

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к практическим занятиям по дисциплинам «Энергосбережение в теплоэнергетике» и «Энергосбережение систем теплогазоснабжения и вентиляции» для студентов бакалавриата направлений подготовки 08.03.01 «Строительство» (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»), 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Проектирование и строительство городских систем энергоснабжения»)
всех форм обучения*

Воронеж 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра теплогазоснабжения и нефтегазового дела

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*к практическим занятиям по дисциплинам «Энергосбережение
в теплоэнергетике» и «Энергосбережение систем теплогазоснабжения
и вентиляции» для студентов бакалавриата направлений подготовки
08.03.01 «Строительство» (профиль «Теплогазоснабжение и
вентиляция»), 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль
«Проектирование
и строительство городских систем энергоснабжения»)
всех форм обучения*

Воронеж 2023

УДК 697:620.9(07)
ББК 31.38я7

Составители: Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина

Практические расчеты в энергосбережении: методические указания к практическим занятиям по дисциплинам «Энергосбережение в теплоэнергетике» и «Энергосбережение систем теплогазоснабжения и вентиляции» для студентов направлений подготовки 08.03.01 «Строительство» (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»), 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Проектирование и строительство городских систем энергоснабжения») всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: Д. Н. Китаев, Т. В. Щукина. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. – 32 с.

Приводятся методики практических расчетов по энергосбережению.

Предназначены для студентов бакалавриата направлений 08.03.01 «Строительство», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_ПРВЭ_ПР.pdf.

Табл. 12. Библиогр.: 18 назв.

УДК 697:620.9(07)
ББК 31.38я7

Рецензент – М. Н. Жерлыкина, канд. техн. наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Формирование в России энергоэффективного общества - это неотъемлемая составляющая развития экономики России. Переход к энергоэффективному варианту развития должен быть совершен в ближайшие годы, иначе экономический рост будет сдерживаться из-за высоких цен и снижения доступности энергетических ресурсов.

Основным законодательным документом по энергосбережению является Федеральный закон РФ от 23 ноября 2009 года № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Для целенаправленной работы по экономии энергоресурсов в нашей стране создана и реализована Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р). В регионах и городах приняты соответствующие программы по энергосбережению, содержащие перечень конкретных мероприятий по внедрению ресурсо-энергосберегающих технологий и устройств. Распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 N 1523-р утверждена энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года, значительное место в которой уделено энергоресурсосбережению.

Энергосбережение – это реализация организационных, правовых, технических, технологических, экономических и иных мер, направленных на уменьшение объема используемых энергетических ресурсов при сохранении соответствующего полезного эффекта от их использования (в том числе объема произведенной продукции, выполненных работ, оказанных услуг).

В сфере образования в последние несколько лет в высших учебных заведениях были внедрены дисциплины с тематикой энергосбережения. Важную роль в процессе внедрения энергосберегающих мероприятий играет умение осуществлять практические расчеты. Методикам практических расчетов посвящены данные методические указания. Они способствуют развитию практических навыков в расчетах энергосбережения.

Данные методические указания предназначены для аудиторной и самостоятельной работы для студентов бакалавриата направления 08.03.01 «Строительство» программа «Теплогазоснабжение и вентиляция», 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» программа «Проектирование и строительство городских систем энергоснабжения». Также полезны для студентов бакалавриата и магистратуры, изучающих дисциплины, связанные с энергосбережением и специалистов, осуществляющих практические расчеты энергосберегающих технологий. Приведенные в методических указаниях примеры расчетов способствуют лучшему усвоению теоретического материала и комплексному анализу полученных результатов.

Вариант для расчетов студент принимает по заданию преподавателя.

1. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ СТЕНЫ ЗДАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ВЕНТИЛИРУЕМОГО ФАСАДА

Определить необходимую толщину утеплителя для наружных стен жилого здания. Стена состоит из железобетонных панелей толщиной δ , м с коэффициентом теплопроводности λ , Вт/(м·°C) и цементно-песчаного раствора, толщиной $\delta_p=0,01$ м и $\lambda_p=0,76$ Вт/(м·°C). Исходные данные: город, расчетную температуру для проектирования отопления t_{ext} , °C, число суток отопительного периода z_{ht} , сут, среднюю температуру наружного воздуха за отопительный период t_{ht} , °C, толщину δ , и коэффициент теплопроводности λ , принять по номеру варианта из табл. 1.1.

Таблица 1.1

Исходные данные для расчета толщины утеплителя [3]

№ Вари- анта	Город	t_{ext} , °C	z_{ht} , сут	t_{ht} , °C	δ , м	λ , Вт/(м·°C)
1	Архангельск	-31	253	-4,4	1	1,05
2	Белгород	-23	191	-1,9	0,976	1,1
3	Брянск	-26	205	-2,3	0,952	1,15
4	Владимир	-28	213	-3,5	0,928	1,2
5	Волгоград	-25	178	-2,2	0,904	1,25
6	Вологда	-32	231	-4,1	0,88	1,3
7	Воронеж	-26	196	-3,1	0,856	1,35
8	Иваново	-30	219	-3,9	0,832	1,4
9	Калуга	-27	210	-2,9	0,808	1,45
10	Курган	-37	216	-7,7	0,784	1,5
11	Курск	-26	198	-2,4	0,76	1,55
12	Липецк	-27	202	-3,4	0,736	1,6
13	Йошкар-Ола	-34	220	-5,1	0,712	1,65
14	Саранск	-30	209	-4,5	0,688	1,7
15	Мурманск	-27	275	-3,2	0,664	1,75
16	Новосибирск	-39	230	-8,7	0,64	1,8
17	Омск	-37	221	-8,4	0,616	1,85
18	Орел	-26	205	-2,7	0,592	1,9
19	Пенза	-29	207	-4,5	0,568	1,95
20	Владивосток	-24	196	-3,9	0,544	2
21	Великие Луки	-27	212	-1,9	0,52	2,05
22	Ростов-на-Дону	-22	171	-0,6	0,496	2,1
23	Саратов	-27	196	-4,3	0,472	2,15
24	Смоленск	-26	215	-2,4	0,448	2,2
25	Тамбов	-28	201	-3,7	0,424	2,25
26	Казань	-32	215	-5,2	0,4	2,3

№ Вари- анта	Город	t_{ext} , °C	z_{ht} , сут	t_{ht} , °C	δ , м	λ , Вт/(м·°C)
27	Тула	-27	207	-3	0,376	2,35
28	Тюмень	-38	225	-7,2	0,352	2,4
29	Хабаровск	-31	211	-9,3	0,328	2,45
30	Ярославль	-31	221	-4	0,304	2,5

Определяем *требуемое сопротивление* теплопередаче стен R_{req}^w м²·°C/Вт, для рассматриваемого региона.

Градусо-сутки отопительного периода D_d , °C·сут, определяются по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) z_{ht}. \quad (1.1)$$

Согласно СНиП 23-02 [1] и ГОСТ 30494 – Здания жилые и общественные, параметры микроклимата в помещениях [2], принимается расчетная средняя температура внутреннего воздуха в помещениях t_{int} , °C и относительная влажность ϕ , %.

Согласно СНиП 23-02 для этих градусо-суток определяем нормируемое сопротивление теплопередаче R_{req} , м²·°C/Вт, для ограждающих конструкций по формуле

$$R_{req} = aD_d + b, \quad (1.2)$$

где a, b – коэффициенты, принимаемые по табл. 4 СНиП 23-02.

Определяем сопротивление теплопередаче существующей конструкции стены.

Теплотехнические расчеты ограждающих конструкций проводим согласно СП 23-101-2004 [4].

Сопротивление теплопередаче R_0 , м²·°C/Вт, однородной однослойной или многослойной ограждающей конструкции с однородными слоями или ограждающей конструкции в удалении от теплотехнических неоднородностей не менее чем на две толщины ограждающей конструкции следует определять по формуле

$$R_0 = R_{si} + R_k + R_{se}, \quad (1.3)$$

где R_{si} определяется по формуле

$$R_{si} = 1/\alpha_{int}, \quad (1.4)$$

где α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м²·°C), принимаемый по таблице 7 СНиП 23-02;

R_{se} определяется по формуле

$$R_{se} = 1/\alpha_{ext}, \quad (1.5)$$

где α_{ext} - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для условий холодного периода, Вт/(м²°C), принимаемый по таблице 8 СП 23-101-2004;

R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции, определяемое как сумма термических сопротивлений отдельных слоев по формуле

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (1.6)$$

где $R_1 + R_2 + \dots + R_n$ – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, определяемое по формуле

$$R = \delta/\lambda, \quad (1.7)$$

где δ – толщина слоя, м; λ – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя, Вт/(м·°C).

Значение λ принимаем по СП 23-101-2004 [4] табл. Д1 приложения Д. Предварительно определяем зону влажности по прил. В [4] и условия эксплуатации здания.

Определяем требуемое усиление теплозащитных свойств стены по формуле

$$\Delta R = R_{req} - R_0^{сущ} \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}. \quad (1.8)$$

Толщина слоя необходимой изоляции $\delta_{из}$, м составит:

$$\delta_{из} = \Delta R \frac{\lambda_{из}}{r}, \quad (1.9)$$

где $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности изоляционного слоя (для соответствующих условий эксплуатации), принимаемый по каталогу изоляции, например [5] или любому другому; r – коэффициент теплотехнической неоднородности конструкции стены (рекомендуется принять по СТО 00044807-001-2006 [6]).

Определяем фактическое сопротивление теплопередаче конструкции стены R^* по формуле (1.3). Если полученное значение R^* больше нормативного, то требование СНиП 23-02-2003 по параметру «а» выполняется и расчет заканчивается. В противном случае, необходимо увеличить толщину изоляции на один размер и пересчитать формулу.

Расчетный температурный перепад Δt_0 , °C, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей кон-

струкции не должен превышать нормируемых величин Δt_n , °С, установленных в таблице 5 СНиП 23-02-2003. Определяем Δt_0 по формуле

$$\Delta t_0 = \frac{n(t_{int} - t_{ext})}{R^* \alpha_{int}}, \quad (1.10)$$

где n – коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, определяемый по табл.6 СНиП 23-02-2003.

Если полученное значение Δt_0 меньше нормируемого Δt_n , то требование выполняется.

Проверяем конструкцию стены на возможность выпадения конденсата на внутренней поверхности. Определяем температуру внутренней поверхности t_{si} , °С по формуле

$$t_{si} = t_{int} - \frac{[n(t_{int} - t_{ext})]}{R^* \alpha_{int}}, \quad \text{°С.} \quad (1.11)$$

Определяем температуру точки росы t_d , °С, при принятой относительной влажности внутреннего воздуха ϕ по приложению Р СП 23-101-2004. Должно выполняться условие $t_{si} > t_d$ и $\Delta t_0 < \Delta t_n$, что означает выполнение требований теплозащиты по параметру «б».

2. РАСЧЕТ НОРМАТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Определить нормативные технологические потери в двухтрубных тепловых сетях, проложенных в непроходных каналах, сооруженных до 1990г. и не подвергавшихся испытаниям для определения теплотехнических характеристик. Сеть имеет конфигурацию: (наружный диаметр, мм/длина, м): 377/500; 273/1000; 219/2000; 159/2500; 108/3000; 76/1000. Для получения исходных данных для каждого варианта, необходимо прибавить к заданной длине участков длину, равную номеру варианта. Остальные исходные данные по вариантам принимаются по табл. 2.1.

Среднее за год значение температуры грунта $t_{гр. ср. год} = 5^\circ\text{С}$, за отопительный период $t_{гр. ср. он} = 4^\circ\text{С}$; продолжительность отопительного периода n , сут, принять из табл. 1.1 ($n = z_{ht}$). Среднее значение температуры теплоносителя в подающем трубопроводе в отопительном периоде $\tau_{1cp. он} = 89,2^\circ\text{С}$, в обратном $\tau_{2cp. он} = 55^\circ\text{С}$. Среднее за год значение температуры теплоносителя в подающем $\tau_{1cp. год}$ и обратном $\tau_{2cp. год}$ трубопроводе принять по табл. 2.1.

Таблица 2.1

Данные по среднегодовым температурам в сети

Вари- ант	$t_{1cp.год},$ °C	$t_{2cp.год},$ °C	Вари- ант	$t_{1cp.год},$ °C	$t_{2cp.год},$ °C	Вари- ант	$t_{1cp.год},$ °C	$t_{2cp.год},$ °C
1	84,9	54,8	11	81	50	21	77	45
2	84,6	54,5	12	80,6	49,5	22	76,6	44,5
3	84,2	54	13	80,2	49	23	76,2	44
4	83,8	53,5	14	79,8	48,5	24	75,8	43,5
5	83,4	53	15	79,4	48	25	75,4	43
6	83	52,5	16	79	47,5	26	75	42,5
7	82,6	52	17	78,6	47	27	74,6	42
8	82,2	51,5	18	78,2	46,5	28	74,2	41,7
9	81,8	51	19	77,8	46	29	74	41,6
10	81,4	50,5	20	77,4	45,5	30	73,8	41,4

Из исходных данных следует, что суммарные нормативные технологические потери будут состоять из двух статей: потери через теплоизоляционные конструкции трубопроводов и оборудование систем транспорта; затраты связанные с технически неизбежными потерями теплоносителя [7].

Определим среднегодовую разность значений температуры теплоносителя и грунта

$$\Delta t_{cp.год} = \frac{t_{1cp.год} + t_{2cp.год}}{2} - t_{гр. cp. год}, ^\circ\text{C}. \quad (2.1)$$

Определяем значения удельных часовых тепловых потерь трубопроводами тепловой сети $q_{из.н}$, ккал/м·ч, пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь трубопроводами (табл. 2.2) на среднегодовые условия функционирования тепловой сети, подающими и обратными трубопроводами подземной прокладки совместно.

Определяем удельные потери тепла для всех диаметров с помощью табл. 2.2. методом линейной интерполяции.

Часовые теплотери для среднегодовых условий функционирования трубопроводов определяем по формуле [7]

$$Q_{из.н.год} = \sum (q_{из.н} L \beta) 10^{-6}, \text{ Гкал}, \quad (2.2)$$

где $q_{из.н}$ - удельные часовые тепловые потери трубопроводами каждого диаметра, определенные пересчетом табличных значений норм удельных часовых тепловых потерь на среднегодовые (среднесезонные) условия эксплуатации, ккал/ч·м; L - длина участка трубопроводов тепловой сети, м; β - коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери запорной и другой

арматурой, компенсаторами и опорами (принимается 1,2 при диаметре трубопроводов до 150 мм и 1,15 - при диаметре 150 мм и более, а также при всех диаметрах трубопроводов бесканальной прокладки, независимо от года проектирования).

Таблица 2.2

Нормы тепловых потерь изолированными водяными теплопроводами $q_{из.н}$, ккал/ч·м при двухтрубной прокладке в непроходных каналах с расчетной среднегодовой температурой грунта 5 °С на глубине заложения трубопроводов при среднегодовых разницах температур воды и грунта $\Delta t_{ср.год}$ и удельные объемы воды

D _н , мм	$\Delta t_{ср.год}=52,5^{\circ}\text{C}$	$\Delta t_{ср.год}=65^{\circ}\text{C}$	Удельный объем, м ³ /км
76	64	74	3,9
108	76	88	8
159	94	107	18
219	113	130	34
273	132	150	53
377	164	183	101

Часовые потери для отопительного периода определяем по формуле

$$Q_{из.н.оп} = Q_{из.н.год} \frac{\tau_{1ср.оп} + \tau_{2ср.оп} - 2t_{ср.оп}}{\tau_{1ср.год} + \tau_{2ср.год} - 2t_{ср.год}}, \text{ Гкал.} \quad (2.3)$$

Нормативные теплотери в отопительном периоде составят

$$Q = Q_{из.н.оп} 24n, \text{ Гкал.} \quad (2.4)$$

Определяем емкость трубопроводов двухтрубной тепловой сети:

$$V = 2 \sum_{i=1}^n V_i l_i, \text{ м}^3. \quad (2.5)$$

где V_i - удельный объем i -го участка трубопроводов определенного диаметра, м³/км, принимаемого по табл. 2.2 [8]; l_i - длина участка, км.

Определяем сезонную норму утечки теплоносителя (для отопительного периода)

$$G_{ут.н} = \frac{aVn}{100 \cdot 350}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2.6)$$

где a - норма среднегодовой утечки теплоносителя, м³/ч·м³, установленная правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей [9], а также

правилами технической эксплуатации тепловых энергоустановок [10], в пределах 0,25% среднегодовой емкости трубопроводов тепловых сетей в час.

Определяем количество теряемого теплоносителя за отопительный период:

$$V_{yt} = G_{yt.n} 24n, \text{ м}^3. \quad (2.7)$$

Среднегодовое значение температуры холодной воды, подаваемой на источник теплоснабжения для подпитки тепловой сети, определим по формуле

$$t_x = \frac{t_{x.no} n_{no} + t_{x.o} n}{350}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (2.8)$$

где $t_{x.no}$, $t_{x.o}$ - значения температур холодной воды, поступающей на источник теплоснабжения в отопительном и неотопительном периодах соответственно (принимаям 15°C и 5°C [7]); n_{no} - продолжительность неотопительного периода, сут.

Определяем годовые нормативные технологические потери тепловой энергии, Гкал, обусловленные потерями теплоносителя по формуле

$$Q_{y.n} = G_{yt.n} \rho_{год} c [b \tau_{1cp.год} + (1-b) \tau_{2cp.год} - t_x] 24n 10^{-6}, \text{ Гкал}, \quad (2.9)$$

где $\rho_{год}$ - среднегодовая плотность теплоносителя при средней (с учетом b) температуре теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети, кг/м^3 ; b - доля массового расхода теплоносителя, теряемого подающим трубопроводом тепловой сети (при отсутствии данных можно принимать от 0,5 до 0,75); $\tau_{1cp.год}$ и $\tau_{2cp.год}$ - среднегодовые значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети по температурному графику регулирования тепловой нагрузки, $^\circ\text{C}$; t_x - среднегодовое значение температуры исходной воды, подаваемой на источник теплоснабжения и используемой для подпитки тепловой сети, $^\circ\text{C}$; c - удельная теплоемкость теплоносителя, $\text{ккал/кг } ^\circ\text{C}$.

Находим среднегодовое значение температуры для подающего и обратного трубопровода $(\tau_{1cp.год} + \tau_{2cp.год})/2, ^\circ\text{C}$. По полученной температуре находим плотность, используя справочные данные зависимости плотности воды от температуры [11].

Определяем потери в отопительном периоде

$$Q_{on} = Q_{y.n} \frac{n}{350}, \text{ Гкал}. \quad (2.10)$$

Нормативные технологические потери тепла за отопительный период определяются суммированием потерь через теплоизоляционные конструкции Q и с потерями теплоносителя Q_{on} .

3. РАСЧЕТ НОРМАТИВА УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА НА ОТПУЩЕННУЮ ТЕПЛОВУЮ ЭНЕРГИЮ ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ

В котельной установлены 3 котла типа КВТС-10. Среднегодовая загрузка котлов составляет: $N_1, N_2, N_3, \%$ от номинальной нагрузки. Зависимость удельного расхода топлива от нагрузки определена по результатам режимно-наладочных испытаний и описывается уравнением $b_{к.а}^{ср} = aQ^2 - 0,0643Q + 174,16$ кг.у.т./Гкал. Потери теплоты от механического недожога $q_4^{мех}, \%$, содержание мелочи в топливе $\Delta, \%$. Продолжительность функционирования котлов: $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \text{ч}$. Собственные нужды составляют $d_{с.н.}, \%$. Рассчитать индивидуальные и групповые нормы удельного расхода топлива. Необходимые исходные данные принять по табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные для расчета нормативных удельных расходов топлива

Вариант	Загрузка котлов, %			a	Потеря $q_4^{мех}, \%$	$\Delta, \%$	Продолжительность работы котлов, ч			$d_{с.н.}, \%$
	N_1	N_2	N_3				τ_1	τ_2	τ_3	
1	90	70	30	0,041	5	65	5000	4000	2000	2
2	88	69	32	0,04	5,3	65,5	4900	3950	2100	2,1
3	86	68	34	0,039	5,6	66	4800	3900	2200	2,2
4	84	67	36	0,038	5,9	66,5	4700	3850	2300	2,3
5	82	66	38	0,037	6,2	67	4600	3800	2400	2,4
6	80	65	40	0,036	6,5	67,5	4500	3750	2500	2,5
7	78	64	42	0,035	6,8	68	4400	3700	2600	2,6
8	76	63	44	0,034	7,1	68,5	4300	3650	2700	2,7
9	74	62	46	0,033	7,4	69	4200	3600	2800	2,8
10	72	61	48	0,032	7,7	69,5	4100	3550	2900	2,9
11	70	60	50	0,031	8	70	4000	3500	3000	3
12	68	59	52	0,03	8,3	70,5	3900	3450	3100	3,1
13	66	58	54	0,029	8,6	71	3800	3400	3200	3,2
14	64	57	56	0,028	8,9	71,5	3700	3350	3300	3,3
15	62	56	58	0,027	9,2	72	3600	3300	3400	3,4
16	60	55	60	0,026	9,5	72,5	3500	3250	3500	3,5
17	58	54	62	0,025	9,8	73	3400	3200	3600	3,6
18	56	53	64	0,024	10,1	73,5	3300	3150	3700	3,7

Вариант	Загрузка котлов, %			a	Потеря $q_4^{мех}$, %	Δ , %	Продолжительность работы котлов, ч			$d_{с.н.}$, %
	N_1	N_2	N_3				τ_1	τ_2	τ_3	
19	54	64	80	0,023	10,4	74	3200	3100	3800	3,8
20	52	66	79	0,022	10,7	74,5	3100	3050	3900	3,9
21	50	68	78	0,021	11	75	3000	3000	4000	4
22	48	70	77	0,02	11,3	75,5	2900	2950	4100	4,1
23	46	72	76	0,019	11,6	76	2800	2900	4200	4,2
24	44	74	75	0,018	11,9	76,5	2700	2850	4300	4,3
25	42	76	74	0,017	12,2	77	2600	2800	4400	4,4
26	40	78	73	0,016	12,5	77,5	2500	2750	4500	4,5
27	38	80	72	0,015	12,8	78	2400	2700	4600	4,6
28	36	82	71	0,014	13,1	78,5	2300	2650	4700	4,7
29	34	84	70	0,013	13,4	79	2200	2600	4800	4,8
30	32	86	69	0,012	13,7	79,5	2100	2550	4900	4,9

3.1. Расчет индивидуальных норм

Определяем коэффициент K_1 , учитывающий эксплуатационную нагрузку для каждого котла по формуле [12]

$$K_1 = \frac{(b_{к.а.}^{бр})^{ср}}{(b_{к.а.}^{бр})^{ном}}, \quad (3.1)$$

где $(b_{к.а.}^{бр})^{ср}$ - удельный расход условного топлива при средней производительности котлоагрегата на планируемый период работы (месяц, год), кг у.т./Гкал; $(b_{к.а.}^{бр})^{ном}$ - удельный расход условного топлива при номинальной нагрузке, кг у.т./Гкал, определяемый по данным режимно-наладочных испытаний.

Определяем среднегодовую тепловую мощность каждого котла по формуле

$$Q_i = Q_{ном} N_i, \text{ Гкал/ч.} \quad (3.2)$$

Находим $(b_{к.а.}^{бр})^{ср}$ по каждому котлоагрегату.

Определяем коэффициент K_1 по формуле (3.1) для каждого котла.

Определяем коэффициент K_3 , учитывающий использование нерасчетных видов топлива на данном типе котлов. Он находится по потерям теплоты топок от механического недожога $q_4^{мех}$, в зависимости от типа топочного устройства, зольности и фракционного состава топлива по формуле

$$K_3 = 1 + \frac{q_4^{MCX} (K_T - 1)}{100} \quad (3.3)$$

где K_T - поправка на содержание мелочи (класс 0-6 мм) в топливе определяется по данным, приведенным в таблице 5 [12] или по формуле

$$K_T = 0,3 \cdot 10^{-3} \Delta^2 - 0,0329 \Delta + 1,9315. \quad (3.4)$$

Определяем общий (интегральный) коэффициент K для каждого котла по формуле

$$K = K_1 K_3. \quad (3.5)$$

Индивидуальный норматив удельного расхода топлива на выработку тепловой энергии котлом, определяется по выражению

$$b_{\kappa.a}^{bp} = K (b_{\kappa.a}^{bp})^{ном}, \text{ кг у.т./Гкал.} \quad (3.6)$$

3.2. Расчет групповых норм

Определяем средневзвешенный норматив удельного расхода топлива на выработку тепловой энергии всеми котлами по формуле

$$H_{кот}^{bp} = \frac{\sum_{i=1}^n b_{\kappa.ai}^{bp} Q_i \tau_{\kappa.a.i}}{\sum_{i=1}^n Q_i \tau_{\kappa.a.i}}, \text{ кг у.т./Гкал.} \quad (3.7)$$

Определяем групповой норматив удельного расхода топлива на отпуск в сеть тепловой энергии по формуле

$$H_{кот} = \frac{H_{кот}^{bp}}{1 - \frac{d_{с.н.}}{100}}, \text{ кг у.т./Гкал.} \quad (3.8)$$

Найдем количество необходимого условного топлива для выработки тепловой энергии по формуле

$$B = H_{кот}^{bp} Q_{кот}, \text{ кг у.т.,} \quad (3.9)$$

где $Q_{кот}$ - количество выработанной тепловой энергии котельной, Гкал.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ КОТЕЛЬНОЙ

В котельной установлены $n=3$ котла с одинаковой номинальной мощностью N_k . Известны максимальные тепловые нагрузки системы отопления $Q_o^{\max}$ и вентиляции $Q_v^{\max}$ и средние расходы теплоты на горячее водоснабжение в отопительном Q_h^s и неотапительном Q_h^n периодах, теплотворная способность сжигаемого топлива Q_n^p , кпд котлоагрегатов $\eta_{к.а}^{бр}$, коэффициенты сохранения теплоты в сетях $\eta_{ном}$ и расхода теплоты на собственные нужды $\eta_{сн}$.

Определить основные технико-экономические показатели работы котельной. Исходные данные принять по табл. 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные для лабораторной работы №4

Вариант	N_k , МВт	$Q_o^{\max}$, МВт	$Q_v^{\max}$, МВт	Q_h^s , МВт	Q_h^n , МВт	Q_n^p , МДж/м ³	$\eta_{к.а}^{бр}$, %	$\eta_{сн} = \eta_{ном}$, %
1	10	21	1,5	3	2,4	28	94	98
2	11	23,1	1,65	3,3	2,6	28,3	93,7	97,9
3	12	25,2	1,8	3,6	2,9	28,6	93,4	97,8
4	13	27,3	1,95	3,9	3,1	28,9	93,1	97,7
5	14	29,4	2,1	4,2	3,4	29,2	92,8	97,6
6	15	31,5	2,25	4,5	3,6	29,5	92,5	97,5
7	16	33,6	2,4	4,8	3,8	29,8	92,2	97,4
8	17	35,7	2,55	5,1	4,1	30,1	91,9	97,3
9	18	37,8	2,7	5,4	4,3	30,4	91,6	97,2
10	19	39,9	2,85	5,7	4,6	30,7	91,3	97,1
11	20	42	3	6	4,8	31	91	97
12	21	44,1	3,15	6,3	5	31,3	90,7	96,9
13	22	46,2	3,3	6,6	5,3	31,6	90,4	96,8
14	23	48,3	3,45	6,9	5,5	31,9	90,1	96,7
15	24	50,4	3,6	7,2	5,8	32,2	89,8	96,6
16	25	52,5	3,75	7,5	6	32,5	89,5	96,5
17	26	54,6	3,9	7,8	6,2	32,8	89,2	96,4
18	27	56,7	4,05	8,1	6,5	33,1	88,9	96,3
19	28	58,8	4,2	8,4	6,7	33,4	88,6	96,2
20	29	60,9	4,35	8,7	7	33,7	88,3	96,1
21	30	63	4,5	9	7,2	34	88	96
22	31	65,1	4,65	9,3	7,4	34,3	87,7	95,9
23	32	67,2	4,8	9,6	7,6	34,6	87,4	95,8

Вариант	N_k , МВт	$Q_o^{\max}$, МВт	$Q_s^{\max}$, МВт	Q_h^s , МВт	Q_h^a , МВт	Q_h^p , МДж/м ³	$\eta_{к.а}^{бр}$, %	$\eta_{сн} = \eta_{ном}$, %
24	33	69,3	4,95	19,8	7,9	34,9	87,1	95,7
25	34	71,4	5,1	20,4	8,2	35,2	86,8	95,6
26	35	73,5	5,25	21	8,4	35,5	86,5	95,5
27	36	75,6	5,4	21,6	8,6	35,8	86,2	95,4
28	37	77,7	5,55	22,2	8,9	36,1	85,9	95,3
29	38	79,8	5,7	22,8	9,1	36,4	85,6	95,2
30	39	81,9	5,85	23,4	9,4	36,7	85,3	95,1

Определяем установленную мощность котельной по формуле

$$N_{уст} = N_k n, \quad (4.1)$$

где N_k - номинальная тепловая мощность котла, МВт; n - число котлов.

Вычисляем средний расход теплоты на нужды отопления Q_o^{cp} , МВт за отопительный период по формуле [13]

$$Q_o^{cp} = Q_o^{\max} \frac{(t_s - t_{cp.o})}{(t_s - t_o)}, \quad (4.2)$$

где $Q_o^{\max}$ - максимальная тепловая нагрузка системы отопления, МВт; t_s - расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемых зданиях, °С; $t_{cp.o}, t_o$ - температуры наружного воздуха средняя за отопительный период и расчетная для проектирования отопления соответственно (принимаются по данным табл. 1.1).

Определяем годовой расход тепла на отопление $Q_o^{год}$, ГДж по формуле

$$Q_o^{год} = 24 \cdot 3,6 Q_o^{cp} n_0, \quad (4.3)$$

где n_0 - продолжительность отопительного периода, сут. (принимается по данным табл. 1.1).

Вычисляем средний расход теплоты на нужды вентиляции Q_s^{cp} , МВт за отопительный период по формуле

$$Q_s^{cp} = Q_s^{\max} \frac{(t_s - t_{cp.o})}{(t_s - t_{вент.})}, \quad (4.4)$$

где $Q_s^{\max}$ - максимальная тепловая нагрузка системы вентиляции, МВт; t_s - расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемых зданиях, °C; $t_{\text{вент.}}$ - расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, принимаемая согласно [16], °C.

Определяем годовой расход тепла на вентиляцию $Q_s^{\text{год}}$, ГДж по формуле

$$Q_s^{\text{год}} = 3,6 Q_o^{\text{cp}} n_0 z, \quad (4.5)$$

где z – число часов работы системы вентиляции в сутки в среднем за отопительный период, час (рекомендуется принять $z=16$ ч).

Определяем годовой расход теплоты на нужды ГВС по формуле [15]

$$Q_{\text{ГВС}}^{\text{год}} = 24 \cdot 3,6 (Q_h^s n_0 + (350 - n_0) Q_h^n), \quad (4.6)$$

где Q_h^s, Q_h^n - средние расходы теплоты за отопительный период и неотапливаемый соответственно, МВт; 350 – число часов работы системы в году.

Определяем суммарный годовой тепловой поток

$$Q^{\text{год}} = Q_o^{\text{год}} + Q_s^{\text{год}} + Q_{\text{ГВС}}^{\text{год}}. \quad (4.7)$$

Находим годовую выработку теплоты, ГДж

$$Q_{\text{выр}}^{\text{год}} = \frac{Q^{\text{год}} 10^4}{\eta_{\text{сн}} \eta_{\text{ном}}}, \quad (4.8)$$

где $\eta_{\text{сн}}, \eta_{\text{ном}}$ - коэффициенты сохранения теплоты в сетях и расхода теплоты на собственные нужды соответственно.

Определяем количество часов использования установленной мощности котельной в году [14], ч/год

$$h_e = \frac{Q_{\text{выр}}^{\text{год}}}{3,6 N_{\text{уст}}}. \quad (4.9)$$

Определяем удельный расход условного топлива на 1ГДж отпущенной теплоты

$$b_{y.m.} = \frac{34,12 \cdot 10^6}{\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} \eta_{\text{сн}} \eta_{\text{ном}}} \text{ кг.у.т./ГДж.} \quad (4.10)$$

где $\eta_{\text{кка}}^{\text{бр}}$ - кпд котлоагрегата брутто, %

Полученное значение по формуле (4.10) необходимо перевести в кг.у.т./Гкал.

Определяем удельный расход натурального топлива по формуле

$$b_{\text{н.т.}} = b_{\text{у.т.}} \frac{29,3}{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}, \text{кг/ГДж.} \quad (4.11)$$

Полученное значение по формуле (4.11) необходимо перевести в кг/Гкал.

5. РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ОТ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ КОТЕЛЬНОЙ

Теплопроизводительность паровой котельной $Q=50$ МВт, топливом служит малосернистый мазут с низшей теплотой сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}=39354$ кДж/кг. Температура воздуха, идущего на горение составляет $t_{\text{в}}=20^{\circ}\text{C}$, механический недожог q_4 отсутствует. По данным энергоаудита процентный состав продуктов сгорания топлива следующий: RO_2 , CO , CH_4 , H_2 . Годовое число часов использования паропроизводительности котельной $\tau=4000$ ч.

Рассчитать среднегодовую экономию топлива при внедрении энергосберегающего мероприятия, позволяющего снизить температуру уходящих дымовых газов с t_{yx1} до t_{yx2} .

Исходные данные для расчета принять по табл. 5.1.

Таблица 5.1

Исходные данные для расчета экономии топлива от снижения температуры уходящих газов

Вариант	$RO_2, \%$	$CO, \%$	$CH_4, \%$	$H_2, \%$	$t_{\text{yx1}}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{yx2}}, ^{\circ}\text{C}$
1	14,2	1	0,1	0,1	350	226
2	14,3	0,97	0,097	0,098	345	222
3	14,4	0,94	0,094	0,096	340	218
4	14,1	0,91	0,091	0,094	335	214
5	13,8	0,88	0,088	0,092	330	210
6	13,5	0,85	0,085	0,09	325	206
7	13,2	0,82	0,082	0,088	320	202
8	12,9	0,79	0,079	0,086	315	198
9	12,6	0,76	0,076	0,084	310	194
10	12,3	0,73	0,073	0,082	305	190
11	12	0,7	0,07	0,08	300	186
12	11,7	0,67	0,067	0,078	295	182
13	11,4	0,64	0,064	0,076	290	178
14	11,1	0,61	0,061	0,074	285	174

Вариант	$RO_2, \%$	$CO, \%$	$CH_4, \%$	$H_2, \%$	$t_{yx1}, ^\circ C$	$t_{yx2}, ^\circ C$
15	10,8	0,58	0,058	0,072	280	170
16	10,5	0,55	0,055	0,07	275	166
17	10,2	0,52	0,052	0,068	270	162
18	9,9	0,49	0,049	0,066	265	158
19	9,6	0,46	0,046	0,064	260	154
20	9,3	0,43	0,043	0,062	255	150
21	9	0,4	0,04	0,06	250	146
22	8,7	0,37	0,037	0,058	245	142
23	8,4	0,34	0,034	0,056	240	138
24	8,1	0,31	0,031	0,054	235	134
25	7,8	0,28	0,028	0,052	230	130
26	7,5	0,25	0,025	0,05	225	126
27	7,2	0,22	0,022	0,048	220	122
28	6,9	0,19	0,019	0,046	215	118
29	6,6	0,16	0,016	0,044	210	114
30	6,3	0,13	0,013	0,042	205	110

Для определения тепловых потерь с уходящими газами и от химической неполноты сгорания топлива, используем методику М.Б. Равича [17].

Определяем отношение объема сухих продуктов горения, полученных при сжигании топлива с избытком воздуха, к объему сухих продуктов горения в теоретических условиях

$$H = \frac{RO_{2, \max}}{RO_2 + CO + CH_4}, \quad (5.1)$$

где $RO_{2, \max}$ - максимальное содержание углекислого газа и сероводорода в сухих продуктах сгорания, соответствующее сжиганию в теоретических условиях (для малосернистого мазута можно принять $RO_{2, \max} = 16,3\%$; RO_2, CO, CH_4 - содержание в продуктах горения углекислого газа и сероводорода, окиси углерода и метана соответственно).

Определяем потери тепла с уходящими газами $q_2, \%$ при температуре t_{yx1} при $H > 1$ по формуле

$$q_2(t_{yx1}) = \frac{t_{yx1} - t_g}{t_{\max}} [C + (H - 1)BK] 100, \quad (5.2)$$

где $t_{\max}$ - жаропроизводительность топлива (принимается для малосернистого мазута $2100 ^\circ C$); C – поправочный коэффициент показывающий отношение

средневзвешенной теплоемкости неразбавленных воздухом продуктов горения в температурном интервале от 0°C до t_{yx} к средневзвешенной теплоемкости неразбавленных воздухом продуктов горения в температурном интервале от 0°C до $t_{\text{макс}}$, определяемый по формулам:

$$100 \leq t_{yx} \leq 200^{\circ}\text{C}, \quad C = 10^{-4} t_{yx} + 0,81, \quad (5.3)$$

$$200 < t_{yx} \leq 400^{\circ}\text{C}, \quad C = 5 \cdot 10^{-7} t_{yx}^2 - 1,5 \cdot 10^{-4} t_{yx} + 0,84; \quad (5.4)$$

B – коэффициент, показывающий отношение объема сухих продуктов горения к объему влажных продуктов горения в теоретических условиях (для малосернистого мазута $B=0,88$); K – поправочный коэффициент, показывающий отношение средней теплоемкости воздуха в температурном интервале 0°C до t_{yx} к средневзвешенной теплоемкости неразбавленных воздухом продуктов горения в температурном интервале от 0°C до $t_{\text{макс}}$, определяемый по формулам:

$$100 \leq t_{yx} < 200^{\circ}\text{C}, \quad K = 0,78,$$

$$200 \leq t_{yx} \leq 500^{\circ}\text{C}, \quad K = 10^{-4} t_{yx} + 0,76. \quad (5.5)$$

Определяем потери тепла с уходящими газами $q_2(t_{yx2})$ при температуре t_{yx2} по формулам (5.2)-(5.5).

Переходим к вычислению потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива, которая не зависит от температуры уходящих газов. Предварительно определяем теплотворную способность горючих компонентов $Q_{\text{нр.гор}}$, ккал/м³, содержащихся в одном нормальном кубометре сухих продуктов горения по формуле

$$Q_{\text{нр.гор}} = 30,2CO + 25,8H_2 + 85,5CH_4. \quad (5.6)$$

Определяем потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива q_3 , % по формуле

$$q_3 = \frac{Q_{\text{нр.гор}} 4,187H}{Q_{\text{н.с.}}^p} 100, \quad (5.7)$$

где $Q_{\text{н.с.}}^p$ - низшая теплота сгорания топлива отнесенная к одному кубометру при нормальных условиях сухих продуктов сгорания, образующихся при сжигании топлива в теоретических условиях (для малосернистого мазута $Q_{\text{н.с.}}^p = 4053 \text{ кДж/м}^3$).

Определяем кпд котла брутто $\eta_{\kappa.a}^{bp}$ для двух температур уходящих газов из уравнения теплового баланса по формулам:

$$\text{при } t_{yx1}, \quad \eta_{\kappa.a}^{bp}(t_{yx1}) = 100\% - (q_2(t_{yx1}) + q_3); \quad (5.8)$$

$$\text{при } t_{yx2}, \quad \eta_{\kappa.a}^{bp}(t_{yx2}) = 100\% - (q_2(t_{yx2}) + q_3). \quad (5.8')$$

Определяем годовую экономию топлива ΔB_m , т мазута при изменении температуры уходящих газов по формуле [18]

$$\Delta B_m = \frac{3600 Q \tau \left(\frac{1}{\eta_{\kappa.a}^{bp}(t_{yx1})} - \frac{1}{\eta_{\kappa.a}^{bp}(t_{yx2})} \right)}{Q_n^p}. \quad (5.9)$$

Пересчитываем в условное топливо по формуле

$$\Delta B = \frac{Q_n^p}{Q_{n.y.m.}^p} \Delta B_m. \quad (5.10)$$

где $Q_{n.y.m.}^p$ - низшая теплота сгорания условного топлива (29300 кДж/кг).

6. РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА ПРИ УСТРОЙСТВЕ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПАРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО КОЛЛЕКТОРА

Определить экономию топлива при устройстве тепловой изоляции парораспределительного коллектора диаметром $d=325$ мм. Длину коллектора L , м, температуру пара $t_n, ^\circ\text{C}$, температуру воздуха в помещении $t_g, ^\circ\text{C}$, число часов работы коллектора в году τ , ч, коэффициент полезного действия котельной установки $\eta_{ку}$ принять по табл. 6.1.

Определяем коэффициент теплоотдачи конвекцией α_κ , излучением α_n и суммарный α , ккал/(м²ч⁰С) неизолированного трубопровода по формулам:

$$\alpha_\kappa = 1,43 \sqrt[3]{t_n - t_g}; \quad (6.1)$$

$$\alpha_n = \frac{C \left[\left(\frac{273 + t_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + t_g}{100} \right)^4 \right]}{t_n - t_g}; \quad (6.2)$$

$$\alpha = \alpha_\kappa + \alpha_n. \quad (6.3)$$

где C – коэффициент излучения, принимаемый для стальных поверхностей от 3,5 до 4 ккал/(м²ч°С).

Таблица 6.1

Исходные данные

Вариант	t_n , °С	L , м	t_g , °С	τ , ч	$\eta_{ку}$	Вариант	t_n , °С	L , м	t_g , °С	τ , ч	$\eta_{ку}$
1	300	1	30	8000	0,92	16	225	8,5	22,5	7250	0,845
2	295	1,5	29,5	7950	0,915	17	220	9	22	7200	0,84
3	290	2	29	7900	0,91	18	215	9,5	21,5	7150	0,835
4	285	2,5	28,5	7850	0,905	19	210	10	21	7100	0,83
5	280	3	28	7800	0,9	20	205	10,5	20,5	7050	0,825
6	275	3,5	27,5	7750	0,895	21	200	11	20	7000	0,82
7	270	4	27	7700	0,89	22	195	11,5	19,5	6950	0,815
8	265	4,5	26,5	7650	0,885	23	190	12	19	6900	0,81
9	260	5	26	7600	0,88	24	185	12,5	18,5	6850	0,805
10	255	5,5	25,5	7550	0,875	25	180	13	18	6800	0,8
11	250	6	25	7500	0,87	26	175	13,5	17,5	6750	0,795
12	245	6,5	24,5	7450	0,865	27	170	14	17	6700	0,79
13	240	7	24	7400	0,86	28	165	14,5	16,5	6650	0,785
14	235	7,5	23,5	7350	0,855	29	160	15	16	6600	0,78
15	230	8	23	7300	0,85	30	155	15,5	15,5	6550	0,775

Находим удельные потери тепла с 1м неизолированной поверхности q , ккал/(м·ч)

$$q = \pi d \alpha (t_n - t_g). \quad (6.4)$$

Находим годовую потерю тепла неизолированным коллектором Q , Гкал/год

$$Q = q L \tau 10^{-6}. \quad (6.5)$$

Для изоляции коллектора будем использовать минераловатные изделия на неорганических связках. Толщина изоляции должна обеспечить нормативную температуру на поверхности изоляции $t_{ног}=45^\circ\text{С}$.

Определяем коэффициент теплопроводности изоляции $\lambda_{из}$, ккал/(м·ч°С) в зависимости от температуры по формуле

$$\lambda_{из} = 0,063 + 0,00017 t_{cp}, \quad (6.6)$$

где $t_{cp} = \frac{1}{2}(t_n + t_{ног})$ - средняя температура поверхностного слоя, °С.

Определяем коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающую $\alpha_{из}$ среду по формулам (6.1)-(6.3), или можно воспользоваться приближенной формулой

$$\alpha_{из} = 8,1 + 0,045(t_{ног} - t_г). \quad (6.7)$$

Находим удельные потери тепла с 1 м длины изолированного трубопровода $q_{из}$

$$q_{из} = \frac{\pi(t_n - t_г)}{\frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_1}{d} + \frac{1}{d\alpha_{из}}}, \quad (6.8)$$

где d_1 – диаметр трубопровода с изоляцией, м.

Для определения величины d_1 необходимо задаться предварительной величиной толщины изоляции $\delta_{из}$, тогда $d_1 = d + 2\delta_{из}$.

Искомая толщина изоляционного слоя находится методом последовательных приближений. Задаваясь предварительной толщиной изоляции $\delta_{из}$, находят удельные потери тепла по формуле (6.8). Затем определяют диаметр трубопровода с предварительно принятой толщиной изоляции d_{1i} , м по формуле

$$d_{1i} = d e^{\frac{2\pi\lambda_{из}(t_n - t_{ног})}{q_{из}}}. \quad (6.9)$$

Затем находят толщину изоляции $\delta_{изи} = 0,5(d_{изи} - d)$.

Если предварительно принятое значение толщины изоляции $\delta_{из}$, отличается от рассчитанного по формуле (6.9) не более чем на 1%, то расчет заканчивается. В противном случае задаются другим значением толщины и пересчитывают формулы (6.8), (6.9).

Для представленных вариантов заданий рекомендуется в первом приближении принять значение толщины изоляции $\delta_{из}$, мм по формуле

$$\delta_{из} = 75,9 \cdot 10^{-3} N^2 - 587,4 \cdot 10^{-2} N + 138,43, \quad (6.10)$$

где N – номер варианта.

Проверяем значение температуры на поверхности изоляции с принятой толщиной изоляции $\delta_{из}$

$$t_{ноги} = t_г + \frac{q_{из}}{\pi d_1 \alpha}. \quad (6.11)$$

Находим годовые потери тепла изолированным коллектором $Q_{из}$ по формуле (6.5), подставляя значение $q_{из}$.

Находим годовую экономию тепла ΔQ , вычитая потери изолированным трубопроводом из потерь для неизолированного трубопровода.

Определим стоимость сэкономленной теплоты C_Q , принимая цену C_Q за 1Гкал в среднем 2000-2500р.

$$C_Q = \Delta Q C_Q \quad (6.12)$$

Определяем годовую экономию условного топлива

$$\Delta B = \frac{\Delta Q 10^3}{7000 \eta_{\text{кп}}} 0,143 \frac{\Delta Q}{\eta_{\text{кп}}} \quad (6.13)$$

7. РАСЧЕТ ЭКОНОМИИ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ

Определить экономию энергии и топлива за счет утилизации тепла вентиляционных выбросов больницы. Исходные данные принять по табл. 7.2.

Таблица 7.2

Исходные данные

Вариант	$V, \text{м}^3$	$t_0, \text{°C}$	$t_{cp}, \text{°C}$	$z, \text{сут}$	Вариант	$V, \text{м}^3$	$t_0, \text{°C}$	$t_{cp}, \text{°C}$	$z, \text{сут}$
1	50000	-50	-15,5	250	16	35000	-35	-8	220
2	49000	-49	-15	248	17	34000	-34	-7,5	218
3	48000	-48	-14,5	246	18	33000	-33	-7	216
4	47000	-47	-14	244	19	32000	-32	-6,5	214
5	46000	-46	-13,5	242	20	31000	-31	-6	212
6	45000	-45	-13	240	21	30000	-30	-5,5	210
7	44000	-44	-12,5	238	22	29000	-29	-5	208
8	43000	-43	-12	236	23	28000	-28	-4,5	206
9	42000	-42	-11,5	234	24	27000	-27	-4	204
10	41000	-41	-11	232	25	26000	-26	-3,5	202
11	40000	-40	-10,5	230	26	25000	-25	-3	200
12	39000	-39	-10	228	27	24000	-24	-2,5	198
13	38000	-38	-9,5	226	28	23000	-23	-2	196
14	37000	-37	-9	224	29	22000	-22	-1,5	194
15	36000	-36	-8,5	222	30	21000	-21	-1	192

Определяем максимальную тепловую мощность, потребляемую больницей

$$Q_s^{\max} = q_s V (t_s - t_0) 10^{-3}, \text{ кВт}, \quad (7.1)$$

где $q_s=0,25$ - вентиляционная характеристика помещения, Вт/(м³°С); V - объем здания по наружному обмеру, м³; t_s, t_0 - температуры воздуха внутри здания и расчетная для проектирования отопления соответственно, °С.

Определяем расход воздуха, необходимый для вентиляции помещений

$$G_s = \frac{Q_s^{\max}}{c(t_s - t_0)}, \text{ кг/с}, \quad (7.2)$$

где $c=1$ кДж/(кг·°С) – теплоемкость воздуха.

Находим объемный расход воздуха при нормальных условиях

$$V_s = \frac{G_s}{\rho}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7.3)$$

где $\rho=1,29$ кг/м³ – плотность воздуха при нормальных условиях.

Определяем тепловую мощность при средней температуре наружного воздуха за отопительный период t_{cp}

$$Q_s^{cp} = q_s V (t_s - t_{cp}) 10^{-3}, \text{ кВт}. \quad (7.4)$$

Находим количество тепловой энергии, поступающей за отопительный период на вентиляцию

$$Q_s^{on} = 3600 Q_s^{cp} 24z, \text{ кДж}, \quad (7.5)$$

где z – продолжительность отопительного периода.

Определяем расход топлива котельной на вентиляцию больницы

$$B = \frac{Q_s^{on} 10^{-3}}{Q_n^p \eta_k \eta_{mc}}, \text{ т/год}, \quad (7.6)$$

где $Q_n^p=29330$ кДж/кг.у.т. – теплотворная способность условного топлива; $\eta_k=0,8$, $\eta_{mc}=0,93$ - КПД котельной и транспортировки тепловой энергии по тепловым сетям соответственно.

Для использования теплоты вентиляционного воздуха принимаем два дополнительно устанавливаемых калорифера: первый – на уходящем из помещения воздухе; второй – на входящем воздухе. Промежуточный теплоноситель принимается вода.

Теплота уходящего воздуха из помещения отбирается первым калорифером, промежуточным теплоносителем подается во второй калорифер для подогрева входящего воздуха.

Задаемся температурами воды и воздуха на выходе из первого калорифера $t_{\text{вод}}^{\text{вых}} = 15^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{в}}^{\text{вых}} = 10^{\circ}\text{C}$ и примем температуру воды на выходе из второго калорифера $t_{\text{вод}2}^{\text{вых}} = 5^{\circ}\text{C}$.

Находим тепловую мощность первого калорифера

$$Q_I = G_{\text{в}} c_{\text{в}} (t_{\text{в}} - t_{\text{в}}^{\text{вых}}), \text{ кВт.} \quad (7.7)$$

Определяем расход воды, циркулирующей между калориферами

$$G = \frac{Q_I}{c_{\text{в}} (t_{\text{вод}}^{\text{вых}} - t_{\text{вод}2}^{\text{вых}})}, \text{ кг/с,} \quad (7.8)$$

где $c_{\text{в}} = 4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$ – теплоемкость воды.

Определяем теплоту, дополнительно используемую за отопительный период

$$\Delta Q = 3600 Q_I 24z, \text{ кДж.} \quad (7.9)$$

Определяем экономию условного топлива в котельной

$$\Delta B = \frac{\Delta Q \eta_{\text{то}} 10^{-3}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta_{\text{к}} \eta_{\text{мс}}}, \text{ т/год,} \quad (7.10)$$

где $\eta_{\text{то}} = 0,95$ - КПД системы теплообменных аппаратов с промежуточным теплоносителем.

Выражаем экономию топлива в процентах

$$\Delta = \frac{\Delta B}{B} 100\%. \quad (7.11)$$

8. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЗДАНИЙ ЗА СЧЕТ УСТАНОВКИ ИТП И ЗАМЕНЫ ОКОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Рассчитать возможное снижение теплопотребления зданием при установке автоматизированного ИТП при следующих данных: относительная продолжительность осенне-весеннего периода Δ , % отопительного сезона; $t_{\text{ср.о}}$ - средняя температура наружного воздуха за отопительный сезон, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta t_{\text{в}}$ - усредненное

за отопительный сезон превышение температуры воздуха в помещениях сверх комфортной; a - продолжительность снижения отпуска теплоты в ночное время, ч/сут.; b - продолжительность снижения отпуска теплоты в нерабочие дни, сут./нед. Исходные данные представлены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Исходные данные

Вариант	a , ч/сут	$t_{cp.o}$, °C	b	Δt_s	Δ , %	S , м ²	n , сут	Вариант	a , ч/сут	$t_{cp.o}$, °C	b	Δt_s	Δ , %	S , м ²	n , сут
1	8	-2	1	1,5	35	150	190	16	6,5	-6,5	2	1,3	20	225	205
2	7,9	-2,3	1	1,5	34	155	191	17	6,4	-6,8	2	1,3	19	230	206
3	7,8	-2,6	1	1,5	33	160	192	18	6,3	-7,1	2	1,3	18	235	207
4	7,7	-2,9	1	1,5	32	165	193	19	6,2	-7,4	2	1,2	17	240	208
5	7,6	-3,2	1	1,5	31	170	194	20	6,1	-7,7	2	1,2	16	245	209
6	7,5	-3,5	1	1,5	30	175	195	21	6	-8	2	1,2	15	250	210
7	7,4	-3,8	1	1,4	29	180	196	22	5,9	-8,3	2	1,2	14	255	211
8	7,3	-4,1	1	1,4	28	185	197	23	5,8	-8,6	2	1,2	13	260	212
9	7,2	-4,4	1	1,4	27	190	198	24	5,7	-8,9	2	1,2	12	265	213
10	7,1	-4,7	1	1,4	26	195	199	25	5,6	-9,2	2	1,1	11	270	214
11	7	-5	1	1,4	25	200	200	26	5,5	-9,5	2	1,1	10	275	215
12	6,9	-5,3	1	1,4	24	205	201	27	5,4	-9,8	2	1,1	9	280	216
13	6,8	-5,6	1	1,3	23	210	202	28	5,3	-10,1	2	1,1	8	285	217
14	6,7	-5,9	1	1,3	22	215	203	29	5,2	-10,4	2	1,1	7	290	218
15	6,6	-6,2	2	1,3	21	220	204	30	5,1	-10,7	2	1,1	6	295	219

Экономии тепла в системах теплоснабжения можно достичь за счет автоматизации систем теплопотребления. Автоматизация позволяет существенно улучшить качество теплоснабжения, то есть подать потребителю тепловую энергию в соответствии с его потребностью, обеспечив необходимый комфорт. Наиболее полно и эффективно задачи автоматизации могут быть реализованы с помощью ИТП зданий с возможностью регулирования теплопотребления по желанию потребителя в зависимости от температуры наружного воздуха, назначения объекта и т.д. Экономия при установке таких ИТП достигается за счет компенсации инертности ЦТП или котельной в моменты изменения температуры наружного воздуха (погодная компенсация), а так же за счет возможности автоматического снижения температуры внутри здания в ночное время и в выходные дни (для административных зданий, учебных корпусов и т.п.).

Экономия тепловой энергии при установке автоматизированного ИТП определяется по выражению:

$$\Delta Q = \Delta Q_n + \Delta Q_{\kappa} + \Delta Q_s + \Delta Q_c, \quad (8.1)$$

где ΔQ_n - экономия тепловой энергии от устранения перетопа зданий в осенне-весенний период, %; ΔQ_n - экономия теплоты от снижения ее отпуска в ночное время, %; ΔQ_s - экономия тепловой энергии от снижения ее отпуска в выходные дни, %; ΔQ_c - экономия за счет учета теплопоступлений от солнечной радиации и бытовых тепловыделений, %.

Экономия тепловой энергии от устранения перетопа зданий в осенне-весенний период отопительного сезона, ориентировочно может быть определена по табл. 8.2

Таблица 8.2

Экономия тепловой энергии от устранения перетопа зданий
в осенне-весенний период

Относительная продолжительность осенне-весеннего периода Δ , % отопительного сезона	5	10	15	20	25	30	35
Экономия тепловой энергии ΔQ_n , % годового расхода	0,55	1,20	1,65	2,20	2,75	3,30	3,85

Экономия тепловой энергии ΔQ_n , % от снижения ее отпуска в ночное время определяется по выражению

$$\Delta Q_n = \frac{a \Delta t_{нс}}{24(t_{ps} - t_{cp.o})} 100, \quad (8.2)$$

где a - продолжительность снижения отпуска теплоты в ночное время, ч/сут.; $\Delta t_{нс} = 3$ - снижение температуры воздуха в помещениях в нерабочее время, °C; $t_{ps} = 18$ - усредненная расчетная температура воздуха в помещениях, °C; $t_{cp.o}$ - средняя температура наружного воздуха за отопительный сезон, °C.

Экономия тепловой энергии ΔQ_s , % от снижения ее отпуска в выходные дни определяется по выражению

$$\Delta Q_s = \frac{b \Delta t_{нс}}{7(t_{ps} - t_{cp.o})} 100, \quad (8.3)$$

где b - продолжительность снижения отпуска теплоты в нерабочие дни, сут./нед. (при 5-ти дневной рабочей неделе $b = 2$, при 6-ти дневной - $b = 1$).

Экономия тепловой энергии ΔQ_c , за счет учета теплопоступлений от солнечной радиации и бытовых тепловыделений определяется по выражению

$$\Delta Q_c = \frac{b \Delta t_s}{(t_{ps} - t_{cp.o})} 100, \quad (8.4)$$

где Δt_g - усредненное за отопительный сезон превышение температуры воздуха в помещениях сверх комфортной. Ориентировочно можно принять $\Delta t_g = 1 \div 1,5$ °C (по опытным данным).

Общая экономия энергии при установке автоматизированного ИТП в случае соответствия тепловой нагрузки системы отопления и поступающего от тепловой сети количества теплоты определяется суммой значений, полученных по формулам (8.2) – (8.4).

9. ЗАМЕНА ОКОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Произвести оценку возможной экономии тепловой энергии при реконструкции системы остекления здания путем замены двойного остекления в спаренных переплетах на трехкамерный ПВХ профиль при следующих данных: S - площадь остекления здания, м²; n - продолжительность отопительного периода, сут. Исходные данные представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Исходные данные

Вариант	S , м ²	n , сут	Вариант	S , м ²	n , сут	Вариант	S , м ²	n , сут
1	150	190	11	200	200	21	250	210
2	155	191	12	205	201	22	255	211
3	160	192	13	210	202	23	260	212
4	165	193	14	215	203	24	265	213
5	170	194	15	220	204	25	270	214
6	175	195	16	225	205	26	275	215
7	180	196	17	230	206	27	280	216
8	185	197	18	235	207	28	285	217
9	190	198	19	240	208	29	290	218
10	195	199	20	245	209	30	295	219

В балансе тепловых потерь через ограждающие конструкции здания доля потерь через остекление может достигать 40-50 %, что объясняется малым сопротивлением теплопередаче широко распространенной в настоящее время конструкции заполнения световых проемов с двойным, а в некоторых случаях и с одинарным остеклением. Снизить теплопотери позволяет применение заполнений световых проемов с более высоким сопротивлением теплопередаче (тройное остекление, стеклопакеты и т.п.). Получаемую в этом случае экономии тепловой энергии можно оценить, произведя расчет тепловых потерь с существующей и предполагаемой конструкцией остекления здания. Ориентировочную оценку получаемой экономии, Гкал/год, можно произвести по формуле

$$\Delta Q = 0,95S(t_{ps} - t_{cp.o})n24\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right)10^{-6}, \quad (9.1)$$

где S - площадь остекления здания, m^2 ; R_1, R_2 - приведенное сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов соответственно до и после реконструкции, $m^2 \text{ } ^\circ C/Вт$, принимаемое по таблице 9.2; n - продолжительность отопительного периода, сут.

Таблица 9.2

Приведенное сопротивление теплопередаче R , $m^2 \text{ } ^\circ C/Вт$ для заполнений световых проемов

Заполнение светового проема	Деревянные переплеты	Металлические переплеты
Одинарное остекление	0,18	0,15
Двойное остекление в спаренных переплетах	0,40	0,31
Двойное остекление в отдельных переплетах	0,44	0,34
Тройное остекление	0,55	0,46
Однокамерный стеклопакет	0,38	0,34
Двухкамерный стеклопакет (межстекольное расстояние 6 мм.)	0,51	0,43
Двухкамерный стеклопакет (межстекольное расстояние 12 мм.)	0,54	0,45
Четырехслойное остекление	0,80	-

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. М.: Минстрой России, ФГУП ЦПП, 2013.
2. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2013.
3. СП 131.13330.2020. Строительная климатология. – М.: Минстрой России, 2021.
4. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. – М.: Изд-во ДЕАН, 2007 - 319 с.
5. Наружные стены, стены подвала, покрытия, чердачные перекрытия, перегородки, ограждающие конструкции мансард и полы с теплоизоляцией из минераловатных плит "rockwool". Материалы для проектирования и рабочие чертежи узлов. – М.: ОАО "ЦНИИпромзданий", 2005.
6. СТО 00044807-001-2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций. М.: РОИС, 2007. - 69 с.
7. Приказ министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 года № 325 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь при передаче тепловой энергии».
8. Методика определения потребности в топливе, электрической энергии и воде при производстве и передаче тепловой энергии и теплоносителей в системах коммунального теплоснабжения. МДК 4-05.2004. Утв. Госстроем РФ 12 августа 2003г.
9. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. Утв. приказом Минэнерго России №229 от 19.06.2003.
10. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок : офиц. текст. – М.: Омега-Л, 2007. – 213 с.
11. Наладка и эксплуатация тепловых сетей: справочник / В. И. Манюк [и др.]. – М.: Стройиздат, 1988. – 432 с.
12. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. N 323 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов удельного расхода топлива на отпущенную электрическую и тепловую энергию от тепловых электрических станций и котельных».
13. Экономическая эффективность энергосбережения в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха: учеб. пособие / А. И. Еремкин [и др]. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2008. – 184 с.
14. Брюханов, О. Н. Газифицированные котельные агрегаты / О. Н. Брюханов, В. А. Кузнецов. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 392 с.
15. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий.
16. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование / ГПКНИИ СантехНИИпроект. – М.: Минстрой России, 2021.
17. Равич, М. Б. Упрощенная методика теплотехнических расчетов / М. Б. Равич. – М.: Изд-во академии наук СССР, 1955. – 219 с.
18. Практическое применение энергосберегающих технологий: учеб. пособие / В. Н. Семенов [и др.]. – Тамбов: Изд-во Пертшина Р.В., 2014. – 193 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Расчет толщины утеплителя стены здания при использовании технологии вентилируемого фасада.....	4
2. Расчет нормативных технологических потерь при передаче тепловой энергии.....	7
3. Расчет норматива удельного расхода топлива на отпущенную тепловую энергию отопительной котельной.....	11
4. Определение основных технико-экономических показателей работы котельной.....	14
5. Расчет экономии топлива от снижения температуры уходящих газов котельной.....	17
6. Расчет экономии топлива при устройстве тепловой изоляции парораспределительного коллектора.....	20
7. Расчет экономии за счет утилизации тепла вентиляционных выбросов.....	23
8. Автоматизация систем теплоснабжения зданий за счет установки ИТП и замены оконных конструкций.....	25
9. Замена оконных конструкций.....	28
Библиографический список.....	30

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ В ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям по дисциплинам «Энергосбережение в теплоэнергетике» и «Энергосбережение систем теплогазоснабжения и вентиляции» для студентов бакалавриата направлений подготовки 08.03.01 «Строительство» (профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»), 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» (профиль «Проектирование и строительство городских систем энергоснабжения») всех форм обучения

Составители:

Китаев Дмитрий Николаевич
Щукина Татьяна Васильевна

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 06.02.2023.

Уч.-изд. л. 1,7.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84