

РЕСТАВРАЦИЯ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

Издательство МИСИ – МГСУ

А.А. Мелехин

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕСТАВРАЦИИ

Учебно-методическое пособие



ISBN 978-5-7264-2302-9

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2020



УДК 697
ББК 38.683
М47

Рецензенты:

доктор технических наук *М.Н. Чекардовский*,
профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Тюменского индустриального университета;
кандидат технических наук *С.А. Тихомиров*,
доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции НИУ МГСУ

Мелехин, А.А.

М47 Инженерные системы объектов реконструкции и реставрации [Электронный ресурс] : учебно-методического пособие / А.А. Мелехин ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра теплогазоснабжения и вентиляции. — Электрон. дан. и прогр. (4,2 Мб) — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2020. — Режим доступа: <http://lib.mgsu.ru>. — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-2302-9 (сетевое)

ISBN 978-5-7264-2303-6 (печатное)

В учебно-методическом пособии приводятся расчеты тепловых потоков на теплоснабжение зданий — объектов реконструкции и реставрации по укрупненным параметрам объекта.

Для обучающихся по направлению подготовки 07.03.02 Реконструкция и реставрация архитектурного наследия.

Учебное электронное издание

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2020

Редактор, корректор *М.Л. Манзюк*
Компьютерная верстка *А.Г. Сиволобовой*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использован о:
Microsoft Word 2013, Adobe InDesign CS6, ПО Adobe Acrobat.

Подписано к использованию 14.07.2020. Объем данных 4,2 Мб

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет»
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	
Практическое задание № 1. Корректировка теплового потока на отопление здания в зависимости от изменения наружного воздуха.....	6
Практическое задание № 2. Определение теплового потока (часового) на отопление здания.....	6
Практическое задание № 3. Определение теплового потока на отопление здания за месяц (год).....	7
Практическое задание № 4. Расчет теплового потока на отопление здания по теплоотдающей поверхности радиаторов (конвекторов)	7
Практическое задание № 5. Корректировка теплового потока на вентиляцию здания в зависимости от изменения наружного воздуха.....	7
Практическое задание № 6. Определение теплового потока (часового) на вентиляцию	8
Практическое задание № 7. Определение теплового потока на вентиляцию здания за месяц (год).....	8
Практическое задание № 8. Расчет теплового потока на вентиляцию по теплоотдающей поверхности вентиляционной установки.....	8
Практическое задание № 9. Расчет теплового потока (часового) на горячее водоснабжение	9
Практическое задание № 10. Расчет теплового потока (часового) на горячее водоснабжение в межотопительный период	9
Практическое задание № 11. Расчет тепловых потерь трубопроводами системы горячего водоснабжения.....	9
Практическое задание № 12. Определение расчетных расходов теплоносителя в системе отопления.....	10
Практическое задание № 13. Определение расчетных расходов теплоносителя в системе вентиляции	10
Практическое задание № 14. Определение расчетных расходов теплоносителя в системе горячего водоснабжения	10
Практическое задание № 15. Расчет тепловых потерь с ограждающих конструкций зданий по данным тепловизионной съемки.....	11
Практическое задание № 16. Расчет параметров для энергетического паспорта здания. Определение класса энергоэффективности здания	13
Практическое задание № 17. Анализ технико-экономической эффективности предлагаемых решений при реконструкции и реставрации	14
САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ	
Самостоятельная работа № 1. Пример расчета теплового потока на вентиляцию по теплоотдающей поверхности вентиляционной установки.....	17
Самостоятельная работа № 2. Пример расчета тепловых потерь с поверхностями трубопроводов горячего водоснабжения, проложенных внутри зданий	17

Самостоятельная работа № 3. Определение тепловой мощности системы отопления по характеристикам ограждающих конструкций	18
Самостоятельная работа № 4. Определение тепловых потерь на нагрев инфильтрующегося воздуха	18
Самостоятельная работа № 5. Определение теплового потока на здание	19
Самостоятельная работа № 6. Пример расчета тепловых потерь в наружных трубопроводах систем теплоснабжения.....	20
Самостоятельная работа № 7. Пример теплотехнического расчета ограждающих конструкций (стен, перекрытий, окон) при реконструкции (реставрации)	20
Самостоятельная работа № 8. Подбор оконных блоков	23
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	24
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	25

ВВЕДЕНИЕ

В учебно-методическом пособии приводится материал и рекомендации для подготовки к практическим занятиям и самостоятельной работе, цель которой — приобретение студентами практических навыков расчетов тепловых потоков на теплоснабжение зданий объектов реконструкции и реставрации по укрупненным параметрам объекта.

При реконструкции или реставрации часто отсутствуют данные по тепловым нагрузкам на здания по причине утери проектной документации или изменения отапливаемого объема. В таком случае расчет максимальных часовых, месячных и годовых тепловых нагрузок на здания можно вести по формулам, представленным в данном пособии. Кроме того, в качестве обоснования для реконструкции и реставрации может быть использована классификация зданий по классам энергоэффективности [1]. Приведен расчет тепловых потерь с ограждающих конструкций зданий по результатам тепловизионной съемки. Удельные тепловые потоки на отопление и вентиляцию рассчитаны по данным статистического анализа проектной документации в соответствии с СП 50.13330.2012 (табл. 3, 4) для зданий после 2000 г. постройки и по данным МДС 41.4.2000 для зданий до 2000 г. постройки (табл. 6–8).

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Практическое задание № 1.

Корректировка теплового потока на отопление здания в зависимости от изменения наружного воздуха

При изменении расчетной наружной температуры наружного воздуха [1] тепловой поток (часовой) на отопление здания определяется по формуле

$$Q_o = Q_{o.исх} \frac{t_b - t_n}{t_b - t_{n.исх}},$$

где Q_o — тепловой поток на отопление здания, Вт; $Q_{o.исх}$ — исходный тепловой поток на отопление здания, Вт; t_b — температура воздуха в отапливаемых помещениях, °С (принимается в соответствии с табл. 2 прил.); t_n — температура наружного воздуха для проектирования системы отопления согласно [1], °С; $t_{n.исх}$ — исходная температура наружного воздуха для проектирования, °С.

Практическое задание № 2.

Определение теплового потока (часового) на отопление здания

При проведении реконструкций (реставраций) часто отсутствует проектная документация на разделы ОВ (отопление, вентиляция). В этом случае тепловой поток на отопление здания (часовой) можно определить по следующей формуле [5]:

$$Q_o = \alpha V q_o (t_b - t_n) (1 + K_n),$$

где α — поправочный коэффициент (принимается в соответствии с табл. 1 прил.); V — строительный отапливаемый объем, м³; q_o — удельный тепловой поток на отопление здания по формуле (1) (или принимается в соответствии с табл. 3, 4, 6, 7 прил.), Вт/м³·°С; t_b — температура воздуха в отапливаемом помещении в соответствии с [2] (или принимается в соответствии с табл. 2 прил.); t_n — температура наружного воздуха для проектирования отопления в соответствии с [1], °С; K_n — коэффициент инфильтрации воздуха на отопление зданий по формуле (2).

Удельный тепловой поток на отопление здания q_o , Вт/м³·°С, можно определить по формуле:

$$q_o = \frac{1}{\sqrt[n]{V}}, \quad (1)$$

где n — коэффициент по табл. 3, 4 (прил.); V — отапливаемый строительный объем, м³, или по табл. 6, 7 для зданий, построенных до 2000 г.

Коэффициент инфильтрации воздуха на отопление зданий определяется по формуле

$$K_{\text{н}} = 0,001 \sqrt{2gL \left(1 - \frac{273 + t_{\text{н}}}{273 + t_{\text{в}}} \right) + \omega^2}, \quad (2)$$

где g — ускорение свободного падения, м/с²; L — высота здания, м; ω — средняя скорость ветра в отопительный период по данным [1], м/с.

Практическое задание № 3. Определение теплового потока на отопление здания за месяц (год)

Тепловой поток на отопление здания за месяц $Q_{\text{о.м}}$, Вт, определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{о.м}} = Q_0 n \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{ср.м}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}},$$

где Q_0 — часовой тепловой поток на отопление здания, Вт; n — наработка системы отопления в месяц, ч; $t_{\text{в}}$ — температура воздуха в отапливаемом здании (принимается в соответствии с табл. 2 прил. 1 или по [2]), °С; $t_{\text{н}}$ — температура наружного воздуха для проектирования системы отопления по [1], °С; $t_{\text{ср.м}}$ — среднемесячная температура наружного воздуха для проектирования системы отопления по [1], °С.

Практическое задание № 4. Расчет теплового потока на отопление здания по теплоотдающей поверхности радиаторов (конвекторов)

Тепловой поток на отопление здания можно определить по теплоотдающей поверхности радиаторов (конвекторов):

$$Q = kF \Delta t,$$

где k — коэффициент теплопередачи радиаторов (конвекторов), принимается по табл. 13 прил., Вт/м²·°С; F — площадь теплоотдающей поверхности радиаторов (конвекторов), м² (принимается в соответствии с табл. 6 прил.); Δt — температурный перепад, °С.

Температурный перепад определяются по следующей формуле:

$$\Delta t = \frac{t_1 + t_2}{2} - t_{\text{в}},$$

где t_1 и t_2 — температура на входе и выходе теплоносителя, °С; $t_{\text{в}}$ — температура воздуха в отапливаемом помещении, °С.

Практическое задание № 5. Корректировка теплового потока на вентиляцию здания в зависимости от изменения наружного воздуха

При изменении расчетной наружной температуры наружного воздуха [1] тепловой поток (часовой) $Q_{\text{в}}$, Вт, определяется по формуле

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{в.исх}} \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}} - t_{\text{н.исх}}},$$

где $Q_{\text{в.исх}}$ — исходный расчетный тепловой поток на вентиляцию здания (часовой), Вт; $t_{\text{в}}$ — температура воздуха в отапливаемых помещениях, °С (принимается в соответствии с табл. 2 прил.) или по [2]; $t_{\text{н}}$ — температура наружного воздуха для проектирования системы вентиляции (принимается по [1]), °С; $t_{\text{н.исх}}$ — исходная температура наружного воздуха для проектирования системы вентиляции, °С.

Практическое задание № 6. Определение теплового потока (часового) на вентиляцию

При проведении реконструкций (реставраций) часто отсутствует проектная документация на разделы ОВ (отопление, вентиляция); в этом случае тепловой поток на вентиляцию здания (часовой) можно определить по следующей формуле [5]:

$$Q_o = \alpha V q_b (t_b - t_{н.р}),$$

где α — поправочный коэффициент по табл. 1; V — строительный отапливаемый объем, м³; q_b — удельный тепловой поток на вентиляцию здания (принимается в соответствии с табл. 5, 8 прил.), Вт/м³·°С; t_b — температура воздуха в отапливаемом помещении (принимается в соответствии с табл. 2 прил.); $t_{н.р}$ — температура наружного воздуха для проектирования вентиляции в соответствии с [1], °С.

Практическое задание № 7. Определение теплового потока на вентиляцию здания за месяц (год)

Тепловой поток на вентиляцию здания за месяц (год) определяется по следующей формуле:

$$Q_{в.м} = Q_b n \frac{t_b - t_{ср.м}}{t_b - t_n},$$

где Q_b — тепловой поток (часовой) на вентиляцию здания, Вт; n — наработка системы вентиляции в месяц, ч; t_b — температура воздуха в отапливаемых помещениях (принимается в соответствии с табл. 2 прил.); t_n — температура наружного воздуха для проектирования системы вентиляции по [1], °С; $t_{ср.м}$ — среднемесячная температура наружного воздуха для проектирования системы вентиляции по [1], °С.

Практическое задание № 8. Расчет теплового потока на вентиляцию по теплоотдающей поверхности вентиляционной установки

Тепловой поток на вентиляцию можно определить по площади теплоотдающей поверхности вентиляционной установки и ее параметрам:

$$Q = kF \Delta t,$$

где k — коэффициент теплопередачи теплоотдающей поверхности вентиляционной установки (табл. 14 прил.), Вт/м²·°С; F — площадь теплоотдающей поверхности вентиляционной установки (принимается в соответствии с табл. 6 прил.), м²; Δt — температурный перепад, °С.

Температурный перепад определяется по следующей формуле:

$$\Delta t = \frac{t_1 + t_2}{2} - \frac{\tau_1 + \tau_2}{2},$$

где t_1 и t_2 — температура теплоносителя на входе и выходе вентиляционной установки, °С; τ_1 и τ_2 — соответственно расчетные значения температуры воздуха на входе и выходе вентиляционной установки, °С.

Коэффициент теплопередачи определяется по следующей формуле, Вт/м²·°С:

$$K = 21 \nu \rho^{0,37} \omega^{0,18},$$

где $\nu \rho$ — массовая скорость воздуха, кг/м²·с (принимается по установленному вентилятору); ω — скорость теплоносителя (принимается по установленному насосному оборудованию), м/с.

Практическое задание № 9. Расчет теплового потока (часового) на горячее водоснабжение

Средний тепловой поток (часовой) на горячее водоснабжение $Q_{г.ср}$, Вт, определяется по формуле

$$Q_{г.ср} = \frac{aN(55 - t_{х.з})}{24} + Q_{т.п},$$

где a — суточная норма затрат воды на горячее водоснабжение абонента, л ([3], колонка 5 табл. А2); N — количество пользователей; $t_{х.з}$ — температура холодной водопроводной воды в отопительный период, °С; $Q_{т.п}$ — тепловые потери (часовые) в подающем и циркуляционном трубопроводах наружной сети горячего водоснабжения, Вт.

Практическое задание № 10. Расчет теплового потока (часового) на горячее водоснабжение в межотопительный период

Тепловой поток (часовой) на горячее водоснабжение в межотопительный период определяется по формуле, Вт:

$$Q_{г.ср.л} = Q_{г.ср.з} \beta \frac{t_{г.л} + t_{х.л}}{t_{г.з} - t_{х.з}}, \quad (3)$$

где $Q_{г.ср.з}$ — тепловой поток (часовой) на горячее водоснабжение в отопительный период, Вт; β — коэффициент, учитывающий снижение средней часовой нагрузки горячего водоснабжения в межотопительный период по сравнению с нагрузкой в отопительный период; при отсутствии утвержденного значения β принимается равным 0,8 для жилищно-коммунального сектора, 1,2...1,5 — для курортных, южных городов и населенных мест, для предприятий — 1,0; $t_{г.л}$, $t_{г.з}$ — температура горячей воды соответственно в межотопительный и отопительный период, °С; $t_{х.л}$, $t_{х.з}$ — температура холодной водопроводной воды соответственно в межотопительный и отопительный период, °С; при отсутствии достоверных сведений принимается $t_{х.л} = 15$ °С, $t_{х.з} = 5$ °С.

Практическое задание № 11. Расчет тепловых потерь трубопроводами системы горячего водоснабжения

Тепловые потери трубопроводами системы горячего водоснабжения могут быть определены по формуле

$$Q_{т.п} = \left[\frac{\sum K_i d_i l_i (t_n + t_k)}{2} - t_{окр} \right] (1 - \eta),$$

где K_i — коэффициент теплопередачи участка неизолированной трубы, Вт/м² · °С (принимается по табл. 9, 10); d_i — диаметр трубопровода на участке, м; l_i — длина участка, м; t_n и t_k — температура горячей воды в начале и конце расчетного участка трубы, °С; η — коэффициент полезного действия тепловой изоляции трубопроводов; принимается для трубопроводов диаметром до 32 мм $\eta = 0,6$; 40...70 мм $\eta = 0,74$; 80...200 мм $\eta = 0,81$; $t_{окр}$ — температура окружающей среды, °С, принимается по виду прокладки труб:

- в бороздах, вертикальных каналах, коммуникационных шахтах, сантехкабинах — 23 °С;
- в ванных комнатах — 25 °С;
- в кухнях и туалетах — 21 °С;
- на лестничных клетках — 16 °С;
- в каналах подземной прокладки наружной сети горячего водоснабжения $t_{окр} = t_{гр}$;
- в тоннелях — 40 °С;
- в неотапливаемых подвалах — 5 °С;
- на чердаках — -9° С (при средней температуре наружного воздуха самого холодного месяца отопительного периода -11...-20 °С).

Практическое задание № 12.

Определение расчетных расходов теплоносителя в системе отопления

Расчетный расход теплоносителя (сетевой воды), т/ч, определяется по формуле

$$G_{\text{от.п}} = 1,163 g_{\text{от.п}} Q_{\text{от.п}},$$

где $g_{\text{от.п}}$ — расчетный удельный расход теплоносителя на отопление, т/Вт; $Q_{\text{от.п}}$ — расчетный тепловой поток на отопление, Гкал/ч.

В свою очередь, расчетный удельный расход теплоносителя на отопление определяется в зависимости от расчетного перепада (разности) температуры в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети на тепловом пункте потребителя тепловой энергии по формуле

$$g_{\text{от.п}} = \frac{10^3}{t_{1\text{п}} - t_{2\text{п}}},$$

где $t_{1\text{п}}$, $t_{2\text{п}}$ — значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования отопления, °С.

При присоединении систем отопления к тепловой сети по независимой схеме (при помощи теплообменника) расчетную температуру теплоносителя в обратном трубопроводе теплообменника (I контур) следует принимать на 5...10 °С выше расчетной температуры теплоносителя в обратном трубопроводе отопительных систем, присоединенных к тепловой сети по зависимой схеме.

Практическое задание № 13.

Определение расчетных расходов теплоносителя в системе вентиляции

Расчетный расход теплоносителя на приточную вентиляцию определяется по формуле

$$G_{\text{в.п}} = \frac{Q_{\text{в.п}} \cdot 10^3 \cdot 1,163}{t_{1\text{п}} - t_{2\text{п}}},$$

где $Q_{\text{в.п}}$ — тепловой поток (часовой) на вентиляцию здания, Вт; $t_{1\text{п}}$, $t_{2\text{п}}$ — значения температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах тепловой сети по температурному графику регулирования тепловой нагрузки, принятому в системе теплоснабжения, при расчетной температуре наружного воздуха для проектирования вентиляции, °С.

В случае совпадения расчетных значений температуры наружного воздуха для проектирования отопления и вентиляции [1] значения расчетного удельного расхода теплоносителя на отопление и вентиляцию также совпадают.

Практическое задание № 14.

Определение расчетных расходов теплоносителя в системе горячего водоснабжения

Расчетный расход теплоносителя с непосредственным водоразбором (сетевой воды) на горячее водоснабжение, т/ч, для отопительного периода определяется по формуле

$$G_{\text{г.п}} = \frac{Q_{\text{г.сп}} \cdot 10^3 \cdot 1,163}{t_{\text{г}} - t_{\text{х.в}}},$$

где $t_{\text{г}}$ и $t_{\text{х.в}}$ — температура горячей воды, поступающей на горячее водоснабжение, °С; значение температуры горячей воды принимается равным 60 °С, значение $t_{\text{х.в}}$ принимается для отопительного периода равным 5 °С, для межотопительного периода — 15 °С (при отсутствии достоверных сведений).

Расчетный расход теплоносителя на горячее водоснабжение, т/ч, для межотопительного периода определяется по формуле (3) с введением коэффициента β : 0,8 для жилищно-коммунального сектора

городов средней полосы России, 1,2...1,5 для курортных и южных городов и 1,0 для промышленных потребителей.

Параллельная схема подключения теплообменников ГВС. Расчетный расход теплоносителя без непосредственного водоразбора (сетевой воды) на горячее водоснабжение, т/ч, для отопительного периода определяется по формуле

$$G_{г.р} = \frac{Q_{г.ср} \cdot 10^3 \cdot 1,163}{t_{1и} - t_{2т}},$$

где $t_{1и}$ и $t_{2т}$ — температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети и в обратном трубопроводе теплообменника в точке излома температурного графика регулирования тепловой нагрузки, °С, при отсутствии проекта допускается принимать $t_{2т} = 30$ °С.

Двухступенчатая схема подключения теплообменников ГВС. Расчетный расход теплоносителя на горячее водоснабжение, т/ч, для отопительного периода определяется по формуле

$$G_{г.р} = \frac{(t_{г} - t_{2и} - \delta_{и}) \cdot Q_{г.ср} \cdot 1,163}{(t_{г} - t_{х})(t_{1и} - t_{2и})},$$

где $t_{2и}$ — температура теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления в точке излома температурного графика регулирования тепловой нагрузки, °С; $\delta_{и}$ — недогрев водопроводной воды в I ступени водонагревательной установки до температуры теплоносителя в обратном трубопроводе системы отопления в точке излома температурного графика регулирования тепловой нагрузки, °С; можно принимать $\delta_{и} = 10$ °С для полностью автоматизированного теплового пункта и $\delta_{и} = 5$ °С — для тепловых пунктов без регуляторов постоянства расхода теплоносителя на отопление.

Практическое задание № 15.

Расчет тепловых потерь с ограждающих конструкций зданий по данным тепловизионной съемки

В результате обследования при проведении реконструкции (реставрации) иногда проводится тепловизионная съемка ограждающих конструкций зданий. Тепловизионная съемка проводится при установившейся отрицательной температуре наружного воздуха. На тепловизионных фотографиях определяются тепловые потери с ограждающих конструкций (рис. 1, 2).

Тепловые потери по данным тепловизионной съемки определяются по следующим ниже формулам. Определяем часовой тепловой поток с ограждающих конструкций Q , Вт:

$$Q = \alpha_{в} S (t_{н} - \tau_{н}),$$

где $\alpha_{в}$ — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности, 8,7 Вт/м²·°С; S — площадь ограждающих поверхностей (стены, окна, двери и др.), м²; $t_{н}$ — температура наружного воздуха в момент проведения тепловизионной съемки, °С; $\tau_{н}$ — температура наружной поверхности стены в момент проведения тепловизионной съемки, °С.

Определяем температурный напор в момент съемки ΔT , °С:

$$\Delta T = t_{в} - t_{н},$$

где $t_{в}$ — температура помещения в период проведения телевизионной съемки, °С; $t_{н}$ — температура наружного воздуха в период проведения телевизионной съемки, °С.

Определяем нормативный температурный напор $\Delta T_{норм}$, °С:

$$\Delta T_{норм} = t_{в.норм} - t_{н.норм},$$

где $t_{в.норм}$ — нормативная температура внутри помещений, °С; $t_{н.норм}$ — среднегодовая температура наружного воздуха по данным [1], °С.

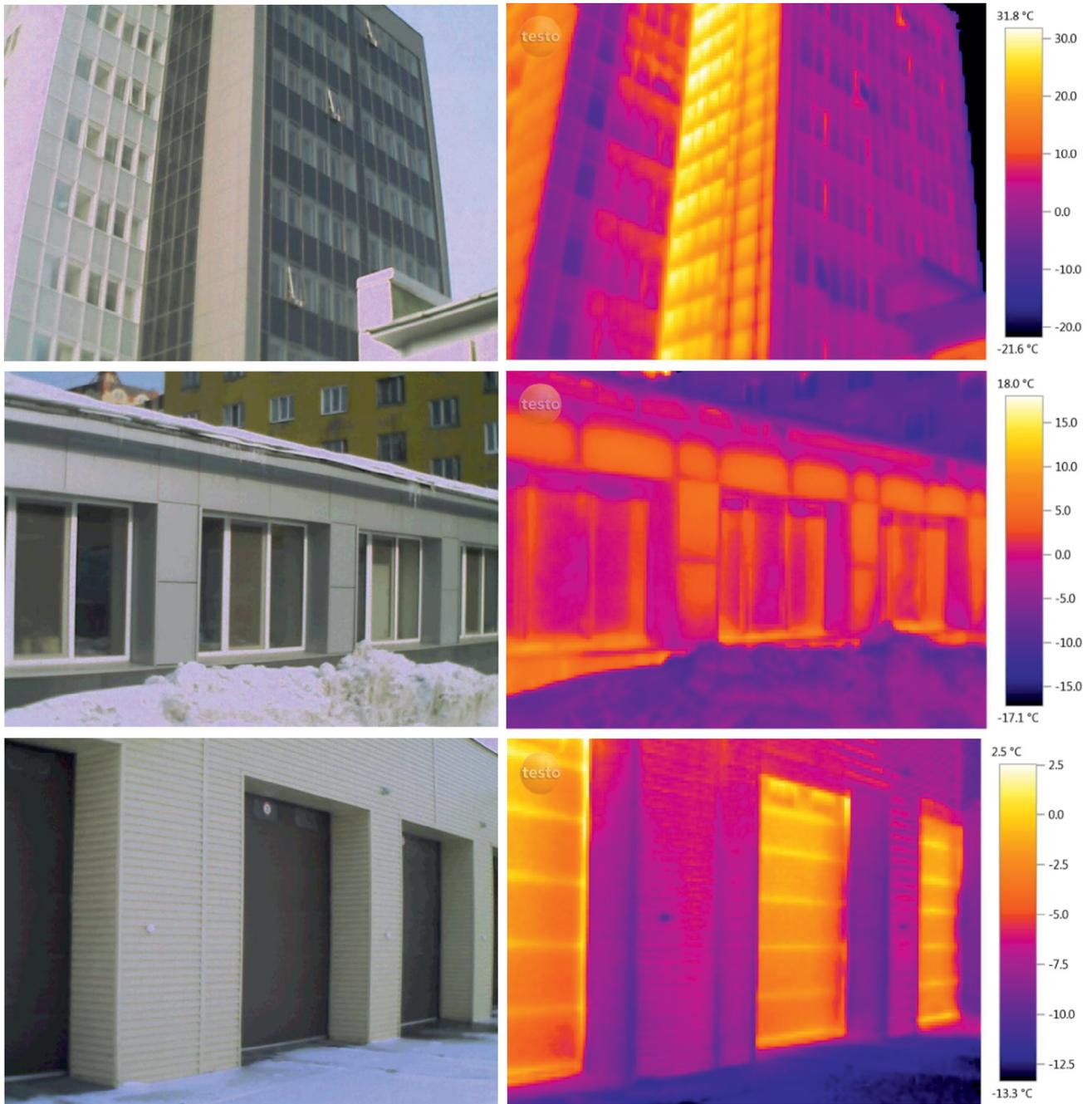


Рис. 1. Общий вид и тепловизионное фото фасада здания

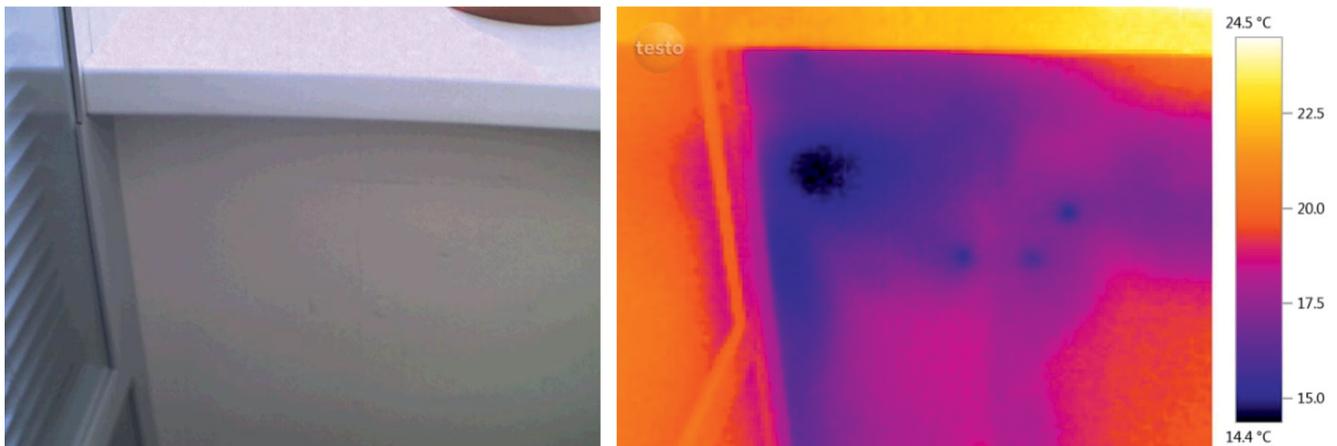


Рис. 2. Общий вид и тепловизионное фото стены под окном в помещении

Определяем приведенные тепловые потери (часовые) $Q_{\text{прив}}$, Вт:

$$Q_{\text{прив}} = \frac{Q\Delta T_{\text{норм}}}{\Delta T}.$$

Определяем градусо-сутки отопительного периода для данной местности D , °C сут/год:

$$D = z(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}),$$

где z — продолжительность отопительного периода, дней.

Определяем общие тепловые потери за отопительный период $Q_{\text{год}}$, Вт:

$$Q_{\text{год}} = DQ_{\text{прив}}.$$

В табл. 23 прил. приведен пример оформления расчета тепловых потерь с ограждающих конструкций за годовой период по данным тепловизионной съемки.

Практическое задание № 16. **Расчет параметров для энергетического паспорта здания.** **Определение класса энергоэффективности здания**

Расчет удельной отопительной характеристики здания по фактическому потреблению тепловой энергии $q_{\text{ф}}$, Вт/м³·°C, может быть определен по формуле

$$q_{\text{ф}} = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{ф}}}{24z_{\text{н}}^{\text{ф}}(t_{\text{в}}^{\text{ф}} - t_{\text{н}}^{\text{ф}})V},$$

где $Q_{\text{год}}^{\text{ф}}$ — фактический расход тепловой энергии на теплоснабжение здания, Вт; $z_{\text{н}}^{\text{ф}}$ — фактическая продолжительность отопительного периода, дней; $t_{\text{в}}^{\text{ф}}$ — фактическая средняя температура внутреннего воздуха в помещениях, °C; $t_{\text{н}}^{\text{ф}}$ — фактическая средняя температура наружного воздуха за год, °C; V — строительный отапливаемый объем, м³.

Расчет нормативной удельной отопительной характеристики здания по потреблению тепловой энергии $q_{\text{п}}$, Вт/м³·°C, может быть определен по формуле

$$q_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{год}}^{\text{п}}}{24z_{\text{н}}^{\text{п}}(t_{\text{в}}^{\text{п}} - t_{\text{н}}^{\text{п}})V},$$

где $Q_{\text{год}}^{\text{п}}$ — расчетный расход тепловой энергии на теплоснабжение здания, Вт; $z_{\text{н}}^{\text{п}}$ — продолжительность отопительного периода по [1], дней; $t_{\text{в}}^{\text{п}}$ — температура внутреннего воздуха в помещениях по [2], °C; $t_{\text{н}}^{\text{п}}$ — среднегодовая температура наружного воздуха по [1], °C; V — строительный отапливаемый объем, м³.

Отклонение фактической удельной отопительной характеристики здания q , %, от нормативной определяем по следующей формуле:

$$q = \frac{q_{\text{п}} - q_{\text{ф}}}{q_{\text{п}}} 100,$$

где $q_{\text{ф}}$ — фактическая удельная отопительная характеристика здания по фактическому потреблению тепловой энергии Вт/м³·°C; $q_{\text{п}}$ — нормативная удельная отопительная характеристика здания по потреблению тепловой энергии, Вт/м³·°C.

Исходя из величины отклонения, в соответствии с [4] определяем класс энергоэффективности здания (табл. ниже) и определяем рекомендуемые мероприятия.

Классы энергоэффективности зданий

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчетного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %	Рекомендуемые мероприятия, разрабатываемые субъектами РФ
A++	Очень высокий	Ниже –60	Экономическое стимулирование
A+		От –50 до –60 включительно	
A		От –40 до –50 включительно	
B+	Высокий	От –30 до –40 включительно	Экономическое стимулирование
B		От –15 до –30 включительно	
C+	Нормальный	От –5 до –15 включительно	Мероприятия не разрабатываются
C		От +5 до –5 включительно	
C–		От +15 до +5 включительно	
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно	Реконструкция (реставрация) при соответствующем экономическом обосновании
E	Низкий	Более +50	Реконструкция (реставрация) при соответствующем экономическом обосновании или снос

Практическое задание № 17. Анализ технико-экономической эффективности предлагаемых решений при реконструкции и реставрации

В качестве технико-экономического показателя эффективности затрат при реконструкции (реставрации) можно применять срок окупаемости с приведенными затратами [6].

Приведенные затраты можно рассчитать по следующей формуле:

$$Z_{пр} = KZ_k + Z_э,$$

где Z_k — капитальные затраты на реконструкцию (реставрацию), руб.; $Z_э$ — эксплуатационные затраты при эксплуатации инженерных систем зданий и сооружений после реконструкции (реставрации), руб.; K — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений в реконструкцию (реставрацию).

Капитальные затраты на реконструкцию (реставрацию) складываются из следующих составляющих:

- разработка проектно-изыскательских работ на реконструкцию (реставрацию);
- затраты на демонтаж существующих инженерных коммуникаций, ограждающих конструкций зданий (стен, окон, дверей, кровли, перекрытий, фундаментов и др.);
- затраты на новые строительные материалы, оборудование, трубопроводы и др.;
- логистика по доставке строительных материалов, оборудования, трубопроводов и др.;
- монтаж новых инженерных коммуникаций, ограждающих конструкций зданий (стен, окон, дверей, кровли, перекрытий, фундаментов и др.).

Эксплуатационные затраты на реконструкцию (реставрацию) складываются из следующих составляющих:

- затраты на электрическую энергию на вновь смонтированное энергетическое оборудование;
- затраты на отчисление в фонд социальной защиты и средства на оплату труда при эксплуатации вновь смонтированного оборудования (можно принять 34,6 %);
- амортизация здания, инженерных систем и оборудования здания (можно принять 2,03 % в год для сферы ЖКХ);

– затраты на содержание и ремонт оборудования (по данным эксплуатации можно принять 1–2 %);

– затраты на содержание и ремонт здания (по данным эксплуатации можно принять 4–8 %).

Срок окупаемости приведенных затрат на реконструкцию (реставрацию) можно вычислить по следующей формуле:

$$T = \frac{Z_{\text{пр}}}{\mathcal{E}},$$

где \mathcal{E} — экономия тепловой энергии от улучшения тепловой защиты ограждающих конструкций (монтажа вентилируемого фасада, замены окон, замены кровли, утепления перекрытия подвального и чердачного); установки автоматического погодного компенсатора; замены трубопроводов, радиаторов с улучшенными характеристиками и др., руб.; $Z_{\text{пр}}$ — приведенные затраты, руб.

Реконструкцию с точки зрения энергоэффективности инвестиций подразделяют на виды:

- 1) краткосрочная — со сроком окупаемости инвестиций до 1–2 лет;
- 2) среднесрочная — со сроком окупаемости инвестиций 2–5 лет;
- 3) долгосрочная — со сроком окупаемости инвестиций свыше 5 лет.

Чистый дисконтируемый доход определенного периода можно определить по следующей формуле:

$$D_i = (\mathcal{E}_i - Z_i) \frac{1}{(1+d)^i},$$

где \mathcal{E}_i — экономия тепловой энергии от улучшения тепловой защиты ограждающих конструкций за i -й период, руб.; Z_i — затраты i -го периода, руб.; d — ставка дисконтирования.

Пример расчета. Жилой здание. Конструкция стены до реконструкции: штукатурка 10 мм, кирпичная кладка 250 мм, штукатурка 10 мм. В результате реконструкции предполагается установка вентилируемого фасада 110 мм из плит минеральной ваты. Общая площадь ограждающих конструкций стен равна 100 м². Фактическое сопротивление теплопередаче стены $R_0^\phi = 1,68$ (м²·°C)/Вт.

Определить срок окупаемости и составить график чистого дисконтированного дохода в разрезе по годам от внедрения вентилируемого фасада здания.

Расчет

1. Определяем коэффициент теплопередачи стены без утеплителя, Вт/м²·°C:

$$K = \frac{1}{R_0^\phi} = \frac{1}{1,68} = 0,595,$$

где R_0^ϕ — фактическое сопротивление теплопередаче, м²·°C/Вт.

2. Рассчитаем фактическое сопротивление теплопередаче с установкой вентилируемого фасада из плит минеральной ваты 110 мм, м²·°C/Вт:

$$R_0^\phi = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{0,11}{0,06} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{1}{23} = 2,38,$$

где $\alpha_{\text{в}}$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (принимаем для стен 8,7 Вт/(м·°C)); $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции (принимаем для стен 23 Вт/(м·°C)); $\delta_{\text{вт}}^\phi$ — толщина слоя, м; λ — теплопроводность слоя, Вт/м·°C.

3. Определим коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций (стены) с учетом вентилируемого фасада, Вт/м²·°C:

$$K = \frac{1}{R_0^\phi} = \frac{1}{2,38} = 0,42.$$

4. Определим часовые тепловые потери ограждающей стены до реконструкции, Вт:

$$Q = kA(t_b - t_n)n(1 + \sum\beta) = 0,595 \cdot 100(18 + 25)1(1 + 0) = 2559 \text{ Вт},$$

где k — коэффициент теплопередачи отдельной ограждающей конструкции, Вт/(м²·°С); t_n — расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года при расчете тепловых потерь через наружные ограждения (для примера принимаем -25 °С); t_b — температура внутри расчетного помещения (принимаем 18 °С); A — площадь ограждения, м²; n — коэффициент, учитывающий зависимость положения ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху (для стен принимаем 1); β — коэффициент, учитывающий добавочные потери; принимается в долях от основных (в данном примере принимаем 0).

5. Определим часовые тепловые потери с ограждающей стены после реконструкции, Вт:

$$Q = kA(t_b - t_n)n(1 + \sum\beta) = 0,42 \cdot 100(18 + 25)1(1 + 0) = 1806 \text{ Вт}.$$

6. Определим годовые затраты на тепловые потери ограждающей стены до реконструкции, руб.:

$$Z_{\text{э}} = \frac{Q}{1,163 \cdot 1000} 24nT = \frac{2559}{1,163 \cdot 1000} 24 \cdot 200 \cdot 2500 = 26404,$$

где T — стоимость 1 Гкал тепловой энергии; n — количество суток отопительного периода.

7. Определим годовые затраты на тепловые потери ограждающей стены после реконструкции, Гкал:

$$Z_{\text{э}} = \frac{Q}{1,163 \cdot 1000} 24nT = \frac{1806}{1,163 \cdot 1000} 24 \cdot 200 \cdot 2500 = 18634.$$

8. Определяем приведенные затраты, руб.:

$$Z_{\text{пр}} = K \cdot Z_{\text{к}} + Z_{\text{э}} = 1,15 \cdot 100 \cdot 500 + 18634 = 76134,$$

где $Z_{\text{к}}$ — капитальные затраты (общая площадь утеплителя 100 м², стоимость 1 м² утеплителя принята 500 руб.); $Z_{\text{э}}$ — эксплуатационные затраты при эксплуатации инженерных систем зданий и сооружений после реконструкции (реставрации).

9. Определяем срок окупаемости (T) приведенных затрат на реконструкцию (реставрацию), лет:

$$T = \frac{Z_{\text{пр}}}{\text{Э}} = \frac{76134}{26404 - 18634} = 9,8.$$

10. Определяем чистый дисконтируемый доход в разрезе 9 лет, руб.:

$$1\text{-й год. } D_1 = (7770 - 76134) \cdot \frac{1}{1 + 0,1} = -62142;$$

$$2\text{-й год. } D_2 = (7770 - 62142) \cdot \frac{1}{1 + 0,1} = -49424;$$

$$3\text{-й год. } D_3 = (7770 - 49424) \cdot \frac{1}{1 + 0,1} = -37863;$$

$$4\text{-й год. } D_4 = (7770 - 37863) \cdot \frac{1}{1 + 0,1} = -27354;$$

$$5\text{-й год. } D_5 = (7770 - 27354) \cdot \frac{1}{1 + 0,1} = -17801;$$

$$6\text{-й год. } D_6 = (7770 - 17801) \cdot \frac{1}{1 + 0,1} = -9118;$$

$$7\text{-й год. } D_i = (7770 - 9118) \cdot \frac{1}{1 + 0,1} = -12132;$$

$$8\text{-й год. } D_i = (7770 - 9118) \cdot \frac{1}{1 + 0,1} = -1225;$$

$$9\text{-й год. } D_i = (7770 - 1225) \cdot \frac{1}{1 + 0,1} = 5949.$$

САМОСТОЯТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Самостоятельная работа № 1.

Пример расчета теплового потока на вентиляцию по теплоотдающей поверхности вентиляционной установки

Исходные данные

Марка воздухонагревателя в вентиляционной установке — КСК3-6.

Площадь теплообмена КСК3-6 — 13,3 м² (принимается в соответствии с табл. 12 прил.).

Температурный режим работы системы вентиляционной установки: 95/70 °С.

Температура наружного воздуха на входе в вентиляционную установку —25 °С.

Температура наружного воздуха на выходе из вентиляционной установки 30 °С.

Количество радиаторов: 1 шт.

Массовая скорость воздуха на входе в вентиляционную установку 0,3 кг/м²·с.

Скорость теплоносителя на входе в вентиляционную установку 4 м/с.

Определить тепловой поток на вентиляцию.

Расчет

Определяем температурный перепад, °С:

$$\Delta t = \frac{t_1 + t_2}{2} - \frac{\tau_1 + \tau_2}{2} = \frac{95 + 70}{2} - \frac{-25 + 33}{2} = 78,5 \text{ °С},$$

где t_1 и t_2 — температура теплоносителя на входе и выходе вентиляционной установки, °С; τ_1 и τ_2 — соответственно расчетные значения температуры воздуха на входе и выходе вентиляционной установки, °С.

Определяем коэффициент теплопередачи, Вт/м²·°С:

$$k = 21\nu\rho^{0,37} \omega^{0,18} = 21 \cdot 0,3^{0,37} \cdot 4^{0,18} = 40,58,$$

где $\nu\rho$ — массовая скорость воздуха, кг/м²·с; ω — скорость теплоносителя, м/с.

Определяем тепловой поток на вентиляцию по площади теплоотдающей поверхности вентиляционной установки и ее параметрам:

$$Q = kF\Delta t = 40,58 \cdot 13,3 \cdot 78,5 = 42\,368 \text{ Вт},$$

где k — коэффициент теплопередачи теплоотдающей поверхности вентиляционной установки, Вт/м²·°С; F — площадь теплоотдающей поверхности вентиляционной установки (принимается в соответствии с табл. 6 прил.), м²; Δt — температурный перепад, °С.

Самостоятельная работа № 2.

Пример расчета тепловых потерь с поверхностями трубопроводов горячего водоснабжения, проложенных внутри зданий

Исходные данные

Длина участка — 4,5 м;

внутренний диаметр трубопровода — 20 мм;

трубопроводы проложены в бороздах, вертикальных каналах, коммуникационных шахтах, сан-техкабинах;

$$t_{\text{окр}} = 23 \text{ }^\circ\text{C};$$

$t_{\text{н}}$ и $t_{\text{к}}$ — температура горячей воды в начале и конце расчетного участка трубы, $55 \text{ }^\circ\text{C}$.

Определить тепловые потери на участке.

Расчет

Определяем тепловые потери трубопроводами системы горячего водоснабжения:

$$Q_{\text{т.п}} = \left[\frac{\sum K_i d_i l_i (t_{\text{н}} + t_{\text{к}})}{2} - t_{\text{окр}} \right] (1 - \eta) = \left[\frac{10 \cdot 0,02 \cdot 4,5(55 + 55)}{2} - 23 \right] (1 - 0,6) = 10,6 \text{ Вт}.$$

Самостоятельная работа № 3.

Определение тепловой мощности системы отопления по характеристикам ограждающих конструкций

Тепловая мощность системы отопления Q_p , Вт, определяется по следующей формуле:

$$Q_p = Q_{\text{т.п}} + Q_{\text{инф}} - Q_{\text{быт}},$$

где $Q_{\text{т.п}}$ — тепловые потери через ограждающие конструкции, Вт; $Q_{\text{инф}}$ — затраты теплоты на подогрев инфильтрующего воздуха в помещение, Вт; $Q_{\text{быт}}$ — бытовые тепловыделения в помещение, Вт.

Тепловые потери через ограждающие конструкции помещения $Q_{\text{т.п}}$, Вт, определяются следующим образом:

$$Q_{\text{т.п}} = kA(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})n(1 + \sum \beta),$$

где k — коэффициент теплопередачи отдельной ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $t_{\text{н}}$ — расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года (наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92) при расчете тепловых потерь через наружные ограждения, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{в}}$ — температура внутри расчетного помещения, $^\circ\text{C}$; A — площадь ограждающей конструкции, м^2 ; n — коэффициент, учитывающий положение ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; β — коэффициент, учитывающий добавочные потери.

Добавочные тепловые потери β_2 , связанные с поступлением холодного воздуха через наружные двери, принимают в размере $0,27H$ для двойных дверей с тамбуром между ними и $0,22H$ — для одинарных (H — высота здания от уровня земли до устья вентиляционной шахты).

Коэффициент теплопередачи k для окон записан как разность коэффициентов теплопередачи окна и наружной стены. В связи с этим при расчете тепловых потерь через стену не требуется вычитать площадь окон из площади стены. Сумма тепловых потерь через наружные стены и окна при этом не изменится.

Ориентацию ограждения по сторонам света принято обозначать: ЮВ — юго-восток; ЮЗ — юго-запад; Ю — юг; С — север; СВ — северо-восток; СЗ — северо-запад; З — запад; В — восток. Добавочные тепловые потери β_1 на ориентацию наружных стен, окон и дверей в долях от основных принимают в следующих размерах: для конструкций, ориентированных на: С, СВ, СЗ и В — 0,1; З и ЮВ — 0,05; ЮЗ и Ю — 0.

Самостоятельная работа № 4.

Определение тепловых потерь на нагрев инфильтрующегося воздуха

Определяем удельный поток теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха на каждом этаже:

$$Q_{\text{инф}} = q_{\text{инф}} \sum A_{\text{ок}},$$

где $\sum A_{\text{ок}}$ — суммарная площадь окон в помещении, м^2 ; $q_{\text{инф}}$ — удельный поток теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха на каждом этаже, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Определяем удельный поток теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха на каждом этаже, Вт/м²:

$$q_{\text{инф}} = 0,278c_{\text{в}}\beta_{\text{э}}(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})G_{\text{о}},$$

где $c_{\text{в}}$ — массовая теплоемкость воздуха, принимается равной 1,005 кДж/(кг·°С); $\beta_{\text{э}}$ — экономайзерный коэффициент, для окон в спаренных переплетах $\beta_{\text{э}} = 1,0$; $t_{\text{в}}$ — внутренняя температура воздуха в помещении, °С; $t_{\text{н}}$ — расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, °С; $G_{\text{о}}$ — удельный расход инфильтрующегося воздуха, кг/(м² · ч).

Определяем удельный расход инфильтрующегося воздуха, кг/(м² · ч):

$$G_{\text{о}} = \frac{1}{R_{\text{и}}^{\Phi}} \left(\frac{p}{10} \right)^{\frac{2}{3}},$$

где $R_{\text{и}}^{\Phi}$ — фактическое сопротивление воздухопроницанию окна, м² · ч/кг; p — расчетная разность давлений, Па, с двух сторон окон.

Определяем расчетную разность давлений с двух сторон окон, Па:

$$p = 5,4H(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}) + 0,29\rho_{\text{н}}v^2,$$

где v — расчетная скорость ветра для холодного периода как максимальная из средних скоростей по румбам за январь, повторяемость которой не ниже 16 %, м/с (определяем по данным табл. 2 [1]).

Определяем плотность соответственно наружного и внутреннего воздуха $\rho_{\text{н}}$, $\rho_{\text{в}}$ в зависимости от наружной и внутренней температуры, кг/м³:

$$\rho = \frac{3463}{273 + t}.$$

Самостоятельная работа № 5. Определение теплового потока на здание

Определяем общий тепловой поток на отопление здания, Вт:

$$Q = kQ_{\text{р}}\beta_1\beta_2,$$

где $Q_{\text{р}}$ — общие тепловые потери и тепловыделения, Вт; k — поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные теплотери, связанные с охлаждением теплоносителя в магистралях, проходящих в неотапливаемых помещениях (при прокладке обеих магистралей в техподполье или подвале $k = 1,03$, при прокладке одной из магистралей на чердаке $k = 1,1$); β_1 — коэффициент, учитывающий дополнительный тепловой поток отопительных приборов за счет округления их площади сверх расчетной величины, принимается равным 1,04; β_2 — коэффициент, учитывающий дополнительные тепловые потери приборов, расположенных у наружных ограждений, принимается равным 1,04.

Определяем общий расход воды в системе отопления, кг/ч:

$$G = \frac{3,6Q}{c(t_{\text{н}} - t_{\text{о}})},$$

где Q — расчетное теплотребление системы отопления здания, Вт; c — удельная теплоемкость теплоносителя в системе отопления, принимается по справочным данным при температуре 95 °С равной 4,208, кДж/(кг·°С); $t_{\text{н}}$ — температура теплоносителя на входе в систему отопления, °С; $t_{\text{о}}$ — температура теплоносителя на выходе из системы отопления, °С.

Самостоятельная работа № 6. Пример расчета тепловых потерь в наружных трубопроводах систем теплоснабжения

Тепловые потери (часовые) наружными трубопроводами системы теплоснабжения могут быть определены по формуле

$$Q_{т.п} = \sum 0,86q_{норм}\beta_i L_i,$$

где $q_{норм}$ — удельные тепловые потери трубопроводами, ккал/м·ч; (принимается в соответствии табл. 15, 16 прил.); L_i — длина участка, м; β_i — коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери арматурой, компенсаторами, опорами. Коэффициент местных тепловых потерь принимается: для подземной канальной и надземной прокладок равным 1,2 при диаметрах трубопроводов до 0,15 м и 1,15 при диаметрах 0,15 м и более, а также при всех диаметрах бесканальной прокладки.

Пример расчета

Исходные данные

Дана схема тепловой сети с нанесенными диаметрами на участках, длиной участков. Схема прокладки — канальная. Температурный график работы тепловой сети 110/50. Рассчитать часовые тепловые потери в наружных тепловых сетях на участке 100 м с диаметром трубопровода 150 мм.

Расчет

Определяем часовые тепловые потери в наружных подающих трубопроводах системы теплоснабжения:

$$Q_{т.п} = \sum 0,86q_{норм}\beta_i L_i = 0,86 \cdot 57 \cdot 1,2 \cdot 100 = 5882 \text{ Вт.}$$

Самостоятельная работа № 7. Пример теплотехнического расчета ограждающих конструкций (стен, перекрытий, окон) при реконструкции (реставрации)

Определяем градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год:

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{о.п})z_{о.п},$$

где $t_{в}$ — внутренняя температура помещений, °С (принимается по [2]); $t_{о.п}$ — средняя температура за отопительный период, °С (принимается по [1]); $z_{о.п}$ — продолжительность отопительного периода, сут (принимается по [1]).

Определяем базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (стен, перекрытий) по [1], м²·°С/Вт, в случае необходимости проводим интерполяцию базовых значений по следующей формуле:

$$R_0^{\text{ТР}} = \frac{(R_б - R_м)}{(\text{ГСОП}_м - \text{ГСОП}_б)} (\text{ГСОП} - \text{ГСОП}_м) + R_м,$$

где $R_б$ — большее значение базового требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (стены, перекрытий), м²·°С/Вт; $R_м$ — меньшее значение базового требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (стены, перекрытий), м²·°С/Вт; $\text{ГСОП}_б$ — большее значение градусо-суток согласно $R_б$, °С·сут/год; $\text{ГСОП}_м$ — меньшее значение градусо-суток согласно $R_м$, °С·сут/год; ГСОП — определенное значение градусо-суток отопительного периода, °С·сут/год.

Определяем удельную теплозащитную характеристику здания:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \sum \frac{n_i A_i}{R_{о.и}^{\text{ТР}}},$$

где $V_{от}$ — строительный отапливаемый объем (укрупненное значение принимается по наружному обмеру), m^3 ; n — коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху (для стен, окон равен 1, чердачных перекрытий — 0,9, подвальных перекрытий — 0,6); A — площадь ограждающей конструкции (стен, перекрытий), m^2 ; $R_{o,i}^{тр}$ — базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (стены, перекрытий) по [1], $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$.

Определяем требуемую защитную характеристику здания:

$$k_{об}^{тр} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 ГСОП + 0,61},$$

где $V_{от}$ — строительный отапливаемый объем (принимается по наружному обмеру), m^3 ; ГСОП — определенное значение градусо-суток отопительного периода, $^\circ C \cdot сут / год$.

Сравниваем полученное значение удельной теплозащитной характеристики здания $k_{об}$ с допустимой величиной $k_{об}^{тр}$. Если $k_{об} \leq k_{об}^{тр}$, то комплексное требование к теплозащитной оболочке здания выполняется. Если нет, то подбираем базовые значения теплопередачи или проверяем расчет.

Определяем нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкций (стен, перекрытий), $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$:

$$R_o^{норм} = m_p R_o^{тр},$$

где m_p — коэффициент (принимается для стен равным 0,63, для светопрозрачных конструкций — 0,95, для перекрытий и иных ограждающих конструкций — 0,8).

Определяем термическое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя $R_{ут}$, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$:

$$R_{ут} = R_o^{норм} - \left(\frac{1}{\alpha_в} + \sum_1^i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_н} \right),$$

где $R_o^{норм}$ — нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче стены, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

$\alpha_в$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (для всех ограждающих конструкций принимается равным 8,7 $Вт / (м \cdot ^\circ C)$); $\alpha_н$ — коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции (для стен принимается 23, для чердачных перекрытий — 12, подвальных перекрытий — 6), $Вт / (м \cdot ^\circ C)$; δ_i — толщина слоя ограждающей конструкции, м; λ_i — теплопроводность слоя ограждающей конструкции (по справочным данным), $Вт / м \cdot ^\circ C$.

Определяем толщину утеплителя:

$$\delta_{ут} = R_{ут} \lambda_{ут},$$

где $R_{ут}$ — термическое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$; $\lambda_{ут}$ — теплопроводность утеплителя (по справочным данным [4]), $Вт / м \cdot ^\circ C$.

Принимаем толщину утеплителя с учетом запаса и линейки выпускаемой продукции.

Рассчитаем фактическое сопротивление теплопередаче с учетом принятого утеплителя, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$:

$$R_o^\phi = \frac{1}{\alpha_в} + \sum_1^i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_н},$$

где $\alpha_в$ — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (для всех ограждающих конструкций принимается равным 8,7 $Вт / (м \cdot ^\circ C)$); $\alpha_н$ — коэффициент теплоотдачи (для зимних условий) наружной поверхности ограждающей конструкции (для стен принимается равным 23, для чердачных перекрытий — 12, подвальных перекрытий — 6), $Вт / (м \cdot ^\circ C)$; δ_i — толщина слоя ограждающей конструкции, м; λ_i — теплопроводность слоя ограждающей конструкции, $Вт / м \cdot ^\circ C$.

Рассчитываем коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций (стен, перекрытий), Вт/м²·°С:

$$K = \frac{1}{R_0^\Phi},$$

где R_0^Φ — фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (стен, перекрытий), м²·°С/Вт.

Пример расчета

Исходные данные для расчета

Внутренняя температура помещений — 21°С;

средняя температура наружного воздуха за отопительный период –7,5°С;

продолжительность отопительного периода — 213 сут;

строительный отапливаемый объем — 2192 м³;

площадь ограждающих конструкций (стен — 381,1 м²; окон — 94,5 м²; подвальных перекрытий — 378 м²; чердачных перекрытий — 378 м²);

значение базового требуемого сопротивления теплопередаче стены при 8000 °С·сут/год — 4,2 м²·°С/Вт;

значение базового требуемого сопротивления теплопередаче стены при 6000 °С·сут/год — 3,5 м²·°С/Вт;

значение базового требуемого сопротивления теплопередаче перекрытия при 8000 °С·сут/год — 5,5 м²·°С/Вт;

значение базового требуемого сопротивления теплопередаче перекрытия при 6000 °С·сут/год — 4,6 м²·°С/Вт.

Расчет

1. Определяем градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год:

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{o,п})z_{o,п} = (21 - (-7,5)) \cdot 213 = 6071.$$

2. Определяем базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (стены, перекрытий), м²·°С/Вт:

для стен

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{(4,2 - 3,5)}{(8000 - 6000)}(6071 - 6000) + 3,5 = 3,52,$$

для перекрытий

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{(5,5 - 4,6)}{(8000 - 6000)}(6071 - 6000) + 4,6 = 4,63.$$

3. Определяем удельную теплозащитную характеристику здания:

$$k_{o6} = \frac{1}{2192} \left(\frac{1 \cdot 381,1}{3,52} + \frac{1 \cdot 94,5}{0,6} + \frac{0,6 \cdot 378}{4,63} + \frac{0,9 \cdot 378}{4,63} \right) = 0,18.$$

4. Определяем требуемую защитную характеристику здания:

$$k_{o6}^{\text{тр}} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{2192}}}{0,00013 \cdot 6071 + 0,61} = 0,27.$$

5. Сравниваем полученное значение удельной теплозащитной характеристики здания k_{o6} с допустимой величиной $k_{o6}^{\text{тр}}$:

$$k_{o6} \leq k_{o6}^{\text{тр}}.$$

Комплексное требование к теплозащитной оболочке здания выполняется.

6. Определяем нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкций (стен, перекрытий), $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

для стен

$$R_o^{\text{норм}} = m_p R_o^{\text{тп}} = 0,63 \cdot 3,52 = 2,22;$$

для перекрытий

$$R_o^{\text{норм}} = m_p R_o^{\text{тп}} = 0,8 \cdot 4,63 = 3,7.$$

7. Определяем термическое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя $R_{\text{ут}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_{\text{ут}} = 2,22 - \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,01}{0,76} + \frac{1}{23} \right) = 1,68.$$

8. Определяем толщину утеплителя, м:

$$\delta_{\text{ут}} = R_{\text{ут}} \lambda_{\text{ут}} = 1,68 \cdot 0,06 = 0,1008 \text{ м.}$$

9. Принимаем толщину утеплителя с учетом запаса и линейки выпускаемой продукции 110 мм.

10. Рассчитаем фактическое сопротивление теплопередаче R_o^{ϕ} , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, с учетом принятого утеплителя:

$$R_o^{\phi} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_1^i \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} = \frac{1}{8,7} + \left(\frac{0,01}{0,76} + \frac{0,11}{0,06} + \frac{0,25}{0,7} + \frac{0,01}{0,76} \right) + \frac{1}{23} = 2,38.$$

11. Рассчитываем коэффициенты теплопередачи ограждающих конструкций (стен, перекрытий), $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$:

для стен

$$K = \frac{1}{R_o^{\phi}} = \frac{1}{2,38} = 0,42;$$

для перекрытий

$$K = \frac{1}{R_o^{\phi}} = \frac{1}{3,7} = 0,27.$$

Самостоятельная работа № 8.

Подбор оконных блоков

Определяем градусо-сутки отопительного периода, $\text{°C} \cdot \text{сут}/\text{год}$:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{о.п}}) z_{\text{о.п}}.$$

Определяем базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче оконных блоков, $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$:

$$R_o^{\text{тп}} = \frac{(R_{\text{б}} - R_{\text{м}})}{(\text{ГСОП}_{\text{м}} - \text{ГСОП}_{\text{б}})} (\text{ГСОП} - \text{ГСОП}_{\text{м}}) + R_{\text{м}}.$$

Выбираем стеклопакет не менее базового (требуемого) значения сопротивления теплопередаче. Проверяем принятый тип заполнения оконных проемов на воздухопроницаемость и подбираем тип уплотнения притворов по условию

$$R_{\text{и}}^{\phi} \geq R_{\text{и}}^{\text{тп}},$$

где $R_{и}^{\phi}$ — фактическое сопротивление воздухопроницаемости, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$; $R_{и}^{\text{тп}}$ — требуемое сопротивление воздухопроницаемости, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$.

Определяем требуемое сопротивление воздухопроницаемости, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$:

$$R_{и}^{\text{тп}} = \frac{1}{G^{\text{н}}} \left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0} \right)^{2/3},$$

где $G^{\text{н}}$ — нормативная воздухопроницаемость окна в пластмассовых или алюминиевых переплетах для жилых и общественных зданий, $G^{\text{н}} = 5 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{кг}$; ΔP_0 — разность давлений воздуха по обе стороны окна, при которой проводятся исследования воздухопроницаемости окон, $\Delta P_0 = 10 \text{ Па}$.

Находим разность давлений воздуха по обе стороны окна первого этажа ΔP , Па, по формуле

$$\Delta P = 0,55H(\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}) + 0,03\gamma_{\text{н}}v^2,$$

где H — высота здания от нижней отметки входа в здание до верха вентиляционной шахты, м; v — расчетная скорость ветра для холодного периода как максимальная из средних скоростей по румбам за январь, повторяемость которой не ниже 16 %, м/с.

Определяем удельный вес, $\text{Н} / \text{м}^3$, соответственно наружного и внутреннего воздуха $\gamma_{\text{н}}$, $\gamma_{\text{в}}$ в зависимости от наружной и внутренней температуры по формуле

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.
2. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
3. СП 30.13330.2012. Внутренний водопровод и канализация.
4. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.
5. МДС 41.04.2000. Методика определения количества тепловой энергии и теплоносителя в водяных системах коммунального теплоснабжения.
6. Мелехин А.А. Решение частных задач оптимизации для инженерных систем зданий : монография. – Пермь : Изд-во Пермского национального исследовательского политехнического ун-та, 2015. – 87 с.
7. Мелехин А.А. Практикум по расчету тепловых потоков на теплоснабжение зданий по укрупненным параметрам объекта : учебно-метод. пособие. – Москва : Спутник-плюс, 2020. – 50 с.
8. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.

ПРИЛОЖЕНИЕ
СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1

Поправочный коэффициент α на температуру наружного воздуха для проектирования

$t, ^\circ\text{C}$	α	$t, ^\circ\text{C}$	α
0	2,05	-30	1
-5	1,67	-31	0,99
-10	1,45	-32	0,98
-15	1,29	-33	0,97
-20	1,17	-34	0,96
-21	1,15	-35	0,95
-22	1,13	-36	0,94
-23	1,11	-37	0,93
-24	1,09	-38	0,92
-25	1,08	-39	0,91
-26	1,06	-40	0,9
-27	1,04	-45	0,85
-28	1,02	-50	0,82
-29	1,01	-55	0,8

Таблица 2

Нормируемая температура в помещениях

Назначение здания	$t, ^\circ\text{C}$
Жилое здание	18...20
Гостиница, общежитие, административное здание	18...20
Детский сад, ясли, поликлиника, амбулатория, диспансер, больница	20
Высшее, среднее специальное учебное заведение, школа, школа-интернат, предприятие общественного питания, клуб	16
Театр, пожарное депо	15
Кинотеатр	34
Гараж	10
Баня	25

Таблица 3

Удельный тепловой поток на отопление для жилых зданий, построенных после 2000 г.

Коэффициент $n = 7$			
Отапливаемый объем, м^3	Удельный тепловой поток на отопление, $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$	Отапливаемый объем, м^3	Удельный тепловой поток на отопление, $\text{Вт}/\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}$
5000	0,30	55 000	0,21
10 000	0,27	60 000	0,21
15 000	0,25	65 000	0,21
20 000	0,24	70 000	0,20
25 000	0,24	75 000	0,20
30 000	0,23	80 000	0,20
35 000	0,22	85 000	0,20
40 000	0,22	90 000	0,20
45 000	0,22	95 000	0,19
50 000	0,21	100 000	0,19

Таблица 4

Удельный тепловой поток на отопление для иных категорий зданий, построенных после 2000 г.

Коэффициент $n = 5$			
Отапливаемый объем, м ³	Удельный тепловой поток на отопление, Вт/м ³ ·°С	Отапливаемый объем, м ³	Удельный тепловой поток на отопление, Вт/м ³ ·°С
5000	0,18	55 000	0,11
10 000	0,16	60 000	0,11
15 000	0,15	65 000	0,11
20 000	0,14	70 000	0,1
25 000	0,13	75 000	0,1
30 000	0,13	80 000	0,1
35 000	0,12	85 000	0,1
40 000	0,12	90 000	0,1
45 000	0,12	95 000	0,1
50 000	0,11	100 000	0,1

Таблица 5

Удельный тепловой поток на вентиляцию для иных категорий зданий, построенных после 2000 г.

Коэффициент $n = 3,5$			
Отапливаемый объем, м ³	Удельный тепловой поток на вентиляцию, Вт/м ³ ·°С	Отапливаемый объем, м ³	Удельный тепловой поток на вентиляцию, Вт/м ³ ·°С
5000	0,1	55 000	0,05
10 000	0,09	60 000	0,045
15 000	0,08	65 000	0,045
20 000	0,07	70 000	0,045
25 000	0,06	75 000	0,045
30 000	0,055	80 000	0,04
35 000	0,05	85 000	0,04
40 000	0,05	90 000	0,04
45 000	0,05	95 000	0,04
50 000	0,05	100 000	0,04

Таблица 6

Удельный тепловой поток на отопление жилых зданий, построенных до 2000 г.

Строительный отапливаемый объем, тыс. м ³	Удельный тепловой поток, ккал/м ³ ·ч·°С		Строительный отапливаемый объем, тыс. м ³	Удельный тепловой поток, ккал/м ³ ·ч·°С	
	здания, построенные до 1958 г.	здания, построенные после 1958 г. до 2000 г.		здания, построенные до 1958 г.	здания, построенные после 1958 г. до 2000 г.
0,1	0,740	0,920	4000	0,400	0,470
0,2	0,660	0,820	4500	0,390	0,460
0,3	0,620	0,780	5000	0,380	0,450
0,4	0,60	0,740	6000	0,370	0,430
0,5	0,580	0,710	7	0,360	0,420
0,6	0,560	0,690	8	0,350	0,410
0,7	0,540	0,680	9	0,340	0,400
0,8	0,530	0,670	10	0,330	0,390
0,9	0,520	0,660	11	0,320	0,380

Строительный отапливаемый объем, тыс. м ³	Удельный тепловой поток, ккал/м ³ ·ч·°С		Строительный отапливаемый объем, тыс. м ³	Удельный тепловой поток, ккал/м ³ ·ч·°С	
	здания, построенные до 1958 г.	здания, построенные после 1958 г. до 2000 г.		здания, построенные до 1958 г.	здания, построенные после 1958 г. до 2000 г.
1	0,510	0,650	12	0,310	0,380
1,1	0,500	0,620	13	0,300	0,370
1,2	0,490	0,600	14	0,300	0,370
1,3	0,480	0,590	15	0,290	0,370
1,4	0,470	0,580	20	0,280	0,370
1,5	0,470	0,570	25	0,280	0,370
1,7	0,460	0,550	30	0,280	0,360
2	0,450	0,530	35	0,280	0,350
2,5	0,440	0,520	40	0,270	0,350
3	0,430	0,500	45	0,270	0,340
3,5	0,420	0,480	50	0,260	0,340

Таблица 7

Удельный тепловой поток на отопление для иных категорий зданий, построенных до 2000 г.

Категория	Строительный отапливаемый объем, тыс. м ³ на отопление зданий, построенных до 2000 г., ккал/м ³ ·ч·°С	
	2	3
1	2	3
Административные здания	До 5	0,43
	До 10	0,38
	До 15	0,35
	Более 15	0,32
Клубы	До 5	0,37
	До 10	0,33
	Более 10	0,30
Кинотеатры	До 5	0,36
	До 10	0,32
	Более 10	0,30
Театры	До 10	0,29
	До 15	0,27
	До 20	0,22
	До 30	0,20
	Более 30	0,18
Магазины	До 5	0,38
	До 10	0,33
	Более 10	0,31
Детские сады и ясли	До 5	0,38
	Более 5	0,34
Школы и высшие учебные заведения	До 5	0,39
	До 10	0,35
	Более 10	0,33
Больницы	До 5	0,40
	До 10	0,36
	До 15	0,32
	Более 15	0,30
Бани	до 5	0,28
	До 10	0,25
	Более 10	0,23

Категория	Строительный отапливаемый объем, тыс. м ³ на отопление зданий, построенных до 2000 г., ккал/м ³ ·ч·°С	
	2	3
1		
Прачечные	До 5	0,38
	До 10	0,33
	Более 10	0,31
Предприятия общественного питания, столовые, фабрики-кухни	До 5	0,35
	До 10	0,33
	Более 10	0,30
Лаборатории	До 5	0,37
	До 10	0,35
	Более 10	0,33
Пожарные депо	До 2	0,48
	До 5	0,46
	Более 5	0,45
Гаражи	До 2	0,70
	До 3	0,60
	До 5	0,55
	Более 5	0,50

Таблица 8

Удельные тепловые потоки на вентиляцию зданий, построенных до 2000 г.

Категория	Строительный отапливаемый объем, тыс. м ³	Удельный тепловой поток на вентиляцию зданий, построенных до 2000 г., ккал/м ³ ·ч·°С
1		
Административные здания	До 5	0,09
	До 10	0,08
	До 15	0,07
	Более 15	0,08
Клубы	До 5	0,25
	До 10	0,23
	Более 10	0,20
Кинотеатры	До 5	0,43
	До 10	0,39
	Более 10	0,38
Театры	До 10	0,41
	До 15	0,40
	До 20	0,38
	До 30	0,36
	Более 30	0,310
Магазины	До 5	—
	До 10	0,08
	Более 10	0,27
Детские сады и ясли	До 5	0,11
	Более 5	0,10
Школы и высшие учебные заведения	До 5	0,09
	До 10	0,08
	Более 10	0,07
Больницы	До 5	0,29
	До 10	0,28
	До 15	0,26
	Более 15	0,25

Категория	Строительный отапливаемый объем, тыс. м ³	Удельный тепловой поток на вентиляцию зданий, построенных до 2000 г., ккал/м ³ ·ч·°С
1	2	3
Бани	До 5	1,00
	До 10	0,95
	Более 10	0,90
Прачечные	До 5	0,80
	До 10	0,78
	Более 10	0,75
Предприятия общественного питания, столовые, фабрики-кухни	До 5	0,700
	До 10	0,65
	Более 10	0,60
Лаборатории	До 5	1,00
	До 10	0,95
	Более 10	0,90
Пожарные депо	До 2	0,14
	До 5	0,09
	Более 5	0,09
Гаражи	До 2	—
	До 3	—
	До 5	0,70
	Более 5	0,65

Таблица 9

**Удельные тепловые потери трубопроводов систем горячего водоснабжения зданий
(по месту и способу прокладки), построенных до 2000 г.**

Место и способ прокладки	Тепловые потери трубопровода, ккал/ч·м, при условном диаметре, мм						
	15	20	25	32	40	50	70
1	2	3	4	5	6	7	8
Главный подающий стояк в штрабе или коммуникационной шахте, изолирован	—	—	—	—	17,00	19,10	23,40
	—	—	—	—	21,80	24,50	30,00
Стояк без полотенцесушителей, изолированный, в шахте сантехкабины, борозде или коммуникационной шахте	9,70	10,80	11,90	13,50	—	—	—
	12,80	14,20	15,70	17,80	—	—	—
То же, с полотенцесушителями	—	17,80	20,70	25,30	—	—	—
	—	23,40	27,30	33,30	—	—	—
Стояк неизолированный в шахте сантехкабины, борозде или коммуникационной шахте или открыто в ванной, кухне	20,70	25,50	30,20	37,80	—	—	—
	27,30	35,60	39,80	49,80	—	—	—
Распределительные изолированные трубопроводы (подающие):							
в подвале и на лестничной клетке	13,50	15,00	16,50	18,80	20,80	23,40	26,80
	16,60	13,40	20,30	23,10	25,60	26,80	36,20
на холодном чердаке	16,60	18,50	20,30	23,20	25,60	28,80	35,20
	19,70	21,90	24,10	27,50	30,40	34,20	41,80
на теплом чердаке	11,60	13,00	14,30	16,30	17,90	20,20	24,60
	14,70	16,50	18,10	20,60	22,70	25,60	31,20

Место и способ прокладки	Тепловые потери трубопровода, ккал/ч·м, при условном диаметре, мм						
	15	20	25	32	40	50	70
1	2	3	4	5	6	7	8
Циркуляционные трубопроводы изолированные:							
в подвале	10,90	12,10	13,30	15,10	16,70	18,80	23,00
	14,00	15,60	17,10	19,40	21,50	24,20	29,60
на теплом чердаке	9,00	10,00	11,00	12,60	13,80	15,60	19,10
	12,00	13,40	14,80	16,90	18,60	21,00	25,70
на холодном чердаке	14,00	15,60	17,10	19,40	21,50	24,20	29,60
	17,10	19,10	20,90	23,70	23,70	29,60	36,20
Циркуляционные трубопроводы неизолированные:							
в квартирах	20,00	24,60	29,20	36,60	43,00	52,00	72,00
	26,90	33,10	39,30	49,20	57,80	69,90	96,80
на лестничной клетке	23,50	28,90	34,20	42,80	50,30	60,80	84,50
	30,40	37,40	44,20	55,40	65,10	78,70	109,40
Циркуляционные стояки в штрабе сантехнической кабины или ванной:							
изолированные		9,40	10,30	11,70	12,90	14,60	17,80
		12,90	14,10	16,00	17,70	20,00	24,40
неизолированные		23,00	27,10	34,00	40,00	48,30	67,20
		31,50	31,50	46,60	54,80	66,20	92,10

Примечание: в числителе — удельные тепловые потери трубопроводов систем горячего водоснабжения без непосредственного водоразбора в системах теплоснабжения, в знаменателе — с непосредственным водоразбором.

Таблица 10

**Удельные тепловые потери трубопроводов систем горячего водоснабжения
(по перепаду температуры)**

Перепад температур, °С	Тепловые потери трубопровода, ккал/ч·м, при условном диаметре, мм											
	15	20	25	32	40	50	70	80	100	125	150	200
30	22	28	35	44	48	54	68	80	97	119	143	173
32	23	30	37	47	50	58	73	85	103	127	152	185
34	25	32	39	50	53	61	77	91	110	135	162	196
36	26	33	42	53	56	65	82	95	116	143	171	208
38	28	35	44	56	60	68	86	102	123	151	181	219
40	29	37	46	59	63	72	91	107	129	159	190	231
42	31	39	49	63	67	76	97	114	137	169	202	242
44	33	42	52	66	71	81	103	121	145	179	214	254
46	34	44	54	70	75	85	108	127	154	189	226	265
48	36	46	57	73	79	90	114	134	162	199	238	277
50	38	48	60	77	83	94	120	140	170	209	250	288
52	40	51	63	81	87	99	126	147	179	220	263	300
54	42	53	66	85	91	104	132	155	188	230	276	312
56	44	56	70	88	95	108	139	162	197	241	289	323
58	46	58	73	92	99	113	145	170	206	252	302	335
60	48	61	76	96	104	113	151	177	215	263	315	347

Примечание: при перепаде температуры горячей воды, отличном от приведенных его значений, удельные тепловые потери следует определять интерполяцией.

Теплоотдающая поверхность отдельных марок отопительных приборов

Наименование	Теплоотдающая поверхность, м ²
Радиаторы чугунные секционные:	
МС-140-08	0,244
МС-140-98	0,24
М-90	0,2
МС-90-108	0,187
Радиаторы алюминиевые:	
Elegance	0,413
СИАЛКО	0,188
Термал	0,413
Конвекторы «Универсал-С»:	
КН20-1,593к	4,61
КН20-1,716к	4,97
КН20-1,838к	5,325
Конвекторы «Комфорт-20»:	
КН20-0,372к	0,81
КН20-0,515к	1,12
КН20-0,655к	1,42

Теплоотдающая поверхность отдельных марок воздухонагревателей вентиляционных систем

Марка	Площадь теплоотдающей поверхности, м ²
КСК3-1	10,2
КСК3-2	12,6
КСК3-3	15,0
КСК3-4	17,4
КСК3-5	22,1
КСК3-6	13,3
КСК3-7	16,3
КСК3-8	19,4
КСК3-9	24,5
КСК3-10	28,6
КСК3-11	83,1
КСК3-12	125,3
КСК4-1	13,4
КСК4-2	17,5
КСК4-3	19,6
КСК4-4	22,7
КСК4-5	29,0
КСК4-6	17,4
КСК4-7	21,5
КСК4-8	25,5
КСК4-9	29,6
КСК4-10	37,6
КСК4-11	110,0
КСК4-12	166,2

Таблица 13

Коэффициенты теплопередачи отдельных марок отопительных приборов

Типы отопительного оборудования	Коэффициент теплопередачи, ккал/м ² ·ч·°С, при температурном перепаде			
	50...60	60...70	70...80	80...100
Радиаторы чугунные средние	7,0	7,5	8,0	8,5
Радиаторы чугунные высокие	6,2	6,4	6,6	6,8
Радиаторы стальные панельные	8,5	9,0	9,5	10,0
Радиаторы стальные листотрубные	5,5	6,0	6,5	7,0
Трубы чугунные ребристые	4,5	4,6	4,8	4,9
Регистры из стальных труб	11,5	12,0	12,5	12,5
Конвекторы напольные	4,1	4,2	4,3	4,4
Конвекторы чугунные	6,5	6,7	7,0	7,3

Таблица 14

Коэффициенты теплопередачи воздухонагревателя КСК3-6

Массовая скорость воздуха, кг/м ² ·с	Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² ·°С, при скорости теплоносителя, м/с										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2
1,5	24,2	26,69	28,58	29,98	31,14	32,11	32,96	33,69	34,35	34,98	36,07
2	28,8	30,27	32,41	34	35,31	36,42	37,37	38,2	38,96	39,67	40,9
3	34,6	36,13	38,68	40,58	42,14	43,47	44,6	45,6	46,5	47,35	48,82
4	39,5	40,98	43,88	46,03	47,8	49,3	50,59	51,72	52,74	53,71	55,37
5	43,7	45,16	48,35	50,72	52,68	54,33	55,75	57	58,12	59,19	61,02
6	47,4	48,91	52,38	54,94	57,06	58,85	60,39	61,74	62,95	64,11	66,1
7	51,8	52,32	56,03	58,77	61,03	62,95	64,6	66,04	67,34	68,58	70,7

Таблица 15

Нормы тепловых потерь трубопроводов водяной тепловой сети при канальной прокладке

Условный диаметр трубопровода	Тепловые потери, ккал/п. м					
	≤5000 ч/год			≥5000 ч/год		
	Температура теплоносителя, °С					
	65/50	90/50	110/50	65/50	90/50	110/50
25	18	22	27	16	21	24
32	21	25	28	18	22	26
40	22	27	30	19	24	28
50	25	29	34	22	26	30
65	28	34	39	25	30	34
80	30	36	41	27	32	37
100	34	40	46	29	34	40
125	38	46	52	34	40	45
150	42	51	57	36	43	49
200	52	61	70	45	52	60
250	61	71	81	52	61	69
300	70	81	90	58	68	77
350	77	90	101	65	76	85
400	84	99	110	70	83	93
450	92	108	120	77	89	101
500	101	118	131	83	97	109

Нормы тепловых потерь трубопроводов водяных тепловых сетей, проложенных бесканально

Условный диаметр трубопровода	Тепловые потери, ккал/п. м					
	≤5000 ч/год			≥5000 ч/год		
	Температура теплоносителя, °С					
	65/50	90/50	110/50	65/50	90/50	110/50
25	26	30	34	23	28	31
32	28	33	37	25	30	34
40	30	35	40	27	32	36
50	34	40	46	30	35	40
65	40	47	52	35	42	46
80	44	52	57	39	45	51
100	49	58	64	42	50	57
125	56	65	72	48	57	63
150	64	74	81	54	63	71
200	80	92	101	66	80	86
250	95	108	119	79	91	101
300	108	124	135	90	104	114
350	120	139	152	101	116	127
400	134	152	167	112	127	140
450	148	169	183	122	139	152
500	163	184	200	134	151	167

Таблица 17

Расчет часового теплового потока на отопление

Наименование, адрес объекта	Год постройки	Тип здания	α	q_o	t_b	t_n	V	K_n	H	z	Q_o	G_o

Примечание: α — поправочный коэффициент; q_o — удельный тепловой поток на отопление здания Вт/м³·ч; t_b — расчетная температура воздуха в отапливаемом здании, °С; t_n — расчетная температура наружного воздуха для проектирования, °С; V — строительный отапливаемый объем, м³; K_n — расчетный коэффициент инфильтрации, обусловленной тепловым и ветровым напором, т.е. соотношение тепловых потерь зданием с инфильтрацией и теплопередачей через наружные ограждения при температуре наружного воздуха, расчетной для проектирования отопления; H — высота здания, м; z — продолжительность отопительного периода, дней; Q_o — часовой тепловой поток на отопление, Вт; G_o — часовой тепловой поток на отопление, т/ч.

Таблица 18

Расчет часового теплового потока на вентиляцию

Наименование, адрес объекта	Год постройки	Тип здания	α	q_o	t_b	t_n	V	Q_b	G_b

Примечание: α — поправочный коэффициент; q_o — удельный тепловой поток на вентиляцию здания Вт/м³·ч; t_b — расчетная температура воздуха в отапливаемом здании, °С; t_n — расчетная температура наружного воздуха для проектирования вентиляции, °С; V — строительный отапливаемый объем, м³; Q_b — часовой тепловой поток на вентиляцию, МВт; G_b — часовой тепловой поток на вентиляцию, т/ч.

Расчет месячного (годового) теплового потока на отопление зданий

Параметр	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q_o												
t_b												
t_n												
n												
$t_{ср.м}$												
$Q_{о.м}$												

Примечание: Q_o — часовой тепловой поток на отопление, Вт; t_b — расчетная температура воздуха в отапливаемом здании, °С; t_n — температура наружного воздуха для проектирования системы отопления, °С; n — количество часов работы в месяце системы отопления; $t_{ср.м}$ — среднемесячная температура наружного воздуха для проектирования системы отопления, °С; $Q_{о.м}$ — тепловой поток (месячный) на отопление здания, Вт.

Расчет месячного (годового) теплового потока на вентиляцию зданий

Параметр	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q_b												
t_b												
t_n												
n												
$t_{ср.м}$												
$Q_{в.м}$												

Примечание: Q_b — часовой тепловой поток на вентиляцию, Вт; t_b — расчетная температура воздуха в отапливаемом здании, °С; t_n — температура наружного воздуха для проектирования системы вентиляции, °С; n — количество часов работы в месяце системы вентиляции; $t_{ср.м}$ — среднемесячная температура наружного воздуха для проектирования системы вентиляции, °С; $Q_{в.м}$ — тепловой поток (месячный) на вентиляцию здания, Вт.

Расчет тепловых потерь (часовых) в сетях системы теплоснабжения

Подающий трубопровод				Обратный трубопровод				$Q_{уч}$
$q_{норм}$	β_i	L_i	$Q_{п}$	$q_{норм}$	β_i	L_i	Q_o	

Примечание: $q_{норм}$ — удельные тепловые потери трубопроводами, ккал/м·ч (принимаются в соответствии табл. 15, 16 прил.); L_i — длина участка, м; β_i — коэффициент местных тепловых потерь, учитывающий тепловые потери арматурой, компенсаторами, опорами. Коэффициент местных тепловых потерь принимается: для подземной канальной и надземной прокладок равным 1,2 при диаметрах трубопроводов до 0,15 м и 1,15 при диаметрах 0,15 м и более, а также при всех диаметрах бесканальной прокладки; $Q_{п}$ — тепловые потери в подающем трубопроводе, Вт; Q_o — тепловые потери в обратном трубопроводе, Вт; $Q_{уч}$ — общие тепловые потери на участке, Вт.

Расчет теплового потока на горячее водоснабжение в отопительный период

Наименование, адрес объекта	a	N	$t_{x.3}$	$Q_{т.п}$	$Q_{г.ср}$

Примечание: a — суточная норма затрат воды на горячее водоснабжение абонента, л ([3], табл. А2 (коллонка 5)); N — количество пользователей; $t_{x.3}$ — температура холодной водопроводной воды в отопительный период, °С; $Q_{т.п}$ — тепловые потери (часовые) в подающем и циркуляционном трубопроводах наружной сети горячего водоснабжения, Вт; $Q_{г.ср}$ — средний тепловой поток (часовой) на горячее водоснабжение, Вт.

Расчет тепловых потерь с ограждающих конструкций зданий по данным тепловизионной съемки

Конструкция	Q	α_b	S	τ_n	t_n	ΔT	t_b	$\Delta T_{норм}$	$t_{в.норм}$	$t_{н.норм}$	$Q_{прив}$	D	z	$Q_{год}$
Ограждающие конструкции (стены, кровля)														
Окна, двери														

Примечание: Q — часовой тепловой поток с ограждающих конструкций, Вт; α_b — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности, равный 8,7 Вт/м²·°С; S — площадь ограждающих поверхностей (стены, окна, двери и др.), м²; τ_n — температура наружной поверхности стены в момент проведения тепловизионной съемки, °С; t_n — температура наружного воздуха в момент проведения тепловизионной съемки, °С; ΔT — температурный напор в момент съемки, °С; t_b — температура в помещении в период проведения телевизионной съемки, °С; $\Delta T_{норм}$ — нормативный температурный напор, °С; $t_{в.норм}$ — нормативная температура внутри помещений, °С; $t_{н.норм}$ — среднегодовая температура наружного воздуха по данным [1], °С; $Q_{прив}$ — приведенные тепловые потери (часовые), Вт; D — градусо-сутки отопительного периода для данной местности, °С сут/год; z — продолжительность отопительного периода, дней; $Q_{год}$ — общие тепловые потери за отопительный период, Вт.

Расчет класса энергетической эффективности зданий

Здание	$Q_{ф.г}$	$Q_{р.г}$	z	$t_{в.ф}$	$t_{н.ф}$	$t_{в.р}$	$t_{н.р}$	V	$q_{ф.г}$	$q_{р.г}$	q

Примечание: $Q_{ф.г}$ — фактический расход тепловой энергии на отопления здания, Вт; $Q_{р.г}$ — расчетный расход тепловой энергии на отопление здания, Вт; z — фактическая продолжительность отопительного периода, дней; $t_{в.ф}$ — фактическая средняя температура внутреннего воздуха за отопительный период, °С; $t_{н.ф}$ — фактическая средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С; $t_{в.р}$ — расчетная средняя температура внутреннего воздуха за отопительный период, °С; $t_{н.р}$ — расчетная средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С; V — объем здания, м³; $q_{ф.г}$ — удельная фактическая тепловая характеристика здания, Вт/м³·°С; $q_{р.г}$ — удельная расчетная тепловая характеристика здания, Вт/м³·°С; q — величина отклонения расчетного (фактического) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление здания от нормативного, %.