

Глава 6. Энергоаудит систем теплоснабжения

Системы теплоснабжения имеются на каждом предприятии, в любых организации, объектах жилищно-коммунального хозяйства. Их аудит предусматривает исследование следующих систем:

- отопления и вентиляции зданий и сооружений;
- горячего водоснабжения, пароснабжения и возврата конденсата;
- снабжения паром, тепловой энергией и горячего водоснабжения технологических агрегатов;
- тепло- и парогенерирующего оборудования;
- транспортировки тепловой энергии.

При этом производится оценка соответствия располагаемой мощности генерирующего оборудования и присоединенных тепловых нагрузок с целью выявления возможного потенциала снижения затрат на энергоресурсы. Остановимся на особенностях и основных положениях проведения энергоаудита для каждой из перечисленных систем.

6.1. Определение потребности в тепловой энергии

Потребность в тепловой энергии можно определить из проектной документации. В случае ее отсутствия, необходимое количество тепловой энергии находят по укрупненным показателям, затем рассчитывают потери тепла в сетях. Для этого надо определить диаметр, протяженность и способ прокладки трубопроводов, физические характеристики материала изоляции и ее состояние. Если указанные данные отсутствуют, проводят ревизию теплотрасс и инструментальное обследование падения температуры теплоносителя по трассе (от колодца до колодца, или в других доступных местах).

После определения потребности необходимого количества тепловой энергии по всем зданиям и сооружениям предприятия или других объектов, подключенных к источнику теплоснабжения, составляется фактический баланс теплоты. Если невязка по тепловому балансу составляет более 5 %, то рекомендуется выполнить более точные расчеты или измерения.

Фактические расходы теплоты на нужды теплоснабжения и вентиляции могут быть определены одним из следующих методов:

- по удельным отопительным характеристикам на 1 м^2 внутренней площади здания с учетом чердачных перекрытий и подвалов;
- по удельным отопительным характеристикам на 1 м^3 объема здания по наружному периметру;
- по тепловому балансу.

Следует заметить, что при применении современных материалов для ограждающих конструкций нормы удельного количества теплоты на 1м² площади здания значительно снижаются (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Предельные нормы расхода теплоэнергии, кВт·ч/м²

Тип здания	До 1994 г. застройки	Застройка с 1994 по 1999 гг.				Застройка с 1999 г.			
		1-3 этажа	4-5 этажа	6-9 этажа	>10 этажей	1-3 этажа	4-5 этажа	6-9 этажа	>10 этажей
Жилые	240	200	160	140	115	160	130	110	95
Учебные и лечебные	250	205	195	185	–	175	165	155	–
Дошкольные	330	280	–	–	–	245	–	–	–

Указанные в табл. 6.1. удельные расходы тепловой энергии рассчитываются на основе обеспечения санитарных норм изменения температуры воздуха в помещении (Приложение В, табл.1). Согласно санитарным нормам в жилых помещениях температура воздуха должна составлять 18 °С; в угловых квартирах – от 18 °С до 20 °С; в производственных помещениях – от 16 °С до 18 °С; складских – 14 °С; в помещениях дошкольных и лечебных учреждений – 20 °С.

6.2. Расчетные методы определения потребления в тепловой энергии

6.2.1. Расчет по результатам измерений

При проведении инструментального обследования определяется фактическое часовое потребление тепловой энергии ($Q_{от.ф.ч}$) и рассчитывается годовое потребление тепловой энергии ($Q_{от.ф.г}$), кДж

$$Q_{от.ф.ч} = G_{ф.от} c_o (t_{от.под} - t_{от.обр}), \quad (6.1)$$

$$Q_{от.г.ф} = Q_{от.ф} \cdot \frac{t_{вн} - t_{н.о}^{ср}}{t_{вн} - t_{н.в.ф}} \cdot n_0, \quad (6.2)$$

где $G_{ф.от}$ – расход теплоносителя в системе отопления, м³/ч; c_o – теплоемкость воды в системе отопления при средней температуре теплоносителя, кДж/(м³·°С); $t_{от.под}$ – температура теплоносителя в подающей трубе,

$^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{от.обр}}$ – температура теплоносителя в обратном трубопроводе, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{вн}}$ – температура внутри помещения, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н.о}}^{\text{сп}}$ – температура наружного воздуха средняя за отопительный сезон, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{нвсп}}$ – температура наружного воздуха в момент проведения измерений, $^{\circ}\text{C}$; n_0 – продолжительность отопительного периода, ч.

Замеры температуры воды в подающем и обратном трубопроводе производятся в одном месте (рамка, источник, место установки счетчика).

6.2.2. Расчет по удельным отопительным характеристикам

А. Расчет по удельным характеристикам на 1 м^3 объема здания

Расчетно-нормативное среднечасовое количество теплоты на отопление можно найти по формуле (6.3), кДж

$$Q_{\text{о.ч}}^{\text{н}} = 86,4 \cdot Q_{\text{от}} \cdot n_0. \quad (6.3)$$

Годовое и максимальное количество теплоты на отопление определяется по выражениям (6.4) – (6.5), Вт

$$Q_{\text{от}} = Q_{0\text{max}} \cdot \frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}^{\text{сп}}}{t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}}, \quad (6.4)$$

$$Q_{0\text{max}} = \alpha \cdot V_{\text{н}} \cdot q_0^{\text{в}} \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}), \quad (6.5)$$

где α – поправочный коэффициент в зависимости от отклонения нормативной температуры холодного периода (-30°C), выбирается согласно табл.6.2, $V_{\text{н}}$ – наружный строительный объем здания без подвалов, м^3 ; $q_0^{\text{в}}$ – удельная отопительная характеристика, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ($\text{кКал}/(\text{ч} \cdot \text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$).

Таблица 6.2 – Значения поправочного коэффициента α

$t_{\text{но}}, ^{\circ}\text{C}$	0	-5	-10	-15	-20	-25	-35	-40	-45
α	2,05	1,67	1,45	1,29	1,17	1,08	0,95	0,9	0,85

Б. Расчет по удельным отопительным характеристикам на 1 м^2 общей площади пола здания

В соответствии со СНиП 2.04.07-86, данный метод рекомендован для расчета тепловых потоков жилых зданий, хотя допускается его применение и для расчета тепловых потоков общественных и промышленных зданий.

Годовое и среднечасовое расчетно-нормативное потребление тепловой энергии определяется по выражениям (6.1) и (6.2). Максимальный тепловой поток определяется по выражению, Вт

$$Q_{0\max} = q_0 A (1+k_1), \quad (6.6).$$

где q_0 – укрупненный показатель максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м^2 общей площади отопления жилых зданий, $\text{Вт}/\text{м}^2$; A – общая площадь жилого здания, м^2 ; K_1 – коэффициент, учитывающий тепловой поток на отопление общественных зданий ($k_1 = 0,25$ по СНиП 2.04.07-86).

Данный метод дает большое завышение расчетной тепловой нагрузки для зданий с числом этажей меньше пяти. Поэтому при расчете значений $Q_{0\max}$ для бюджетных организаций его можно применять только при числе этажей пять и более.

6.2.3 Расчет по тепловому балансу зданий

Это наиболее точный метод, применяемый в случае отсутствия полной информации или при возникновении споров.

Тепловой баланс здания можно представить в следующем виде [1,2]

$$Q_h^y = \left(\sum_{i=1}^n Q_{\text{три}} + \sum_{i=1}^k Q_{\text{инфи}} - Q_{\text{теп}} \right) \cdot \beta, \quad (6.7)$$

где Q_h^y – потребление тепловой энергии зданием в течение отопительного периода, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$; $Q_{\text{три}}$ – потери теплоты теплопередачей через ограждающие конструкции зданий (стены, окна, пол, крыша и т. д.), $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$; $Q_{\text{инфи}}$ – потери теплоты инфильтрацией из-за поступления холодного воздуха в помещение через неплотности наружных ограждающих конструкций (окна, двери и т. п.), $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$; $Q_{\text{мен}}$ – количество теплоты, выделяемое работниками и оборудованием; β – коэффициент, учитывающий дополнительное теплосодержание системы отопления (для многосекционных и других протяженных зданий $\beta=1,13$; для зданий башенного типа $\beta=1,11$).

Годовые потери тепловой энергии теплопередачей ($Q_{\text{три}}$) и инфильтрацией ($Q_{\text{инфи}}$) определяются по выражениям (6.8) – (6.9), $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$

$$Q_{\text{три}} = Q_{\text{три}}^{\text{сп}} \cdot n_0, \quad (6.8)$$

$$Q_{\text{инфи}} = Q_{\text{инфи}}^{\text{сп}} \cdot n_0, \quad (6.9)$$

где n_0 – продолжительность отопительного периода в часах, соответствующая периоду со средней суточной температурой наружного воздуха 8°C и ниже (по СНиП 2.01.01-82 [3]).

6.2.4 Расчет среднечасовых потоков теплоты через ограждающие конструкции помещений

Основные и добавочные потери теплоты ($Q_{\text{три}}^{\text{сп}}$) определяются суммированием потерь теплоты через отдельные ограждающие конструкции в соответствии с выражением (6.10), Вт

$$Q_{\text{три}}^{\text{сп}} = \frac{A_i \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{н.о}}^{\text{сп}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n}{R_i}, \quad (6.10)$$

где A_i – расчетная площадь ограждающей конструкции, м^2 ; R_i – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$; β – добавочные потери теплоты (в долях от основных потерь) [4]; n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху (прил.В. табл.4).

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_i , кроме заполнений световых проемов и полов на грунте, определяют по выражению (6.11), $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ [1, 4]

$$R_i = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{к}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (6.11)$$

где $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, для зимних условий $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$; $R_{\text{к}}$ – термическое сопротивление ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$.

Термическое сопротивление ограждающей конструкции $R_{\text{к}}$ определяется по следующим выражениям [1, 4], $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$

а) для однородной конструкции

$$R_{\text{к}} = \delta / \lambda, \quad (6.12)$$

где δ – толщина слоя, м; λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$,

б) для конструкций с последовательно расположенными однородными слоями

$$R_{\text{к}} = R_1 + R_2 + R_3 \dots + R_n + R_{\text{в.п}} \quad (6.13)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции, определяемые по формуле (1.12), $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$; $R_{\text{в.п}}$ – термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки.

в) для неоднородной ограждающей конструкции – определяется в соответствии со СНиП II-3-79 [5].

Сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов, принимается по табл.5 прил.В; сопротивление теплопередаче полов на грунте R_k определяется по данным [1,5]

а) для внутренних полов и стен, расположенных ниже уровня земли, с коэффициентом теплопроводности $\lambda \geq 1,03 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, по зонам шириной 2 м параллельным наружным стенам, R_h ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) принимается равным: 2,1 – для I зоны; 4,3 – для II зоны; 8,6 – для III зоны; 14,2 – для IV зоны (рисунок 6.1).

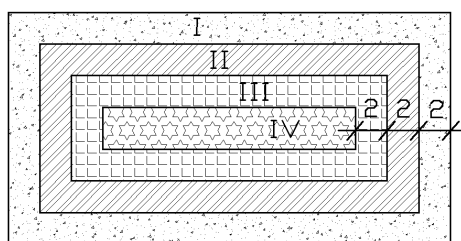


Рис. 6.1 – К определению сопротивления теплопередаче полов

б) для утепленных полов и стен, расположенных ниже уровня земли, с коэффициентом теплопроводности утепляющего слоя $\lambda > 1,03 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ толщиной δ принимается по выражению

$$R_h = R_c + \delta / \lambda_p, \quad (6.14)$$

в) для полов на лагах (R_h) рассчитываются по формуле

$$R_h = 1,18(R_c + \delta / \lambda_h), \quad (6.15)$$

где R_c – сумма термических сопротивлений утепляющих слоев конструкции пола, состоящих из слоев с $\lambda < 1,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$

Добавочные потери теплоты β через ограждающие конструкции принимаются в долях от основных потерь:

- в помещениях любого назначения через наружные вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) стены, двери и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад – в размере 0,1, на юго-восток и запад – в размере 0,5, в угловых помещениях – дополнительно по 0,05;
- в общественных, административно-бытовых и производственных

помещениях через две наружные стены и более – 0,15, если одно из ограждений обращено на север, восток и северо-запад и 0,1 – в других случаях;

- в помещениях, разрабатываемых для типового проектирования, через стены, двери и окна, обращенные на любую из сторон света – в размере 0,08 при одной наружной стене и 0,13 для угловых помещений (кроме жилых), а в жилых помещениях – 0,13;
- через необогреваемые полы первого этажа над холодными подпольями зданий в местностях с расчетной температурой наружного воздуха -40°C и ниже – в размере 0,05;
- через наружные двери, необорудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте здания H (м), от средней планировочной отметки земли до верха карниза, от центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты – в размере: $0,2H$ – для тройных дверей с двумя тамбурами между ними; $0,27H$ – для двойных дверей с тамбурами между ними; $0,34H$ – для двойных дверей без тамбура; $0,22H$ – для одинарных дверей;
- через наружные ворота, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами – в размере 3 при отсутствии тамбура и в размере 1 при наличии тамбура у ворот.

6.2.5 Расчет среднечасовых потоков теплоты на нагрев наружного воздуха, инфильтрующегося через ограждающиеся конструкции

Расход теплоты ($Q_{\text{инфи}}^{\text{cp}}$) на нагревание инфильтрующегося воздуха следует определять по выражению (6.16), Вт

$$Q_{\text{инфи}}^{\text{cp}} = 0,28 \cdot \sum G_i \cdot c \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{но}}^{\text{cp}}) \cdot k, \quad (6.16)$$

где G_i – расход инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещений, кг/ч; c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°C); k – коэффициент учета влияния теплового потока в конструкциях ($k=0,7$ – для стыков панелей, стен и окон с тройными переплетами; $k=0,8$ – для окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов (СНиП-2.04.05-91).

Расход инфильтрующегося воздуха в помещении (G_i) через неплотности наружных ограждений следует определять по выражению (6.17), кг/ч

$$G_i = \sum \frac{0,216 \cdot A_1 \cdot \Delta p_i^{0,67}}{R_u} + \sum A_2 \cdot G_n \cdot \left(\frac{\Delta p_i}{\Delta p_1} \right)^{0,67} + 3456 \cdot \sum A_3 \cdot \Delta p_1^{0,5}, \quad (6.17)$$

где A_1 – площадь световых проемов (окон, дверей, фонарей); A_2 – площадь

ограждающих конструкций (стен, крыши); A_3 – площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждениях; $\Delta p_i, \Delta p_1$ – расчетная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, соответственно, на расчетном этаже и на уровне пола первого этажа, Па; G_H – нормативная воздухопроницаемость ограждающих конструкций, кг/(м²·ч); R_u – сопротивление воздухопроницанию, (м²·ч Па)/кг [5].

Расчетная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях каждой ограждающей конструкции (Δp_i) определяется по выражению (6.18), Па

$$\Delta p_i = (H - h_i) \cdot (\gamma_i - \gamma_p) + 0.5 \cdot \rho_i \cdot v^2 \cdot (c_{c.п} - c_{c.р}) \cdot k_1 - p_{int}, \quad (6.18)$$

где h_i – расчетная высота от уровня земли до верха ограждающей конструкции, м; H – высота здания, м; γ_i, γ_p – удельный вес наружного и внутреннего воздуха определяется как $\gamma = \frac{3463}{273 + t}$, (t_i, t_p – температура наружного и внутреннего воздуха, °С); ρ_i – плотность наружного воздуха, кг/м³; v – скорость ветра, м/с; $c_{c.п}, c_{c.р}$ – аэродинамические коэффициенты для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания, принимаемые по СНиП 2.01.07-85; k_1 – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания (СНиП 2.01.07-85); p_{int} – условно-постоянное давление воздуха в здании, Па.

Более точный расчет расходов инфильтрующегося воздуха в помещениях ведется по СНиП 2.04.05-91.

Следует отметить, что для расчета данным методом требуется большое количество информации об обследуемых зданиях.

6.3. Системы горячего водоснабжения

На основании измерений, проведенных при инструментальном обследовании, по формулам (6.19) и (6.20) определяются фактические часовые и годовые расходы тепла на горячее водоснабжение, кДж

$$Q_{г.в.ф} = G_{г.в} \cdot c_{г.в} \cdot (t_{г.в} - t_{х.в.}), \quad (6.19)$$

$$Q_{г.в.ф.г} = Q_{г.в.ф} \cdot n_0 + 0,8 \cdot Q_{г.в.ф} \cdot \frac{t_{г.в} - t_{х.в.л}}{t_{г.в} - t_{х.в.з}} \cdot (8400 - n_0), \quad (6.20)$$

где $t_{г.в}$ – температура воды на подающей трубе системы горячего водоснабжения, $^{\circ}\text{C}$; $t_{х.в}$ – температура воды в системе холодного водоснабжения, $^{\circ}\text{C}$; $t_{х.в.л}$ – температура холодной воды летом (при отсутствии данных принимается $t_{х.в.л} = 15^{\circ}\text{C}$); $t_{х.в.з}$ – температура холодной воды зимой (при отсутствии данных – $t_{х.в.з} = 5^{\circ}\text{C}$); n_0 – продолжительность отопительного периода, ч; $c_{г.в}$ – теплоемкости воды системы горячего водоснабжения, $\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$; $G_{г.в}$ – фактические расходы сопоставляются с нормативно - расчетными расходами.

Расчетно-нормативное годовое ($Q_{г.в.г}^H$) и среднечасовое ($Q_{г.в.г}^S, Q_{г.в.г}^S$) потребление тепловой энергии на горячее водоснабжение определяется по выражениям (6.21) и (6.22), кДж

$$Q_{г.в.г}^H = 86,4 \cdot Q_{г.в.г} \cdot n_0 + 86,4 \cdot Q_{г.в.г}^S \cdot (n_{г.в} - n_0), \quad (6.21)$$

$$Q_{г.в.г} = \frac{1,2 \cdot m \cdot G_{гв}^{\text{норм}} \cdot (55 - t_{х.в.з})}{24 \cdot 3,6} \cdot c_{г.в}, \quad (6.22)$$

где $Q_{г.в.г}$ – осредненный часовой поток на горячее водоснабжение в средние сутки за неделю в отопительный период; $Q_{г.в.г}^S$ – то же за период со среднесуточной температурой наружного воздуха более 8°C (неотопительный период); m – число человек, находящихся в здании; $G_{гв}^{\text{норм}}$ – норма расхода воды на горячее водоснабжение при температуре 55°C на одного человека в сутки, проживающего в здании, или норма расхода воды на горячее водоснабжение, потребляемой в общественных зданиях, при температуре 55°C на одного человека (прил. В, табл.6); n_0 – продолжительность отопительного периода в сутках, соответствующая периоду со средней суточной температурой наружного воздуха 8°C и ниже (по СНиП 2.01.01-82 [3]); $n_{г.в}$ – расчетное число суток в году работы системы горячего водоснабжения (при отсутствии данных следует принимать 350 суток); β – коэффициент, учитывающий изменение среднего расхода воды на горячее водоснабжение в неотопительный период по отношению к отопительному периоду ($\beta = 0,8$ – для жилищно-коммунального сектора и $\beta = 1,0$ – для организаций, СНиП-2.04.07-86 [6]).

6.4. Системы вентиляции и кондиционирования

На основании измерений, проведенных при инструментальном обследовании, по формулам (6.23) – (6.24) определяются фактические часовые и годовые расходы тепла на вентиляцию, кДж

$$Q_{в.ф} = G_{в} \cdot c_{в} \cdot (t_{вн} - t_{н.о.ф}), \quad (6.23)$$

$$Q_{в.г.ф} = \frac{Q_{в.ф} \cdot z_{в}}{24} \cdot \left[n_{в} + \frac{t_{вн} - t_{н.о}^{cp}}{t_{вн} - t_{н.о.ф}} \cdot (n_0 - n_{в}) \right], \quad (6.24)$$

где $G_{в}$ – часовой расход воздуха, м³/ч; $c_{в}$ – теплоемкость воздуха, кДж/(м³·°C); n_0 – продолжительность отопительного периода в часах;

$n_{в}$ – число часов в отопительном периоде с температурами наружного воздуха для вентиляции ниже расчетной; $z_{в}$ – число часов работы вентиляции в течение суток.

Фактические расходы сопоставляются с нормативно-расчетными, которые могут быть определены одним из следующих методов расчета:

- расчет по удельным вентиляционным характеристикам на 1 м³ объема здания;
- расчет по удельным отопительным характеристикам на 1 м² общей площади пола здания.

6.4.1. Расчет по удельным вентиляционным характеристикам на 1 м³ объема здания

Расчетно-нормативное годовое потребление тепловой энергии на вентиляцию ($Q_{в.г}^H$), кДж

$$Q_{в.г}^H = 3,6 \cdot z \cdot Q_{вТ} \cdot n_0. \quad (6.25)$$

Среднечасовое ($Q_{вТ}$) и максимальное ($Q_{в.маx}$) потребление тепловой энергии на вентиляцию определяется по выражениям (6.26) – (6.27), Вт

$$Q_{вТ} = Q_{в.маx} \cdot \frac{t_{вн} - t_{н.о}^{cp}}{t_{вс} - t_{н.о}}, \quad (6.26)$$

$$Q_{в.маx} = V_{н} \cdot q_{в} \cdot (t_{вн} - t_{н.о}), \quad (6.27)$$

где n_0 – продолжительность отопительного периода в сутках, соответствующая периоду со средней суточной температурой наружного воздуха 8 °C и ниже; z – усредненное за отопительный период число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течение суток (при отсутствии данных принимается равным 16 часам) [4]; $q_{в}$ – удельная вентиляционная характеристика при $t_{н.о} = 30^{\circ}\text{C}$, Вт/(м³·°C) [кКал/(ч·м³·°C)].

Для расчета ($Q_{вг}^H$) данным методом, как видно из уравнений (6.25–6.27), необходим минимум информации по обследуемым зданиям, поэтому этот метод получил большое распространение.

6.4.2. Расчет по удельным вентиляционным характеристикам на 1 м² общей площади пола здания

В соответствии со СНиП 2.04.07-86 [6] данный метод рекомендуется для расчета тепловых потоков на вентиляцию жилых зданий, но допускается и для расчета тепловых потоков на вентиляцию общественных зданий.

Годовое и среднечасовое расчетно-нормативное потребление тепловой энергии на вентиляцию определяется по выражениям (6.25) и (6.27). Максимальный тепловой поток на вентиляцию определяется по выражению (6.28)

$$Q_{в.маx} = k_1 \cdot k_2 \cdot q_0 \cdot A, \quad (6.28)$$

где A – расчетная площадь пола, м²; k_1 – коэффициент, учитывающий климатические условия; k_2 – коэффициент, учитывающий тепловой поток на вентиляцию общественных зданий ($k_2=0,4$ – для зданий, построенных до 1985 года; для зданий после 1985 года – $k_2=0,6$).

6.5. Тепловые сети

6.5.1 Потери теплоты в тепловых сетях

При повреждении изоляции или ее отсутствии потери теплоты в тепловых сетях можно определить по формуле (6.29), Гкал/год

$$Q = (q_1 - q_2) \cdot n \cdot L \cdot 10^{-6}, \quad (6.29)$$

где q_1 и q_2 – удельный тепловой поток с одного погонного метра в час поверхности, соответственно неизолированного и изолированного трубопроводов, Вт/м² [кКал/(м² ч)] (принимается по таблицам); n – годовое количество часов работы системы за год, ч; L – длина неизолированного трубопровода, м.

Для плоских поверхностей теплоиспользующего оборудования данные потери равны, Гкал/год

$$Q = (q_1 - q_2) \cdot n \cdot H \cdot 10^{-6}, \quad (6.30)$$

где H – площадь поверхности, м².

Потери теплоты неизолированных поверхностей и арматуры составляют, Гкал/год

$$Q = (q_1 - q_2) \cdot n \cdot Z \cdot 10^{-6}, \quad (6.31)$$

где q_1, q_2 – тепловой поток с поверхности неизолированной и изолированной единицы арматуры, кКал/ч; Z – количество арматуры.

Для определения потерь теплоты в сетях необходимо знать:

- вид теплоносителя в трубопроводе;
- расчетную температура теплоносителя;
- диаметр трубопровода;
- длину неизолированной части трубопровода.

При длине неизолированной части трубопровода более 100 м, необходимо измерить температуру трубы в начале и конце неизолированной части трубопровода (t_n и t_k), далее для расчета выбрать ее среднее значение

$$t_{cp} = \frac{t_n + t_k}{2}.$$

Потери теплоты неизолированными трубопроводами надземной прокладки определяются выражением (6.32), кКал/час

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r_n \cdot \frac{(t_1 - t_0)}{\Sigma R} \cdot L, \quad (6.32)$$

где r_n – наружный радиус, м; t_1 – средняя температура теплоносителя, °С; t_0 – средняя температура окружающей среды, °С; ΣR – суммарное термическое сопротивление от теплоносителя к окружающей среде, (м·ч·°С)/кКал; L – длина трубопровода (неизолированной части), м.

Для неизолированной трубы воздушной прокладки граничное термическое сопротивление равно, кКал/(м·ч·°С)

$$R_n = \frac{1}{\alpha \cdot r_n}, \quad (6.33)$$

где $\alpha = 8 + 0.04 \cdot t_n + 6\sqrt{V}$ – коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы к воздуху, кКал/(м²·ч·°С); V – скорость ветра, м/с; t_n – температура поверхности трубы, °С.

Тогда

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot r_n \cdot \frac{t_1 - t_0}{R_n} \cdot L = 2\pi \cdot r_n \cdot (t_1 - t_0) \cdot \alpha \cdot L \cdot n; \quad R_n = \frac{1}{\alpha}. \quad (6.34)$$

Потери теплоты неизолированным трубопроводом, проложенным в грунте. Данные потери можно определить по следующей формуле, Гкал/ч

$$Q = \frac{2\pi \cdot r_n (t_1 - t_{гр}) \lambda_{гр} \cdot L}{\ln \frac{2a}{r}}, \quad (6.35)$$

где t_1 – средняя температура теплоносителя, °С; $\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта, кКал/(м·ч·°С), принимается: для влажных грунтов - $\lambda_{гр} = 1,5$, для средневлажных грунтов - $\lambda_{гр} = 1,0$, для сухих грунтов - $\lambda_{гр} = 0,5$; $t_{гр}$ – температура грунта, принимается на уровне +5 °С; r – радиус по-

верхности трубы, контактирующей с грунтом, м; L – длина неизолированного участка трубы, м; a – глубина размещения оси трубы от поверхности земли, м.

Потери теплоты неизолированными трубопроводами, проложенными в канале определяются по формуле (6.36), кКал/час

$$Q = \frac{2\pi(t_1 - t_k)}{\sum R} \cdot L, \quad (6.36)$$

где t_1 – средняя температура теплоносителя, °С; t_k – температура в канале; $\sum R$ – сумма термических сопротивлений на пути потока теплоты от теплоносителя до окружающего пространства, (м·ч·°С)/кКал.

Предельное термическое сопротивление определяется по формуле (6.37), (м ч·°С)/год

$$R = \frac{1}{\alpha \cdot r_H}, \quad (6.37)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы к воздуху (принимается от 5 до 10 кКал/(м²·ч·°С)).

Внутреннее термическое сопротивление определяется по формуле

$$R = \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{r_H}{r_{вн}}. \quad (6.38)$$

Допускаются потери воды в тепловых сетях от утечек в объеме 2,5 л на 1 м³ объема воды в сетях.

Пример 1.

Рассчитать потребность в тепловой энергии для корпуса академии (по удельным отопительным характеристикам на 1 м³ объема здания).

Объем здания, $V = 39030$ м³;

Расчетная температура воздуха в здании $t_{п} = 18$ °С;

Расчетная температура наружного воздуха $t_{н} = -23$ °С;

Средняя температура наружного воздуха отопительного периода $t_{н}^{cp} = -21$ °С;

Удельная отопительная характеристика $q = 0,24$ кКал/(ч·м³·°С);

Число часов работы отопления $\tau = 4536$ час;

Определить:

Максимальный тепловой поток $Q_{от}^{max}$, Гкал/час;

Средний тепловой поток $Q_{от}$, Гкал/час;

Годовое потребление тепла $Q_{от}$, Гкал.

Пример 2.

Рассчитать потребность в тепловой энергии по удельным характеристикам на 1 м^2 площади корпуса академии.

Общая площадь пола, $\text{м}^2 - 8728,75$;

Количество этажей – 4;

Расчетная температура внутри здания, $^{\circ}\text{C} - +18$;

Расчетная температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C} - -23$;

Расчетная средняя температура отопительного сезона, $^{\circ}\text{C} - -2,1$;

Удельная отопительная характеристика, $\text{Вт}/\text{м}^2 - 134$;

Число часов работы системы отопления, час – 4536;

Коэффициент на отопление, 0,25;

Определить:

Максимальный тепловой поток $Q_{\text{от}}^{\text{max}}$, Гкал/час;

Средний тепловой поток $Q_{\text{от}}$, Гкал/час;

Годовое потребление тепла $Q_{\text{от}}$, Гкал.

Пример 3.

Определить потери теплоты неизолированной поверхностью трубы диаметром 216 мм, длиной 50 м при температуре теплоносителя в трубе 150°C ; температура воздуха $+5^{\circ}\text{C}$; скорость ветра – 2 м/с; длительность отопительного сезона – 4536 ч.

Решение: $\alpha = 8 + 0,04 \cdot 150 + 6\sqrt{2} = 22,48 \text{ кКал}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Потери составляют: $Q = 2\pi \cdot 0,108(150 - 5) \cdot 22,48 \cdot 50 \cdot 4536 \cdot 10^{-6} = 501,4 \text{ Гкал}/\text{год}$.

Пример 4.

Определить потери теплоты паропроводом диаметром 80 мм, длиной 100 м, проложенным в грунте, $t_{\text{гр}} = +5^{\circ}\text{C}$. Глубина прокладки паропровода – $a = 0,5 \text{ м}$, время работы – 3700 ч/год. Температура теплоносителя – 190°C , $\lambda_{\text{гр}} = 1,5 \text{ кКал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Решение:

$$Q = \frac{2\pi \cdot (t_1 - t_{\text{гр}}) \cdot \lambda_{\text{гр}} \cdot L \cdot n}{\ln \frac{2a}{r}} = \frac{2\pi \cdot (190 - 5) \cdot 1,5 \cdot 100 \cdot 3700 \cdot 10^{-6}}{\ln \frac{2 \cdot 0,5}{0,04}} = 644,8 \text{ Гкал}/\text{год}$$

6.6. Теплотехнические испытания котельных агрегатов

6.6.1 Тепловой баланс и КПД котлоагрегата

В общем виде уравнение теплового баланса котельного агрегата имеет вид, кДж/кг (кДж/м³) [14]

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (6.39)$$

где Q_p^p – располагаемая теплота на 1 кг рабочей массы твердого и жидкого топлива или на 1 м³ газообразного топлива; Q_1 – полезно используемая теплота; Q_2 – потеря теплоты с уходящими газами; Q_3 – потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива; Q_4 – потеря теплоты с механическим недожогом; Q_5 – потеря теплоты в окружающую среду; Q_6 – потеря теплоты с физическим теплом шлаков.

Уравнение теплового баланса, %

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad (6.40)$$

где $q_1 = \frac{Q_1}{Q_p^p} \cdot 100$ и т.д.

Располагаемая теплота топлива Q_p^p в большинстве случаев для твердых и газообразных топлив принимается $Q_p^p = Q_n^p(Q_n^c)$, кДж/кг (кДж/м³).

Для мазута при его подогреве – $Q_p^p = Q_n^p + Q_{фт}$. Физическая теплота жидкого мазута определяется как $Q_{фт} = C_m t_m$. Теплоемкость мазута – $C_m = 1,74 + 0,0025 t_m$, (кДж/(кг·К)) при температуре его подогрева перед топкой $t_m = 90 - 120$ °С.

Полезно используемая теплота котельной установки представляет собой разность между располагаемой теплотой и суммой потерь, кДж/кг (кДж/м³)

$$Q_1 = Q_p^p - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6). \quad (6.41)$$

Выражение для полезно используемой теплоты можно записать следующим образом

$$Q_1 = \frac{D}{B}(i_{пп} - i_{пв}) + \frac{D_{пр}}{B}(i' - i_{пв}), \quad (6.42)$$

где $D_{пр}$ – паропроизводительность котла по перегретому пару, кг/ч; B – расход топлива, кг/ч; $i_{пп}$ и $i_{пв}$ – энтальпии перегретого пара и питатель-

ной воды, кДж/кг; $D_{\text{пр}}$ – расход котловой воды на продувку, кг/ч (если процент продувки $p \leq 2$, то слагаемое $\frac{D_{\text{пр}}}{B}(i' - i_{\text{пв}})$ не учитывается); i' – энтальпия продувочной воды, кДж/кг.

Если котел вырабатывает насыщенный пар, то формула (6.42) примет следующий вид

$$Q_1 = \frac{D}{B}(i_{\text{н}} - i_{\text{пв}}) + \frac{D_{\text{пр}}}{B}(i' - i_{\text{пв}}), \quad (6.43)$$

где D – производительность котла по насыщенному пару, кг/ч; $i_{\text{н}}$ – энтальпия насыщенного пара, кДж/кг.

Коэффициент полезного действия котла равен отношению полезно использованной теплоты к располагаемой, %

$$\eta_{\text{к}} = q_1 = (Q_1 / Q_{\text{р}}) \cdot 100. \quad (6.44)$$

Формула (6.42) применяется для определения КПД по прямому балансу.

По обратному балансу коэффициент полезного действия соответственно будет равен, в %

$$\eta_{\text{к}} = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (6.45)$$

Коэффициент полезного действия $\eta_{\text{к}}$ не учитывает затрат теплоты и электроэнергии на собственные нужды котла и называется КПД брутто ($\eta_{\text{пт}}^{\text{бр}}$). Коэффициент полезного действия парогенератора с учетом затрат на собственные нужды называется КПД нетто, %

$$\eta_{\text{пт}}^{\text{н}} = \eta_{\text{пт}}^{\text{бр}} - \Delta\eta_{\text{пт}}^{\text{сн}}, \quad (6.46)$$

где $\Delta\eta_{\text{пт}}^{\text{сн}}$ – доля затрат на собственные нужды парогенератора, которые составляют 2÷5 %.

6.6.2. Проведение теплотехнических испытаний котлов

Проведение теплотехнических испытаний котельной установки представляет собой комплекс работ, целью которых является наладка режима работы котла с достижением максимального КПД при различных эксплуатационных нагрузках, определение расхода топлива, а также выбросов вредных веществ.

Проведение режимно-наладочных испытаний котлов производится с определением состава газа. Для нахождения процентного содержания RO_2 , O_2 и CO применяются газоанализаторы. Существует несколько типов газоанализаторов, отличающихся по принципу действия, – химические и электрохимические.

В химических газоанализаторах полное поглощение CO существующими реактивами в приборе не обеспечивается, поэтому на практике газоанализатором определяют RO_2 и RO_2+O_2 , а CO – хроматографами и индикаторными трубками. Общий вид химического газоанализатора представлен на рис.6.2.

Для поглощения RO_2 применяются реактивы едкого калия (KOH) или едкого натрия ($NaOH$), а для O_2 – щелочной раствор пирогаллола $C_6H_3(OH)_9$. Вместимость измерительной бюретки – 100 мл. Приготовленный раствор KOH заливают в сосуд 8, а раствор пирогаллола — в сосуд 9. Первоначально заполнение сосудов производится примерно на 0,75 их вместимости. В уравнильный сосуд 1 заливается на 0,8 вместимости дистиллированная вода, подкрашенная метилоранжем в розовый цвет. Далее перекрываются трехходовые краны сосудов. После этого поочередно производится подтягивание жидкости в сосудах до меток, нанесенных рисками под трехходовыми кранами: опуская уравнильный сосуд вниз, подтягивают уровень в сосуде 8, (а потом и в сосуде 9) и трехходовым краном перекрывают сосуд.

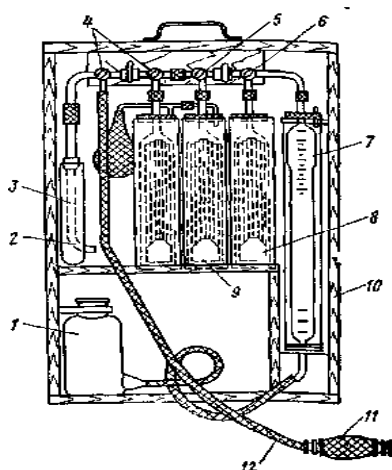


Рис. 6.2 – Общий вид газоанализатора:

1 – уравнильный сосуд; 2 – штуцер забора газа; 3 – газовый фильтр; 4 – общий трехходовой кран; 5 – трехходовой кран к сосуду 9; 6 – трехходовой кран к сосуду 8; 7 – бюретка; 8 – сосуд с раствором KOH ; 9 – сосуд с раствором пирогаллола; 10 – ящик; 11 – груша резиновая; 12 – шланг.

В U-образную трубку (фильтр) для очистки газа от примесей наливают столько воды, чтобы колено ее было полностью перекрыто. Перед забором газа в бюретку эжектором или другим устройством его прокачивают мимо газоанализатора 5-6 мин. Затем краном 4 перекрывается линия 12 и производится впуск газа в бюретку. При опускании сосуда 1, газ засасывается. Для выталкивания открывается кран 4 в линию 12 и поднимается сосуд 1. Эту операцию повторяют 5—6 раз. При окончательном заборе газа в бюретку для анализа сосуд 1 опускается вниз так, чтобы уровень жидкости в бюретке установился на нижней отметке «0», т. е. чтобы в нем было 100

мл газа. Газоанализатор (гребенка) быстро перекрывается краном 4.

Затем приступают к определению RO_2 . Кран 6 ставится так, чтобы газ мог поступать только в сосуд 8. Уравнительный сосуд 1 поднимается вверх. Весь газ переходит в сосуд с *КОН*. При опускании сосуда 1 он вновь поступает в бюретку. Такое манипулирование производится 5—6 раз, после чего медленно подтягивают жидкость в сосуде 8 до верхней черты и перекрывают трехходовой кран 6. К бюретке приставляют сосуд 1 так, чтобы уровни в них совпали, производят отсчет показаний, который соответствует содержанию RO_2 в процентах. Затем данный газ переводят в сосуд 9 и в такой же последовательности определяют общее количество $RO_2 + O_2$. Содержание кислорода определяется как разность $(RO_2 + O_2) - RO_2$.

Индикаторные трубки, применяемые для определения концентрации CO , представляют собой стеклянные трубки диаметром 6 мм и длиной 130 мм, наполненные специальным реактивом.

Газоанализатор термохимический служит для определения свободного кислорода, CO , NO и NO_x , CO_2 , а в отдельных случаях и SO_x в дымовых газах котлов.. Принцип действия прибора основан на первичном преобразовании объемной концентрации соответствующих газов в составе отходящих в электрический сигнал. В электрической схеме используются два моста: рабочий (газовый) и сравнительный (атмосферного воздуха). Отбор пробы газа осуществляется газоотборной трубкой с помощью компрессора. За газоотборной трубкой установлены фильтры, очищающие газ от примесей. Очищенный газ проходит в холодильник, где его температура снижается до $(20 \pm 5) ^\circ C$, и далее поступает в приемник, состоящий из электрических мостов, куда входит также и воздух. Определение состава отходящих газов производится по разбалансу моста.

Существует большое количество современных переносных газоанализаторов, производства различных компаний Великобритании, Германии, Италии и др. Из отечественных газоанализаторов широкое распространение получил ОКСИ-5 и его модификации (производства фирмы «ЭКОТЕСТ» г. Харьков), обеспечивающие замер по составу отходящих дымовых газов (O_2 , CO , NO , NO_x), а также температуру и давление. При этом автоматически рассчитывается коэффициент избытка воздуха, CO_2 и q_2 (потери теплоты с отходящими газами).

6.6.3. Составление теплового баланса котлов по приведенным характеристикам топлива

В методике расчетов по приведенным характеристикам все величины (состав топлива, относительные объемы воздуха и продуктов сгорания, их теплосодержание) отнесены к низшей теплоте сгорания топлива – 4,19 МДж/кг (1000 ккал/кг). За основную характеристику принята приведенная

влажность топлива, которая определяется по формуле (6.47), (кг·%)/МДж

$$W^п = \frac{W^p \cdot 4,19}{Q_H^p}, \quad (6.47)$$

где W^p – влажность топлива, %; Q_H^p – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

После этого определяется располагаемая теплота топлива Q_p^p . При использовании в качестве топлива мазута температуру подогрева его принимают $t_M = 120^\circ\text{C}$.

Содержание CO в уходящих дымовых газах, % определяется по формуле:

$$CO = \frac{21 - \beta \cdot RO_2 - (RO_2 + O_2)}{0,605 + \beta_T}, \quad (6.48)$$

где β_T – безразмерная характеристика топлива, связывает состав топлива с продуктами горения и не зависит от влажности, зольности и коэффициента избытка воздуха.

Потери тепла с механическим недожогом q_4 , % зависят от вида топлива, способа его сжигания и принимаются по таблицам (прил. Г, табл.1).

Потери теплоты с уходящими газами q_2 , % определяют по формуле (6.49):

$$q_2 = \left(K \cdot \alpha_{yx} + C \right) \cdot \left(t_{yx} - \frac{\alpha_{yx}}{\alpha_{yx} + b} \cdot t_{xb} \right) \cdot A_t \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \cdot 10^{-2}, \quad (6.49)$$

где K , C и b – коэффициенты, зависящие от вида топлива и приведенной влажности (прил.Г, табл.2), t_{yx} – температура дымовых газов у места отбора газов для анализа, $^\circ\text{C}$: при сжигании природного газа – 120°C ; каменных углей, антрацита – 130°C ; бурых углей – 140°C ; мазута – 150°C , t_{xb} – температура холодного воздуха перед дутьевым вентилятором (принимается $t_{xb} = 30^\circ\text{C}$), α_{yx} – коэффициент избытка воздуха за котлом, который можно определить по формуле (6.50)

$$\alpha_{yx} = K_\alpha \frac{21}{21 - (O_2 - 0,5CO)}, \quad (6.50)$$

где $K_\alpha = (1 - \rho \cdot O_2 / 21)$ – поправочный коэффициент, ρ – коэффициент, зависящий от вида топлива (в расчетах принимается: для природного газа – 0,1; для мазута – 0,05; для твердых топлив – 0,02), A_t – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры на теплоемкость продуктов сгорания, $A_t = 1 + 0,013 \cdot (t_{yx} - 150) / 100$

Потери от химической неполноты сгорания q_3 определяются в зависимости от вида топлива:

- для мазута $q_3 = 3,32 \cdot CO(\alpha_{yx} - 0,05)$,
- для газообразного топлива $q_3 = 3,35 \cdot CO(\alpha_{yx} - 0,1)$,
- для твердых топлив $q_3 = 0$.

Потери наружного охлаждения парогенератора q_5 принимаются в зависимости от паропроизводительности котла по таблицам или графикам. (прил. Г. табл.3).

Потери теплоты со шлаком q_6 имеют место при сжигании твердых топлив. В случае использования жидкого шлакоудаления (ЖШУ) учет потерь с теплом шлаков обязателен. Для твердого шлакоудаления (ТШУ) потери q_6 учитываются только для многозольных топлив при $A^p > 2,5 \cdot Q_p^p$ (МДж/кг).

Расчет потерь (%) ведется по формуле,

$$q_6 = \frac{(1 - a_{yh})(Ct)_{шл} \cdot A^p}{Q_p^p}, \quad (6.51)$$

где a_{yh} – доля уноса золы из топки, которая приводится в таблицах (прил.Г,табл.4); $(Ct)_{шл}$ – энтальпия удаляемого шлака. При ЖШУ энтальпия шлака определяется по таблице (прил.Г,табл.4) при температуре $t_3 + 100$. Температура начала плавления золы t_3 определяется по справочникам. При ТШУ энтальпия шлака $(Ct)_{шл}$ принимается 560 кДж/кг.

Далее рассчитывается КПД котла по формуле (6.45). Расход топлива можно найти, используя формулы (6.52 а) или (6.52 б), кг/ч ($m^3/ч$)

$$B = \frac{D \cdot (i_{пп} - i_{пв})}{Q_p^p \cdot \eta_k}, \quad (6.52 \text{ а})$$

$$B = \frac{D \cdot (i_n - i_{пв})}{Q_p^p \cdot \eta_k}. \quad (6.52 \text{ б})$$

Величина продувки, принимаемая $\leq 2\%$, в расчете не учитывается. Энтальпия перегретого пара $i_{пп}$ определяется по давлению пара P и температуре пара $t_{п}$ по таблицам (прил.Г,табл.5), энтальпии насыщенного пара i_n и питательной воды $i_{пв}$ находятся по таблицам (прил.Г,табл.6). Величина КПД котла в формулы (6.52 а и 6.52 б) подставляется в долях.

При использовании твердого топлива необходимо определить также расчетный расход топлива по формуле (6.53), кг/ч

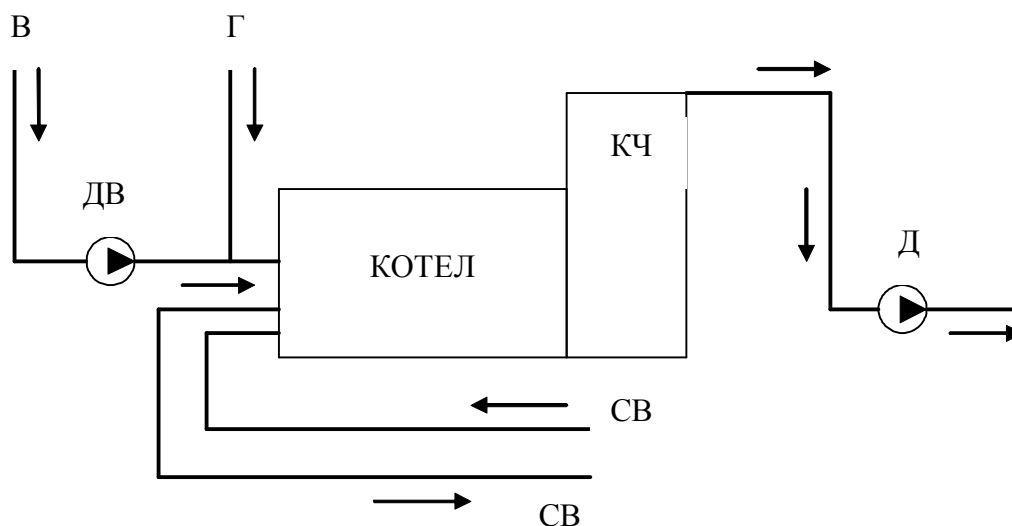
$$B_p = B(1 - 0,01 \cdot q_4) \quad (6.53)$$

6.6.4. Фотография работы котлоагрегатов

По результатам измерений заполняется карта (фотография) работы котлоагрегата, которая сравнивается с режимной картой, составленной при проведении режимно-наладочных испытаний. Выполняется оценка работы котлоагрегата и даются рекомендации по повышению эффективности эксплуатации.

Проведению фотографии работы котлоагрегата предшествует проверка наличия стационарных и установка дополнительных приборов (рис.6.3).

СХЕМА ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ ПАРА, ГАЗА И ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ
ДЛЯ ВОДОГРЕЙНОГО КОТЛА



В – воздух,
ДВ – дутьевой вентилятор,
Г – газ,

КЧ – конвективная часть
Д – дымосос,
СВ – сетевая вода,

Рис.6.3 – Карта центра энергоучета (ЦЭУ)

Проведение «фотографии» работы котлоагрегата, в отличие от режимной карты наладки котла при эколого – технических испытаниях, ставит своей задачей выявить отклонения КПД и параметров котла на рабочем режиме.

Образец сравнения результатов измерения с режимной картой, поддержание соотношения газ-воздух, разрежения за котлом и др. параметры представлены в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Образец «фотографии» работы котлоагрегата представлен ниже

Фотография работы котла ДКВР-6,5/13 № 893, оборудованного горелками производства «Укрчермет», топливо газ природный $Q_H^P = 33730$ кДж/м ³			
№ п/п	Название показателей	Единицы измерения	Значения величин для котла №3
1	Паропроизводительность по щитовым приборам (приведення)	т/ч	2,65
2	Теплопроизводительность	Гкал/ч	-
3	Количество работающих горелок	Шт.	2
4	Расход газа по счетчику	м ³ /ч	370
5	Расход воды через котел	м ³ /ч	не учитывается
Температура			
6	Пара	°С	140
7	Воздуха перед горелками	°С	24
8	Уходящих газов за экономайзером	°С	165
9	Уходящих газов за котлоагрегатом	°С	213
10	Газа перед счетчиками	°С	24
11	Питательной воды перед / после экономайзера	°С	66/75
Давление			
12	Пара на выходе из котлоагрегата	кгс/см ²	4
13	Газа перед счетчиком	мм. вод. ст.	800
14	Газа перед горелкой	мм. вод. ст.	250
15	Воздуха перед горелкой	мм. вод. ст.	180
16	Разряжение в топке, за котлоагрегатом	мм. вод. ст.	5
Концентрация выбросов в уходящих газах за котлоагрегатом			
17	СО	мг/м ³	0
18	СО ₂	%	7,50
19	О ₂	%	7,8
20	NO	мг/м ³	
21	NO ₂	мг/м ³	
22	NO _x	мг/м ³	0,00
23	Коэффициент избытка воздуха	□	1,56
Потери тепла			
24	С уходящими газами, q ₂	%	13,83
25	От химического недорога, q ₃	%	
26	В окружающую среду, q ₅	%	1,50
КПД котлоагрегата			
27	Фактический	%	84,67
28	Паспортный (по реж. карте)	%	88,1
29	Фактический удельный расход топлива	кг. у. т./Гкал	168,9
30	Потери КПД котлоагрегата	%	15,33
31	Потери природного газа по котлоагрегату	м ³ /ч	4,,27

6.6.5. Оценка выработки теплоты на источнике

Для регулирования температурных режимов теплоносителя на источнике используются температурные графики, определяющие его температуру в зависимости от температуры наружного воздуха. Как показывает практика, очень часто эти условия не соблюдаются, что приводит к, так называемым, «перетопу» или «недотопу».

Эти состояния в первом случае приводят к перерасходу топлива, а в другом вызывают использование дополнительных источников энергии для компенсации нехватки тепла в помещениях.

Оценка необходимости включения отопления и количества подаваемого тепла осуществляется методом, известным под названием «градусодни». Он основан на измерении максимальных и минимальных температур наружного воздуха в течение суток и их сравнении со стандартной температурой – 15,5°C, предельной, ниже которой для обеспечения в помещениях санитарной нормы (18 – 20°C) необходимо включать отопление.

Данный метод наиболее эффективен при наличии КиП и регулирования, что позволяет исключить ручной сбор необходимой информации.

В зависимости от уровня максимальной и минимальной суточной температуры к стандартной, существуют следующие расчетные формулы определения градусо - дней при условиях:

- 1) если $T_{max} \leq T_o$, $T_{min} \leq T_o$, то $D = T_o - \frac{1}{2}(T_{max} + T_{min})$;
- 2) если $(T_{max} - T_o) \leq (T_o - T_{min})$,
то $D = \frac{1}{2}(T_o - T_{min}) - \frac{1}{4}(T_{max} - T_{min})$
- 3) если $(T_{max} - T_o) \geq (T_o - T_{min})$, то $D = \frac{1}{4}(T_o - T_{min})$.

(6.54)

Ниже, приведен пример, который иллюстрирует типовой расчет градусо – дней [11].

Таблица 6.3 – Типовой расчет «градусо – дней»

День недели	Tmax	Tmin	Tcp	Градусо-дни To=15,5°C)
Понедельник	8,5	6,5	7,5	8,0
Вторник	7,5	6,5	7,0	8,5
Среда	5,0	3,0	4,0	11,5
Четверг	4,0	2,0	3,0	13,5
Пятница	1,0	-2,0	-0,5	16,0
Суббота	1,5	0,5	1,0	16,0
воскресенье	3,0	0	1,5	14,0
Градусо – дни за неделю				86,0

Исходя из полученного значения градусо-дней и удельного количества тепловой энергии на 1 градусо-день, рассчитывается потребное количество тепловой энергии.

Контрольные вопросы к главе 6

1. В чем особенность расчета годового потребления теплоэнергии по результатам измерений.
2. Какой метод расчета и для каких зданий более точный при использовании удельных отопительных характеристик: на 1м^3 или на 1м^2 ?
3. Что такое термическое сопротивление ограждающих конструкций и в каких случаях расчета оно применяется?
4. Что такое инфильтрация через ограждающие конструкции?
5. От чего зависит расчетная разность между давлением на наружной и внутренней поверхности здания?
6. Какова должна быть температура горячей воды в системе горячего водоснабжения?
7. В чем особенности расчета потребности теплоэнергии на вентиляцию?
8. Как определить потери в тепловых сетях?
9. Тепловой баланс котельного агрегата.
10. Чем отличается расчет теплового баланса котлоагрегата по прямому и обратному балансам?
11. Какие приборы используют при измерении параметров при проведении фотографии работы котлоагрегата?
12. Что такое «градусо-дни» и для чего их используют?

Список литературы к главе 6

1. В.А.Маляренко. Основы теплофизики будівель та енергозбереження: Підручник.- Харків: - САГА, 2006.- 484с.
2. Методические указания по расчету удельных норм расхода тепловой энергии на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. – Киев, 1998. – 856с
3. СНиП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика, М.: Стройиздат, 1987.
4. СНиП 2.04.04-91. Отопление, вентиляция, кондиционирование, М.: Стройиздат, 1997.
5. СНиП П.3.79. Строительная теплотехника, М.: Стройиздат, 1998.
6. СНиП 2.04.07-86. Тепловые сети, М.: Стройиздат, 1982.

7. СНИП 2.01.07-85 Стройиздат, 1985.
8. Украина, энергосбережение в зданиях. – ЕС - Energy Centre: Киев, 1999.
9. Герасимов И.Е.. Справочник инженера по пуску, наладке и эксплуатации котельных установок.-К: Техніка, 1986.– 335с.
10. Бузников Е.Ф., Роддатис К.Ф., Берзиньш Э.Я. Производственные и отопительные котельные. – М.: Энергоатомиздат, 1984.– 232с
11. EURIMA: "Thermal insulation standards in housing in Europe", 91с
12. Энергоаудит. Tacis. Центр подготовки энергоменеджеров, Киев, EUK9701/M/1
13. Маляренко В.А., Малеев О.І. Технічна теплофізика споруд: Навчальний посібник. Харків: ХНАМГ, 2007.- 278с.
14. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс.: – Харків: ХНАМГ, 2007.- 287с.