 при других условиях: $p = 760 \text{ мм рт. ст.}, t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. В этом случае низшая теплота сгорания

$$Q_{\text{H}(t=0^\circ\text{C})}^{\text{P}} = Q_{\text{H}(t=0^\circ\text{C})}^{\text{P}} \frac{273,15 + 20}{273,15}$$

Q_{Hi}^{P}  **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

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

2.7

- приняв КПД источника равным $\eta=1$, а $Q=1$ Гкал

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

Q – количество выработанной источником тепловой энергии, Дж или кал

Теоретический эквивалент тепловой энергии в условном топливе

$$\Gamma_{\text{кал}} = 10^9 \text{ кал} \Rightarrow b_Q = \frac{10^9 \text{ кал}}{7000 \text{ кг у.т.}} = 142,86 \text{ кг у.т.} \approx 143 \text{ кг у.т.}$$

$$\Gamma_{\text{кал}} = 10^9 \text{ кал} \Rightarrow b_Q = \frac{10^9 \text{ кал}}{4190 \text{ Дж/кг у.т.}} \cdot \frac{10^9 \text{ кал} \cdot 4,19 \text{ Дж/кал}}{29,33 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг у.т.}} =$$

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

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

$$\Gamma_{\text{кал}} = 142,86 \text{ кг у.т.} \approx 143 \text{ кг у.т.}$$

2.5 Теоретический эквивалент электрической энергии в условном топливе

- Эквивалент электрической энергии в условном топливе можно представить как

$$b_{\text{Э}} = \frac{\text{Э}}{Q_{\text{ут}} \cdot \eta_{\text{Э}}} \quad \boxed{2.8}$$

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

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

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

Теоретический эквивалент электрической энергии в условном топливе

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

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

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

$$\text{кВт} \cdot \text{ч} \quad 122,74 \text{ г у.т.} \quad \cdot 0,123 \text{ кг у.т.} \quad \cdot$$

$$\text{кВт} \cdot \text{ч} \quad 122,74 \text{ г у.т.} \quad \cdot 123 \text{ кг у.т.} \quad \cdot$$

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.**

$$b^{\text{ср}} = \frac{\sum_i b_i N_i}{\sum_i N_i}$$
$$b_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{ут}} \cdot \eta_{\text{Hi}}}$$
$$b^{\text{ср}} = \frac{\sum_i \frac{Q_i}{Q_{\text{ут}} \eta_{\text{Hi}}} N_i}{\sum_i N_i}$$

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.

$$b^{\text{ср}} = \frac{\sum_i \frac{\mathcal{E}_i}{Q_{\text{ут}} \eta_{\text{бi}}} N_i}{\sum_i N_i}$$

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 $b_{\mathcal{E}} = 0,3445$ т условного топлива, а 1 Гкал теплоты соответствует $b_Q = 0,1486$ кг условного топлива

$$b_{\mathcal{E}} = 0,3445 \text{ т у. т. /1000 кВт ч} \quad b_Q = 0,14286 \text{ т у. т. /Гкал}$$

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.

$$M_Q = b_Q Q$$

$$M_{\mathcal{E}} = b_{\mathcal{E}}$$

$M_Q M_{\mathcal{E}}$ — массовые эквиваленты теплоты и электрической энергии в условном топливе, т у. т.;

Q, \mathcal{E} — теплота, Гкал, и электрическая энергия, тыс. кВт·ч;

$b_Q b_{\mathcal{E}}$ — 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

$$1 \text{ Гкал} = 10^9 \text{ ккал}$$

$$1 \text{ ккал} = 4,19 \text{ Дж} \Rightarrow 1 \text{ Гкал} = 4,19 \text{ ГДж}$$

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

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

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

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

$$1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = \frac{1}{1,1639} \text{ Гкал} = 0,8592 \text{ Гкал}$$

$$1000 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = \frac{4,19}{1,1639} \text{ ГДж} = 3,6 \text{ ГДж}$$

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**Топливо-энергетический ресурс****Эквивалент в
тоннах
первичного
условного
топлива****1 т энергетического угля (с низшей теплотой сгорания 18,5****0,655****МДж/кг)
1 т мазута (с низшей теплотой сгорания 38,7 МДж/кг)****1,46****1 тыс. м природного газа (с низшей теплотой сгорания 34****1,35****МДж/кг)
1 т у.т. бензина и дизельного топлива****1,87****(с низшей теплотой сгорания 42,5 МДж/кг)****1 Гкал тепловой энергии, расходуемой в коммунально-бытовом сек-****0,199****торе****1 Гкал тепловой энергии при производстве в местных котельных****0,237****печах****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

$$L_r = 20 \cdot 10^6 \text{ м}^3$$

$$B_m = 1,2 \cdot 10^3 \text{ т}$$

$$B_y = 90 \cdot 10^3 \text{ т}$$

$$Q_{\text{НГ}}^p = 7950 \text{ ккал/м}^3$$

$$Q_{\text{НМ}}^p = 10\,000 \text{ ккал/кг}$$

$$Q_{\text{НУ}}^p = 4500 \text{ ккал/кг}$$

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:

$$\begin{aligned} B_{\Sigma} &= L_{\Gamma} \frac{Q_{\text{нб}}^{\text{р}}}{7000} + M \frac{Q_{\text{нм}}^{\text{р}}}{7000} + Y \frac{Q_{\text{ну}}^{\text{р}}}{7000} = \\ &= 20 \cdot 10^6 \frac{7950}{7000} + 1,2 \cdot 10^6 \frac{10000}{7000} + 90 \cdot 10^6 \frac{4500}{7000} = \\ &= 22,70 \cdot 10^6 + 1,71 \cdot 10^6 + 55,85 \cdot 10^6 = 82,30 \cdot 10^6 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} B_{\Sigma}^{\text{п.т.}} &= 22,7 \cdot 10^6 \cdot 1,167 + 1,71 \cdot 10^6 \cdot 1,107 + 57,85 \cdot 10^6 \cdot 1,065 = \\ &= 26,5 \cdot 10^6 + 1,9 \cdot 10^6 + 61,6 \cdot 10^6 = 90 \cdot 10^6 \text{ кг п.у.т.} \end{aligned}$$

2.9 Калькулятор перевода расхода натурального топлива в расход условного топлива

		В	Q _{рн} , МДж/кг (нм ³)	Q _{ут} , МДж/кг у.т.	в _о , т у.т./Гкал	бэ, т у.т./1000кВт ч	В _у , 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	нм ³	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	$B_{нi}$	$Q_{нi}$, МДж/кг(нм3)	$Q_{уt}$, МДж/кг у.т.	b_Q , т у.т./Гкал	$b_{Э}$, т у.т./1000 кВт ч	$B_{у}$, т у.т.
Уголь	т	10	20	29,33			6,819
Пеллеты	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

$$B_{yi} = B_{ни} Q_{ни}^p / 29,33$$

$$B_{yi} = L_{ни} Q_{ни}^p \cdot 10^{-3} / 29,33$$

$$B_Q = b_Q Q$$

$$B_{Э} = b_{Э} \mathcal{E} \cdot 10^{-3}$$

Калькулятор перевода расхода натурального топлива в расход условного топлива

	Размерность	$V_{нi}$	$Q_{рн},$ ккал/кг(нм ³)	$Q_{уT},$ ккал/кг у.т.	$b_Q,$ т у.т./Гкал	$b_{Э},$ т у.т./1000кВт ч	$B_{у},$ 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	нм ³	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

$$B_{yi} = L_{Hi} Q_{Hi}^p \cdot 10^{-3} / 7000$$

$$B_{yi} = B_{Hi} Q_{Hi}^p / 7000$$

$$B_Q = b_Q Q$$

$$B_{Э} = b_{Э} Э \cdot 10^{-3}$$

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 м³ природного газа ($Q_{рн} = 33,33$ МДж/м³).
- Если перевести эти расходы на условное топливо, **кг у.т.**, получим

$$B_{уу} = B_y \frac{Q_{ну}^p}{29,33} = 1,586 \cdot 10^3 \frac{18,5}{29,33} = 1000,4$$

$$B_{уг} = L_T \frac{Q_{нг}^p}{29,33} = 880 \frac{33,33}{29,33} = 1000,0.$$

- 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, используя 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, используя коэффициенты пересчета из табл. 2. Затраты составят соответственно, **т п.у.т**:

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

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

Рассчитаем затраты в первичном условном топливе, используя 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 время как в табл. 1 приведены данные для указанных значений теплоты сгорания.

Пример 2.4 для самостоятельного решения

	Размерность	B_{Hi}	Q_{Hi} , МДж/кг(нм3)	Q_{yT} , МДж/кг у.т.	b_Q , т у.т./Гкал	$b_{Э}$, т у.т./1000кВт ч	B_y , т у.т.
Уголь	т	10	20	29,33			6,819
Пеллеты	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

$$B_{yi} = B_{Hi} Q_{Hi}^p / 29,33$$

$$B_{yi} = L_{Hi} Q_{Hi}^p \cdot 10^{-3} / 29,33$$

$$B_Q = b_Q Q$$

$$B_{Э} = b_{Э} Э \cdot 10^{-3}$$

Промышленное предприятие потребляет в год $5 \cdot 10^5$ нм³ природного газа ($Q_{Hi}=35$ МДж/нм³), 5 т дизельного топлива ($Q_{Hi}=40$ МДж/кг), 10^6 кВт · 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

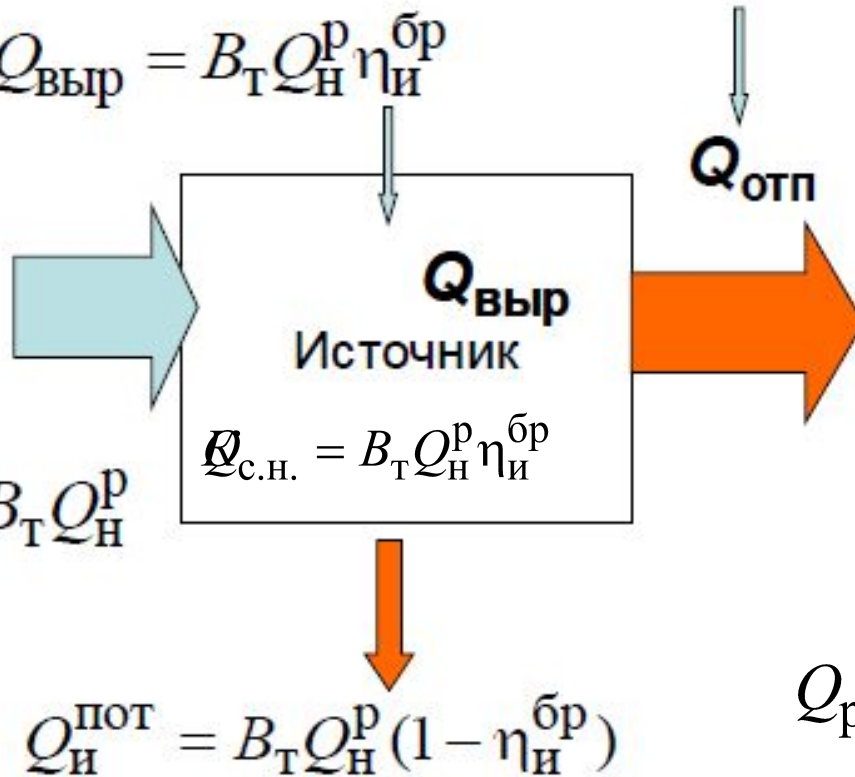
2.10 Тепловые балансы системы теплоснабжения, источника тепловой энергии, тепловой сети

- 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)

$$Q_{\text{отп}} = B_T Q_{\text{H}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{нетто}}$$

$$Q_{\text{выр}} = B_T Q_{\text{H}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{бр}}$$



$$Q_{\text{расп}} = B_T Q_{\text{H}}^{\text{р}}$$

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

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

$$Q_{\text{И}}^{\text{пот}} = B_T Q_{\text{H}}^{\text{р}} (1 - \eta_{\text{И}}^{\text{бр}})$$

Тепловой баланс котельной. КПД брутто

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

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

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

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

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

Тепловой баланс котельной. КПД нетто

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

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

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

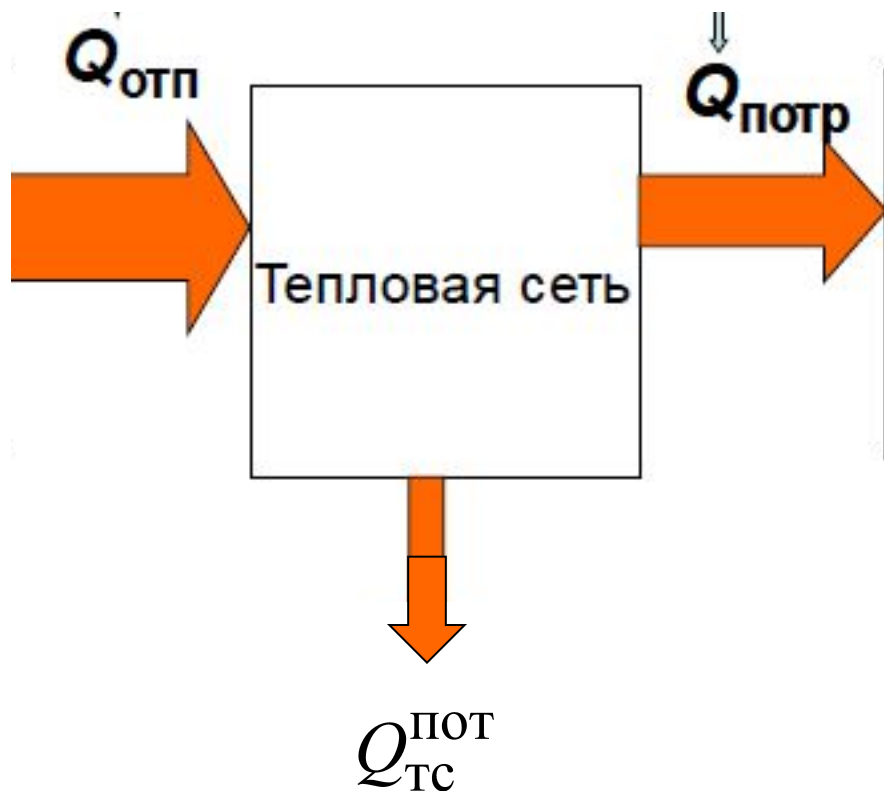
$$Q_{\text{выр}} = Q_{\text{расп}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}} = B_{\text{т}} Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{и}}^{\text{бр}}$$

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

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

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

Баланс тепловой сети



$$Q_{отп} = Q_{потр} + Q_{ТС}^{пот}$$

$$Q_{потр} = Q_{отп} - Q_{ТС}^{пот}$$

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

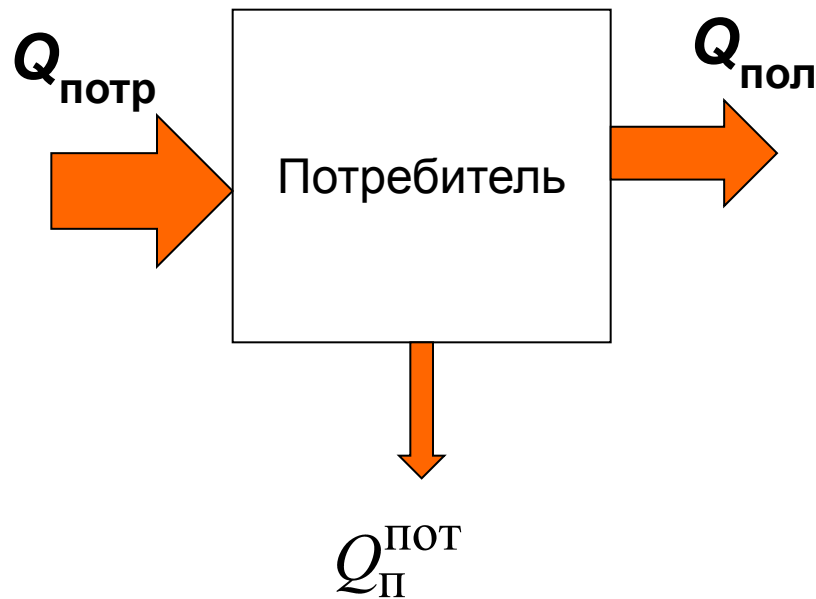
$$Q_{потр} = Q_{отп} \eta_{ТС}$$

$$Q_{отп} = B_T Q_H^p \eta_{и}^{нетто}$$

$$Q_{потр} = B_T Q_H^p \eta_{и}^{нетто} \eta_{ТС}$$

$$Q_{ТС}^{пот} = B_T Q_H^p \eta_{и}^{нетто} (1 - \eta_{ТС})$$

Тепловой баланс потребителя



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

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

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

$$Q_{\text{потр}} = B_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{ТС}}$$

$$Q_{\text{пол}} = B_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{ТС}} \eta_{\text{П}}$$

$$Q_{\text{П}}^{\text{пот}} = B_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{ТС}} (1 - \eta_{\text{П}})$$

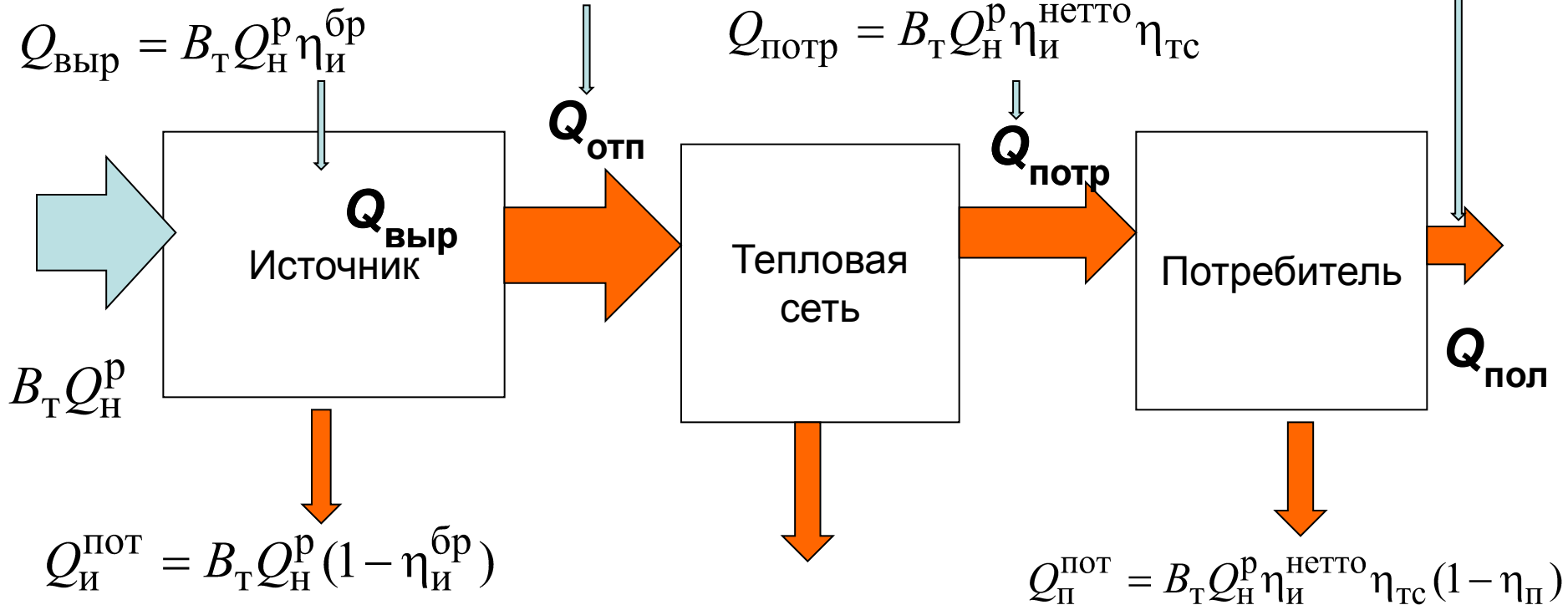
Тепловой баланс системы теплоснабжения

$$Q_{\text{отп}} = B_T Q_H^p \eta_{\text{И}}^{\text{нетто}}$$

$$Q_{\text{пол}} = B_T Q_H^p \eta_{\text{И}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{ТС}} \eta_{\text{П}}$$

$$Q_{\text{выр}} = B_T Q_H^p \eta_{\text{И}}^{\text{бр}}$$

$$Q_{\text{потр}} = B_T Q_H^p \eta_{\text{И}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{ТС}}$$



$$Q_{\text{И}}^{\text{пот}} = B_T Q_H^p (1 - \eta_{\text{И}}^{\text{бр}})$$

$$Q_{\text{П}}^{\text{пот}} = B_T Q_H^p \eta_{\text{И}}^{\text{нетто}} \eta_{\text{ТС}} (1 - \eta_{\text{П}})$$

$$Q_{\text{ТС}}^{\text{пот}} = B_T Q_H^p \eta_{\text{И}}^{\text{нетто}} (1 - \eta_{\text{ТС}})$$

$$Q_T = Q_{\text{с.н.}} + Q_{\text{пол}} + (Q_{\text{И}}^{\text{пот}} + Q_{\text{ТС}}^{\text{пот}} + Q_{\text{П}}^{\text{пот}})$$

Тепловой баланс системы теплоснабжения

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

$$Q_{с.н.} = B_T Q_H^p \eta_{и}^{бр}$$

$$Q_{пол} = B_T Q_H^p \eta_{и}^{нетто} \eta_{тс} \eta_{п}$$

$$Q_{и}^{пот} = B_T Q_H^p (1 - \eta_{и}^{бр})$$

$$Q_{п}^{пот} = B_T Q_H^p \eta_{и}^{нетто} \eta_{тс} (1 - \eta_{п})$$

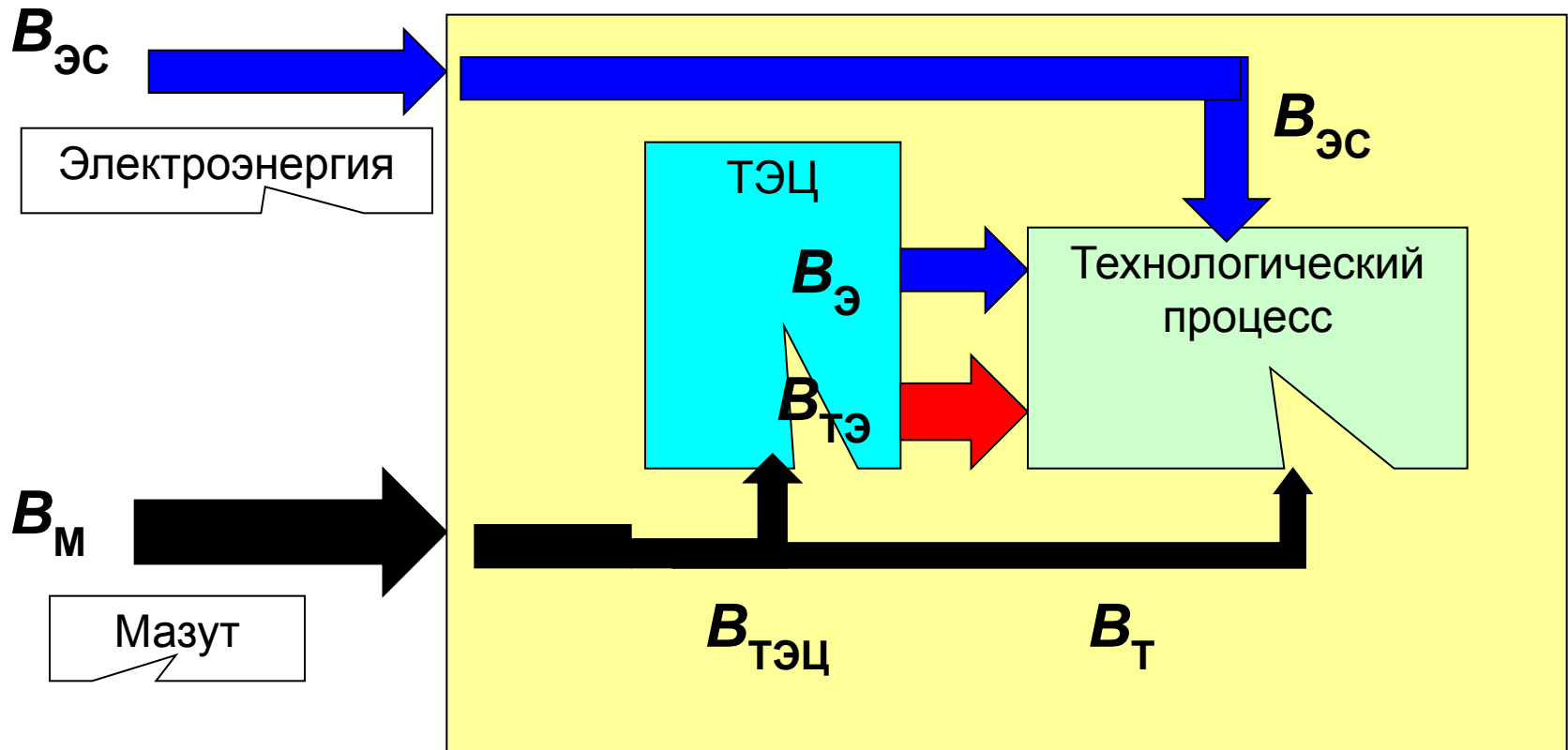
$$Q_{тс}^{пот} = B_T Q_H^p \eta_{и}^{нетто} (1 - \eta_{тс})$$

$$B_T Q_H^p = B_T Q_H^p \left[\eta_{и}^{бр} K + \eta_{и}^{бр} \eta_{тс} \eta_{п} (1 - K) + (1 - \eta_{и}^{бр}) + \right. \\ \left. + \eta_{и}^{бр} (1 - \eta_{тс}) (1 - K) + \eta_{и}^{бр} \eta_{тс} (1 - \eta_{п}) (1 - K) \right]$$

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

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

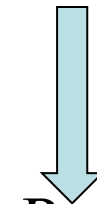
$$B_{\text{прих}} = B_{\text{ЭС}} + B_{\text{М}}$$

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

$$B_{\text{расх}} = B_{\text{ЭС}} + (B_{\text{T}} + B_{\text{Э}} + B_{\text{TЭ}})$$

Энергетический баланс, т у.т./год

$$B_{\text{ЭС}} + B_{\text{М}} = B_{\text{ЭС}} + B_{\text{T}} + B_{\text{Э}} + B_{\text{TЭ}}$$



$$B_{\text{М}} = B_{\text{T}} + B_{\text{Э}} + B_{\text{TЭ}}$$

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

**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

$$B_M = B_T + B_{\text{Э}} + B_{T\text{Э}}$$

$$B_T = B_{MT} \frac{Q_{\text{н.м}}^p}{Q_{\text{ут}}} = 400 \frac{12100}{7000} = 691,1$$

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

$$B_{T\text{Э}} = b_{Q.T\text{ЭЦ}} Q = 160 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^3$$

$$B_{\text{ЭС}} = b_Q \text{Э}_C \cdot 10^{-3} = 0,3445 \cdot 80 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} = 27,56 \cdot 10^3$$

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

$$B_{MT} = 400 \cdot \quad Q_{\text{н.м}}^p = 12100 \text{ кг}$$

$$b_{Q.T\text{ЭЦ}} = 160 \text{ т./Гкал}$$

$$b_{\text{Э.ТЭЦ}} = 0,320 / \text{кВт} \cdot \text{ч}$$

$$b_Q = 0,3445 / 1000 \text{ кВт}$$

Т · у.т./ГОД

К примеру 2.5

Поступление

$$B_M = B_T \frac{Q_H^p}{Q_{YT}} + B_{TЭ} \frac{Q_H^p}{Q_{YT}} + \dots + B_{ЭЭ} \frac{Q_H^p}{Q_{YT}} =$$

$$= B_T \frac{Q_H^p}{Q_{YT}} + \left[B_{TЭ} \frac{Q_H^p \eta_{TЭ}^{бр}}{Q_{YT}} + B_{TЭ} \frac{Q_H^p (1 - \eta_{TЭ}^{бр})}{Q_{YT}} \right] + \left[B_{ЭЭ} \frac{Q_H^p \eta_{ЭЭ}^{бр}}{Q_{YT}} + \dots + B_{ЭЭ} \frac{Q_H^p (1 - \eta_{ЭЭ}^{бр})}{Q_{YT}} \right]$$

$$\eta_{TЭ}^{бр} = \frac{b_{QЭЦ}}{b_Q^T}$$

$$\eta_{ЭЭ}^{бр} = \frac{b_{Э.ТЭЦ}}{b_{Э}^T}$$

Расход

$$B_M = B_T \frac{Q_{H,M}^p}{Q_{YT}} + b_{Э.ТЭЦ} Э + b_{Q.ТЭЦ} Q$$

$$b_{Э}^T = \frac{1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}}{Q_{YT} \cdot 1} = 0,123 \text{ г у.т.}$$

$$b_Q^T = 0,143 \text{ т у.т./Гкал}$$

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

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

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

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

$\eta_{\text{к}}^{\text{бр}}$ 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 $Q_{\text{выр}}$, на удельную норму расхода условного топлива для выработки 1 ГДж (Гкал) теплоты

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

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

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

2.13 Выработка, отпуск тепловой энергии источником и КПД источника

$$\eta_{\text{И}}^{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{выпр}}}{B_{\text{T}} Q_{\text{Н}}^{\text{р}}} \iff Q_{\text{выпр}} = B_{\text{T}} Q_{\text{Н}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{бр}} \diamond B_{\text{T}} = \frac{Q_{\text{выпр}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{бр}}}$$

$$\eta_{\text{И}}^{\text{нт}} = \frac{Q_{\text{отп}}}{B_{\text{T}} Q_{\text{Н}}^{\text{р}}} \iff Q_{\text{отп}} = B_{\text{T}} Q_{\text{Н}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{нт}} \diamond B_{\text{T}} = \frac{Q_{\text{отп}}}{Q_{\text{Н}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{нт}}}$$

$$\eta_{\text{T}}^{\text{бр}} = \frac{b_{\text{Q}}^{\text{T}}}{b_{\text{выпр}}}$$

$b_{\text{выпр}} = \frac{142,86}{\eta_{\text{И}}^{\text{бр}}}$

← **кг у.т./Гкал**

$b_{\text{выпр}} = \frac{34,12}{\eta_{\text{И}}^{\text{бр}}}$

← **кг у.т./ГДЖ**

$$\eta_{\text{T}}^{\text{нт}} = \frac{b_{\text{Q}}^{\text{T}}}{b_{\text{отп}}}$$

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

← **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

$$\eta_{\text{Э}}^{\text{бр}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{выр}}}{B_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{р}}} \quad \longleftrightarrow \quad \mathcal{E}_{\text{выр}} = B_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{бр}} \quad \longleftrightarrow \quad B_{\text{T}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{выр}}}{Q_{\text{H}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{бр}}}$$

$$\eta_{\text{И}}^{\text{нт}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{отп}}}{B_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{р}}} \quad \longleftrightarrow \quad \mathcal{E}_{\text{отп}} = B_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{нт}} \quad \diamond \quad B_{\text{T}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{отп}}}{Q_{\text{H}}^{\text{р}} \eta_{\text{И}}^{\text{нт}}}$$

$$\eta_{\text{Э}}^{\text{бр}} = \frac{b_{\text{Э}}^{\text{T}}}{b_{\text{выр}}} \quad \left\langle \begin{array}{l} b_{\text{выр}} = \frac{122,74}{\eta_{\text{Э}}^{\text{бр}}} \end{array} \right. \quad \leftarrow \quad \text{кг у.т./10}^3 \text{ кВт ч}$$

$$\eta_{\text{Э}}^{\text{нт}} = \frac{b_{\text{Э}}^{\text{T}}}{b_{\text{отп}}} \quad \left\langle \begin{array}{l} b_{\text{отп}} = \frac{122,74}{\eta_{\text{Э}}^{\text{нт}}} \end{array} \right. \quad \leftarrow \quad \text{кг у.т./10}^3 \text{ кВт ч}$$

Пример 2.6

Пример 3.2. Определить удельный расход натурального топлива — природного газа с низшей рабочей теплотой сгорания $Q_H^p = 8100$ ккал/м³ и условного топлива на выработку $Q_{\text{выр}} = 1$ Гкал тепловой энергии, если известно, что КПД котельной установки $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = 0,90$.

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

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

Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепловой энергии

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

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 $137 \text{ м}^3/\text{Гкал}$. Низшая рабочая теплота сгорания мазута 9500 ккал/кг, природного газа — 8100 ккал/м³.

Решение. Переводим годовой расход мазута в условное топливо:

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

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

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

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)

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

При работе на природном газе КПД котельной (брутто)

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

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 $Q_{\text{H}}^{\text{P}} = 8100$ ккал/нм³

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

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

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

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

Расход природного газа на ТЭЦ на отпуск электрической энергии равен 2976000 нм³.

Количество располагаемой предприятием энергии в условном топливе:

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

Пример 2.9

- Полезная тепловая нагрузка потребителя составляет 1 Гкал/ч. КПД нетто источника тепловой энергии $\eta_{\text{н}}=0,8$. Для выработки тепловой энергии на источнике используется природный газ с рабочей низшей теплотой сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}=8353$ ккал/нм³.
- 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

$$Q_{\text{пол}} = B_{\text{T}} Q_{\text{H}}^{\text{P}} \eta_{\text{И}}^{\text{HT}} \eta_{\text{ТС}} \eta_{\text{П}} \quad \leftarrow \quad \text{Полезная нагрузка потребителя}$$

$$B_{\text{T}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} \eta_{\text{И}}^{\text{HT}} \eta_{\text{ТС}} \eta_{\text{П}}} \quad \leftarrow \quad \text{Часовой расход топлива в нм}^3/\text{ч}$$

$$B_{\text{T}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} \eta_{\text{И}}^{\text{HT}} \eta_{\text{ТС}} \eta_{\text{П}}} \quad \leftarrow \quad \text{Годовой расход топлива нм}^3/\text{год} \\ \text{при существующих потерях в сети}$$

$$B_{\text{T}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} \eta_{\text{И}}^{\text{HT}} \eta_{\text{ТС}}^{\text{У}} \eta_{\text{П}}} \quad \leftarrow \quad \text{Годовой расход топлива нм}^3/\text{год} \\ \text{при сниженных потерях в сети}$$

$$\Delta B_{\text{T}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} \eta_{\text{И}}^{\text{HT}} \eta_{\text{П}}} - \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} \eta_{\text{И}}^{\text{HT}} \eta_{\text{П}}} = \frac{Q_{\text{пол}} \tau}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} \eta_{\text{И}}^{\text{HT}} \eta_{\text{П}}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{ТС}}} - \frac{1}{\eta_{\text{ТС}}^{\text{У}}} \right)$$

Пример 2.9

Разница в годовом расходе топлива на источнике при уменьшении потерь в сети составит, **нм³/год**

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

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

Полезная тепловая нагрузка потребителя составляет 1 Гкал/ч = 10⁶ 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 $\eta_{\text{и}} = 0,8$, $\eta_{\text{п}} = 0,9$, $\eta_{\text{тс}} = 0,85$ (после энергосберегающих мероприятий $\eta_{\text{тс}} = 0,9$)

Контрольные вопросы

- 1.