

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

**Ю. А. Степанишина**

## **ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**ПРАКТИКУМ**

**по одноименному курсу**

**для студентов специальностей**

**1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»**

**и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация**

**энергооборудования организаций»**

**дневной и заочной форм обучения**

**Гомель 2017**

УДК 621.311.017(075.8)  
ББК 31.190.7я73  
С79

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 1 от 27.09.2016 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук *А. О. Добродей*

**Степанишина, Ю. А.**

С79 Основы энергосбережения : практикум по одному курсу для студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / Ю. А. Степанишина. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 33 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Практикум позволит студентам овладеть методикой технико-экономического обоснования внедрения энергоэффективных мероприятий, ознакомиться с основными направлениями в сфере энергосбережения и научиться оценивать экономию топливно-энергетических ресурсов.

Для практической подготовки студентов специальностей 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.311.017(075.8)  
ББК 31.190.7я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2017

### Задание 1. Определение годового расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение зданий

Выполнить расчет расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение зданий, используя данные таблицы 1.1. Номер варианта исходных данных определяется как сумма двух последних цифр номера зачетной книжки.

Таблица 1.1

#### Исходные данные

Вариант	Вид здания	Объем здания по наружному обмеру $V_{зд}$ , тыс.м <sup>3</sup>	Область*	Единица измерения, $N$	Время работы вентиляции и использования горячей воды $n_{в}$ , ч/сут; $T_{г.в}$ , сут/год
0	Пансионат с душами во всех отдельных номерах	3	В	85 проживающих	0; 350
1	Больница инфекционная детская	4	Гр	80 койкомест	10; 350
2	Поликлиника детская	6	В	35 больных в смену	8; 207
3	Общежитие с душевыми при всех жилых комнатах	1,5	Б	160 жителей	0; 350
4	Детские ясли-сад с дневным пребыванием детей со столовыми, работающими на полуфабрикатах	1	Г	60 детей	6; 350
5	Административное здание	5	М	26 человек	8; 202
6	Промтоварный магазин	0,2	В	5 работающих в смену	5; 207
7	Гостиница с общими ванными и душами	6	Мг	150 проживающих	0; 350
8	Кинотеатр	1	Мг	400 мест	6; 204

Продолжение табл. 1.1.

9	Общежитие с душевыми с групповой установкой со смесителями	2	М	90 жителей	0; 350
* Б – Брестская, В – Витебская, Г – Гомельская, Гр - Гродненская, М – Минская, МГ – Могилевская.					

### Методические указания для выполнения задания 1.

При отоплении зданий тепловая энергия расходуется на возмещение потерь через наружные ограждения и теплопотерь с инфильтрацией (проникновение наружного воздуха через неплотности в конструкциях и периодически открываемые двери).

Годовой расход тепловой энергии на отопление здания определить по формуле (1.1).

$$Q_{от} = V_{зд} \cdot T_{от} \cdot 24 \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot q_{от} \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал (1.1)}$$

где  $V_{зд}$  - объём здания по наружному обмеру,  $\text{м}^3$ ;  $T_{от}$  - продолжительность отопительного периода, сут; принимается по таблице 1.2;  $t_{вн}$  - внутренняя температура в помещении в зависимости от его назначения,  $^{\circ}\text{C}$ ; принимается по таблице 1.3;  $t_{н}$  - средняя наружная температура воздуха за отопительный период,  $^{\circ}\text{C}$ ; принимается по таблице 1.2;  $q_{от}$  - удельная тепловая отопительная характеристика здания,  $\text{ккал}/(\text{ч} \cdot \text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ; принимается по таблице 1.4.

Таблица 1.2

Область	Средняя температура наружного воздуха $t_{н}, ^{\circ}\text{C}$	Продолжительность отопительного периода $T_{от}, \text{сут}$
Брестская	0,2	187
Витебская	-2	207
Гомельская	-1,6	194
Гродненская	-0,5	194
Минская	-1,6	202
Могилевская	-1,9	204

Годовой расход тепловой энергии на вентиляцию зданий определить по формуле (1.2).

$$Q_B = V_{зд} \cdot T_B \cdot n_B \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot q_B \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал (1.2)}$$

где  $T_B = T_{от}$  - количество дней работы системы вентиляции за год, сут;  $n_B$  - число часов работы вентиляции за сутки, ч/сут;  $q_B$  - удельная тепловая вентиляционная характеристика здания, ккал/(ч·м<sup>3</sup>·°С); принимается по таблице 1.4.

Таблица 1.3

Здания, помещения	Температура воздуха внутри помещения, $t_{вн}$ , °С
Жилые здания	18
Общественные здания (кроме дошкольных и детских лечебных учреждений, помещений с влажным и мокрым режимами)	18
Здания дошкольных и детских лечебных учреждений	21
Административные и бытовые здания	18

Таблица 1.4

Наименование здания	Объем здания по наружному обмеру, $V_{зд}$ , тыс.м <sup>3</sup>	Удельные тепловые характеристики, ккал/(м <sup>3</sup> ·ч·°С)	
		для отопления $q_{от}$	для вентиляции $q_B$
Многоэтажные жилые здания, гостиницы, общежития	до 3	0,42	-
	5	0,38	-
	10	0,33	-
Административные здания	до 5	0,43	0,086
	10	0,38	0,08
Кинотеатр	до 5	0,37	0,43
	10	0,32	0,39
Магазин	до 10	0,33	0,08
Детские сады, ясли	до 5	0,42	0,11
	свыше 5	0,37	0,1
Поликлиники, больницы	до 5	0,4	0,29
	10	0,36	0,28

Годовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение определить по формуле (1.3).

$$Q_{г.в} = c \cdot T_{г.в} \cdot N \cdot n \cdot (t_{г.в} - t_{х.в}) \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал (1.3)}$$

где  $c = 1$  - теплоёмкость воды, ккал/(кг·°С);  $T_{г.в}$  - продолжительность использования горячей воды, сут/год;  $N$  - показатель, на который устанавливается норматив водопотребления (количество человек, душевых, оборудования и т.д.);  $n$  - норма расхода горячей воды, л/сут; принимается по таблице 1.5;  $t_{г.в} = 55$  °С – нормативное значение температуры горячей воды;  $t_{х.в}$  - нормативное значение температуры холодной воды (в зимнее время принимается равной 5°С, в летний период - 15°С).

Таблица 1.5

Потребитель	Единица измерения	Норма расхода горячей воды, л/сут
Общежития:		
- с душами при всех жилых комнатах	1 житель	60
-душ с групповой установкой со смесителями	1 житель	270
Гостиницы, пансионаты и мотели:		
- с общими ваннами и душами	1 житель	70
- с душами во всех отдельных номерах	1 житель	140
Больницы:		
- с общими ванными и душами	1 койка	75
- инфекционные	1 койка	100
Поликлиника и амбулатории	1 больной в смену	6
Детские ясли-сады с дневным пребыванием детей:		
- со столовыми, работающими на полуфабрикатах	1 ребенок	11,5
- с прачечными, оборудованными автоматическими стиральными машинами	1 ребенок	25
Административные здания	1 работник	5
Магазины:		
- продовольственные	1 работающий в смену	65
- промтоварные		5
Кинотеатр	1 место	1,5

## Задание 2. Модернизация котельного оборудования с целью повышения КПД котла

Определить количество теплоты, отводимое уходящими газами водяному экономайзеру (утилизатору) в котельной завода, для получения горячей воды, если температура газов на выходе из экономайзера  $t_{\text{вых}}^{\Gamma}$ , °С, температура газов на входе в экономайзер  $t_{\text{вх}}^{\Gamma}$ , °С, коэффициент избытка воздуха за экономайзером  $b_{\text{ЭК}}$ , расчетный расход топлива одного котла  $V_p$ , кг/с. В котельной установлены  $n$  одинаковых котлов, работающих на каменном угле. Коэффициент избытка воздуха в топке котла  $b_T$ . Численные значения исходных и дополнительных данных приведены в таблицах 2.1-2.3.

Таблица 2.1

### Характеристика топлива

Бассейн, марка	Состав рабочей массы топлива, %							Низшая теплота сгорания, МДж/кг	
	W <sup>p</sup>	A <sup>p</sup>	S <sup>p</sup>	C <sup>p</sup>	H <sup>p</sup>	N <sup>p</sup>	O <sup>p</sup>		
Донецкий	Д	13,0	27,8	2,9	44,1	3,3	0,9	8,0	17,25
	Г	10,0	28,4	3,0	48,3	3,4	0,9	5,6	18,92
	Ж	6,0	30,1	2,5	53,4	3,3	1,0	3,7	21,14
	Т	6,0	32,0	2,2	55,2	2,5	1,0	1,1	20,60
	А	8,5	34,8	1,5	52,2	1,0	0,5	1,5	18,23
Кузнецкий	Д	11,5	15,9	0,4	56,4	4,0	1,9	9,9	21,90
	Г	8,5	16,9	0,4	60,1	4,2	2,0	7,9	23,57
	Т	7,0	14,6	0,5	70,2	3,0	1,7	3,0	25,12
Кизеловский	Ж	6,0	32,0	5,3	48,6	3,5	0,6	4,0	19,68
	Г	7,5	37,9	4,3	41,5	3,2	0,5	5,1	16,71

Таблица 2.2

Средняя теплоёмкость продуктов сгорания при постоянном давлении, отнесенная к единице объёма, кДж/(м<sup>3</sup>·°С)

t, °С	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Воздух
100	1,3176	1,3004	1,7003	1,5052	1,3004
200	1,3352	1,3038	1,7873	1,5223	1,3071
300	1,3561	1,3109	1,8027	1,5424	1,3172

400	1,3775	1,3205	1,9207	1,5654	1,3289
-----	--------	--------	--------	--------	--------

Таблица 2.3

**Исходные данные**

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Предпоследняя цифра шифра										
Бассейн, марка	Донецкий, Д	Донецкий, Г	Донецкий, Ж	Донецкий, Т	Донецкий, А	Кузнецкий, Д	Кузнецкий, Г	Кузнецкий, Т	Кизеловский, Ж	Кизеловский, Г
Количество котлов, $n$	2	3	4	3	2	4	2	3	4	2
Коэффициент избытка воздуха в топке котла $b_T$	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,4	1,35	1,3	1,25	1,2
Последняя цифра шифра										
Температура газов на входе в экономайзер $t_{вх}^Г, ^\circ C$	320	325	330	335	340	345	350	360	370	380
Температура газов на выходе из экономайзера $t_{вых}^Г, ^\circ C$	170	175	178	180	183	185	190	200	210	220
Коэффициент избытка воздуха за экономайзером $b_{ЭК}$	1,62	1,6	1,58	1,53	1,5	1,44	1,43	1,42	1,41	1,4
Расчетный расход топлива одного котла $B_p, кг/с$	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,25	0,25



## Методические указания для выполнения задания 2.

По формуле (2.1) определить теоретически необходимый объём воздуха для полного сжигания 1 кг твердого топлива.

$$V^0 = 0,089 \cdot C^p + 0,266 \cdot H^p + 0,033 \cdot (S^p - O^p), \text{ нм}^3/\text{кг} \quad (2.1)$$

Объём трехатомных газов в продуктах сгорания определить по формуле (2.2).

$$V_{RO_2} = V_{CO_2} + V_{SO_2} = 0,0187 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p), \text{ нм}^3/\text{кг} \quad (2.2)$$

Количество кислорода и азота, проходящее транзитом в продукты сгорания определить по формулам (2.3-2.4).

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\beta_T - 1) \cdot V^0, \text{ нм}^3/\text{кг} \quad (2.3)$$

$$V_{N_2} = 0,79 \cdot \beta_T \cdot V^0 + 0,8 \frac{N^p}{100}, \text{ нм}^3/\text{кг} \quad (2.4)$$

По формуле (2.5) определить объём водяных паров в продуктах сгорания.

$$V_{\text{в.п.}} = V_{H_2O} = 0,111 \cdot H^p + 0,0124 \cdot W^p + 0,016 \cdot V^0 + 0,0161 \cdot (\beta_T - 1) \cdot V^0, \text{ нм}^3/\text{кг} \quad (2.5)$$

Объём продуктов сгорания при полном сгорании 1 кг твердого топлива определим по формуле (2.6).

$$V_{\Gamma} = V_{RO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} + V_{\text{в.п.}}, \text{ нм}^3/\text{кг} \quad (2.6)$$

Расход уходящих газов перед экономайзером определить по формуле (2.7).

$$V_{\text{ЭК}}^{\text{ВХ}} = n \cdot B_p \cdot [V_{\Gamma} + (\beta_{\text{ЭК}} - 1) \cdot V^0] \cdot \left( \frac{t_{\text{ВХ}}^{\Gamma} + 273}{273} \right), \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.7)$$

Расход уходящих газов за экономайзером определить по формуле (2.8).

$$V_{\text{ЭК}}^{\text{ВЫХ}} = n \cdot B_p \cdot [V_{\Gamma} + (\beta_{\text{ЭК}} - 1) \cdot V^0] \cdot \left( \frac{t_{\text{ВЫХ}}^{\Gamma} + 273}{273} \right), \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.8)$$

Средний расход уходящих газов при их охлаждении в экономайзере от  $t_{\text{ВХ}}^{\Gamma}$  до  $t_{\text{ВЫХ}}^{\Gamma}$  определить по формуле (2.9).

$$V_{\text{ЭК}}^{\text{СР}} = \frac{V_{\text{ЭК}}^{\text{ВХ}} + V_{\text{ЭК}}^{\text{ВЫХ}}}{2}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.9)$$

Средняя теплоёмкость продуктов сгорания при постоянном давлении, отнесенная к единице объёма определяется по формуле (2.10).

$$\tilde{C}_{\text{пр}} = \sum (C_{\text{pi}} \cdot r_i), \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}) \quad (2.10)$$

где  $C_{\text{pi}}$  - средняя теплоёмкость компонентов продуктов сгорания при постоянном давлении, отнесенная к единице объёма, приведена в таблице 2.2, определяется по среднему значению температуры уходящих газов ( $t_{\text{ср}}^{\text{r}} = \frac{t_{\text{вх}}^{\text{r}} + t_{\text{вых}}^{\text{r}}}{2}$ ), кДж/(м<sup>3</sup>·°C);  $r_i = V_i/V_{\text{ЭК}}^{\text{ср}}$  - объёмная концентрация компонента.

Пример: Определить величину средней объёмной теплоемкости кислорода при постоянном давлении при средней температуре  $t_{\text{ср}}^{\text{r}} = 290 \text{ °C}$ .

По таблице 2.2 определить границы интервала интерполирования и выписать соответствующие значения.

$t, \text{°C}$	$c_{\text{O}_2}, \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$
200	1,3352
300	1,3561

$$c_{\text{O}_2}^{t_{\text{ср}}} = \left( \frac{1,3561 - 1,3352}{300 - 200} \right) \cdot (290 - 200) + 1,3352 = 1,3540, \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

Количество теплоты, отдаваемое уходящими газами водяному экономайзеру определить по формуле (2.11).

$$Q_{\text{ЭК}} = V_{\text{ЭК}}^{\text{ср}} \cdot \tilde{C}_{\text{пр}} \cdot (t_{\text{вх}}^{\text{r}} - t_{\text{вых}}^{\text{r}}), \text{ кДж}/\text{с} \quad (2.11)$$

### **Задание 3. Энергосбережение топливных энергоресурсов за счет усовершенствования технологической схемы производственной котельной**

В топке котельного агрегата паропроизводительностью  $D$  (кг/с) сжигается уголь с низшей теплотой сгорания  $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 13,997$  МДж/кг. Определить экономию топлива в процентах, получаемую за счет предварительного подогрева конденсата в регенеративных подогревателях, если известны температура топлива на входе в топку  $t_{\text{т}} = 20 \text{ °C}$ , удельная теплоёмкость топлива  $c_{\text{т}} = 2,1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$ , КПД котлоагрегата  $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$  (%), давление перегретого пара  $p_{\text{пп}}$  (МПа), темпе-

температура перегретого пара  $t_{пп}$  (°C), температура конденсата  $t_k = 32$  °C, температура питательной воды после регенеративных подогревателей  $t_{пв}$  (°C) и величина непрерывной продувки  $p = 3$  %. Численные значения некоторых исходных данных выбирают из таблицы 3.1.

Таблица 3.1

**Исходные данные**

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Предпоследняя цифра шифра										
Паропроизводительность котельного агрегата $D$ , кг/с	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,7
КПД котельного агрегата (брутто) $\zeta_{ка}^{бр}$ , %	91,5	91,3	91,2	90,0	91,1	91,2	91,3	91,0	90,0	89,0
Последняя цифра шифра										
Давление перегретого пара $p_{пп}$ , МПа	4,0	3,8	3,5	3,4	3,5	3,8	4,0	4,5	4,0	3,8
Температура перегретого пара $t_{пп}$ , °C	430	425	420	410	400	430	420	430	440	410
Температура питательной воды $t_{пв}$ , °C	130	125	120	135	120	125	120	125	130	120
<p><i>Указания:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Энтальпию кипящей воды <math>h'_в</math> определять из термодинамической таблицы для воды и водяного пара (см. табл. 3.2.) по заданному <math>p_{пп}</math>.</li> <li>2. Энтальпию перегретого пара <math>h_{пп}</math> определять по <math>h_s</math> – диаграмме (см. рис. 3.1.), зная <math>p_{пп}</math> и <math>t_{пп}</math>.</li> <li>3. Энтальпия питательной воды <math>h_{пв} = 4,19 \cdot t_{пв}</math>.</li> </ol>										

**Методические указания для выполнения задания 3**

Физическую теплоту топлива определить по формуле (3.1).

$$Q_T = c_T \cdot t_T, \text{ кДж/кг (3.1)}$$

Располагаемую теплоту находим по формуле (3.2).

$$Q_p^p = Q_T + Q_H^p, \text{ кДж/кг (3.2)}$$

По формуле (3.3) определить расход топлива без регенеративного подогрева питательной воды.

$$B_1 = \frac{D \cdot [(h_{\text{пп}} - h_{\text{к}}) + (p/100) \cdot (h'_B - h_{\text{к}})]}{Q_p^p \cdot (z_{\text{ка}}^{\text{бр}}/100)}, \text{ кг/с (3.3)}$$

где  $D$  - паропроизводительность котельного агрегата, кг/с;  $h_{\text{пп}}$  - энтальпия перегретого пара; определить по  $h_s$ -диаграмме, зная  $p_{\text{пп}}$  и  $t_{\text{пп}}$ , кДж/кг;  $h_{\text{к}} = 4,19 \cdot t_{\text{к}}$  - энтальпия конденсата, кДж/кг;  $p$  - величина непрерывной продувки, %;  $h'_B$  - энтальпия кипящей воды, кДж/кг;  $Q_p^p$  - располагаемая теплота, кДж/кг;  $z_{\text{ка}}^{\text{бр}}$  - КПД котлоагрегата, %.

Расход топлива с регенеративным подогревом питательной воды определяем по формуле (3.4).

$$B_2 = \frac{D \cdot [(h_{\text{пп}} - h_{\text{пв}}) + (p/100) \cdot (h'_B - h_{\text{пв}})]}{Q_p^p \cdot (z_{\text{ка}}^{\text{бр}}/100)}, \text{ кг/с (3.4)}$$

где  $h_{\text{пв}}$  - энтальпия питательной воды после регенеративных подогревателей, кДж/кг.

Экономия топлива за счет использования регенеративного подогрева питательной воды определить по формуле (3.5).

$$\Delta B = \frac{B_1 - B_2}{B_1} \cdot 100, \% (3.5)$$

Таблица 3.2

Насыщенный водяной пар (по давлениям)

$p$ , бар	$t$ , °C	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	$v$ , м <sup>3</sup> /кг	$h$ , кДж/кг	$h$ , кДж/кг	$r$ , кДж/кг	$s$ , кДж/(кг·°C)	$s$ , кДж/(кг·°C)
0,040	28,979	0,0010041	34,81	121,42	2554	2433	0,4225	8,473
0,050	32,88	0,0010053	28,19	137,83	2561	2423	0,4761	8,393
1,0	99,62	0,0010432	1,696	417,47	2675	2257	1,3026	7,358
1,2	104,8	0,0010472	1,430	439,34	2683	2244	1,3610	7,294
1,6	113,31	0,0010543	1,092	475,41	2696	2221	1,4550	7,202
3	133,54	0,0010733	0,6055	561,7	2725	2164	1,6716	6,992
4	143,62	0,0010836	0,4623	604,3	2739	2134	1,7767	6,896
5	151,84	0,0010927	0,3749	640,1	2748,9	2109	1,8605	6,822

10,0	179,88	0,0011273	0,1946	762,7	2778	2015	2,138	6,587
11,0	184,05	0,0011331	0,1775	781,1	2781	2000	2,179	6,554
12,0	187,95	0,0011385	0,1633	798,3	2785	1987	2,216	6,523

Продолжение табл. 3.2.

p, бар	t, °C	$v_{\square}$ , м <sup>3</sup> /кг	$v_{\square\oplus}$ , м <sup>3</sup> /кг	$h_{\square}$ , кДж/кг	$h_{\square\oplus}$ , кДж/кг	$g$ , кДж/кг	$s_{\square}$ , кДж/(кг·°C)	$s_{\square\oplus}$ , кДж/(кг·°C)
13,0	191,60	0,0011438	0,1512	814,5	2787	1973	2,251	6,495
14,0	195,04	0,0011490	0,1408	830,0	2790	1960	2,284	6,469
15,0	198,28	0,0011539	0,1317	844,6	2792	1947	2,314	6,445
16,0	201,36	0,0011586	0,1238	858,3	2793	1935	2,344	6,422
17,0	204,30	0,0011632	0,1167	871,6	2795	1923	2,371	6,400
18,0	207,10	0,0011678	0,1104	884,4	2796	1912	2,397	6,379
19,0	209,78	0,0011722	0,1047	896,6	2798	1901	2,422	6,359
20,0	212,37	0,0011766	0,09958	908,5	2799	1891	2,447	6,340
25,0	223,93	0,0011972	0,07993	961,8	2802	1840	2,554	6,256
30,0	233,83	0,0012163	0,06665	1008,3	2804	1796	2,646	6,186
32,0	237,44	0,0012238	0,06246	1025,3	2803	1778	2,679	6,161
34,0	240,88	0,0012310	0,05875	1041,9	2803	1761	2,710	6,137
36,0	244,16	0,0012380	0,05543	1057,5	2802	1745	2,740	6,113
38,0	247,31	0,0012450	0,05246	1072,7	2802	1729	2,769	6,091
40,0	250,33	0,0012520	0,04977	1087,5	2801	1713	2,796	6,070
42,0	253,24	0,0012588	0,04732	1101,7	2800	1698	2,823	6,049
44,0	256,05	0,0012656	0,04508	1115,3	2798	1683	2,849	6,029
46,0	258,75	0,0012724	0,04305	1128,8	2797	1668	2,874	6,010
48,0	261,37	0,0012790	0,04118	1141,8	2796	1654	2,898	5,991
50,0	263,91	0,0012857	0,03944	1154,4	2794	1640	2,921	5,973
55,0	269,94	0,0013021	0,03564	1184,9	2790	1604,6	2,976	5,930
60,0	275,56	0,0013185	0,03243	1213,9	2785	1570,8	3,027	5,890
65,0	280,83	0,0013347	0,02973	1241,3	2779	1537,5	3,076	5,851
70,0	285,80	0,0013510	0,02737	1267,4	2772	1504,9	3,122	5,814
75,0	290,50	0,0013673	0,02532	1292,7	2766	1472,8	3,166	5,779
80,0	294,98	0,0013838	0,02352	1317,0	2758	1441,1	3,208	5,745
85,0	299,24	0,0014005	0,02192	1340,8	2751	1409,8	3,248	5,711

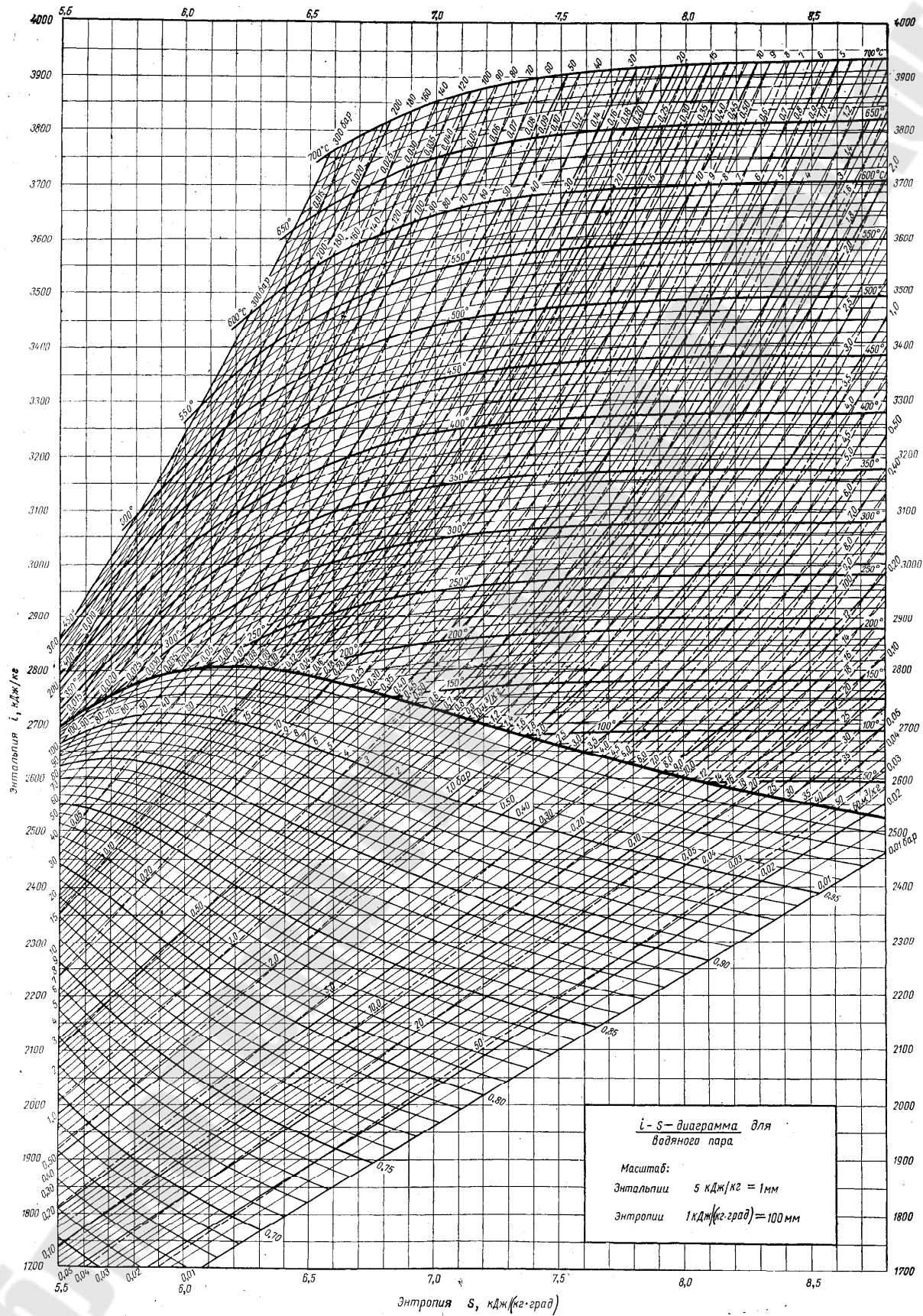


Рис. 3.1.  $hs$  ( $is$ ) – диаграмма для водяного пара

#### Задание 4. Анализ расхода ТЭР при выработке электроэнергии на ТЭЦ и КЭС

Рассчитать удельный расход теплоты и условного топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии теплофикационной турбиной соответственно в конденсационном и теплофикационном режимах работы. Определить для теплофикационной установки удельную выработку электроэнергии на тепловом потреблении и экономию условного топлива на выработку 1 кВт·ч по сравнению с КЭС ( $b_{\text{КЭС}} = 0,34$  кг/(кВт·ч)), при использовании теплофикационных отборов в течение 3000, 4000, 5000 часов при общей продолжительности работы турбоустановки 7000 часов. Принять:  $z_{\text{эм}} = 0,97$ ,  $z_{0i} = 0,85$ ,  $z_{\text{ку}} = 0,88$ ,  $z_{\text{тп}} = 0,96$ . Числовые значения исходных данных выбираются из таблицы 4.1.

##### Методические указания для выполнения задания 4

Энтальпию перегретого пара перед турбиной  $h_0$  определить по  $h_s$  – диаграмме (см. рис. 3.1) на пересечении изобары  $p_0$  и изотермы  $t_0$ .

По термодинамической таблице воды и водяного пара (см. табл. 3.2.) определить энтальпию насыщенного пара теплофикационного отбора  $h''_{\text{отб}} = h''$  и энтальпию конденсата после сетевого подогревателя  $h'_{\text{отб}} = h'$ , зная  $p_{\text{отб}}$ .

Определить энтальпию питательной воды по формуле (4.1).

$$h_{\text{пв}} = 4,19 \cdot t_{\text{пв}}, \text{ кДж/кг (4.1)}$$

По термодинамической таблице воды и водяного пара (см. табл. 3.2.) определить энтальпию пара после турбины  $h_{\text{к}} = h''$ , зная  $p_{\text{к}}$ .

Работу расширения пара в турбине определить по формуле (4.2).

$$l_{\text{т}} = h_0 - h_{\text{к}}, \text{ кДж/кг (4.2)}$$

Работу расширения пара в отборе определить по формуле (4.3).

$$l_{\text{отб}} = h''_{\text{отб}} - h'_{\text{отб}}, \text{ кДж/кг (4.3)}$$

В конденсационном режиме удельный расход пара  $d_0^{\text{к}}$  определить по формуле (4.4), удельный расход теплоты  $q_0^{\text{к}}$  - по формуле (4.5), удельный расход условного топлива  $b_3^{\text{к}}$  - по формуле (4.6).

$$d_0^k = \frac{3600}{l_T \cdot \eta_{0i} \cdot \eta_{эм}}, \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)} \quad (4.4)$$

$$q_0^k = d_0^k \cdot (h_0 - h_{пв}), \text{ кДж/(кВт}\cdot\text{ч)} \quad (4.5)$$

$$b_3^k = \frac{q_0^k}{29330 \cdot \eta_{ку} \cdot \eta_{тп}}, \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)} \quad (4.6)$$

Таблица 4.1

**Исходные данные**

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Предпоследняя цифра шифра										
Давление пара в отборе $p_{отб}$ , МПа	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,4
Температура питательной воды $t_{пв}$ , °С	145	150	155	160	230	160	155	150	145	160
Последняя цифра шифра										
Давление пара на входе в турбину $p_0$ , МПа	3	4	5	9	13	9	5	4	3	9
Температура пара на входе в турбину $t_0$ , °С	435	450	460	480	510	480	460	450	435	480
Давление в конденсаторе турбины, $p_k$ , кПа	5,0	4,5	4,0	5,0	4,5	5,0	4,0	4,5	5,0	5,0
Температура конденсата пара после турбины $t_k$ , °С	33	39	29	33	39	33	29	39	33	33

В теплофикационном режиме удельный расход пара  $d_0^T$  определить по формуле (4.7), удельный расход теплоты  $q_0^T$  - по формуле (4.8), удельный расход условного топлива  $b_3^T$  - по формуле (4.9).



$$d_0^T = d_0^K + \frac{l_T - l_{отб}}{l_T} \cdot d_{отб}^K, \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (4.7)$$

где  $d_{отб}^K = 0,8 \cdot d_0^K$  - удельный расход пара на теплофикационный отбор, кг/(кВт·ч).

$$q_0^T = d_0^T \cdot (h_0 - h_{тв}) - d_{отб} \cdot q_m, \text{ кДж}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (4.8)$$

$$b_3^T = \frac{q_0^T}{29330 \cdot \eta_{ку} \cdot \eta_{тп}}, \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (4.9)$$

Определить выработку электроэнергии на тепловом потреблении по формуле (4.10).

$$\mathfrak{E}_T = \frac{10^6}{3600} \cdot \frac{h_0 - h'_{отб}}{q_T} \cdot \eta_{ку} \cdot \eta_{тп}, \text{ (кВт}\cdot\text{ч)}/\text{ГДж} \quad (4.10)$$

Определить удельный расход топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии по формуле (4.11).

$$b_{ср}^{ТЭЦ} = b_3^T \cdot \tilde{\tau} + b_3^K \cdot (1 - \tilde{\tau}), \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (4.11)$$

где  $\tilde{\tau}$  - относительной время работы ТЭЦ в теплофикационном режиме:

$$\tilde{\tau} = \frac{3000}{7000}; \quad \tilde{\tau} = \frac{4000}{7000}; \quad \tilde{\tau} = \frac{5000}{7000}.$$

Определить экономию топлива на выработку 1 кВт·ч электроэнергии для трех режимов по формулам (4.12) – (4.14).

$$\Delta b_1 = b_{кЭС} - b_{ср1}^{ТЭЦ}, \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (4.12)$$

$$\Delta b_2 = b_{кЭС} - b_{ср2}^{ТЭЦ}, \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (4.13)$$

$$\Delta b_3 = b_{кЭС} - b_{ср3}^{ТЭЦ}, \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}) \quad (4.14).$$

## **Задание 5. Энергосбережение при транспортировке энергоносителей**

### **Задание 5.1. Экономия тепловой энергии при проведении изоляции паропровода**

Определить годовую экономию тепловой энергии при проведении теплоизоляции неизолированного паропровода диаметром  $d$ , мм и длиной  $L$ , м в котельной. Температура внутри котельной  $t_{о.в.} = 10$  °С. Температура стенки паропровода  $t_{нар.п.} = 153$  °С. Суммарный коэффициент теплоотдачи  $b = 12,27$  ккал/(м<sup>2</sup>·ч·°С). Коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла через фланцевые соединения, опоры и запорную арматуру  $K$ . Удельная норма теплотеря через изоляцию трубопровода  $q = 57,8$  ккал/(м·ч). Годо-

вой фонд рабочего времени  $T$  ч/год. Исходные данные принять по таблице 5.1.

Таблица 5.1.

**Исходные данные**

	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L$ , м	30	28	26	32	34	27	29	31	30	28
$T$ ч/год	4656	4848	8400	5040	4776	4680	5040	4848	8400	4776
	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$d$ , мм	150	200	100	150	50	100	200	150	50	100
$K$	1,2	1,25	1,2	1,3	1,3	1,29	1,2	1,25	1,25	1,2

**Методические указания для выполнения задания 5.1.**

Годовые потери тепловой энергии неизолрованными поверхностями определить по формуле (5.1.1).

$$Q_{\text{неиз.}} = \alpha \cdot (t_{\text{нар.п.}} - t_{\text{о.в.}}) \cdot F \cdot T \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал/год (5.1.1)}$$

где  $\alpha$  - суммарный коэффициент теплоотдачи, ккал/( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{°C}$ );  $t_{\text{нар.п.}}$  - средняя температура наружной поверхности,  $\text{°C}$ ;  $t_{\text{о.в.}}$  - средняя температура окружающего воздуха,  $\text{°C}$ ;  $F = \pi \cdot d \cdot L$  - площадь поверхности,  $\text{м}^2$ ;  $T$  - годовой фонд рабочего времени, ч/год.

При проведении теплоизоляционных работ нормативные потери изолированными поверхностями на планируемый период определить по формуле (5.1.2).

$$Q_{\text{норм.}} = K \cdot q \cdot L \cdot T \cdot 10^{-6}, \text{ Гкал/год (5.1.2)}$$

где  $K$  - коэффициент, учитывающий дополнительные потери тепла через фланцевые соединения, опоры и запорную арматуру;  $q$  - удельная норма теплопотерь через изоляцию, ккал/( $\text{м} \cdot \text{ч}$ );  $L$  - длина паропровода,  $T$  - годовой фонд рабочего времени, ч/год.

Экономия тепловой энергии от внедрения мероприятия определяется по формуле (5.1.3).

$$\Delta Q = Q_{\text{неиз.}} - Q_{\text{норм.}}, \text{ Гкал/год (5.1.3)}$$

**Задание 5.2. Определение удельных теплопотерь неизолированно-го теплопровода и для трех видов изоляции**

Рассчитать удельные потери тепловой энергии в теплопроводе для трех видов изоляции и для неизолированной трубы. Температура теплоносителя  $t_{\text{тн}} = 150$  °С. Температура окружающей среды  $t_{\text{ос}} = -2$  °С.

Средний коэффициент теплоотдачи от воды к трубе  $b_{\text{в}} = 4000$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Средний коэффициент теплоотдачи от кожуха к воздуху  $b_{\text{возд}} = 20$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Начертить эскиз сечения трубопровода с указанием всех размеров (см. рис. 5.1). Сделать анализ полученных результатов. Исходные данные принять по таблице 5.2.

Таблица 5.2

**Исходные данные**

Сумма цифр номера варианта	Наружный диаметр трубопровода $d_{\text{н}}$ , мм	Толщина стенки трубы $d_{\text{ст}}$ , мм	Толщина изоляции из ППУ $d_{\text{из.ППУ}}$ , мм	Толщина изоляции из минераловаты $d_{\text{из.СМ}}$ , $d_{\text{из.ВМ}}$ мм
0	57	3	40	40
1	76	3	50	50
2	159	4,5	90	80
3	194	5	100	90
4	45	2,5	30	30
5	377	9	150	120
6	89	3,5	70	60
7	108	3,5	80	70
8	219	5	120	100
9	480	6	170	150

Для всех вариантов коэффициент теплопроводности составляет:

- стальной трубы -  $\lambda_{\text{тр.}} = 50$  Вт/(м·°С);
- пенополиуретана (ППУ) -  $\lambda_{\text{из.ППУ}} = 0,027$  Вт/(м·°С);
- сухой минераловаты -  $\lambda_{\text{из.СМ}} = 0,055$  Вт/(м·°С);
- влажной минераловаты -  $\lambda_{\text{из.ВМ}} = 0,19$  Вт/(м·°С);
- кожуха предварительно изолированной трубы (ПИ-трубы) -  $\lambda_{\text{к}} = 0,28$  Вт/(м·°С).

Толщина кожуха ПИ-трубы  $\delta_{\text{к}} = 3$  мм.

### Методические указания для выполнения задания 5.2.

Удельные потери теплоты на 1 м трубопровода определяются по формуле (1.2.1) для трехслойной цилиндрической стенки.

$$q_l = \frac{\rho(t_{\text{TH}} - t_{\text{OC}})}{\frac{1}{\bar{\alpha}_v \cdot d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{тр}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{н}}}{d_{\text{вн}}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{из}}}{d_{\text{н}}} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{\text{к}}} \cdot \ln \frac{d_{\text{к}}}{d_{\text{из}}} + \frac{1}{\bar{\alpha}_{\text{возд}} \cdot d_{\text{к}}}},$$

Вт/м, (5.2.1)

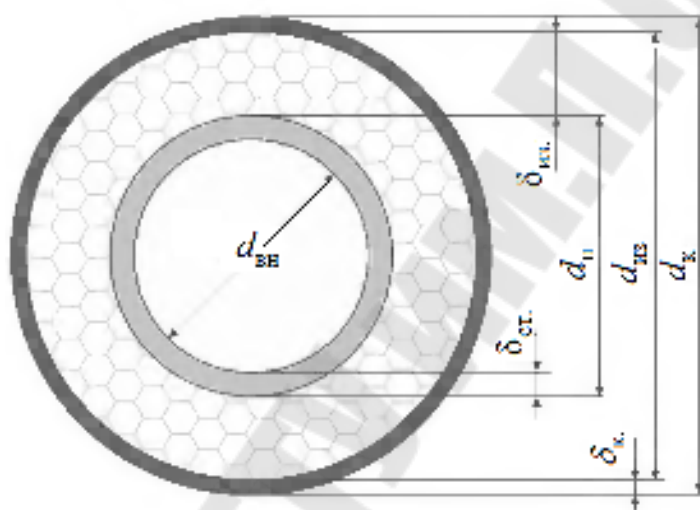


Рис. 5.1. Эскиз сечения трубопровода

### Задание 6. Определение экономии топлива за счет использования тепловых ВЭР

Определить экономию условного топлива при использовании теплоты вторичных энергоресурсов в котле-утилизаторе за счет теплоты уходящих газов двух промышленных печей, если температура газов на выходе из печей  $\theta_1$ , °С, температура на выходе из котла  $\theta_2$ , °С, коэффициент избытка воздуха в котле-утилизаторе  $\bar{\alpha}_y$ , расчетный расход топлива двух печей  $V_p$ , м<sup>3</sup>/с, коэффициент, учитывающий несоответствие режима и числа часов работы котла-утилизатора и печей  $\nu = 1,0$ ; коэффициент потерь теплоты котла-утилизатора в окружающую среду  $o$ ; КПД замещаемой котельной  $\varepsilon_{\text{ку}}$ , коэффициент утилизации ВЭР  $d_{\text{ВЭР}}$ . Печь работает на природном газу.

Коэффициент избытка воздуха в топке котла  $\alpha_T = 1,1$ . Влагосодержание природного газа  $d_T = 9 \text{ г/м}^3$ , влагосодержание воздуха  $d_B = 12 \text{ г/м}^3$ .

Численные значения исходных и дополнительных данных выбирают из таблиц 6.1 – 6.3.

Таблица 6.1

**Исходные данные**

Параметр	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Температура газов на выходе из печей $\theta_1, ^\circ\text{C}$	700	725	733	753	765	772	785	790	802	810
Температура газов на выходе из котла – утилизатора $\theta_2, ^\circ\text{C}$	200	205	215	218	220	223	230	235	240	250
КПД замещающей котельной $\xi_{ку}$	0,88	0,87	0,79	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86
Наименование газопровода	Саратов-Москва	Бухара-Урал	Карадаг-Тбилиси-Ереван	Рудки-Минск-Вильнюс	Газли-Коган	Ставрополь-Москва 1-я нитка	Брянск-Москва	Шебелинка-Брянск-Москва	Джаркак-Ташкент	Средняя Азия-Центр
Параметр	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Коэффициент избытка воздуха в котле - утилизаторе $\beta_y$	1,35	1,3	1,29	1,28	1,29	1,3	1,31	1,32	1,33	1,35
Расчетный расход топлива двух печей $V_p, \text{м}^3/\text{с}$	0,036	0,038	0,04	0,035	0,041	0,037	0,05	0,045	0,03	0,04
Коэффициент потерь теплоты котла – утилизатора $\theta$	0,12	0,13	0,14	0,15	0,11	0,16	0,2	0,17	0,18	0,19
Коэффициент утилизации ВЭР $D_{ВЭР}$	0,76	0,78	0,74	0,81	0,8	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79

Таблица 6.2

## Расчетные характеристики природного газа

Газопровод	Состав газа по объёму, %							$Q_H^p$ , МДж/ м <sup>3</sup>	$c_{г^3}$ , кг/м <sup>3</sup>
	$CH_4$	$C_2H_6$	$C_3H_8$	$C_4H_{10}$	$C_5H_{12}$	$N_2$	$CO_2$		
Саратов-Москва	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	7,8	0,8	35,8	0,837
Ставрополь-Москва 1-я нитка	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	2,6	0,4	36,09	0,764
Рудки-Минск-Вильнюс	95,6	0,7	0,4	0,2	0,2	2,8	0,1	35,5	0,740
Брянск-Москва	92,8	3,9	1,1	0,4	0,1	1,6	0,1	37,3	0,776
Шебекинка-Брянск-Москва	94,1	3,1	0,6	0,2	0,8	1,2	-	37,87	0,776
Газли-Коган	95,4	2,6	0,3	0,2	0,2	1,1	0,2	36,59	0,750
Джаркак-Ташкент	95,5	2,7	0,4	0,2	0,1	1,0	0,1	36,68	0,748
Карадаг-Тбилиси-Ереван	93,9	3,1	1,1	0,3	0,1	1,3	0,2	37,09	0,766
Бухара-Урал	94,9	3,2	0,4	0,1	0,1	0,9	0,4	36,72	0,758
Средняя Азия-Центр	93,8	3,6	0,7	0,2	0,4	0,7	0,6	37,55	0,776

### Методические указания для выполнения задания 6.

По формуле (6.1) определить теоретически необходимый объём воздуха  $V_0$ .

$$V_0 = 0,0476 \cdot \left[ 0,5(CO + H_2) + 1,5H_2S + \sum \left( m + \frac{n}{4} \right) \cdot C_m H_n - O_2 \right] \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (6.1)$$

Количество трехатомных газов в продуктах сгорания  $V_{RO_2}$  определить по формуле (6.2).

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot (CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n) \approx V_{CO_2} \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (6.2)$$

Количество азота в продуктах сгорания  $V_{N_2}$  определить по формуле (6.3), а количество кислорода  $V_{O_2}$  - по формуле (6.4).

$$V_{N_2} = (\alpha_T - 0,21) \cdot V_0 + \frac{N_2}{100} \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (6.3)$$

$$V_{O_2} = 0,21 \cdot (\alpha_T - 1) \cdot V_0 \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (6.4)$$

Количество водяных паров в продуктах сгорания  $V_{вп}$  определить по формуле (6.5).

$$V_{вп} = 0,01 \cdot \left[ H_2S + H_2 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + 0,124 \cdot d_r + 0,124 \cdot d_b \cdot V_0 + 1,61 \cdot (\alpha_T - 1) \cdot V_0 \right] \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (6.5)$$

По формуле (6.6) определить энтальпию газов на выходе из печей  $H_{r1}$  при температуре  $\theta_1$ , °С.

$$H_{r1} = V_{CO_2} \cdot h_{CO_2} + V_{N_2} \cdot h_{N_2} + V_{O_2} \cdot h_{O_2} + V_{вп} \cdot h_{вп} + (\alpha_y - 1) \cdot V_0 \cdot h_b \text{ кДж/м}^3, \quad (6.6)$$

По формуле (6.7) определить энтальпию газов на выходе из котла - утилизатора  $H_{r2}$  при температуре  $\theta_2$ , °С.

$$H_{r2} = V_{CO_2} \cdot h_{CO_2} + V_{N_2} \cdot h_{N_2} + V_{O_2} \cdot h_{O_2} + V_{вп} \cdot h_{вп} + (\alpha_y - 1) \cdot V_0 \cdot h_b \text{ кДж/м}^3, \quad (6.7)$$

Количество выработанной теплоты в виде пара в котле - утилизаторе за счет теплоты уходящих газов определить по формуле (6.8).

$$Q_y = B_p \cdot (H_{r1} - H_{r2}) \cdot \nu \cdot (1 - \xi) \text{ кВт}, \quad (6.8)$$

Количество использованной теплоты ВЭР определить по формуле (6.9).

$$Q_{ВЭР} = D_{ВЭР} \cdot Q_y \text{ кВт}, \quad (6.9)$$

Экономия топлива при использовании теплоты ВЭР в котле – утилизаторе за счет теплоты уходящих газов определить по формуле (6.10).

$$B_{\text{эк}} = \frac{Q_{\text{ВЭР}}}{Q_{\text{H}}^{\text{P}} \cdot z_{\text{ку}}} \text{ м}^3/\text{с}, \text{ (6.10)}$$

Таблица 6.3

**Энтальпия 1м<sup>3</sup> газов и влажного воздуха, кДж/м<sup>3</sup>**

$t, ^\circ\text{C}$	$h_{\text{CO}_2}$	$h_{\text{N}_2}$	$h_{\text{O}_2}$	$h_{\text{вп}}$	$h_{\text{в}}$
100	169	130	130	151	132
200	357	260	267	304	266
300	559	392	407	463	403
400	772	527	552	626	542
500	996	664	699	794	684
600	1222	804	850	967	830
700	1461	946	1005	1147	979
800	1704	1093	1160	1335	1130
900	1951	1243	1319	1524	1281

**Задание 7. Определение экономии тепловой энергии от установки автоматических конденсатоотводчиков и внедрения электронного регулятора температуры в отапливаемом помещении.**

**Задание 7.1. Экономия тепловой энергии за счет установки автоматических конденсатоотводчиков**

Определить массовую долю пролетного пара  $D_{\text{пп}}$ , т/год теряемого в сетевом теплообменнике при отсутствии автоматических конденсатоотводчиков, а также ожидаемую экономию от внедрения автоматических конденсатоотводчиков пролетного пара. Исходные данные принимаются из таблицы 7.1.

**Методические указания для выполнения задания 7.1**

По формуле (7.1) определить массовую долю пролетного пара  $q_{\text{пп}}$  в пароконденсатной смеси.

$$q_{\text{пп}} = \frac{h_{\text{пк}} - h_{\text{к}}}{r} \cdot 100 \%, \text{ (7.1)}$$

где  $h_{\text{пк}} = h'$  - энтальпия пароконденсатной смеси, определяется по давлению в теплообменнике  $p_{\text{т}}$  по таблицам насыщения (см



табл.3.2), кДж/кг;  $h_k = h'$ ,  $r$  - энтальпия насыщения воды и скрытая теплота парообразования при давлении в конденсаторе  $p_k$ , (см табл.3.2) кДж/кг.

Таблица 7.1

**Исходные данные**

Параметр	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Годовой расход тепловой энергии $Q_{\text{п}}$ , Гкал/год	380	400	450	350	370	380	390	400	410	420
Параметр	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Давление в теплообменнике, $p_{\text{т}}$ , МПа	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,4	0,41	0,43	0,44	0,45
Температура перегретого пара $t_{\text{п}}^{\text{пр}}$ , °С	150	150	150	150	150	160	160	160	160	160
Давление в конденсаторопроводе, $p_k$ , МПа	0,10	0,11	0,12	0,12	0,122	0,125	0,128	0,134	0,138	0,14

Массовый годовой расход пара  $D_{\text{п}}$  определить по формуле (7.2).

$$D_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{h_{\text{п}}^{\text{пр}} - h_{\text{пк}}} \text{ т/год, (7.2)}$$

где  $h_{\text{п}}^{\text{пр}}$  - энтальпия перегретого пара с параметрами  $p_{\text{п}}^{\text{пр}} = p_{\text{т}}$  и  $t_{\text{п}}^{\text{пр}}$ , (см. рис.3.1) кДж/кг.

Годовую массовую долю пролетного пара в пароконденсатной смеси определить по формуле (7.3).

$$D_{\text{пп}} = D_{\text{п}} \cdot q_{\text{пп}} \text{ т/год, (7.3)}$$

Ожидаемую экономию от внедрения данного мероприятия определить по формуле (7.4).

$$\Delta Q_{\text{пп}} = D_{\text{пп}} \cdot (h_{\text{пп}} - h_{\text{св}}) \text{ ГДж/год, (7.4)}$$

где  $h_{\text{шт}} = h''$  - энтальпия пролетного пара, определяется по давлению в теплообменнике  $p_T$  по таблицам насыщения (см табл.3.2), кДж/кг;  $h_{\text{св}} = 439,5$  кДж/кг - энтальпия сетевой воды.

**Задание 7.2. Экономия тепловой энергии от внедрения электронного регулятора температуры в отопляемом помещении**

Определить экономию тепловой энергии от внедрения автоматики снижения температуры внутри отопляемых помещений в нерабочее время административного здания. Режим работы  $T_{\text{нр.в}}$ , ч/сут. Продолжительность отопительного периода  $N_{\text{от}}$ , сут. Температура внутри отопляемых помещений  $18^\circ\text{C}$ . Снижение температуры осуществляется на  $8^\circ\text{C}$ . Строительный объем здания  $V_{\text{от}}$ , тыс.  $\text{м}^3$ . Удельная тепловая отопительная характеристика здания  $q_{\text{от}}$ , ккал/ $(\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$ . Исходные данные принимаются из таблицы 7.2.

Таблица 7.2

**Исходные данные**

Параметр	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Режим работы $T_{\text{нр.в}}$ , ч/сут	8	7	9	10	8	7	10	8	7	10
Параметр	Последняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Удельная тепловая отопительная характеристика здания $q_{\text{от}}$ , ккал/ $(\text{м}^3 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C})$	0,43	0,415	0,41	0,4	0,38	0,374	0,368	0,362	0,405	0,38
Строительный объем здания $V_{\text{от}}$ , тыс. $\text{м}^3$	5	6,5	7	8	10	11	12	13	7,5	10
Продолжительность отопительного периода $N_{\text{от}}$ , сут	187	207	194	194	202	204	202	194	207	187

### Методические указания для выполнения задания 7.2.

При снижении температуры внутри отапливаемых помещений в нерабочее время экономия тепловой энергии может быть определена по формуле (7.5).

$$\Delta Q = q_{от} \cdot V_{от} \cdot (t_{вн} - t_{вн.нр.вр}) \cdot N_{от} \cdot T_{нр.в} \text{ ГДж, (7.5)}$$

где  $t_{вн.нр.вр}$  - сниженная средневзвешенная температура внутри помещения в нерабочее время, °С.

### Задание 8. Техничо – экономическое обоснование внедрения энергоэффективных оконных блоков из ПВХ

Экономический эффект от внедрения оконных блоков ПВХ достигается за счет:

- увеличения термосопротивления оконных блоков и уменьшения расхода тепловой энергии на компенсацию потерь тепла;
- увеличение коэффициента воздухопроницания и уменьшения расхода тепловой энергии на нагревание наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации через щели оконных проемов;
- увеличения срока службы и отсутствия эксплуатационных затрат (оклейка, покраска).

**Задание.** Сделать технико-экономическое обоснование внедрения энергоэффективных оконных блоков из ПВХ, используя данные таблицы 8.1.

Таблица 8.1

#### Исходные данные

Параметр	Предпоследняя цифра номера варианта									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество окон, шт.	2	3	4	5	2	2	3	4	2	3
Размер одного окна, мм	1310×1520	1760×1420	1460×1400	1310×1520	1910×1520	2060×1420	1420×1470	1460×1400	1760×1420	1310×1420
Стоимость окна у.е./1 окно	250	440	315	270	680	800	300	350	420	220

Монтаж откосов у.е./1 окно	25	30	35	30	40	45	40	35	27	20
-------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Продолжение табл. 8.1.

Параметр		Последняя цифра номера варианта									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Область*		М	Б	Г	В	Гр	М Г	М	Б	Г	В
Среднесуточная температура наружного воздуха начала отопительного периода, °С		8	10	8	10	8	8	10	8	10	10
Сопротивление теплопередаче $R_T$ , (м <sup>2</sup> ·°С·ч)/ккал	новых окон	0,75	0,6	0,8	0,65	0,85	0,75	0,8	0,95	0,77	0,7
	существующих окон	0,17	0,2	0,2	0,17	0,21	0,25	0,25	0,16	0,18	0,2
Высота здания, $H$ , м		6	9,5	15,5	13	6	9,5	13	15,5	3	16,5
<p>Для всех вариантов: монтаж окна - 15% от стоимости окна.  *М - Минская, Б - Брестская, Г - Гомельская, В - Витебская, Гр - Гродненская, МГ - Могилевская.</p>											

### **Методические указания для выполнения задания 8**

Основной годовой расход тепловой энергии на компенсацию потерь тепла через ограждающие конструкции оконных проемов  $Q_{от}$  определить по формуле (8.1).

$$Q_{от} = \frac{F_o}{R_T} \cdot (t_{вн} - t_{н}) \cdot n \cdot T_{от} \cdot 24 \cdot 10^{-6} \text{ Гкал/год, (8.1)}$$

где  $F_o$  - площадь ограждающих конструкций оконных проемов, м<sup>2</sup>;  $R_T$  - сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций оконных проемов, (м<sup>2</sup>·°С·ч)/ккал;  $t_{вн}$  - температура воздуха внутри помещения, для жилых помещений  $t_{вн} = 18$  °С;  $t_{н}$  - средняя температура наружного воздуха, °С; принимать по таблице 8.1;  $n$  - коэффициент,

зависящий от положения наружной поверхности ограждающих конструкций оконных проемов по отношению к наружному воздуху, принять равным 1;  $T_{от}$  - длительность отопительного периода, сут/год; принимать по таблице 8.1.

Разность давлений воздуха у наружной и внутренней поверхностей ограждающих конструкций оконных проемов  $\Delta P$  определить по формуле (8.2).

$$\Delta P = 0,55 \cdot H \cdot g \cdot (c_n - c_v) + 0,03 \cdot c_n \cdot v_{cp}^2 \text{ Па, (8.2)}$$

где  $H$  - высота здания от поверхности земли до верха карниза, м;  $g$  - ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $c_n$  и  $c_v$  - плотность внутреннего и наружного воздуха,  $\text{кг/м}^3$ :

$$\rho = \frac{35,3}{273,15 + t}, \text{ кг/м}^3$$

где  $t$  - температура воздуха, снаружи либо внутри помещения,  $^{\circ}\text{C}$   
 $v_{cp}$  - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, м/с, принимать по таблице 8.2.

Таблица 8.1

**Средние параметры наружного воздуха за отопительный период и его продолжительность**

Область	Средняя температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность отопительного периода, сут.
Брестская	0,2	187
	0,8	205
Витебская	- 2,0	207
	- 1,4	222
Гомельская	- 1,6	194
	- 0,8	212
Гродненская	- 0,5	194
	0,4	213
Минская	- 1,6	202
	- 0,9	220
Могилевская	- 1,9	204
	- 1,2	221

*Примечание* - В числителе приведены данные для среднесуточной температуры наружного воздуха начала отопительного периода  $8^{\circ}\text{C}$ , в знаменателе - для  $10^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 8.2

Месяц зимнего периода	Максимальная из средних скоростей ветра по румбам с повторяемостью 16% и более по областям, м/с					
	Б	В	Г	Гр	М	Мг
Декабрь	3,4	5,1	4,1	5,4	4,1	4,8
Январь	3,7	5,4	4,1	5,2	4,0	4,9
Февраль	3,6	5,5	4,6	6,1	4,0	5,1

Количество воздуха, поступающего в помещения жилых и общественных зданий путем инфильтрации через окна и балконные двери  $G$  определить по формуле (8.3).

$$G = \frac{\Delta P}{R_{\text{вп}} \cdot 10} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), \quad (8.3)$$

$R_{\text{вп}}$  - сопротивление воздухопроницанию оконных блоков, принимать для существующих окон - 0,13 ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/кг, для новых окон - 0,5 ( $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}$ )/кг.

Добавочный годовой расход тепловой энергии на нагревание наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации через щели ограждающих конструкций оконных проемов  $Q_{\text{ин}}$  определить по формуле (8.4).

$$Q_{\text{ин}} = 0,24 \cdot A \cdot G \cdot F_o \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) \cdot T_{\text{от}} \cdot 24 \cdot 10^{-6} \text{ Гкал}/\text{год}, \quad (8.4)$$

где  $A$  - коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока; для окон и балконных дверей с отдельными переплетами - 0,8, со спаренными переплетами - 1,0.

Определить годовой расход тепловой энергии на компенсацию потерь тепла через оконные проёмы для существующих  $Q_{\text{сущ}}$  и предлагаемых в качестве замены  $Q_{\text{зам}}$  ограждающих конструкций по формуле (8.5).

$$Q = Q_{\text{от}} + Q_{\text{ин}} \text{ Гкал}/\text{год}, \quad (8.5)$$

Годовая экономия тепловой энергии  $\Delta Q$  от внедрения энергоэффективных оконных блоков из ПВХ может быть определена по формуле (8.6).

$$\Delta Q = Q_{\text{сущ}} + Q_{\text{зам}} \text{ Гкал}/\text{год}, \quad (8.6)$$

Годовая экономия топлива от снижения потребления тепловой энергии  $\Delta B_{\text{т}}$  определяется по соотношению (8.7).

$$\Delta B_{\text{тэ}} = \Delta Q \cdot \left(1 + \frac{k_{\text{пот}}}{100}\right) \cdot b_{\text{тэ}} \cdot 10^{-3} \text{ т. у. т./год}, \quad (8.7)$$

где  $k_{\text{пот}} = (2-6)\%$  - коэффициент потерь в существующих тепловых сетях;  $b_{\text{тэ}}$  - удельный расход топлива на производство тепловой энергии на теплоисточнике, принять  $b_{\text{тэ}} = 175 \text{ кг.у.т./Гкал}$ .

Капиталовложения в мероприятие  $K$  определить в соответствии с формулой (8.8).

$$K = C_{\text{м}} + C_{\text{смп}} \text{ у.е.}, \quad (8.8)$$

где  $C_{\text{м}}$  - стоимость материалов (окон) у.е.;  $C_{\text{смп}}$  - стоимость строительно – монтажных работ учитывает монтажные работы по замене оконных конструкций и монтаж откосов, у.е.

Срок окупаемости мероприятия  $C_{\text{окуп}}$  за счет экономии топлива определить по формуле (8.9).

$$C_{\text{окуп}} = \frac{K}{\Delta B_{\text{тэ}} \cdot C_{\text{топл}}} \text{ лет}, \quad (8.9)$$

где  $C_{\text{топл}}$  - стоимость 1 т.у.т., у.е.; принять для расчетов в 2016 году  $C_{\text{топл}} = 215 \text{ у.е./1 т.у.т.}$

## Литература

1. Ганжа, В. Л. Основы эффективного использования энергоресурсов : теория и практика энергосбережения / В. Л. Ганжа. – Минск : Белорус. наука, 2007. – 451 с.
2. Лисиенко В.Г., Щелоков Я. М., Ладыгичев М. Г. Хрестоматия энергосбережения : Справочное издание : В 2 - книгах. Книга 1 / Под ред. В. Г. Лисиенко. – М.: Теплотехника, 2005. – 688 с.
3. Самойлов М. В. Основы энергосбережения : Учеб. пособие / М. В. Самойлов, В. В. Паневчик, А. Н. Ковалев. – Мн. : БГЭУ, 2002. – 198 с.
4. Ольшанский, А. И. Основы энергосбережения : курс лекций / А. И. Ольшанский, В. И. Ольшанский, Н. В. Беляков : УО «ВГТУ». – Витебск, 2007. – 223 с.
5. Молодежникова Л. И. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебное пособие / Л. И. Молодежникова : Томский политехнический университет. – Томск : Изд – во Томского политехнического университета, 2011. – 205 с.
6. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебник для вузов / О. Л. Данилов, А. Б. Горяев, И. В. Яковлев и др.; под ред. А. В. Клименко. – М. : Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.: ил.
7. Дахин С. В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учеб. пособие / С. В. Дахин. Воронеж : ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 182 с.



## Содержание

Задание 1. Определение годового расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение зданий .....	3
Задание 2. Модернизация котельного оборудования с целью повышения КПД котла .....	7
Задание 3. Энергосбережение топливных энергоресурсов за счет усовершенствования технологической схемы производственной котельной .....	10
Задание 4. Анализ расхода ТЭР при выработке электроэнергии на ТЭЦ и КЭС .....	15
Задание 5.1. Экономия тепловой энергии при проведении изоляции паропровода .....	17
Задание 5.2. Определение удельных теплотерь неизолированного теплопровода и для трех видов изоляции .....	19
Задание 6. Определение экономии топлива за счет использования тепловых ВЭР .....	20
Задание 7.1. Экономия тепловой энергии за счет установки автоматических конденсатоотводчиков .....	24
Задание 7.2. Экономия тепловой энергии от внедрения электронного регулятора температуры в отапливаемом помещении .....	26
Задание 8. Технико – экономическое обоснование внедрения энергоэффективных оконных блоков из ПВХ .....	27
Литература .....	32

**Степанишина Юлия Александровна**

## **ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ**

**Практикум  
по одноименному курсу  
для студентов специальностей  
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»  
и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация  
энергооборудования организаций»  
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 13.09.17.

Пер. № 102Е.  
<http://www.gstu.by>