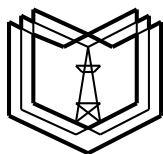


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации



КГЭУ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА И ТРАНСПОРТИРОВКИ
ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ**

Практикум

Казань
2022

УДК 697.34
ББК 31.38
Э65

**Энергетически эффективные технологии и оборудование для
Э65 производства и транспортировки тепловой энергии : практикум /**
составители: С. О. Гапоненко, Ю. В. Ваньков, А. Е. Кондратьев [и др.].
– Казань: КГЭУ, 2022. – 46 с.

Практикум составлен в соответствии с программой дисциплины «Энергетически эффективные технологии и оборудование систем теплоснабжения». Каждое практическое занятие включает в себя теоретические сведения, примеры решения задач и задания для самостоятельного выполнения, а также рекомендуемую литературу.

Предназначен для обучающихся по образовательной программе направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, направленность (профиль) «Энергетически эффективные технологии и оборудование систем теплоснабжения».

УДК 697.34
ББК 31.38

ВВЕДЕНИЕ

Целью издания данного практикума является закрепление и углубление теоретических знаний, полученных в процессе изучения общетехнических дисциплин, привитие обучающимся навыков самостоятельной работы в подборе и использовании научной, технической и справочной литературы и ГОСТов, освоение методов теплотехнического расчета различных процессов, установок.

В ходе практических занятий у обучающегося формируются:

- способность участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергетических объектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией;
- готовность к участию в организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования.

В результате обучающийся должен:

знать:

- основные понятия и определения технической диагностики;
- задачи технической диагностики;
- порядок проведения эксплуатационного технического контроля, принципы и методы технического контроля;
- основные методы неразрушающего контроля;

уметь:

- осуществлять измерения вибраций, акустических колебаний, постоянных и переменных деформаций и усилий, параметров процесса;
- проводить работы при оценке остаточного ресурса;

владеть:

- терминологией в области технической диагностики;
- методами неразрушающего контроля для оценки технического состояния установок и систем теплоснабжения;
- методами статистического анализа для принятия решения о состоянии диагностируемого оборудования;
- навыками оформления и представления результатов выполненной работы

Практическое занятие № 1

ПОНЯТИЯ УСЛОВНОГО ТОПЛИВА, ПЕРВИЧНОГО УСЛОВНОГО ТОПЛИВА

Цель занятия: усвоить такие базовые понятия, как условное топливо, первичное условное топливо; овладеть навыками решения практических задач, связанных с определением потребностей в условном и первично условном топливе.

Общие теоретические сведения

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 топлива или 1 м³ газообразного топлива, называют теплотой сгорания топлива или теплотворной способностью топлива.

Для сопоставления энергетической ценности различных видов топлива и их суммарного учета введено понятие условного топлива. В качестве единицы условного топлива принимается топливо, которое имеет низшую теплоту сгорания, равную 7 000 ккал/кг (29,33 МДж/кг). Зная теплотворную способность любого вида топлива, можно определить его эквивалент в условном топливе:

$$B_{yi} = B_{ni} \cdot \frac{Q_{ni}^p}{7000}, \quad (1.1)$$

где B_{yi} – расход i -го топлива в условном топливе; B_{ni} и Q_{ni}^p – расход и теплотворная способность (ккал/кг) i -го вида топлива в натуральных единицах.

При использовании понятия условного топлива не учитывают затраты энергии на добычу топлива, его транспортировку потребителю, его подготовку или переработку.

Учесть эти затраты при анализе энергопотребления позволяет введение другой единицы – одной тонны первичного условного топлива.

Примеры решения задач

Пример 1.1. Промышленное предприятие в течение года потребляет: природного газа $B_{\text{н газа}} = 20 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ ($Q_{\text{н газа}}^p = 7\,950 \text{ ккал/м}^3$), мазута $B_{\text{н мазута}} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ т}$ ($Q_{\text{н мазута}}^p = 10\,000 \text{ ккал/кг}$), угля $B_{\text{н угля}} = 9 \cdot 10^4 \text{ т}$ ($Q_{\text{н угля}}^p = 4\,500 \text{ ккал/кг}$). Определите потребности предприятия в первичном топливе.

Решение. Для определения расхода энергии в первичном условном топливе переведем расходы топлива из натуральных единиц в условное топливо:

$$\begin{aligned} B_y^Q &= B_{\text{н газа}} \cdot \frac{Q_{\text{н газа}}^p}{7\,000} + B_{\text{н мазута}} \cdot \frac{Q_{\text{н мазута}}^p}{7\,000} + B_{\text{н угля}} \cdot \frac{Q_{\text{н угля}}^p}{7\,000} = \\ &= \frac{20 \cdot 10^6 \cdot 7\,950}{7\,000} + \frac{1,6 \cdot 10^6 \cdot 10\,000}{7\,000} + \frac{90 \cdot 10^6 \cdot 4\,500}{7\,000} = \\ &= 22,71 \cdot 10^6 + 1,71 \cdot 10^6 + 57,86 \cdot 10^6 = 82,28 \cdot 10^6 \text{ кг у. т.} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Коэффициенты пересчета потребленного котельно-печного топлива в первичное составляют для 1 т органического топлива: мазута – 1,107 т у. т.; газа – 1,167 т у. т.; энергетического угля – 1,065 т у. т.

Используя коэффициенты пересчёта условного топлива в первичное условное топливо, получим:

$$\begin{aligned} B_y^Q &= 22,71 \cdot 10^6 \cdot 1,167 + 1,71 \cdot 10^6 \cdot 1,107 + 57,86 \cdot 10^6 \cdot 1,065 = \\ &= 26,5 \cdot 10^6 + 1,89 \cdot 10^6 + 61,62 \cdot 10^6 = 90,01 \cdot 10^6 \text{ кг у. т.} \end{aligned}$$

Пример 1.2. На технологию и выработку тепловой и электрической энергии на собственной ТЭЦ предприятие использует мазут ($Q_{\text{н мазута}}^p = 12\,100 \text{ ккал/кг}$). Дополнительное потребление электроэнергии предприятием составляет $\mathcal{E}_{\text{ао}} = 80 \cdot 10^6 \text{ (кВт} \cdot \text{ч)/год}$. Потребление мазута

на технологию составляет $B_{\text{н мазута}} = 400$ т/год. ТЭЦ вырабатывает $Q = 50 \cdot 10^3$ Гкал/год тепловой энергии с удельным расходом условного топлива $b_{\text{тг}} = 160$ кг у. т./Гкал и $\Xi = 20 \cdot 10^6$ (кВт·ч)/год с удельным расходом условного топлива $b_{\text{э}} = 320$ г у. т./(кВт·ч). Определите годовое потребление предприятием энергии в условном топливе.

Решение. Годовое потребление топлива, т у. т./год:

$$B_{\Sigma} = B_{\text{т}} + B_{\text{тэ}} + B_{\text{ээ}} + B_{\text{ао}}, \quad (1.3)$$

где $B_{\text{т}}$ – расход условного топлива на технологию; $B_{\text{тэ}}$ – расход условного топлива на выработку тепловой энергии; $B_{\text{ээ}}$ – расход условного топлива на производство электрической энергии; $B_{\text{ао}}$ – потребления электроэнергии из энергосистемы.

Годовое потребление мазута в условном топливе на технологию:

$$B_{\text{т}} = B_{\text{н мазута}} \cdot \frac{Q_{\text{н мазута}}^{\text{р}}}{7000} = \frac{400 \cdot 12\,100}{7\,000} = 691,4 \text{ т у. т./год}. \quad (1.4)$$

Годовое потребление энергии в условном топливе на выработку тепловой энергии:

$$B_{\text{тэ}} = Q \cdot b_{\text{тг}} = 50 \cdot 10^3 \cdot 160 = 8 \cdot 10^6 \text{ кг у. т./год}. \quad (1.5)$$

Годовое потребление энергии в условном топливе на выработку электроэнергии на собственной ТЭЦ:

$$B_{\text{ээ}} = \Xi \cdot b_{\text{э}} = 20 \cdot 10^6 \cdot 0,32 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ кг у. т./год}. \quad (1.6)$$

Годовое потребление электроэнергии в условном топливе из энергосистемы:

$$B_{\text{ао}} = \Xi_{\text{ао}} \cdot b_{\text{эт}} = 80 \cdot 10^6 \cdot 0,123 = 9,84 \cdot 10^6 \text{ кг у. т./год}, \quad (1.7)$$

где $b_{\text{эт}}$ – теоретический эквивалент в условном топливе 1кВт·ч.

Тогда

$$B_{\Sigma} = 691,4 + 8 \cdot 10^6 + 6,4 \cdot 10^6 + 9,84 \cdot 10^6 = 24\,931,4 \text{ т у. т./год.}$$

Примечание:

1. При пересчёте расходов тепловой и электрической энергии в условном топливе можно было воспользоваться диаграммой. Для пересчёта потребленного на технологию мазута следует использовать новый коэффициент, поскольку мазут имеет $Q_{\text{н мазута}}^p = 9\,500 \text{ ккал/кг.}$

2. Перевод в условное топливо используемой электроэнергии следует осуществлять отдельно, поскольку удельный расход условного топлива на выработку 1 кВт·ч на ТЭЦ составляет $b_{\text{э}} = 320 \text{ г у. т./кВт·ч.}$, а теоретический эквивалент $b_{\text{эТ}} = 123 \text{ г у. т./кВт·ч.}$

Пример 1.3. Определите для системы (рис. 1.1) влияние на годовую потребность в условном топливе изменения КПД отдельных её элементов ($\eta_{\text{ИТ}}, \eta_{\text{РС}}, \eta_{\text{ЭН}}$) на 5 %, если известна величина полезного энергосбережения $Q_{\text{ПОЛ}} = 1 \text{ Гкал/ч.}$ продолжительность работы системы $\tau = 8\,000 \text{ ч/год}$ и начальные КПД элементов системы: $\eta_{\text{ИТ}} = 0,9; \eta_{\text{РС}} = 0,8; \eta_{\text{ЭН}} = 0,6.$

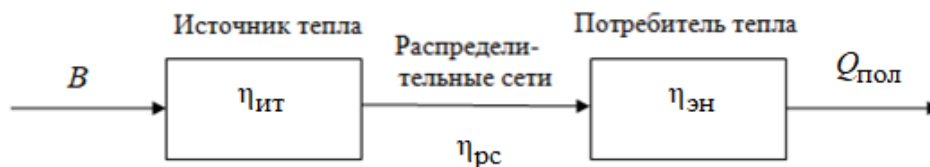


Рис. 1.1. Расчетная схема

Решение. При $Q_{\text{ПОЛ}} = 1 \text{ Гкал/ч}$ потребитель тепла использует:

$$Q_{\text{ЭН}} = \frac{Q_{\text{ПОЛ}}}{\eta_{\text{ЭН}}} = \frac{1}{0,6} = 1,67 \text{ Гкал/ч.} \quad (1.8)$$

Источники тепла вырабатывают:

$$Q_{\text{ИТ}} = \frac{Q_{\text{РС}}}{\eta_{\text{ИТ}}} = \frac{Q_{\text{ПОЛ}}}{\eta_{\text{ЭН}} \cdot \eta_{\text{РС}} \cdot \eta_{\text{ИТ}}} = \frac{1}{0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,9} = 2,31 \text{ Гкал/ч.} \quad (1.9)$$

Годовое потребление энергии источников тепла в условном топливе (B) составит:

$$B = \frac{Q_{\text{ит}} \cdot \tau}{7} = \frac{2,31 \cdot 8\,000}{7} = 2\,645,5 \text{ т у. т./год.} \quad (1.10)$$

Увеличивая на 5 % только $\eta_{\text{ЭН}}$, получим новое значение годового потребления в условном топливе:

$$B' = \frac{1}{0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,9} \cdot \frac{8\,000}{7} = 2\,442 \text{ т у. т./год.}$$

Оставляя $\eta_{\text{ИТ}} = 0,9$ и $\eta_{\text{ЭН}} = 0,6$, увеличивая на 5 % $\eta_{\text{РС}}$, получим:

$$B'' = \frac{1}{0,6 \cdot 0,85 \cdot 0,9} \cdot \frac{8\,000}{7} = 2\,489,9 \text{ т у. т./год.}$$

При увеличении на 5 % только $\eta_{\text{ИТ}}$ годовой расход топлива составит:

$$B''' = \frac{1}{0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,95} \cdot \frac{8\,000}{7} = 2\,506,3 \text{ т у. т./год.}$$

Таким образом, увеличение КПД на 5 % $\eta_{\text{ЭН}}$ позволяет экономить 203,5 т у. т./год, $\eta_{\text{РС}}$ – 155,6 т у. т./год, $\eta_{\text{ИТ}}$ – 139,2 т у. т./год.

При снижении каждого из КПД на 5 % годовой расход условного топлива соответственно будет составлять: 240,5; 176,4 и 155,6 т у. т./год.

Задание для самостоятельного выполнения

Решите примеры 1.1–1.3, используя в качестве исходных данных значения параметров, приведенные в табл. 1.1–1.3, соответственно.

Таблица 1.1¹

Исходные данные к примеру 1.1

Номер варианта	$B_{\text{н газа}}^{\text{р}}, \text{ нм}^3$	$B_{\text{н мазута}}^{\text{р}}, \text{ т}$	$B_{\text{н угля}}^{\text{р}}, \text{ т}$	Номер варианта	$B_{\text{н газа}}^{\text{р}}, \text{ нм}^3$	$B_{\text{н мазута}}^{\text{р}}, \text{ т}$	$B_{\text{н угля}}^{\text{р}}, \text{ т}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	10 000 000	1 200 000	80 000 000	14	30 000 000	4 900 000	950 000
2	20 000 000	1 500 000	90 000 000	15	35 000 000	5 100 000	980 000
3	25 000 000	1 800 000	95 000 000	16	6 000 000	300 000	750 000
4	15 000 000	1 000 000	85 000 000	17	7 000 000	800 000	790 000

¹ Здесь и далее номер варианта соответствует порядковому номеру в журнале группы.

Окончание табл. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
5	8 000 000	500 000	6 000 000	18	24 000 000	130 000	80 000
6	30 000 000	4 800 000	9 000 000	19	10 000 000	120 000	80 000
7	35 000 000	5 200 000	9 500 000	20	20 000 000	150 000	90 000
8	6 000 000	400 000	7 000 000	21	25 000 000	180 000	95 000
9	7 000 000	500 000	7 500 000	22	15 000 000	100 000	85 000
10	24 000 000	1 700 000	930 000	23	8 000 000	50 000	60 000
11	10 000 000	1 400 000	700 000	24	30 000 000	480 000	90 000
12	20 000 000	1 600 000	800 000	25	35 000 000	520 000	95 000
13	25 000 000	1 900 000	900 000	26	6 000 000	40 000	70 000

Таблица 1.2

Исходные данные к примеру 1.2

Номер варианта	Q_H^p , ккал/кг	$\mathcal{E}_{ao}$, (млн кВт·ч)/год	B_H мазута, т/год	Q , Гкал/год	$\mathcal{E}$, (кВт·ч)/год
1	2	3	4	5	6
1	12 100	80	400	$50 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^6$
2	10 000	60	890	$40 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^6$
3	9 500	85	500	$55 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^6$
4	12 100	90	300	$30 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^6$
5	10000	95	200	$50 \cdot 10^3$	$40 \cdot 10^6$
6	9 500	68	400	$45 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^6$
7	12 100	58	890	$55 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^6$
8	10 000	97	500	$35 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^6$
9	9 500	80	300	$55 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^6$
10	12 100	60	200	$45 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^6$
11	10 000	85	400	$50 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^6$
12	9 500	90	890	$34 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^6$
13	12 100	95	500	$56 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^6$
14	10 000	68	300	$48 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^6$
15	9 500	58	200	$56 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^6$
16	12 100	97	400	$34 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^6$

Окончание табл. 1.2

1	2	3	4	5	6
17	10 000	90	890	$54 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^6$
18	9 500	80	500	$43 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^6$
19	12 100	75	300	$50 \cdot 10^3$	$20 \cdot 10^6$
20	10 000	80	200	$35 \cdot 10^3$	$30 \cdot 10^6$
21	12 100	85	400	$20 \cdot 10^3$	$19 \cdot 10^6$
22	10 000	60	890	$25 \cdot 10^3$	$28 \cdot 10^6$
23	9 500	82	500	$27 \cdot 10^3$	$24 \cdot 10^6$
24	12 100	90	300	$26 \cdot 10^3$	$18 \cdot 10^6$
25	10 000	95	200	$28 \cdot 10^3$	$35 \cdot 10^6$
26	9 500	66	400	$30 \cdot 10^3$	$18 \cdot 10^6$

Таблица 1.3

Исходные данные к примеру 1.3

Номер варианта	Изменение КПД, %	$Q_{\text{пол}},$ Гкал/ч	$\tau,$ ч/год	$\eta_{\text{ит}}$	$\eta_{\text{рс}}$	$\eta_{\text{эн}}$
1	2	3	4	5	6	7
1	3	0,5	7 500	0,7	0,8	0,8
2	4	1	8 000	0,9	0,9	0,9
3	9	1,5	8 500	0,8	0,7	0,6
4	3	2	9 000	0,5	0,7	0,8
5	10	2,5	9 500	0,9	0,6	0,7
6	5	0,5	7 500	0,8	0,8	0,9
7	6	1	8 000	0,5	0,7	0,8
8	4	1,5	8 500	0,7	0,6	0,6
9	9	2	9 000	0,9	0,8	0,8
10	6	2,5	9 500	0,8	0,9	0,9
11	4	0,5	7 500	0,8	0,8	0,9
12	9	1	8 000	0,5	0,7	0,8
13	5	1,5	8 500	0,7	0,6	0,6
14	2	2	9 000	0,9	0,8	0,8
15	6	2,5	9 500	0,8	0,9	0,9
16	3	0,5	7 500	0,8	0,7	0,6
17	8	1	8 000	0,5	0,7	0,8
18	9	1,5	8 500	0,9	0,6	0,7

Окончание табл. 1.3

1	2	3	4	5	6	7
19	10	2	9 000	0,8	0,8	0,9
20	3	2,5	9 500	0,5	0,7	0,8
21	6	0,5	7 500	0,8	0,9	0,9
22	4	1	8 000	0,8	0,8	0,9
23	5	1,5	8 500	0,5	0,7	0,8
24	9	2	9 000	0,7	0,6	0,6
25	4	2,5	9 500	0,9	0,8	0,8
26	8	2	8 500	0,7	0,6	0,9

Практическое занятие № 2

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В КОТЕЛЬНЫХ

Цель занятия: закрепить методику оценки потенциалов энергосбережения в котельных; овладеть навыками решения практических задач, связанных с определением потерь топлива, оценкой среднегодовой экономии топлива в действующей промышленной котельной.

Общие теоретические сведения

Мероприятия по энергосбережению в промышленных котельных разнообразны, среди них: повышение КПД котлоагрегатов за счет снижения температуры уходящих газов, использование тепла продувочной воды, рациональное снижение давления пара от давления в барабане котла до давления, требуемого в технологических аппаратах, рациональное распределение нагрузки между несколькими котлоагрегатами, работающими одновременно и др.

При рассмотрении мероприятий по экономии тепловой энергии и топлива наиболее приоритетными являются такие, применение которых позволяет не только обеспечить значительную экономию, но и повысить производительность и надежность теплотехнических установок.

Коэффициент полезного действия котельного агрегата характеризует степень совершенства процесса превращения химической энергии топлива в тепловую энергию вырабатываемого пара или горячей воды.

КПД брутто учитывает использование тепловой энергии топлива в котлоагрегате и представляет собой отношение выработанного тепла к затраченному:

$$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{затр}}} \cdot 100 \% = 100 \% - \sum q, \quad (2.1)$$

где $\sum q$ – сумма удельных (на единицу массы или объема топлива) потерь тепла с уходящими газами, от химической и механической неполноты сгорания топлива и потери в окружающую среду, %.

Тепловые потери с уходящими газами q_1 можно оценить по формуле:

$$q_1 = \frac{t_{yx} - t_b}{t_{\max}} \cdot [c' + (h - 1) \cdot n \cdot k] \cdot (100 - q_3), \quad (2.2)$$

$$h = \frac{RO_2^{\max}}{RO_2 + CO + CH_4}, \quad (2.3)$$

где q_3 – тепловые потери от механической неполноты сгорания топлива, %; t_{yx} , t_b , $t_{\max}$ – температуры уходящих газов и воздуха, подаваемого в котельный агрегат; максимальная температура дымовых газов, °С; c' и k – поправочные коэффициенты, показывающие отношение средних удельных теплоемкостей разбавленных и не разбавленных воздухом дымовых газов в интервале температур от 0 до t_{yx} к средним удельным теплоемкостям в интервале от 0 до $t_{\max}$; n – коэффициент, показывающий отношение средней удельной теплоемкости воздуха в интервале температур от 0 до t_{yx} к средней удельной теплоемкости не разбавленных воздухом дымовых газов в интервале от 0 до $t_{\max}$; RO_2 – сумма трехатомных газов.

Тепловые потери от химической неполноты сгорания топлива q_2 можно оценить по упрощенной формуле:

$$q_2 = \frac{Q_{H.CF}^p \cdot h}{P} \cdot 100 \%, \quad (2.4)$$

где $Q_{H.CF}^p$ – низшая теплота сгорания 1 м³ сухих продуктов сгорания (подсчитывается по данным анализа), кДж/м³; P – низшая теплота сгорания рабочей массы топлива, отнесенная к объему сухих продуктов сгорания, кДж/м³.

$$Q_{H.CF}^p = 4,19 \cdot [30,2 \cdot CO + 25,8 \cdot H_2 + 85,5 \cdot CH_4]. \quad (2.5)$$

Примеры решения задач

Пример 2.1. Определите годовые суммарные потери условного топлива без использования тепловой энергии продувочной воды в котельной. Паропроизводительность котельной $D_K = 48$ т/ч, давление насыщенного пара $P_{II} = 1,3$ МПа, температура исходной воды, поступающей в котельную

$t_{\text{ив}} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, годовое число часов использования паропроизводительности котельной $\tau = 6\,500 \text{ ч}$, $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = 0,73$. Сухой остаток химически очищенной воды $S_{\text{х}} = 515 \text{ мг/кг}$, суммарные потери пара и конденсата в долях паропроизводительности котельной $\Pi_{\text{к}} = 0,41$. В качестве сепарационного устройства используются внутрибарабанные циклоны. Расчетный сухой остаток котловой воды $S_{\text{кв}} = 4\,000 \text{ мг/кг}$.

Решение. Определим величину продувки p_{Π} :

$$p_{\Pi} = \frac{S_{\text{х}} \cdot \Pi_{\text{к}}}{S_{\text{кв}} - S_{\text{х}}} \cdot 100 \% = \frac{515 \cdot 0,41}{4000 - 515} \cdot 100 \% = 6,059. \quad (2.6)$$

По таблицам свойств водяного насыщенного пара находим значение энтальпии при $P_{\Pi} = 1,3 \text{ МПа}$: $h_{\Pi} = 814,7 \text{ кДж/кг}$.

Годовые потери условного топлива без использования тепловой энергии продувочной воды составляют:

$$\Delta B' = \frac{D \cdot \tau \cdot p_{\Pi} \cdot (h_{\text{кв}} - h_{\text{ив}})}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}}, \quad (2.7)$$

где $h_{\text{кв}}$ и $h_{\text{ив}}$ – энтальпия котловой и исходной воды, кДж/кг.

$$\Delta B' = \frac{48 \cdot 6\,500 \cdot 6,059 \cdot (814,7 - 10 \cdot 4,19)}{100 \cdot 29,33 \cdot 10^3 \cdot 0,73} = 682,3 \text{ т у. т./год.}$$

Пример 2.2. Оцените среднегодовую экономию топлива в действующей промышленной котельной, теплопроизводительность которой $Q = 240 \text{ ГДж/ч}$, за счет снижения температуры уходящих газов от $t_{\text{yx1}} = 190 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до температуры уходящих газов $t_{\text{yx2}} = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Топливо – мазут (теплотворная способность условного топлива мазута $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 39,8 \text{ МДж/кг}$). Удельные тепловые потери от механического недожога $q_3 = 0 \%$, а удельные тепловые потери в окружающую среду $q_4 = 1,5 \%$. Температура воздуха, подаваемого в котельный агрегат $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$, максимальная температура дымовых газов $t_{\text{max}} = 2\,060 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Коэффициенты: $c_1 = 0,83$, $k = 0,78$, $n = 0,9$.

Состав продуктов сгорания мазута: $\text{CO}_2 = 10 \%$, $\text{CO} = 0,8 \%$, $\text{CH}_4 = 0,05 \%$, $\text{SO}_2 = 0,07 \%$, $\text{H}_2 = 0,06 \%$. Годовое число часов использования паропроизводительности котельной $\tau = 4\,200$ ч.

Основные параметры для расчета тепловых потерь от химической неполноты сгорания топлива (мазута): $P = 4061,4$ кДж/м³, $\text{RO}_2 = 16,5$, $Q_{\text{H}}^{\text{p}} = 39\,776,5$ кДж/кг.

Решение. Найдем h :

$$h = \frac{\text{RO}_2^{\text{max}}}{\text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4} = \frac{16,5}{10 + 0,07 + 0,8 + 0,05} = 1,511.$$

Величину потерь q_1 определим по формуле (2.2) при температуре уходящих газов $t_{\text{yx1}} = 190$ °C:

$$q_{11} = \frac{190 - 20}{2\,060} \cdot [0,83 + (1,511 - 1) \cdot 0,9 \cdot 0,78] \cdot 100 = 9,81 \%.$$

То же при $t_{\text{yx2}} = 140$ °C:

$$q_{11} = \frac{140 - 20}{2\,060} \cdot [0,83 + (1,511 - 1) \cdot 0,9 \cdot 0,78] \cdot 100 = 6,92 \%.$$

По формуле (2.5) вычислим низшую теплоту сгорания 1 м³ сухих продуктов:

$$Q_{\text{H.сг}}^{\text{p}} = [30,2 \cdot 0,8 + 25,8 \cdot 0,06 + 85,5 \cdot 0,05] \cdot 4,19 = 125,63 \text{ кДж/м}^3.$$

Тепловые потери от химической неполноты сгорания топлива q_2 оценим по формуле (2.4):

$$q_2 = \frac{125,63 \cdot 1,511}{4\,061,4} \cdot 100 \% = 4,67 \%.$$

Исходя из определения КПД брутто:

– при $t_{yx1} = 190\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\eta_{\text{ка}1}^{\text{бр}} = 100\% - \sum q = 100 - (9,81 + 4,67 + 0 + 1,5) = 84,02\%;$$

– при $t_{yx2} = 140\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$\eta_{\text{ка}2}^{\text{бр}} = 100\% - \sum q = 100 - (6,92 + 4,67 + 0 + 1,5) = 86,91\%.$$

Определим годовую экономию топлива от изменения температуры уходящих газов, а следовательно, и КПД брутто котельной:

$$\Delta B = \frac{Q \cdot \tau \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{ка}1}^{\text{бр}}} - \frac{1}{\eta_{\text{ка}2}^{\text{бр}}} \right)}{Q_{\text{H}}^{\text{P}}} = \frac{240 \cdot 10^3 \cdot 4\,200 \cdot \left(\frac{1}{84,02} - \frac{1}{86,91} \right)}{39,8} \approx 10\,024 \text{ т у. т.}$$

В условном топливе годовая экономия энергии составит:

$$\Delta B = \frac{240 \cdot 10^3 \cdot 4\,200 \cdot \left(\frac{1}{84,02} - \frac{1}{86,91} \right)}{29,33} \approx 13\,602 \text{ т у. т.}$$

Задание для самостоятельного выполнения

Решите примеры 2.1 и 2.2, используя в качестве исходных данных значения параметров, приведенные в табл. 2.1 и 2.2, соответственно.

Таблица 2.1

Исходные данные к примеру 2.1

Номер варианта	$D_{\text{к}}, \text{ т/ч}$	$P_{\text{п}}, \text{ МПа}$	$t_{\text{ив}}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\tau, \text{ ч}$	$\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}}$
1	2	3	4	5	6
1	50	1,4	15	6 000	0,72
2	60	1,5	16	4 500	0,70

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6
3	49	1,3	17	5 000	0,74
4	51	1,4	18	6 500	0,75
5	52	1,5	14	6 000	0,76
6	53	1,3	13	4 500	0,73
7	54	1,4	12	5 000	0,72
8	55	1,5	10	6 500	0,70
9	56	1,3	15	6 000	0,74
10	57	1,4	16	4 500	0,75
11	58	1,5	17	5 000	0,76
12	59	1,3	18	6 500	0,73
13	61	1,4	14	6 000	0,72
14	62	1,5	13	4 500	0,70
15	63	1,3	12	5 000	0,74
16	64	1,4	10	6 500	0,75
17	65	1,5	15	6 000	0,76
18	66	1,3	16	4 500	0,73
19	67	1,4	17	5 000	0,72
20	68	1,3	18	5 600	0,75
21	54	1,3	10	6 500	0,73
22	55	1,4	9	6 500	0,72
23	56	1,5	8	5 500	0,70
24	57	1,3	11	5 400	0,74
25	58	1,4	19	6 400	0,75

Таблица 2.2

Исходные данные к примеру 2.2

Номер варианта	Q , ГДж/ч	t_{yx1} , °C	t_{yx2} , °C	t_{max} , °C	τ , ч
1	2	3	4	5	6
1	240	190	140	2 070	4 200
2	210	200	130	2 060	5 000
3	220	170	140	2 080	4 500
4	230	180	130	2 060	6 000
5	250	160	140	2 070	4 000
6	260	190	140	2 060	4 200
7	270	200	130	2 080	5 000
8	280	170	140	2 060	4 500
9	290	180	130	2 070	6 000

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5	6
10	300	160	140	2 060	4 000
11	240	190	140	2 080	4 200
12	210	200	130	2 060	5 000
13	220	170	140	2 070	4 500
14	230	180	130	2 060	6 000
15	250	160	140	2 080	4 000
16	260	190	140	2 060	4 200
17	270	200	130	2 070	5 000
18	280	170	140	2 060	4 500
19	290	180	130	2 080	6 000
20	300	160	140	2060	4000
21	265	185	130	2070	4500
22	240	190	145	2075	4300
23	210	200	135	2065	5300
24	220	170	145	2085	4600
25	230	180	135	2065	6100

Практическое занятие № 3

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРА И ГОРЯЧЕЙ ВОДЫ

Цель занятия: закрепить теоретические знания по энергосберегающим мероприятиям; овладеть навыками решения практических задач, связанных с определением экономии энергии.

Общие теоретические сведения

Мероприятия по энергосбережению при распределении и транспорте энергоносителей имеют несколько направлений: снижение прямых утечек пара и воды, уменьшение тепловых потерь теплопроводов за счет их изоляции, оптимизация гидравлического сопротивления при транспорте энергоносителей и т. д.

Количество тепла (Вт, ккал/ч), передаваемое в окружающую среду нагретой поверхностью трубопровода, определяется:

$$Q_{\text{тр}} = \pi \cdot d \cdot \alpha \cdot (t_{\text{нар}} - t_{\text{в}}) \cdot L, \quad (3.1)$$

где $t_{\text{нар}}$ и $t_{\text{в}}$ – средняя температура наружной поверхности и окружающего воздуха, °С; d и L – диаметр и длина трубопровода, м; α – суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² · К) или ккал/(м³ · ч · °С).

Для нагретых плоских поверхностей:

$$Q_{\text{п}} = \alpha \cdot (t_{\text{нар}} - t_{\text{в}}) \cdot H, \quad (3.2)$$

где H – площадь поверхности, м².

Суммарный коэффициент теплоотдачи учитывает теплоотдачу конвекцией $\alpha_{\text{к}}$ и излучением $\alpha_{\text{л}}$.

Для расчета первого из них используют зависимости вида $Nu = f(Re, \dots)$ или $Nu = f(Gr, Pr)$.

Приближенно для объектов, находящихся вне помещений на открытом воздухе α_K , Вт/(м² · К), можно оценить:

$$\alpha_K = 10 + 6 \cdot \sqrt{w}, \quad (3.3)$$

где w – скорость ветра, м/с.

Для трубопроводов диаметром до 2 м, находящихся в помещениях:

$$\alpha_K = 8,1 + 0,045 \cdot (t_{\text{нар}} - t_{\text{в}}). \quad (3.4)$$

Лучистый теплообмен между поверхностью технологического оборудования и окружающим пространством определяется уравнением:

$$\alpha_L = \varepsilon_{\Pi} \cdot c_0 \cdot \left[\frac{\left(\frac{t_{\text{нар}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_{\text{в}}}{100} \right)^4}{t_{\text{нар}} - t_{\text{в}}} \right], \quad (3.5)$$

где ε_{Π} – приведенная степень черноты системы; c_0 – коэффициент лучеиспускания абсолютно черного тела, $c_0 = 5,7$ Вт/(м² · К⁴); $t_{\text{нар}}$ и $t_{\text{в}}$ – абсолютные температуры стенок оборудования и окружающих стен.

Потери тепла, Вт/м или ккал/(м · ч), неизолированной трубой в грунте определяются по формуле:

$$Q_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_{\text{нар}} - t_{\text{гр}}) \cdot \lambda_{\text{гр}}}{\ln(2a/r)}, \quad (3.6)$$

где $\lambda_{\text{гр}}$ – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м · °С); $t_{\text{гр}}$ – температура грунта, °С; r – радиус поверхности трубы, соприкасающейся с грунтом, м; a – глубина заложения оси теплопровода от поверхности земли, м.

Можно принимать $\lambda_{\text{гр}} = 1,5$ – для влажных грунтов, $\lambda_{\text{гр}} = 1,5$ – для грунтов средней влажности, $\lambda_{\text{гр}} = 0,5$ – для сухих грунтов.

Примеры решения задач

Пример 3.1. Определите экономию тепловой энергии при нанесении изоляции на паропровод $d=108$ мм длиной $L=10$ м, работающий непрерывно в течение года. Температура теплоносителя $t_1=150$ °С. Паропровод проложен в помещении, в котором температура $t_B=+25$ °С и скорость потока воздуха $w=2$ м/с. Толщина изоляции обеспечивает температуру на ее поверхности $t'_{\text{нар}}=35$ °С; продолжительность работы системы $\tau=8\,760$ ч/год.

Решение. Для вычисления потерь теплоты неизолированным трубопроводом находим суммарный коэффициент теплоотдачи от трубопровода к наружному воздуху:

$$\alpha_K = 8,1 + 0,045 \cdot (t_{\text{нар}} - t_B) = 8,1 + 0,045 \cdot (35 - 25) = 8,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тогда теплотери неизолированным теплопроводом составят:

$$Q_{\text{тр}} = \pi \cdot d \cdot \alpha \cdot (t_1 - t_B) \cdot L = 3,14 \cdot 0,108 \cdot 8,55 \cdot (150 - 25) \cdot 10 = 3\,624 \text{ Вт}.$$

Аналогично для изолированного паропровода:

$$Q'_{\text{тр}} = \pi \cdot d \cdot \alpha \cdot (t'_{\text{нар}} - t_B) \cdot L = 3,14 \cdot 0,108 \cdot 8,55 \cdot (35 - 25) \cdot 10 = 290 \text{ Вт}.$$

Тогда экономия тепла за год составит:

$$\Delta Q = (Q_{\text{тр}} - Q'_{\text{тр}}) \cdot \tau = (3\,624 - 290) \cdot 8\,760 = 29,2 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пример 3.2. Определите экономию тепловой энергии в течение месяца при восстановлении разрушенной изоляции на паропроводе длиной $L=10$ м с наружным диаметром $d=108$ мм. Температура теплоносителя $t_1=150$ °С. Паропровод проложен вне помещения. Средняя расчетная температура воздуха $t_B=-5$ °С, скорость потока воздуха $\omega=2$ м/с, толщина изоляции составляет $\delta=30$ мм. Измеренная на ее поверхности температура $t_{\text{из}}=10$ °С.

Решение. Для вычисления потерь теплоты неизолрированным трубопроводом находим конвективный коэффициент теплоотдачи от трубопровода к наружному воздуху:

$$\alpha_K = 11,6 + 7 \cdot \sqrt{w} = 11,6 + 7 \cdot \sqrt{2} = 21,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Определяем коэффициент теплоотдачи за счет излучения (3.5), считая приведенную степень черноты системы равной $\epsilon_{\Pi} = 0,9$ и температуру наружной поверхности неизолрированного трубопровода равной температуре теплоносителя.

$$\alpha_{\text{л}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot \left[\frac{\left(\frac{273+150}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+(-5)}{100} \right)^4}{273+150 - 273 - (-5)} \right] = 8,84 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Найдем суммарный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_{\text{л}} = 21,5 + 8,84 = 30,34 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тогда потери теплоты неизолрированным трубопроводом:

$$Q_{\text{тр}} = 3,14 \cdot 0,108 \cdot 30,34 \cdot (150 - (-5)) \cdot 10 = 15\,948 \text{ Вт}.$$

Для изолированного трубопровода конвективный коэффициент теплоотдачи не изменится. Коэффициент теплоотдачи при лучистом теплообмене:

$$\alpha_{\text{л}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot \left[\frac{\left(\frac{273+10}{100} \right)^4 - \left(\frac{273+(-5)}{100} \right)^4}{273+10 - 273 - (-5)} \right] = 4,27 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \alpha_K + \alpha_{\text{л}} = 21,5 + 4,27 = 25,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Тогда потери теплоты неизолированным трубопроводом с учетом того, что его диаметр изменяется за счет слоя изоляции:

$$Q'_{\text{тр}} = \pi \cdot (d + 2 \cdot \delta) \cdot \alpha \cdot (t_{\text{из}} - t_{\text{в}}) \cdot L =$$

$$= 3,14 \cdot (0,108 + 2 \cdot 0,03) \cdot 25,77 \cdot (10 - (-5)) \cdot 10 = 2\,039 \text{ Вт.}$$

Экономия тепла за год составит:

$$\Delta Q = (Q_{\text{тр}} - Q'_{\text{тр}}) \cdot \tau = (15\,948 - 2\,039) \cdot 8\,760 = 1,21 \cdot 10^5 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 104,8 \text{ Гкал.}$$

Задание для самостоятельного выполнения

Решите примеры 3.1 и 3.2, используя в качестве исходных данных значения параметров, приведенные в табл. 3.1 и 3.2, соответственно.

Таблица 3.1

Исходные данные к примеру 3.1

Номер варианта	d , мм	L , м	t_1 , °C	$t_{\text{в}}$, °C	$t'_{\text{нар}}$, °C
1	2	3	4	5	6
1	108	20	130	+18	30
2	159	15	160	+15	25
3	273	17	135	+20	35
4	108	18	165	+10	20
5	108	14	155	+30	40
6	159	9	140	+25	35
7	273	10	145	+18	30
8	108	20	150	+15	25
9	108	15	130	+20	35
10	159	17	160	+10	20
11	273	18	135	+30	40
12	108	14	165	+25	35
13	108	9	155	+18	30
14	159	10	140	+15	25
15	273	20	145	+20	35
16	108	22	165	+5	35
17	108	25	155	+8	30
18	159	28	140	+9	25

Окончание табл. 3.1

1	2	3	4	5	6
19	273	30	145	+3	35
20	108	10	152	+22	35
21	108	20	132	+17	30
22	159	15	163	+16	25
23	273	17	133	+21	35
24	108	18	164	+11	20
25	108	14	154	+32	40

Таблица 3.2

Исходные данные к примеру 3.2

Номер варианта	d , мм	δ , мм	L , м	t_1 , °C	t_B , °C	w , м/с	$t_{из}$, °C
1	108	25	20	130	-6	3	9
2	159	35	15	160	-7	5	14
3	273	20	17	135	-3	4	12
4	108	30	18	165	-2	2	10
5	108	25	14	155	0	3	9
6	159	35	9	140	-5	5	14
7	273	20	10	145	-6	4	12
8	108	30	20	150	-7	2	10
9	108	25	15	130	-3	3	9
10	159	35	17	160	-2	5	14
11	273	20	18	135	0	4	12
12	108	30	14	165	-5	2	10
13	108	25	9	155	-6	3	9
14	159	35	10	140	-7	5	14
15	273	20	20	145	-3	4	12
16	108	35	22	165	-15	5	10
17	108	20	25	155	-10	3	9
18	159	30	28	140	-8	4	14
19	273	25	30	145	-9	2	12
20	108	30	10	152	-5	6	10
21	108	25	20	132	-6	7	9
22	159	35	15	163	-7	8	14
23	273	20	17	133	-3	6	12
24	108	30	18	164	-2	7	10
25	108	25	14	154	0	8	9

Практическое занятие № 4

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ БАЛАНСЫ И НОРМИРОВАНИЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Цель занятия: приобрести теоретические знания в области энергетических балансов и нормирования потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР); овладеть навыками решения практических задач, связанных с определением норм расхода топлива.

Общие теоретические сведения

Энергетический баланс представляет собой частное выражение закона сохранения энергии и равенство между суммарной подведенной энергией и суммарными полезной энергией и потерями энергии.

Полезная энергия – это количество энергии, теоретически необходимое для проведения энергетических процессов или получаемое на стадиях переработки, преобразования, транспорта или хранения энергетических ресурсов.

Энергетические балансы составляются для потребителей ТЭР с целью определения потребности в энергетических ресурсах проектируемых объектов, анализа и оценки эффективности использования энергетических ресурсов в стране, отдельном регионе, отрасли народного хозяйства предприятия, технологической установкой и другими объектами, потребляющими ТЭР.

Нормирование потребления топливно-энергетических ресурсов

Нормирование расхода топливно-энергетических ресурсов – это определение меры рационального потребления этих ресурсов на единицу продукции установленного качества. Основная задача нормирования энергопотребления как составной части энергетического менеджмента – обеспечить применение в производстве методов рационального распределения и эффективного использования энергоресурсов.

Норма расхода ТЭР позволяет:

- планировать потребность ТЭР на производство определенного количества продукции;

- анализировать работу предприятия и его подразделений путем сопоставления норм и фактических удельных расходов ТЭР;
- определять удельную энергоемкость данного вида продукции;
- сравнивать энергоемкость одноименного продукта, производимого разными способами.

В основе составления норм расхода ТЭР лежит анализ энергетических балансов промышленных предприятий.

Примеры решения задач

Пример 4.1. Рассчитайте групповые нормы расхода топлива на выработку тепловой энергии по кварталам и на год для котельной. В котельной работают два водогрейных котла ПТВМ-70 (№ 1 и 2) и два паровых котла ДКВР-60-13 (№ 3 и 4). Котлы № 1 и 2 сжигают газовое топливо, а котлы № 3 и 4 – мазут. Индивидуальные нормы расхода топлива при номинальной нагрузке и нормативные коэффициенты, учитывающие эксплуатационные нагрузки котлов, приведены в условных данных.

Решение. Индивидуальную норму расхода топлива (брутто) на производство тепловой энергии котлом в I–IV кварталах, кг/Гкал, определим по следующим формулам:

– для зимнего периода:

$$b_{\text{бр}2\text{I}} = K_{70\text{ПТВМ}} \cdot b_{\text{бр норм ПТВМ}} = 0,992 \cdot 157,1 = 155,843 \text{ кг/Гкал};$$

$$b_{\text{бр}3\text{I}} = K_{60\text{ДКВР}} \cdot b_{\text{бр норм ДКВР}} = 0,992 \cdot 157,5 = 156,24 \text{ кг/Гкал};$$

$$b_{\text{бр}4\text{I}} = K_{60\text{ДКВР}} \cdot b_{\text{бр норм ДКВР}} = 0,992 \cdot 157,5 = 156,24 \text{ кг/Гкал};$$

$$b_{\text{бр}1\text{II}} = K_{70\text{ПТВМ}} \cdot b_{\text{бр норм ПТВМ}} = 0,90 \cdot 157,1 = 141,39 \text{ кг/Гкал};$$

$$b_{\text{бр}2\text{II}} = K_{70\text{ПТВМ}} \cdot b_{\text{бр норм ПТВМ}} = 0,90 \cdot 157,1 = 141,39 \text{ кг/Гкал};$$

$$b_{\text{бр}3\text{II}} = K_{60\text{ДКВР}} \cdot b_{\text{бр норм ДКВР}} = 0,92 \cdot 157,5 = 144,9 \text{ кг/Гкал};$$

$$b_{\text{бр}4\text{II}} = K_{60\text{ДКВР}} \cdot b_{\text{бр норм ДКВР}} = 0,92 \cdot 157,5 = 144,9 \text{ кг/Гкал};$$

– для летнего периода:

$$b_{\text{бр}3\text{III}} = K_{60\text{ДКВР}} \cdot b_{\text{бр норм ДКВР}} = 0,944 \cdot 157,5 = 148,68 \text{ кг/Гкал};$$

$$b_{\text{бр}4\text{III}} = K_{60\text{ДКВР}} \cdot b_{\text{бр норм ДКВР}} = 0,944 \cdot 157,5 = 148,68 \text{ кг/Гкал};$$

$$b_{\text{бр}1\text{IV}} = K_{70\text{ПТВМ}} \cdot b_{\text{бр норм ПТВМ}} = 0,90 \cdot 157,1 = 141,39 \text{ кг/Гкал};$$

$$b_{\text{бр}2\text{IV}} = K_{70\text{ПТВМ}} \cdot b_{\text{бр норм ПТВМ}} = 0,90 \cdot 157,1 = 141,39 \text{ кг/Гкал}.$$

Групповая средневзвешенная норма расхода топлива на производство тепловой энергии котельной:

– в первом квартале:

$$\begin{aligned} b_{\text{ср брI}} &= \frac{b_{\text{бр}1\text{I}} \cdot N_{1\text{I}} \cdot \tau_1 \cdot n_{\text{ПТВМ}} + b_{\text{бр}3\text{I}} \cdot N_{3\text{I}} \cdot \tau_1 \cdot n_{\text{ДКВР}}}{N_{1\text{I}} \cdot \tau_1 \cdot n_{\text{ПТВМ}} + N_{3\text{I}} \cdot \tau_1 \cdot n_{\text{ДКВР}}} = \\ &= \frac{155,843 \cdot 35 \cdot 2 \cdot 160 \cdot 2 + 156,24 \cdot 4,55 \cdot 2 \cdot 160 \cdot 2}{35 \cdot 2 \cdot 160 \cdot 2 + 4,55 \cdot 2 \cdot 160 \cdot 2} = 155,889 \text{ кг/Гкал}; \end{aligned}$$

– во втором квартале:

$$\begin{aligned} b_{\text{ср брII}} &= \frac{b_{\text{бр}1\text{II}} \cdot N_{1\text{II}} \cdot \tau_2 \cdot n_{\text{ПТВМ}} + b_{\text{бр}3\text{II}} \cdot N_{3\text{II}} \cdot \tau_2 \cdot n_{\text{ДКВР}}}{N_{1\text{II}} \cdot \tau_2 \cdot n_{\text{ПТВМ}} + N_{3\text{II}} \cdot \tau_2 \cdot n_{\text{ДКВР}}} = \\ &= \frac{141,39 \cdot 30 \cdot 720 \cdot 2 + 144,9 \cdot 3,9 \cdot 720 \cdot 2}{30 \cdot 720 \cdot 2 + 3,9 \cdot 720 \cdot 2} = 141,794 \text{ кг/Гкал}; \end{aligned}$$

– в третьем квартале:

$$\begin{aligned} b_{\text{ср брIII}} &= \frac{b_{\text{бр}3\text{III}} \cdot N_{3\text{III}} \cdot \tau_2 \cdot n_{\text{ДКВР}}}{N_{3\text{III}} \cdot \tau_2 \cdot n_{\text{ДКВР}}} = b_{\text{бр}3\text{III}} = \\ &= \frac{148,68 \cdot 3,25 \cdot 720 \cdot 2}{3,25 \cdot 720 \cdot 2} = 148,68 \text{ кг/Гкал}; \end{aligned}$$

– в четвертом квартале:

$$b_{\text{ср } \text{бpIV}} = \frac{b_{\text{срIIV}} \cdot N_{\text{IIV}} \cdot \tau_1 \cdot n_{\text{ПТВМ}}}{N_{\text{IIV}} \cdot \tau_1 \cdot n_{\text{ПТВМ}}} = b_{\text{ср IIV}} =$$
$$= \frac{141,39 \cdot 30 \cdot 2160 \cdot 2}{30 \cdot 2160 \cdot 2} = 141,39 \text{ кг/Гкал.}$$

Групповая норма расхода топлива котельной на выработку тепловой энергии:

– в первом квартале:

$$b_{\text{ГР I}} = \frac{b_{\text{ср } \text{бpI}}}{1 - \alpha_{\text{сн}}} = \frac{155,889}{1 - 0,035} = 161,543 \text{ кг/Гкал;}$$

– во втором квартале:

$$b_{\text{ГР II}} = \frac{b_{\text{ср } \text{бpII}}}{1 - \alpha_{\text{сн}}} = \frac{141,794}{1 - 0,035} = 146,937 \text{ кг/Гкал;}$$

– в третьем квартале:

$$b_{\text{ГР III}} = \frac{b_{\text{ср } \text{бpIII}}}{1 - \alpha_{\text{сн}}} = \frac{148,68}{1 - 0,035} = 154,073 \text{ кг/Гкал;}$$

– в четвертом квартале:

$$b_{\text{ГР IV}} = \frac{b_{\text{ср } \text{бpIV}}}{1 - \alpha_{\text{сн}}} = \frac{141,39}{1 - 0,035} = 146,518 \text{ кг/Гкал.}$$

Количество тепловой энергии, произведенной котельной, по кварталам I–IV:

– в первом квартале:

$$Q_{\text{бp I}} = N_{\text{II}} \cdot \tau_1 \cdot n_{\text{ПТВМ}} + N_{\text{ЗI}} \cdot \tau_1 \cdot n_{\text{ДКВР}} =$$
$$= 35 \cdot 2160 \cdot 2 + 4,55 \cdot 2160 \cdot 2 = 170856 \text{ Гкал;}$$

– во втором квартале:

$$Q_{\text{бр II}} = N_{\text{II}} \cdot \tau_2 \cdot n_{\text{ПТВМ}} + N_{\text{ЗII}} \cdot \tau_2 \cdot n_{\text{ДКВР}} = \\ = 30 \cdot 720 \cdot 2 + 3,9 \cdot 720 \cdot 2 = 48\,816 \text{ Гкал};$$

– в третьем квартале:

$$Q_{\text{бр III}} = N_{\text{ЗIII}} \cdot \tau_2 \cdot n_{\text{ДКВР}} = 3,25 \cdot 720 \cdot 2 = 4\,680 \text{ Гкал};$$

– в четвертом квартале:

$$Q_{\text{бр IV}} = N_{\text{IV}} \cdot \tau_1 \cdot n_{\text{ПТВМ}} = 30 \cdot 2\,160 \cdot 2 = 129\,600 \text{ Гкал}.$$

Годовую групповую норму расхода топлива на отпуск тепловой энергии котельной определим как средневзвешенное значение квартальных норм:

$$b_{\text{ср ГОД}} = \frac{b_{\text{ГР I}} \cdot Q_{\text{бр I}} + b_{\text{ГР II}} \cdot Q_{\text{бр II}} + b_{\text{ГР III}} \cdot Q_{\text{бр III}} + b_{\text{ГР IV}} \cdot Q_{\text{бр IV}}}{Q_{\text{бр I}} + Q_{\text{бр II}} + Q_{\text{бр III}} + Q_{\text{бр IV}}} = \\ = \frac{161,543 \cdot 170\,856 + 146,937 \cdot 48\,816 + 154,073 \cdot 4\,680 + 146,518 \cdot 129\,600}{170\,856 + 48\,816 + 4\,680 + 129\,600} = \\ = 153,928 \text{ кг/Гкал}.$$

Задание для самостоятельного выполнения

Решите пример 4.1, используя в качестве исходных данных значения параметров, приведенные в табл. 4.1–4.4.

Таблица 4.1

Нормативные коэффициенты K , учитывающие эксплуатационные нагрузки котлов

Тип котлоагрегата	Вид топлива	Нагрузка, % номинальный		
		50	60	70
ПТВМ	Газ	0,988	0,990	0,992
	Мазут	0,986	0,988	0,991
ДКВР	Газ	0,944	0,992	0,992
	Мазут	0,942	0,990	0,991

Таблица 4.2

Основные параметры котлов

Наименование, ед. измерения	Обозначение	Варианты	
		1–13	14–26
Собственные нужды	$\alpha_{\text{сн}}$	0,035	0,045
Номинальная нагрузка, Гкал/ч :			
водогрейных котлов	$N_{\text{ном ПТВМ}}$	50	55
паровых котлов	$N_{\text{ном ДКВР}}$	6,5	7
Количество котлов, шт.:			
водогрейных	$n_{\text{ПТВМ}}$	2	2
паровых	$n_{\text{ДКВР}}$		
Продолжительность работы котлов, ч:			
в I квартале	τ_1	2 160	2 170
во II квартале	τ_2	720	730

Таблица 4.3

Нагрузки котлов, Гкал/ч

Летний период		Зимний период	
N_{1I}	35	N_{1I}	36
N_{2I}	35	N_{2I}	36
N_{3I}	4,55	N_{3I}	4,65
N_{4I}	4,55	N_{4I}	4,65
N_{1II}	30	N_{1II}	31
N_{2II}	30	N_{2II}	31
N_{3II}	3,9	N_{3II}	3,8
N_{4II}	3,9	N_{4II}	3,8
N_{3III}	3,25	N_{3III}	3,45
N_{4III}	3,25	N_{4III}	3,45
N_{1IV}	30	N_{1IV}	31
N_{2IV}	30	N_{2IV}	31

Таблица 4.4

**Индивидуальные нормы расхода топлива для котлов
при номинальной нагрузке (вид топлива – газ)**

Вариант	$b_{\text{бр норм ДКВР}}$	$b_{\text{бр норм ПТВМ}}$
	кг/Гкал	
1	157,5	157,1
2	158,0	157,6
3	158,5	158,1
4	159,0	158,6
5	159,5	159,1
6	160,0	159,6
7	160,5	160,1
8	161,0	160,6
9	161,5	161,1
10	162,0	161,6
11	162,5	162,1
12	163,0	162,6
13	163,5	163,1
14	164,0	163,6
15	164,5	164,1
16	165,0	164,6
17	165,5	165,1
18	166,0	165,6
19	166,5	166,1
20	167,0	166,6
21	167,5	167,1
22	168,0	167,6
23	168,5	168,1
24	169,0	168,6
25	169,5	169,1
26	170,0	169,6

Практическое занятие № 5

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЯХ

Цель занятия: овладеть навыками решения практических задач, связанных с определением годовой экономии энергии и энергосбережением в теплотехнологиях в целом.

Общие теоретические сведения

Все энергосберегающие мероприятия можно разбить на три группы:

- теплотехнологические – теплотехнические (выбор тепловой схемы, режимных параметров сушки: температуры, скорости и влагосодержания сушильного агента и т. д.); конструктивно-технологические (выбор направления взаимного движения сушильного агента и материала и т. д.);
- кинетические – методы интенсификации внешнего тепло- и массообмена (коэффициента теплоотдачи к сушиму материалу, поверхности тепло- и массообмена и т. д.); методы интенсификации внутреннего тепло- и массообмена (повышение температуры материала в первом периоде сушки и т. д.);
- энергосберегающие технологии – использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, приводящее к замещению органического топлива (солнечные сушильные установки и др.); применение в качестве сушильного агента паров растворителя, водяного пара атмосферного давления и др.

Примеры решения задач

Пример 5.1. В теплообменном аппарате утилизируется теплота отработанного пара после сушильной установки. Теплота пара используется для подогрева воды, направляемой на промывку деталей. Температура воды на входе составляет 60 °С, на выходе – 90 °С. Найдите годовую экономию тепловой энергии за счет очистки при непрерывной работе установки, если очистить теплообменник от отложений на внутренней поверхности трубок (со стороны воды). Считайте, что коэффициент теплоотдачи со стороны пара во много раз превышает коэффициент теплоотдачи со стороны воды. Термическим сопротивлением трубок теплообменника по сравнению с термическим сопротивлением отложений можете пренебречь.

Исходные данные:

- температура пара $t_{\Pi} = 120$ °С;
- температура воды, °С:
 - на входе – $t_{B1} = 60$ °С;
 - на выходе – $t_{B2} = 90$ °С;
- расход воды $G = 0,4$ кг/с;
- площадь поверхности аппарата $F = 2$ м²;
- термическое сопротивление отложений $R = 0,001$ (м² · К)/Вт;
- удельная теплоемкость $c_p = 4,2$ кДж/(кг · К).

Решение. Тепловая мощность аппарата до очистки:

$$Q_0 = G \cdot c_p \cdot (t_{B2} - t_{B1}) = 0,4 \cdot 4,2 \cdot (90 - 60) = 50,4 \text{ кВт.}$$

Средняя логарифмическая разность температур между паром и жидкостью в теплообменнике до очистки:

$$\Delta t_{\zeta} = t_{\Pi} - t_{B1} = 120 - 60 = 60 \text{ К;}$$

$$\Delta t_{\text{м}} = t_{\Pi} - t_{B2} = 120 - 90 = 30 \text{ К;}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\zeta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln(\Delta t_{\zeta}/\Delta t_{\text{м}})} = \frac{60 - 30}{\ln(60/30)} = 43,281 \text{ К.}$$

Коэффициент теплопередачи в теплообменнике до очистки:

$$k_0 = \frac{Q_0}{F \cdot \Delta t} = \frac{50,4}{2 \cdot 43,281} = 582,244 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Коэффициент теплоотдачи в теплообменнике определим между водой и внутренней поверхностью трубок. Поскольку коэффициент теплоотдачи со стороны пара очень велик, а термическим сопротивлением стенки труб пренебрегаем, получаем:

$$\alpha = \frac{1}{(1/k_0) - R} = \frac{1}{(1/582,244) - 0,001} = 1\,393,74 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Поскольку коэффициент теплоотдачи со стороны пара много больше, чем со стороны воды, а термическое сопротивление стенки мало, то после очистки коэффициент теплопередачи равен коэффициенту теплоотдачи с внутренней стороны:

$$k_1 = \frac{1}{1/\alpha} = \frac{1}{1/1\,393,74} = 1,394 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

По коэффициенту теплопередачи определяем конечную разность температур пара и воды и конечную температуру воды после очистки. Распределение температур в теплообменнике описывается экспоненциальной зависимостью и имеет вид:

$$\Delta t_1 = t_{\text{п}} - t_{\text{в1}} = 120 - 60 = 60 \text{ К}, \Delta t_1 = \Delta t_6;$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_1 \cdot \exp\left(-F \cdot \frac{k_1}{G \cdot c_p}\right) = 60 \cdot \exp\left(-2 \cdot \frac{1,394}{0,4 \cdot 4,2}\right) = 11,417 \text{ К};$$

$$t_{\text{в2}} = t_{\text{п}} - \Delta t_2 = 120 - 11,417 = 108,583 \text{ К}.$$

Находим переданный тепловой поток после очистки:

$$Q_1 = G \cdot c_p \cdot (t_{\text{в2}} - t_{\text{в1}}) = 0,4 \cdot 4\,200 \cdot (108,583 - 60) = 81\,619 \text{ Вт}.$$

Изменение тепловой производительности аппарата составит:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_0 = 81\,619 - 50\,400 = 31\,219 \text{ Вт}.$$

Находим экономию энергии в течение года:

$$W = \Delta Q \cdot \text{год} = 31\,219 \cdot 315 = 9,852 \cdot 10^{11} \text{ Дж}.$$

Пример 5.2. Определите количество теплоты, выделяющееся при охлаждении продуктов сгорания фрезерного торфа от t_1 до t_s °С и расход образовавшегося конденсата при следующих исходных данных:

- температура продуктов сгорания фрезерного торфа $t'_1 = 500$ °С;
- температура, до которой происходит охлаждение фрезерного торфа $t_s = 20$ °С;
- расход продуктов сгорания $G'_1 = 4,2$ кг/с;
- коэффициент избытка воздуха (расхода воздуха) $\alpha = 1,5$;
- влагосодержание наружного (дутьевого) воздуха $x_B = 0,02$ кг/кг.
- состав топлива: углерод – $C_p = 24,7$ %; водород – $H_p = 2,6$ %; горючая сера $S_p = 0,1$ %; кислород $O_p = 15,2$ %; влага $W_p = 50$ %;
- плотность:
 - воздуха $\rho = 1,29$ кг/м³;
 - водяных паров $\rho_{H_2O} = 0,804$ кг/м³;
- удельная теплоемкость:
 - сухого воздуха $c_{p1} = 1,005$ кДж/(кг · К);
 - пара $c_{pн} = 1,98$ кДж/(кг · К);
- удельная теплота парообразования $r = 2\,480$ кДж/кг;
- расход топлива $B = 100\,000$ кг/ч;
- коэффициенты: $k_1 = 0,0889$; $k_2 = 0,375$; $k_3 = 0,265$; $k_4 = 0,033$; $k_5 = 0,111$; $k_6 = 0,0124$; $k_7 = 0,016$.

Решение. Объем теоретически необходимого воздуха для сжигания 1 кг торфа вычислим по эмпирической зависимости:

$$V_p = \left[k_1 \cdot (C_p + k_2 \cdot S_p) + k_3 \cdot H_p - k_4 \cdot O_p \right] =$$

$$= \left[0,0889 \cdot (24,7 + 0,375 \cdot 0,1) + 0,265 \cdot 2,6 - 0,033 \cdot 15,2 \right] = 2,387 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Масса теоретически необходимого воздуха для сжигания 1 кг торфа:

$$G_p = V_p \cdot \rho = 2,387 \cdot 1,29 = 3,079 \text{ кг/кг}.$$

Расчет теоретического объема водяных паров, получаемого при сжигании 1 кг торфа, ведется по эмпирической зависимости:

$$V_{H_2O} = k_5 \cdot H_p + k_6 \cdot W_p + k_7 \cdot V_p =$$

$$= 0,111 \cdot 2,6 + 0,0124 \cdot 50 + 0,016 \cdot 2,387 = 0,947 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Объем получаемых водяных паров с учетом влаги, содержащейся в избыточном воздухе:

$$V_{H_2O} = V_{H_2O} + k_7 \cdot (\alpha - 1) \cdot V_p =$$

$$= 0,947 + 0,016 \cdot (1,5 - 1) \cdot 2,387 = 0,966 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Масса водяных паров, получающихся при сжигании 1 кг торфа:

$$G_{H_2O} = V_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} = 0,966 \cdot 0,804 = 0,777 \text{ кг/кг}.$$

Общая масса продуктов сгорания, получающихся при сжигании 1 кг торфа:

$$G = 1 + \alpha \cdot G_p \cdot (1 + x_B) = 1 + 1,5 \cdot 3,079 \cdot (1 + 0,02) = 5,71 \text{ кг/кг}.$$

Влагосодержание продуктов сгорания торфа:

$$x'_1 = \frac{G_{H_2O}}{G - G_{H_2O}} = \frac{0,777}{5,71 - 0,777} = 0,157 \text{ кг/кг}.$$

Энтальпия продуктов сгорания до охлаждения, кДж/кг :

$$h'_1 = t'_1 \cdot C_{p1} + x'_1 \cdot \left(r + t'_1 \cdot C_{pH_2O} \right) =$$

$$= 500 \cdot 1,005 + 0,157 \cdot (2\,480 + 500 \cdot 1,98) = 1\,049 \text{ кДж/кг}.$$

Считаем, что газы на выходе находятся в насыщенном состоянии. Температура и парциальное давление насыщенного пара связаны соотношением:

$$p_s = 133,3 \cdot \exp \left[2,303 \cdot \left(8,074 - \frac{1\,733,4}{t_s + 233,4} \right) \right] = 2\,283 \text{ Па}.$$

Влагосодержание насыщенных продуктов сгорания:

$$x_1'' = \left[0,662 \cdot \left(\frac{p_s}{B - p_s} \right) \right] = \left[0,662 \cdot \left(\frac{2\,283}{100\,000 - 2\,283} \right) \right] = 0,015 \text{ кг/кг}.$$

Энтальпия продуктов сгорания после охлаждения, кДж/кг:

$$\begin{aligned} h_1'' &= t_s \cdot c_{p1} + x_1'' \cdot (r + t_s \cdot c_{pн}) = \\ &= 20 \cdot 1,005 + 0,015 \cdot (2\,480 + 20 \cdot 1,98) = 59,1 \text{ кДж/кг}. \end{aligned}$$

Расход сухих продуктов сгорания:

$$G_{\text{сух}} = \frac{G_1'}{1 + x_1'} = \frac{4,2}{1 + 0,157} = 3,63 \text{ кг/с}.$$

Расход образовавшегося конденсата:

$$G_{\text{конд}} = G_{\text{сух}} \cdot (x_1' - x_1'') = 3,63 \cdot (0,157 - 0,015) = 0,515 \text{ кг/с}.$$

Количество теплоты, выделяющееся в единицу времени:

$$Q = G_1' \cdot h_1' - G_{\text{сух}} (1 + x_1'') \cdot h_1'' = 4,2 \cdot 1\,049 - 3,63 \cdot (1 + 0,015) \cdot 59,1 = 4\,187 \text{ кВт}.$$

Задание для самостоятельного выполнения

Решите примеры 5.1 и 5.2, используя в качестве исходных данных значения параметров, приведенные в табл. 5.1 и 5.2, соответственно.

Таблица 5.1

Исходные данные к примеру 5.1

Вариант	$t_{\text{п}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{в1}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{в2}}, ^\circ\text{C}$	$G, \text{ кг/с}$	$F, \text{ м}^2$
1	2	3	4	5	6
1	120	60	90	0,4	2
2	125	65	95	0,5	3
3	130	70	100	0,6	5
4	140	75	105	0,4	2

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4	5	6
5	126	70	100	0,5	3
6	122	75	105	0,5	3
7	134	60	90	0,4	2
8	120	75	105	0,5	3
9	130	80	110	0,7	6
10	134	65	95	0,4	2
11	136	60	90	0,4	2
12	126	70	100	0,6	5
13	124	75	105	0,7	6
14	125	65	95	0,4	2
15	140	75	105	0,6	5
16	141	70	100	0,5	3
17	121	60	90	0,4	2
18	144	65	95	0,4	2
19	123	60	90	0,4	2
20	143	80	110	0,7	6
1	2	3	4	5	6
21	133	70	100	0,6	5
22	135	75	105	0,5	3
23	138	70	100	0,4	2
24	143	75	105	0,5	3
25	150	80	110	0,6	5

Таблица 5.2

Исходные данные к примеру 5.1

Вариант	$t'_1, ^\circ\text{C}$	$t_s, ^\circ\text{C}$	$G'_1, \text{кг/с}$	$C_p, \%$	$H_p, \%$	$S_p, \%$	$O_p, \%$	$W_p, \%$	$B, \text{кг/ч}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	500	20	4,2	24,7	2,6	0,1	15,2	50	100000
2	500	20	4	23,9	1,9	0,1	14,7	50	100000
3	500	20	5	24	2,2	0,1	14,9	50	100000
4	500	20	4,3	24,6	2,5	0,2	15	50	100000
5	500	20	4,4	24,8	2,7	0,3	15,3	50	100000
6	500	20	5,1	24,7	2,6	0,2	15,2	50	100000
7	500	20	3,9	24,2	2,3	0,2	15	50	100000
8	500	20	5	24,1	2,2	0,2	14,9	50	100000
9	500	20	5,2	24,6	2,5	0,1	14,7	50	100000
10	500	20	4,2	24,5	2,4	0,1	15	50	100000
11	500	20	4,7	24,1	2,2	0,3	15,1	50	100 000

Окончание табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12	500	20	4,9	23,9	1,9	0,2	15,2	50	100 000
13	500	20	5	24,7	2,6	0,1	15	50	100 000
14	500	20	4	24	2,2	0,3	14,5	50	100 000
15	500	20	3,9	23	1,5	0,3	14,6	50	100 000
16	500	20	5	23,9	1,9	0,3	14,7	50	100 000
17	500	20	4,7	24,8	2,7	0,3	15,3	50	100 000
18	500	20	4,6	24,9	2,8	0,2	15,4	50	100 000
19	500	20	4	24,7	2,6	0,1	14,9	50	100 000
20	500	20	4,1	24,1	2,2	0,1	15,1	50	100 000
21	500	20	4,8	23,9	1,9	0,2	15,2	50	100 000
22	500	20	5	24	2,2	0,2	15,6	50	100 000
23	500	20	3,9	24,7	2,6	0,1	14,9	50	100 000
24	500	20	4	24,6	2,5	0,2	14,8	50	100 000
25	500	20	4,9	24	2,2	0,3	14,9	50	100 000

Практическое занятие № 6

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭНЕРГОАУДИТА

Цель занятия: овладеть навыками решения задач, связанных с методами оценки потерь энергии и энергоносителей при проведении энергоаудита.

Общие теоретические сведения

Энергоаудит проводит проверку всех энергозатратных процессов с целью оценки эффективности использования энергии (также называется энергетическое обследование). При обследовании вычисляется потенциал энергосбережения, показатели энергетической эффективности, происходит выявление источников затрат энергии и определение их рациональности для разработки программы комплексных мер энергосбережения.

При проведении энергетического обследования осуществляются определенные действия:

- аналитическая проверка текущего состояния систем водоснабжения, электроснабжения и теплоснабжения;
- оценка состояния оборудования объекта обследования и отдельно средств измерений на соответствие требованиям;
- выявление нерациональных потерь;
- проверка состояния систем учета, нормирования энергетических процессов и энергетических балансов проверяемого объекта;
- расчет удельных энергозатрат для выполнения определенных работ;
- оценка эффективности существующих операций энергосбережения объекта.

Примеры решения задач

Пример 6.1. Определите расход теплоты на отопление жилого кирпичного здания, если объем отапливаемой части здания по наружному обмеру $V = 20\,493 \text{ м}^3$, температура воздуха внутри помещений $t_{\text{в}}^{\text{р}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$, температура наружного воздуха $t_{\text{н}}^{\text{р,от}} = -26 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Решение. Расход теплоты на отопление здания по укрупненным показателям определим по формуле:

$$Q_{от} = (1 + \beta) \cdot q_o \cdot \alpha \cdot V_H \cdot (t_B^p - t_H^{p,от}), \quad (6.1)$$

где $\beta = 0,15$; для дома с отапливаемым объемом более 20 000 м³ $q_o = 0,32$; $\alpha = 1,08$ – поправочный коэффициент для расчетной температуры наружного воздуха -26 °С.

$$Q_{от} = (1 + 0,15) \cdot 0,32 \cdot 1,08 \cdot 20\,493 \cdot (18 - (-26)) = 358\,368,5 \text{ Вт} = 0,358 \text{ МВт};$$

$$Q_{от} = 0,358 \cdot \frac{3\,600}{4,19} \cdot 10^{-3} = 0,358 \cdot 0,86 = 0,308 \text{ Гкал/ч.}$$

Пример 6.2. Определите максимальную тепловую нагрузку (по укрупненным показателям) на горячее водоснабжение в жилом здании с расчетным количеством потребителей $m=100$ человек. Температура горячей воды $t_T = 55$ °С, температура холодной водопроводной воды в отопительный период $t_{х,з} = 5$ °С, в летний период $t_{х,л} = 15$ °С.

Решение. Среднесуточный расход теплоты на горячее водоснабжение в отопительный период определим по формуле, кДж/сут:

$$Q_{ГВ,з}^{ср.с} = 1,2 \cdot m \cdot a \cdot (t_T - t_{х,з}) \cdot c_p^{ср}, \quad (6.2)$$

где $a = 105...120$ кг/(чел-сут) – для жилых зданий квартирного типа, оборудованных ванными; $c_p^{ср} = 4,19$ кДж/(кг · К) – средняя теплоемкость воды.

$$Q_{ГВ,з}^{ср.с} = 1,2 \cdot 100 \cdot 120 \cdot (55 - 5) \cdot 4,19 = 3\,016\,800 \text{ кДж/сут.}$$

Средняя нагрузка на горячее водоснабжение в отопительный период:

$$Q_{ГВ,з}^{ср} = \frac{Q_{ГВ,з}^{ср.с}}{24 \cdot 3\,600} = \frac{3\,016\,800}{24 \cdot 3\,600} = 34,92 \text{ кВт.}$$

Средняя нагрузка на горячее водоснабжение в летний период определяется по формуле:

$$Q_{\text{ГВ,Л}}^{\text{ср}} = Q_{\text{ГВ,З}}^{\text{ср}} \cdot \frac{t_{\text{Г}} - t_{\text{х,З}}}{t_{\text{Г}} - t_{\text{х,Л}}} \cdot \beta = 34,92 \cdot \frac{55 - 5}{55 - 15} \cdot 0,8 = 34,92 \text{ кВт},$$

где $\beta = 0,8$ (для жилищно-коммунального сектора).

Расчетная максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение:

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{р}} = \chi \cdot Q_{\text{ГВ,З}}^{\text{ср}} = 2,4 \cdot 34,92 = 83,8 \text{ кВт},$$

где χ – расчетный коэффициент часовой неравномерности, ориентировочно для жилых и общественных зданий принимают $\chi = 2,4$.

Задание для самостоятельного выполнения

Решите примеры 6.1 и 6.2, используя в качестве исходных данных значения параметров, приведенные в табл. 5.1 и 5.2, соответственно.

Таблица 6.1

Исходные данные к примеру 6.1

Вариант	V, м ³	t _в ^р , °С	t _н ^{р,от} , °С	Вариант	V, м ³	t _в ^р , °С	t _н ^{р,от} , °С
1	10 000	18	–25	14	30 000	18	–26
2	20 000	19	–26	15	35 000	19	–27
3	25 000	20	–27	16	60 000	20	–28
4	15 000	21	–28	17	70 000	21	–29
5	8 000	22	–29	18	24 000	22	–30
6	30 000	23	–30	19	10 000	23	–25
7	35 000	24	–25	20	20 000	24	–26
8	60 000	25	–26	21	25 000	25	–27
9	70 000	18	–27	22	15 000	18	–28
10	24 000	19	–28	23	80 000	19	–29
11	10 000	20	–29	24	30 000	20	–30
12	20 000	21	–30	25	35 000	21	–25
13	25 000	22	–25	26	60 000	22	–26

Исходные данные к примеру 6.2

Вариант	m , чел	$t_{x,3}$, °C	$t_{x,l}$, °C	Вариант	m , чел	$t_{x,3}$, °C	$t_{x,l}$, °C
1	98	5	15	14	130	6	16
2	122	6	16	15	103	7	17
3	94	7	17	16	126	8	18
4	140	8	18	17	97	9	19
5	122	9	19	18	99	10	20
6	111	10	20	19	100	5	15
7	92	5	15	20	108	6	16
8	105	6	16	21	125	7	17
9	100	7	17	22	115	8	18
10	96	8	18	23	100	9	19
11	98	9	19	24	97	10	20
12	106	10	20	25	108	5	15
13	114	5	15	26	107	6	16

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебник для вузов / О. Л. Данилов, А. Б. Гаряев, И. В. Яковлев [и др.] ; под редакцией А. В. Клименко. – Москва : Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.

2. Электронный сетевой сборник задач по дисциплине «Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях». – URL : http://twi.mpei.ac.ru/ochkov/VPU_Book_New/ES/index.html (дата обращения: 11.01.2022). – Текст : электронный.

3. Дахин, С. В. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебное пособие / С. В. Дахин. – Воронеж : ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 182 с.

4. Молодежникова, Л. И. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебное пособие / Л. И. Молодежникова. – Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2011. – 205 с.

5. Бельский, А. П. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебное пособие / А. П. Бельский, В. Ю. Лакомкин, С. Н. Смородин. – 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Издательство Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров, 2012. – 136 с.

6. Данилов, О. Л. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебное пособие / О. Л. Данилов. – Москва : Московский энергетический институт (Технический университет), 2010. – 188 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Практическое занятие № 1. Понятия условного топлива, первичного условного топлива.....	4
Практическое занятие № 2. Оценка потенциалов энергосбережения в котельных	12
Практическое занятие № 3. Энергосбережение в системах распреде- ления пара и горячей воды	19
Практическое занятие № 4. Энергетические балансы и нормирование потребления топливно-энергетических ресурсов.....	25
Практическое занятие № 5. Энергосбережение в теплотехнологиях.....	32
Практическое занятие № 6. Методы оценки потерь энергии и энерго- носителей при проведении энергоаудита	40
Список рекомендуемой литературы.....	44

Учебное издание

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
И ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

Практикум

**Составители: Гапоненко Сергей Олегович,
Ваньков Юрий Витальевич,
Кондратьев Александр Евгеньевич,
Гафиатуллина Камиля Расуловна**

Кафедра промышленной теплоэнергетики и систем теплоснабжения КГЭУ

**Редактор М. С. Беркутова
Компьютерная верстка И. В. Красновой**

**Подписано в печать 18.02.2022.
Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 2,67. Уч.-изд л. 0,94.
Заказ № 395/эл.**

**Редакционно-издательский отдел КГЭУ
420066, г. Казань, ул. Красносельская, 51**