

# Практическое занятие

## Задача 2

Паровая турбина мощностью  $N=12000$  кВт работает при начальных параметрах  $p_1=80$  бар и  $t_1=450^\circ\text{C}$ . Давление в конденсаторе  $p_2=0,04$  бара. В котельной установке, снабжающей турбину паром, сжигается уголь с теплотой сгорания  $Q_{\text{н}}^{\text{p}}=25$  МДж/кг. КПД котельной установки равен  $\eta_{\text{к.у.}}=0,8$ . Температура питательной воды  $t_{\text{п.в.}}=90^\circ\text{C}$ .

Определить производительность котельной установки и часовой расход топлива при полной нагрузке паровой турбины и условий, что она работает по циклу Ренкина.

Порядок решения. Удельный расход пара турбины

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2}, \text{ кг}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}).$$

Энтальпию  $h_1$  и  $h_2$  находим по  $h$ - $s$  диаграмме.

Расход пара паровой турбиной  $D$

$$D_o = Nd_o, \text{ кг}/\text{ч},$$

где энтальпия питательной воды  $h_{\text{п.в.}} = C_p t_{\text{п.в.}}$ .

Часовой расход топлива  $B$  равен

$$B = \frac{D_o (h_1 - h_{\text{п.в.}})}{Q_{\text{н}}^{\text{p}} \cdot \eta_{\text{к.у.}}}, \text{ кг}/\text{ч}.$$

#### Задача 4

На заводской ТЭЦ установлены две паровые турбины с противодавлением мощностью  $N=4000$  кВт каждая. Весь пар из турбины направляется на производство, откуда он возвращается обратно в котельную в виде конденсата при температуре насыщения.

Турбины работают с полной нагрузкой при следующих параметрах пара:  $p_1=35$  бар,  $t_1=435^\circ\text{C}$ ,  $p_2=1,2$  бар.

Принимая, что установка работает по циклу Ренкина, определить часовой расход топлива, если КПД котельной  $\eta_{к.у.} = 0,84$ , а теплота сгорания топлива

$$Q_{\text{в}}^{\text{р}} = 28500 \text{ кДж/кг.}$$

Порядок решения. Удельный расход пара  $d_o$  равен

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2}, \text{ кг/(кВт}\cdot\text{ч)},$$

где энтальпию  $h_1$  и  $h_2$  находим по  $h$ - $s$  диаграмме.

Часовой расход пара, потребляемый турбинами

$$D_o = 2Nd_o, \text{ кг/ч.}$$

Количество теплоты, потребляемой производством

$$Q_{\text{пр}} = D_o (h_2 - h'_2), \text{ кДж/ч,}$$

где  $h'_2 = C_p t_H$ , а  $t_H = f(p_2)$ .

Количество теплоты, сообщенного пару в котельной

$$Q = D_o (h_1 - h'_2), \text{ кДж/ч.}$$

Часовой расход топлива  $B$  равен

$$B = \frac{Q}{Q_H^P \eta_{\text{ку}}}, \text{ кг/ч.}$$

## Задача 5

Для условий предыдущей задачи подсчитать расход топлива в случае, если вместо комбинированной выработки электрической и тепловой энергии на ТЭЦ будет осуществлена раздельная выработка электроэнергии в конденсационной установке и теплоты в котельной низкого давления.

Конечное давление пара в конденсационной установке принять  $p_2 = 0,04$  бар. КПД котельной низкого давления принять тот же, что для котельной высокого давления,  $\eta_{к.у.} = 0,84$ .

Определить для обоих случаев коэффициент использования теплоты.

Порядок решения. Удельный расход пара на турбину

$$d_o = \frac{3600}{h_1 - h_2}, \text{ кг}/(\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где  $h_1, h_2$  находим по  $h$ - $s$  диаграмме.

Полный расход пара на турбину

$$D_o = 2Nd_o, \text{ кг}/\text{ч}.$$

Количество теплоты, сообщенного пару в котельной,

$$Q = D_o (h_1 - h'_2), \text{ кДж}/\text{ч},$$

где  $h'_2 = C_p t_n$ ;  $t_n = f(p_2) = 29^\circ\text{C}$ ,  $C_p = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ .

Расход топлива  $B_1$  в котельной высокого давления

$$B_1 = \frac{Q}{Q_H^p \eta_{ку}}, \text{ кг/ч.}$$

Количество теплоты, потребляемого производством  $Q_{пр}$  (задача 4), следовательно, расход топлива в котельной низкого давления

$$B_2 = \frac{Q_{пр}}{Q_H^p \eta_{ку}}, \text{ кг/ч.}$$

Суммарный расход топлива в обеих котельных установках  $B_o = B_1 + B_2$ , кг/ч.

Экономия топлива на ТЭЦ в сравнении с отдельной выработкой электроэнергии и теплоты составит

$$\frac{(B_o - B)}{B_o} \cdot 100 \%$$

Коэффициент использования теплоты определяется как отношение всей полезно использованной теплоты ко всей затраченной. Следовательно, в случае комбинированной выработки электроэнергии и теплоты

$$\eta_{\text{к.т.}} = \frac{3600 \cdot 2N + Q_{\text{пр}}}{B \cdot Q_{\text{H}}^{\text{p}} \cdot \eta_{\text{к.у.}}}$$

В случае раздельной выработки обоих видов энергии

$$\eta'_{\text{к.т.}} = \frac{3600 \cdot 2N + Q_{\text{пр}}}{B_{\text{o}} \cdot Q_{\text{H}}^{\text{p}} \cdot \eta_{\text{к.у.}}}$$

$$\eta'_{\text{к.т.}} < \eta_{\text{к.т.}}$$

# Расчетная работа «Расчет отпуска теплоты от ТЭЦ»

## • Задача №1 ¶

Рассчитать годовой отпуск теплоты от ТЭЦ отдельно для производственно-технологических и коммунально-бытовых потребителей. Данные для расчета взять по таблицам 1, 2, 3. Построить годовой график производственного технологического теплоснабжения. ¶

## • Решение задачи №1 ¶

1. Производственно-технологическое потребление тепла ¶

1.1 Расчетная производственно-технологическая нагрузка ¶

$$Q_n^p = D_n^p [h_n - \beta_{ок} (h_{ок} - h_{хз}) - h_{хз}] (1 + q_n), \text{ МВт} ¶$$

¶

Численное значение энтальпии определяется по h-s диаграмме. Долю тепловых потерь в паропроводе принять в диапазоне 0,06...0,1. ¶

1.2 Энтальпия обратного конденсата ¶

$$h_{ок} = c \cdot t_{ок}, \text{ кДж/кг} ¶$$

¶

1.3 Энтальпия холодной воды зимой ¶

$$h_{хз} = c \cdot t_{хз}, \text{ кДж/кг} ¶$$



### 1.3 Энтальпия холодной воды зимой

$$h_{xz} = c \cdot t_{xz}, \text{ кДж/кг}$$

¶

Температуру холодной воды зимой принять равной  $5^{\circ}\text{C}$ .

### 1.4 Годовой отпуск пара на производственно-технологические нужды

$$D_n^p = D_n^p \cdot h_n^{\text{ГЭЦ}}, \text{ т/год}$$

¶

1.5. Годовой отпуск теплоты на производственно-технологические нужды

$$Q_n^r = Q_n^p \cdot h_n^{\text{ГЭЦ}}, \text{ ГДж}$$

Затем строится годовой график производственно-технологического теплоснабжения:

$$Q_{ii} = \overline{Q_{ii}} \cdot \frac{Q_i^{\tilde{a}}}{\sum_{i=1}^{12} \overline{Q_{ii}}}$$

где  $Q_{ni}$  – отпуск теплоты за текущий месяц, ГДж;

$\overline{Q_{ii}}$  – отпуск теплоты за текущий месяц в относительных единицах, ГДж (по приложению 1).

## 2. Коммунально-бытовое потребление тепла

### 2.1 Расчетная нагрузка отопления

$$Q_o^p = q_o A (1 + k_1) = q_o m f (1 + k_1), \text{ МВт}$$

¶

¶

По приложению 2. Норму общей площади в жилых зданиях на 1 человека принять равно 18 м<sup>2</sup>/чел. Коэффициент, учитывающий долю теплового потока на отопление общественных зданий, принять равным 0,25.

### 2.2 Расчетная нагрузка вентиляции

$$Q_v^p = k_1 k_2 q_o m f, \text{ МВт (или ГДж/ч)}$$

Коэффициент, учитывающий долю теплового потока на вентиляцию общественных зданий, принять равным 0,6.

### 2.3 Расчетная нагрузка горячего водоснабжения

$$Q_r^p = q_r m, \text{ МВт (или ГДж/ч)}$$

¶

Укрупненный показатель среднего теплового потока на горячее водоснабжение на 1 человека взять 376 Вт/чел.

### 2.4 Расчетная нагрузка коммунально-бытовых потребителей

$$Q_k^p = Q_o^p + Q_v^p + Q_r^p, \text{ МВт (или ГДж/ч)}$$

---

### 3. Средние тепловые нагрузки¶

#### 3.1. Средняя нагрузка отопления¶

$$Q_o^{cp} = Q_o^p \frac{t_z - t_o}{t_z - t_o^p}, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

¶

Среднюю температуру внутреннего воздуха отапливаемых зданий принять, равной  $18 \text{ } ^\circ\text{C}$  для жилых и общественных зданий, равной  $16 \text{ } ^\circ\text{C}$  — для производственных зданий. Расчетную температуру наружного воздуха для отопления и среднюю температуру наружного воздуха за отопительный период найти по приложению 3.¶

#### 3.2. Средняя нагрузка вентиляции¶

$$Q_v^{cp} = Q_v^p \frac{t_z - t_o}{t_z - t_v^p}, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

¶

#### 3.3. Средняя нагрузка горячего водоснабжения за отопительный период¶

$$Q_r^{cp} = Q_r^p, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

### 3. Средние тепловые нагрузки¶

#### 3.1. Средняя нагрузка отопления¶

$$Q_o^{cp} = Q_o^p \frac{t_z - t_o}{t_z - t_o^p}, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

¶

Среднюю температуру внутреннего воздуха отапливаемых зданий принять, равной 18 °С для жилых и общественных зданий, равной 16 °С — для производственных зданий. Расчетную температуру наружного воздуха для отопления и среднюю температуру наружного воздуха за отопительный период найти по приложению 3. ¶

#### 3.2. Средняя нагрузка вентиляции¶

$$Q_z^{cp} = Q_z^p \frac{t_z - t_o}{t_z - t_z^p}, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

¶

#### 3.3. Средняя нагрузка горячего водоснабжения за отопительный период¶

$$Q_r^{cp} = Q_r^p, \text{ МВт (или ГДж/ч)} ¶$$

3.4 → Средняя нагрузка горячего водоснабжения за неотапительный период¶

$$Q_{\text{гп}}^{\text{ср}} = Q_{\text{г}}^{\text{ср}} \frac{55 - t_{\text{хп}}}{55 - t_{\text{х}}} \beta, \text{ МВт} \quad \uparrow$$

Температуры холодной воды в отопительный и неотапительный периоды принять равными соответственно  $5^{\circ}\text{C}$  и  $15^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент, принять равным 0,8 для жилых и общественных зданий; 1,5 — для курортных и южных городов; ... 1 — для промышленных предприятий.¶

3.5 Средняя нагрузка коммунально-бытовых потребителей за отопительный период¶

$$Q_{\text{к}}^{\text{ср}} = Q_{\text{о}}^{\text{ср}} + Q_{\text{в}}^{\text{ср}} + Q_{\text{г}}^{\text{ср}}, \text{ МВт (или ГДж/ч)}. \quad \uparrow$$

#### 4. Годовые расходы теплоты¶

##### 4.1. Годовой расход теплоты на отопление¶

$$Q_o^r = Q_o^{cp} h_o, \text{ГДж}¶$$

Длительность отопительного периода взять в приложении 3.¶

##### 4.2. Годовой расход теплоты на вентиляцию¶

$$Q_v^r = Q_v^{cp} h_o \frac{z}{24}, \text{ГДж}¶$$

¶

Время работы системы вентиляции общественных зданий за сутки принять равным 16 ч.¶

##### 4.3. Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение¶

$$Q_r^r = Q_r^{cp} h_o + Q_{rn}^{cp} (8400 - h_o), \text{ГДж}¶$$

¶

##### 4.4. Годовой расход теплоты на коммунально-бытовые нужды¶

$$Q_k^r = Q_o^r + Q_v^r + Q_r^r, \text{ГДж}¶$$

Таблица 1

Величина	Исходные данные по сумме двух последних цифр шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$D^p_{\text{н}}$ , кг/с	30	50	100	150	200	250	300	350	400	450
$\gamma_{\text{ст}}$	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
Климатические условия города	С.-Петербурга	Верхоянска	Костромы	Братска	Риги	Перми	Вильнюса	Архангельска	Волгограда	Иркутска
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
$D^p_{\text{н}}$ , кг/с	500	550	600	650	700	750	800	850	900	
$\gamma_{\text{ст}}$	0,06	0,05	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,05	0,06	
Климатические условия города	Куйбышева	Якутска	Иваново	Киева	Красноярска	Москвы	Мурманска	Керчи	Тюмени	



Таблица 2

Величина	Исходные данные по последней цифре шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
m, тыс.чел	100	90	80	70	100	90	80	70	80	90
Топливо	Газ (мазут)	Уголь	Газ (мазут)	Уголь	Газ (мазут)	Уголь	Газ (мазут)	Уголь	Газ (мазут)	Уголь
$Q_H^P$ , МДж/кг	48,65	15,91	48,71	16,71	49,01	17,25	49,52	18,92	50,31	20,52

Таблица 3

Величина	Исходные данные по предпоследней цифре шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$p_{ш}$ , МПа	-	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,95	0,85	0,75
$t_{ш}$ , °C	-	180	190	200	210	220	225	220	215	205
$\beta_{ок}$	-	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
$t_{ок}$ , °C	-	95	95	95	95	95	95	95	95	95
$h_{гэц}$ , ч/год	-	4300	4500	4700	5000	5200	5500	5700	5300	4400

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### П.1. Средние технологические нагрузки (относительные)

Месяц		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Годовое время использования максимума технологической нагрузки $h_{ТЭЦ}^n$ , ч/год	4300-4600	1	0,92	0,81	0,65	0,59	0,57	0,55	0,56	0,63	0,75	0,88	0,95
	4700-5000	1	0,95	0,89	0,76	0,67	0,61	0,59	0,61	0,67	0,78	0,89	0,96
	5000-5300	1	0,97	0,92	0,77	0,68	0,64	0,63	0,65	0,71	0,83	0,91	0,97

### П. 2 Укрупненные показатели максимального теплового потока на отопление жилых зданий (5 этажей и более) $q_0$ , Вт/м<sup>2</sup>

Расчетная температура для отопления $t_0$ , °C *	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55
Здания постройки до 1985г.	65	70	77	79	86	88	98	102	109	115	122
То же после 1985г.	65	67	70	73	81	87	91	95	100	102	108

\* Для промежуточных значений  $t_0$  соответствующие значения  $q_0$  определяются интерполяцией.

П. 3 Укрупненные показатели среднего теплового потока на горячее водоснабжение жилых и общественных зданий при температуре воды  $55^{\circ}\text{C}$   $q_{гв}$ , Вт/чел.

Средняя за отопительный период норма расхода горячей воды на одного человека в сутки.

	л/сут	$q_{гв}$ , Вт/чел.
в жилых домах с душами без ванн	85	320
в жилых домах с сидячими ваннами и душами	95	322
в жилых домах с ваннами длиной 1,5-1,7 м и душами	105	376
в жилых домах высотой более 12 этажей с повышенными требованиями к благоустройству	115	407

#### П. 4 Климатологические данные городов

Город	Температура наружного воздуха, °С			Продолжительность отопительного периода, ho, ч	Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха (и ниже), °С												
	расчетная для отопления $t^p_o$	расчетная для вентиляции $t^p_v$	средняя за отопительный период $t_o$		-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	8
Верхоянск	-59	-51	-25,2	6528	756	1389	2017	2512	2958	3345	3674	4015	4392	4799	5313	5975	6528
Якутск	-55	-45	-21,2	6096	-	587	1094	1617	2190	2652	3075	3485	3879	4333	4856	5368	6096
Братск	-43	-30	-10,3	5904	-	21	96	236	478	861	1343	2021	2752	3439	4214	5143	5904
Красноярск	-40	-22	-7,2	5640	-	-	17	83	212	475	839	1378	2149	3054	3986	5028	5640
Иркутск	-37	-25	-8,9	5784	-	-	7	57	171	454	856	1712	2569	3273	3997	4988	5784
Тюмень	-37	-21	-7,5	5280	-	-	5	24	114	284	653	1233	2065	2975	3835	4743	5280
Пермь	-35	-20	-6,4	5424	-	-	-	18	86	227	520	1091	1904	2885	3844	4855	5244
Архангельск	-31	-19	-4,7	6024	-	-	-	27	80	211	439	869	1570	2672	3939	5371	6024
Кострома	-31	-16	-4,5	5376	-	-	-	3	22	79	244	618	1268	2235	3459	4682	5376
Куйбышев	-30	-18	-6,1	4944	-	-	-	-	11	113	398	883	1475	2330	3343	4326	4944
Иваново	-29	-16	-4,4	5208	-	-	-	-	36	94	262	612	1256	2011	3188	4460	5208
Мурманск	-27	-18	-3,3	6744	-	-	-	-	6	38	134	448	1106	2253	3962	5785	6744
Москва	-26	-15	-3,6	4920	-	-	-	-	15	46	167	404	874	1674	2927	4260	4920
С.-Петербург	-26	-11	-2,2	5256	-	-	-	-	-	21	83	274	711	1539	2889	4575	5256

Окончание П. 4 Климатологические данные городов

Город	Температура наружного воздуха, °С			Продолжительность отопительного периода, ho, ч	Число часов за отопительный период со среднесуточной температурой наружного воздуха (и ниже), °С													
	расчетная для отопления	расчетная для вентиляции	средняя за отопительный период		-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	8	
Волгоград	-25	-13	-3,4	4368	-	-	-	-	-	13	129	432	954	1692	2873	3921	4368	
Вильнюс	-23	-9	-0,9	4656	-	-	-	-	-	3	22	126	399	1031	2273	3847	4656	
Киев	-22	-10	-1,1	4488	-	-	-	-	-	5	36	166	502	1129	2354	3834	4488	
Рига	-20	-8	-0,4	4920	-	-	-	-	-	-	14	91	351	904	2106	3922	4920	
Керчь	-15	-4	-2,2	3672	-	-	-	-	-	-	-	12	89	373	1239	2639	3672	

### П.5 Отпуск теплоты отТЭЦ

№ п/п	Потребители	Нагрузка		
		расчетная		годовая, ГДж
		МВт	ГДж/ч	
1.	Технологические (пар)			
2.	Коммунально-бытовые			
	Отопление			
	Вентиляция			
	Горячее водоснабжение			
3.	Сантехнические потребители			
4.	Потребители теплоты по сетевой воде			