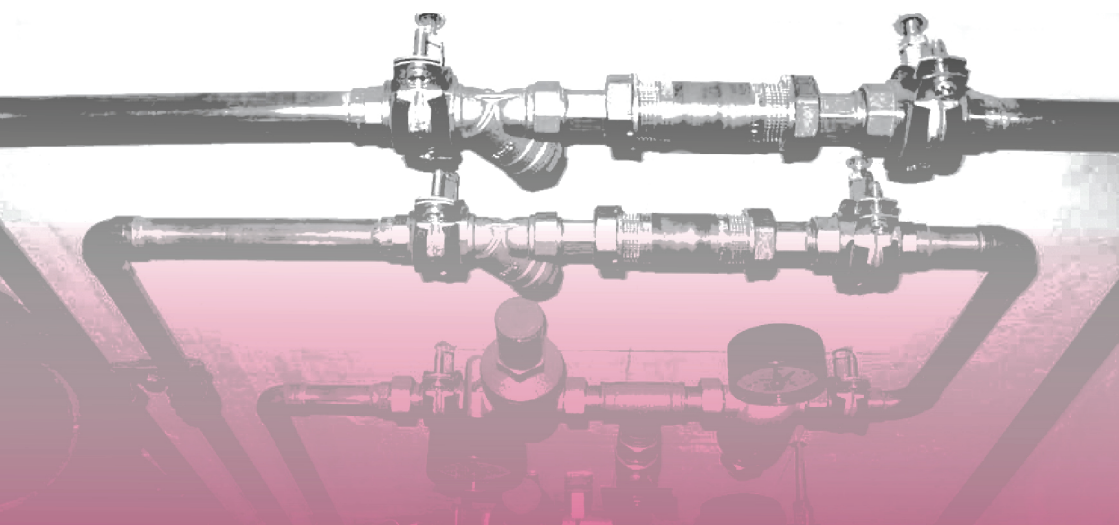


Министерство образования и науки Российской Федерации
Тольяттинский государственный университет
Архитектурно-строительный институт
Кафедра «Теплогазоснабжение, вентиляция,
водоснабжение и водоотведение»

ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

Практикум

Составитель Е.В. Одокиенко



© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2017

ISBN 978-5-8259-1173-1

УДК 697(61.14)

ББК 38.762я73

Рецензенты:

д-р техн. наук, доцент кафедры отопления и вентиляции
Нижегородского государственного архитектурно-строительного
университета *М.В. Бодров*;

канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогаснабжение,
вентиляция, водоснабжение и водоотведение»

Тольяттинского государственного университета *В.М. Филенков*.

Теплогаснабжение и вентиляция : практикум / сост. Е.В. Одоки-
енко. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2017. – 1 оптический диск.

Практикум содержит ряд практических заданий и упражнений, индивидуальные задания по вариантам, а также алгоритмы выполнения работы, расчетные формулы с пояснениями.

Предназначен для студентов всех форм обучения направления подготовки бакалавра 08.03.01 «Строительство» (профили «Промышленное и гражданское строительство», «Гражданское строительство и хозяйство», «Водоснабжение и водоотведение»).

Текстовое электронное издание.

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом Тольяттинского государственного университета.

Минимальные системные требования: IBM PC-совместимый компьютер: Windows XP/Vista/7/8; ПIII 500 МГц или эквивалент; 128 Мб ОЗУ; SVGA; CD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

© ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», 2017

Редактор *А.И. Евсейчев*
Корректор *О.П. Корабельникова*
Техническое редактирование: *О.П. Корабельникова*
Компьютерная верстка: *Л.В. Сызганцева*
Художественное оформление,
компьютерное проектирование: *И.И. Шишкина*

Дата подписания к использованию 30.06.2017.

Объем издания 5,05 Мб.

Комплектация издания:

компакт-диск, первичная упаковка.

Заказ № 1-45-16.

Издательство Тольяттинского государственного университета
445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14
Тел. 8(8482)53-91-47, www.tltsu.ru

Содержание

Введение	5
Практическое занятие 1. Определение параметров внутреннего и наружного воздуха и теплотехнических характеристик эксплуатируемых материалов	6
Практическое занятие 2. Теплофизический расчет наружных ограждающих конструкций	10
Практическое занятие 3. Теплопотери через полы, лежащие на грунте	13
Практическое занятие 4. Оценка конструкции с точки зрения теплотехники	17
Практическое занятие 5. Защита от переувлажнения ограждающих конструкций	19
Практическое занятие 6. Определение затрат тепла на нагревание инфильтрирующегося воздуха	23
Практическое занятие 7. Расчет естественного циркуляционного давления	25
Практическое занятие 8. Тепловой расчет отопительных приборов системы водяного отопления	28
Практическое занятие 9. Определение годового потребления газа районной котельной	31
Библиографический список	36
Приложение А	37
Приложение Б	38
Приложение В	39
Приложение Г	40
Приложение Д	41
Приложение Е	42
Приложение Ж	44
Приложение И	45

Введение

Совокупность всех факторов и процессов (внешних и внутренних воздействий), влияющих на формирование теплового микроклимата помещений, называется тепловым режимом здания.

Ограждения не только защищают помещение от наружной среды, но и обмениваются с ним теплотой и влагой, пропускают воздух сквозь себя как внутрь, так и наружу. Поддержание заданного теплового режима помещений здания (поддержание на необходимом уровне температуры и влажности воздуха, его подвижности, радиационной температуры помещения) возлагается на инженерные системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Однако определение тепловой мощности и режима работы этих систем невозможно без учета влияния тепловлагозащитных и теплоинерционных свойств ограждений. Поэтому система кондиционирования микроклимата помещений включает все инженерные средства, обеспечивающие заданный микроклимат обслуживаемых помещений: ограждающие конструкции здания и инженерные системы отопления, вентиляцию и кондиционирование воздуха. Таким образом, современное здание — сложная взаимосвязанная система тепломассообмена, единая энергетическая система.

Целями практических занятий являются закрепление теоретических знаний, полученных студентами при изучении дисциплины «Теплогазоснабжение и вентиляция», а также приобретение практических навыков для расчета систем отопления и вентиляции жилого дома.

Практическое занятие 1

Определение параметров внутреннего и наружного воздуха и теплотехнических характеристик эксплуатируемых материалов

Цель занятия: научиться выбирать и обосновывать параметры наружного воздуха, микроклимата помещений и теплотехнические характеристики эксплуатируемых материалов.

В качестве исходных данных для выполнения теплотехнического расчета, определения теплозащитных свойств ограждающих конструкций и проектирования систем отопления принимаются термодинамические параметры внутреннего и наружного воздуха и теплофизические характеристики строительных материалов ограждений. Район строительства характеризуется расчетными параметрами наружного воздуха для холодного и теплого периодов года, которые представлены в СП по строительной климатологии [1].

В холодный период, $t_n < 8 \text{ }^\circ\text{C}$, в качестве исходных данных принимают:

- расчетную зимнюю температуру наружного воздуха наиболее холодной пятидневки t_n , $^\circ\text{C}$, с коэффициентами обеспеченности 0,92 или 0,98;
- среднюю температуру отопительного периода $t_{\text{он}}$, $^\circ\text{C}$;
- продолжительность отопительного периода $Z_{\text{он}}$, сут.;
- максимальную среднюю скорость ветра за январь v , м/с;
- относительную влажность наружного воздуха φ , % [1].

При выполнении теплотехнического расчета ограждений важно учитывать назначение и условия эксплуатации помещения, которые определяются температурой и относительной влажностью внутреннего воздуха, значения которых регламентируются санитарными нормами, строительными правилами, государственными стандартами [2, 3].

Теплопроводность λ является одной из основных тепловых характеристик материала. Теплопроводность материала – это мера проводимости материалом теплоты, численно равная тепловому потоку, проходящему сквозь 1 м^2 площади, перпендикулярной направлению потока, при градиенте температуры вдоль потока, равном $1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{м}$. Чем больше значение λ , тем интенсивнее в таком мате-

риале процесс теплопроводности, больше тепловой поток. Поэтому теплоизоляционными материалами принято считать материалы с теплопроводностью менее $0,3 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$. Известно, что с повышением влажности материалов ухудшаются теплотехнические качества ограждения за счет увеличения коэффициента теплопроводности материалов, что приводит к увеличению теплотерь здания и большим энергозатратам на отопление.

Теплопроводность увеличивается с повышением влажности материала из-за того, что вода, находящаяся в порах материала, имеет коэффициент теплопроводности около $0,58 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$, что в 22 раза больше, чем у воздуха. Большая интенсивность возрастания коэффициента теплопроводности материала при малой влажности происходит из-за того, что при увлажнении материала сначала заполняются водой мелкие поры и капилляры, влияние которых на теплопроводность материала больше, чем влияние крупных пор. Еще более резко возрастает коэффициент теплопроводности, если влажный материал промерзает, так как лед имеет теплопроводность $2,3 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{С}$, что в 80 раз больше, чем у воздуха. Установить общую математическую зависимость теплопроводности материала от его влажности для всех строительных материалов невозможно, так как на нее большое влияние оказывает форма и расположение пор. Увлажнение строительных конструкций приводит к снижению их теплозащитных качеств, приводя к увеличению коэффициента теплопроводности влажного материала.

Следовательно, теплофизические характеристики материалов при расчетах строительных ограждений следует принимать с учетом зоны влажности и влажностного режима помещения. Зона влажности района застройки может быть сухая, нормальная и влажная и определяется по схематической карте территории РФ [2]. Влажностный режим помещения бывает сухим, нормальным, влажным и мокрым. Для холодного периода в жилых зданиях принимается режим нормальный, для других помещений режим выбирается в зависимости от параметров внутреннего микроклимата.

Задание: для проектируемого в городе здания согласно выбранному варианту (прил. А) выбрать параметры наружного и внутреннего воздуха и теплотехнические характеристики материалов наружных ограждающих конструкций.

Порядок выполнения:

1. Определить по карте (прил. Б) зону влажности города, а по табл. 1 и 2 влажностный режим помещения, условия эксплуатации ограждающей конструкции.

Таблица 1

Влажностный режим помещения [2]

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	от 12 до 24	свыше 24
Сухой	До 60	До 50	До 40
Нормальный	От 60 до 75	От 50 до 60	От 40 до 50
Влажный	От 75	От 60 до 75	От 50 до 60
Мокрый	–	Свыше 75	Свыше 60

Таблица 2

Условия эксплуатации ограждающих конструкций [2]

Влажностный режим помещений зданий (по табл. 1)	Условия эксплуатации А и Б в зоне влажности (по карте, прил. Б)		
	Сухая	Нормальная	Влажная
Сухой	А	А	Б
Нормальный	А	Б	Б
Влажный или мокрый	Б	Б	Б

2. В зависимости от назначения здания определить параметры внутреннего воздуха по табл. 3.

3. Исходя из условий эксплуатации А и Б для материалов ограждающих конструкций, принять значения коэффициентов теплопроводности [2, прил. Т].

**Расчетные оптимальные параметры внутреннего воздуха
помещений зданий**

Здания	Параметры, принимаемые в соответствии с ГОСТ 30494 для теплотехнических расчетов ограждающих конструкций		
	Температура воздуха внутри здания	Относительная влажность внутри здания $\varphi_v, \%$	Температура точки росы $t_p, ^\circ\text{C}$
Жилые, общеобразовательные и другие общественные, кроме перечисленных ниже	21 (20)	55	11,6 (10,7)
Поликлиники и лечебные учреждения, дома-интернаты	21	55	11,6
Детские дошкольные учреждения	22	50	11,1
<p><i>Примечания:</i> 1. Цифры в скобках относятся к климатическим зонам 1 и 2. 2. Для общественных зданий, не указанных в табл. 2, температуру воздуха внутри зданий, относительную влажность воздуха и соответствующую им температуру точки росы следует принимать согласно ГОСТ 30494 и нормам проектирования соответствующих зданий</p>			

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое тепловой режим здания?
2. Какую роль играют ограждающие конструкции в тепловом режиме здания?
3. Какие параметры внутренней среды поддерживаются системами отопления и вентиляции?
4. Почему здание считается единой энергетической системой?
5. Что называется коэффициентом теплопроводности? Назовите единицу измерения, определите физический смысл.
6. Как зависит коэффициент теплопроводности от увлажнения материала?

Практическое занятие 2

Теплофизический расчет наружных ограждающих конструкций

Цель занятия: ознакомиться с требованиями к теплозащитной оболочке здания и методикой теплофизического расчета отдельных наружных ограждений здания.

Проектирование зданий и сооружений должно осуществляться с учетом требований тепловой защиты: поэлементных, комплексных и санитарно-гигиенических [2]. Поэлементное требование – приведенное сопротивление теплопередаче отдельных ограждающих конструкций должно быть не меньше нормируемых значений, т. е.

$$R_0 \geq R_0^{\text{нр}}, \quad (2.1)$$

где R_0 – приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; $R_0^{\text{нр}}$ – нормируемое значение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, определяется в зависимости от градусо-суток района строительства, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$.

Градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$, определяют по следующей формуле:

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot Z_{\text{от}}, \quad (2.2)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, $^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}$; $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, $^\circ\text{C}$; $Z_{\text{от}}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций $R_0^{\text{нр}}$, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, определяется интерполяцией по СП [2, табл. 3].

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций находится по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + R_{\text{к}} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}}, \quad (2.3)$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, принимается по требованиям к тепловой защите зданий [2, табл. 4]; $R_{\text{к}}$ – сумма термических сопротивлений слоев конструкции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции,

Вт/(м² · °С), принимается по требованиям к тепловой защите зданий [2, табл. 6].

Термическое сопротивление i -го однородного слоя ограждающей конструкции определяется по формуле

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (2.4)$$

где δ_i – толщина i -го слоя ограждающей конструкции, м; λ_i – расчетный коэффициент теплопроводности материала i -го слоя ограждающей конструкции, Вт/м · °С.

После определения приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций R_0 , (м² · °С)/Вт, определяется коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций k , Вт/(м² · °С), по формуле

$$k = \frac{1}{R_0^{\Phi}}, \quad (2.5)$$

где k – коэффициент теплопередачи ограждающих конструкций, Вт/(м² · °С); R_0^{Φ} – фактическое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, (м² · °С)/Вт.

Приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций принимается по результатам испытаний, при отсутствии таких данных оно оценивается по таблице [2, прил. К]. **Приведенное сопротивление теплопередаче наружных дверей** определяется по формуле

$$R_0 = 0,6 \cdot R_0^{\text{норм}}, \quad (2.6)$$

где R_0 – приведенное сопротивление теплопередаче наружных дверей, (м² · °С)/Вт; $R_0^{\text{норм}}$ – нормируемое сопротивление теплопередаче наружных стен, (м² · °С)/Вт, отвечающее санитарно-гигиеническим требованиям, определяется по формуле

$$R_0^{\text{норм}} = \frac{(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\alpha_{\text{в}} \cdot \Delta t^{\text{н}}}, \quad (2.7)$$

где $\Delta t^{\text{н}}$ – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха $t_{\text{в}}$ и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции $t_{\text{н}}$, °С, определяется по СП [2, табл. 5].

Задание: в соответствии с вариантом практического занятия 1 определить для города коэффициент теплопередачи наружных

ограждающих конструкций жилого дома предложенной планировки: наружных стен, чердачных (бесчердачных) перекрытий, перекрытий над подвалом, окон, балконных и входных дверей.

Порядок выполнения:

1. По прил. В необходимо, в зависимости от назначения здания и климатической зоны района строительства, определить нормируемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций стены, покрытия, перекрытия, окон, фонарей и дверей из условия предписывающего подхода.

2. По формуле (2.1) определить величину градусо-суток отопительного периода.

3. По таблице вариантных данных с учетом конструкций наружных ограждений и теплотехнических характеристик строительных материалов определить расчетные значения приведенного сопротивления теплопередаче наружной ограждающей конструкции, используя формулы (2.1–2.4).

4. Рассчитать коэффициент теплопередачи по формуле (2.5) для наружных стен, чердачных (бесчердачных) перекрытий, перекрытий над подвалом.

5. Выбрать конструкцию входных дверей в лестничную клетку, а также оконных заполнений (прил. Г) и балконных дверей и по формулам (2.6–2.7) определить приведенное сопротивление теплопередаче.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции? Определите физический смысл, назовите единицу измерения.
2. Каким требованиям теплозащиты должно отвечать проектируемое здание?
3. В чем заключается поэлементное требование тепловой защиты?
4. Как определяется приведенное сопротивление теплопередаче светопрозрачных конструкций?
5. Как определяется приведенное сопротивление теплопередаче входных дверей и ворот?

Практическое занятие 3

Теплопотери через полы, лежащие на грунте

Цель занятия: ознакомиться с методикой расчета полов, лежащих на грунте.

Сопrotивление теплопередаче полов, соприкасающихся не с воздухом, а с грунтом, определяется приближенно. При строительстве жилых и общественных зданий применяются только утепленные полы. Известно, что температурное поле грунта под полом неравномерно: чем ближе к наружной стене, тем температура грунта ниже, поэтому принято рассчитывать теплопотери через данные ограждения и стены, расположенные ниже уровня земли, по зонам (рис. 1).

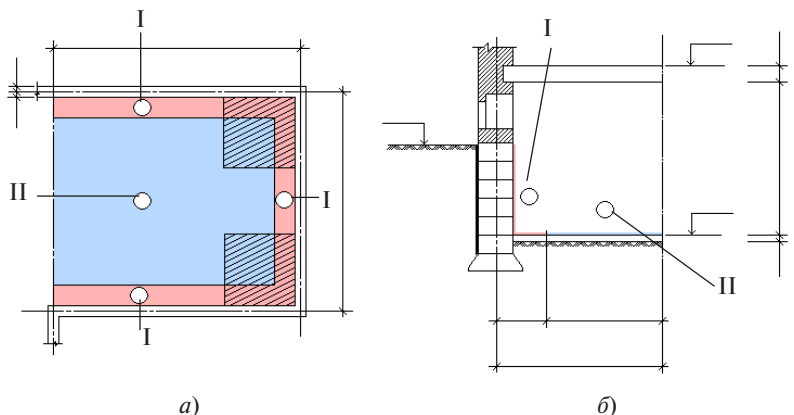


Рис. 1. Теплопотери через полы, лежащие на грунте: *а* – план отапливаемой части подвала с нанесенными (с учетом стен по грунту) зонами; *б* – разрез с нанесенными зонами

Всего зон может быть четыре: I, II, III и IV. Полы подвала разграничивают на зоны параллельно наружным стенам. Ширина I, II и III зон – по 2 м. IV зона – оставшаяся часть пола подвала.

Разграничение зон для наружных стен, расположенных ниже уровня земли, начинается от поверхности земли вдоль стен и далее по полу (см. рис. 1, б).

Теплопотери через полы, лежащие на грунте Q , Вт, будут равны сумме теплопотерь каждой i -й зоны:

$$Q = \sum Q_i, \quad (3.1)$$

где Q_i – потери теплоты i -й зоны ограждающей конструкции, Вт.

Потери теплоты i -й зоны ограждающей конструкции Q_i , Вт, вычисляются по формуле

$$Q_i = k_i \cdot F_i \cdot (t_b - t_n) \cdot n, \quad (3.2)$$

где k_i – коэффициент теплопередачи i -й зоны ограждающей конструкции, Вт/(м² · °С); F_i – площадь i -й зоны ограждающей конструкции, м², (см. рис. 1); t_b – расчетная температура внутреннего воздуха; t_n – расчетная температура наружного воздуха; n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху по СП по строительной климатологии [1].

Коэффициент теплопередачи i -й зоны ограждающей конструкции k_i , Вт/(м² · °С), определяется по формуле

$$k_i = \frac{1}{R_i}, \quad (3.3)$$

где R_i – условное термическое сопротивление теплопередаче i -й зоны ограждающей конструкции, (м² · °С)/Вт, принимается по требованиям к тепловой защите зданий [2, прил. Е].

Для неутепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с коэффициентом теплопроводности $\lambda \geq 1,167$ Вт/(м · °С), термическое сопротивление теплопередаче R_i , (м² · °С)/Вт, по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам, принимается равным:

$R_I = 2,1$ (м² · °С)/Вт – для I зоны;

$R_{II} = 4,3$ (м² · °С)/Вт – для II зоны;

$R_{III} = 8,6$ (м² · °С)/Вт – для III зоны;

$R_{IV} = 14,2$ (м² · °С)/Вт – для IV зоны (оставшейся площади пола).

Для утепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с коэффициентом теплопроводности $\lambda < 1,167$ Вт/(м · °С) утепляющего слоя толщиной δ , м, термическое сопротивление теплопередаче R_i , (м² · °С)/Вт, определяется по формуле

$$R_i = R_{i-зоны} + \sum \frac{\delta_{i-ут.сл.}}{\lambda_{i-ут.сл.}}, \quad (3.4)$$

где $R_{i-зоны}$ – термическое сопротивление, (м² · °С)/Вт неутепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с уче-

том зоны; $\sum \frac{\delta_{i-\text{уг.сл.}}}{\lambda_{i-\text{уг.сл.}}}$ – сумма термических сопротивлений утепляющих слоев, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

В связи с тем, что наружный угол всегда имеет температуру более низкую, чем температура «неугловых» стен (потери тепла здесь гораздо интенсивнее), при подсчете теплопотерь необходимо учитывать зону размерами 2×2 м, примыкающую к наружным углам подвала.

На рис. 1, а эти зоны заштрихованы. Из рисунка видно, что эти квадраты (угловые зоны) захватывают I-ю и II-ю зоны. Поэтому при подсчете потерь тепла по зонам площади этих участков учитываются два раза.

Теплопотери полов, лежащих на грунте, будут складываться из следующих составляющих:

- теплопотери утепленных стен, лежащих ниже уровня земли и относящихся к первой зоне, $Q_1^{\text{стен}}$;
- теплопотери полов на грунте, относящихся к первой зоне, $Q_1^{\text{пол}}$;
- теплопотери полов на грунте, относящихся ко второй зоне, Q_{II} .

Преобразовав с учетом введенных обозначений формулу (3.1), получим

$$Q = Q_1^{\text{стен}} + Q_1^{\text{пол}} + Q_{II}. \quad (3.5)$$

Задание: для выбранного города (см. практическое занятие 1) и заданной планировки жилого дома рассчитать теплопотери через полы:

- лестничной клетки;
- части подвала, где расположены отапливаемые помещения.

Принять высоту подвала равной 2,4 м, температуру отапливаемых помещений равной 18 °С.

Порядок выполнения:

1. Используя данные практического задания 2, определить уровень земли у входа в лестничную клетку.
2. Вычертить заданную часть здания в масштабе 1 : 100. Провести разбивку на зоны, в лестничной клетке начиная от внутренней поверхности наружной стены, в отапливаемой части подвала – от уровня земли.

3. Определить площади каждой из зон.
4. По формуле (3.4) определить сопротивления теплопередачи каждой из зон, приняв состав верхних слоев пола в отапливаемой части пола подвала из практического задания 2.
5. Используя формулы (3.1), (3.2) и (3.5), определить величину потерь тепла через полы лестничной клетки и полы отапливаемой части подвала.

Вопросы для самоконтроля

1. Как происходит разбивка на зоны поверхности полов, лежащих на грунте?
2. Какие слои в конструкции полов, лежащих на грунте, считаются утепляющими?
3. Почему площадь наружного угла в определении площади первой зоны учитывается два раза?

Практическое занятие 4

Оценка конструкции с точки зрения теплозащиты

Цель занятия: научиться анализировать теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций.

Оценивая конструкцию с точки зрения теплозащиты, необходимо учитывать не только теплофизические свойства отдельных слоев, но и их взаимное расположение. Чем резче падение температуры в отдельных слоях, тем большую роль они играют в общей теплоизолирующей способности. Пологая часть графика распределения температур в конструкции показывает, что слой не будет подвергаться воздействию больших колебаний температур, не будут возникать трещины от температурных деформаций. Для численного анализа теплозащитных свойств введено два аналогичных друг другу показателя – массивности (тепловой инерции) и теплонакопительной способности конструкции. Массивность является мерой интенсивности затухания температурных колебаний в толще конструкции:

$$D = \sum R_i S_i, \quad (4.1)$$

где R_i – термическое сопротивление слоя конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$; S_i – коэффициент теплоусвоения слоя материала, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$.

Теплонакопительная способность конструкции играет большую роль как для зимней, так и для летней теплозащиты. Следствием этого является комфорт жилища в течение всего года. Удобнее всего оценивать конструкцию по графику распределения температур в толще ограждения.

Значения температуры в любом сечении конструкции следует определять по формуле

$$\tau_x = t_{\text{в}} - [(t_{\text{в}} - t_{\text{расч}})/R_0^{\phi}] \cdot (R_{\text{в}} + \sum R_x), \quad (4.2)$$

где $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха; $t_{\text{расч}}$ – расчетная температура наружного воздуха, °C ; R_0^{ϕ} – фактическое сопротивление теплопередаче наружной ограждающей конструкции; $R_{\text{в}}$ – сопротивление теплопередаче внутренней поверхности ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$; $\sum R_x$ – сумма термических сопротивлений слоев конструкции, расположенных между внутренней поверхностью и рассматриваемой плоскостью сечения, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$.

Задание: оценить теплозащитные свойства предложенной конструкции согласно варианту задания. Приведенное сопротивление теплопередаче конструкции принять согласно расчету в практическом задании 2.

Порядок выполнения:

1. Выбрать расчетные температуры наружного воздуха для заданного района строительства: температуру наиболее холодной пятидневки с коэффициентом обеспеченности 0,92, среднюю температуру за отопительный период (см. практическое занятие 1), а также температуру наиболее холодного месяца [1, табл. 1, 3].

2. Построить график распределения температур в толще стены (перекрытия), используя формулу (4.2).

3. Проанализировать график и сделать вывод о теплозащитных свойствах конструкции и целесообразности такого порядка расположения слоев.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое тепловая инерция ограждения? Назовите единицы измерения, определите физический смысл.
2. Сформулируйте понятие теплонакопительной способности ограждения.
3. В каких случаях целесообразно изменить положение слоев в конструкции?

Практическое занятие 5

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

Цель занятия: освоить методику поверочного расчета наружной ограждающей конструкции на вероятность выпадения конденсата.

Исключение конденсации водяных паров на внутренней поверхности ограждения не может гарантировать отсутствия конденсации влаги в толще ограждения.

В климатических условиях России наиболее актуальна задача движения водяного пара в зимний период. Из экспериментальных исследований известно, что потенциалом переноса пара — его движущей силой — служит парциальное давление водяных паров в воздухе e , Па. Внутри строительных материалов ограждения влажный воздух находится в порах материала. Пар перемещается от большего парциального давления к меньшему.

В холодный период года в помещении температура воздуха значительно выше, чем на улице. Более высокой температуре соответствует более высокое давление насыщения водяным паром. Несмотря на то, что относительная влажность внутреннего воздуха меньше относительной влажности наружного, парциальное давление водяных паров во внутреннем воздухе $e_{в}$ значительно превышает парциальное давление водяных паров в наружном воздухе $e_{н}$. Поэтому поток пара направлен из помещения наружу. Водяной пар, диффундируя через ограждение, может встретить слои, поверхность которых имеет температуру росы. В результате возникает зона конденсации в толще ограждения, что крайне нежелательно. В связи с этим необходимо осуществлять поверочные расчеты на возможность конденсации в толще принятых наружных ограждений.

Процесс проникновения пара через ограждение относится к процессам диффузии. А процесс диффузии водяного пара через ограждения носит название паропроницаемости.

Паропроницаемость μ зависит от физических свойств материала и отражает его способность пропускать через себя диффундирующий водяной пар. Расчетные значения μ приведены в справочных таблицах [2, прил. Т]. Паропроницаемость для теплоизоляционных материалов, как правило, рыхлых и с открытыми порами, имеет большие значения. Материалам большей плотности соответствует

меньшее значение коэффициента паропроницаемости. Например, тяжелый бетон на плотных заполнителях имеет $\mu = 0,03$ мг/(ч·м·Па). Материалы с минимальной паропроницаемостью используются в качестве пароизоляционных слоев.

Из физики известно, что имеется полная аналогия между процессами паропроницания и теплопроводности. Более того, соблюдается аналогия в процессах теплоотдачи и влагоотдачи на поверхностях ограждения. Поэтому можно рассматривать аналогию между сложными процессами теплопередачи и влагопередачи через ограждение.

Суть данного метода состоит в графическом определении вероятности выпадения конденсата в толще ограждающей конструкции.

Используя термодинамическую аналогию, находят действительные значения упругости водяных паров e_i , Па:

$$e_i = e_b - \frac{e_b - e_n}{R_{n,o}} \cdot (R_{пв} + R_{п1} + \dots + R_{пn}), \quad (5.1)$$

где e_b — действительное значение парциального давления водяных паров внутреннего воздуха, Па; e_n — действительное значение парциального давления водяных паров наружного воздуха, Па; $R_{n,o}$ — общее сопротивление паропроницаемости ограждающей конструкции, (м² · ч · Па)/мг; $R_{пв} = 0,13$ (м² · ч · Па)/мг — сопротивление паропроницанию внутренней поверхности ограждающей конструкции; $R_{п1}$, $R_{пn}$ — сопротивление паропроницанию 1-го, n -го слоев ограждающей конструкции.

Общее сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции $R_{n,o}$, (м² · ч · Па)/мг, находят по формуле

$$R_{n,o} = R_{пв} + \sum R_{pi} + R_{пн}, \quad (5.2)$$

где R_{ni} — сопротивление паропроницанию i -го слоя ограждающей конструкции, (м² · ч · Па)/мг; $R_{пн} = 0,026$ (м² · ч · Па)/мг — сопротивление паропроницанию наружной поверхности.

Сопротивление паропроницанию i -го слоя ограждающей конструкции R_{ni} , (м² · ч · Па)/мг, определяют по формуле

$$R_{ni} = \frac{\delta_i}{\mu_i}, \quad (5.3)$$

где δ_i — толщина i -го слоя ограждающей конструкции, м; μ_i — расчетный коэффициент паропроницаемости материала i -го слоя ограждающей конструкции, мг/(м · ч · Па), определяется по СП.

Значения парциального давления водяных паров внутреннего воздуха, e_v , Па, и парциального давления водяных паров наружного воздуха e_n , Па, определяются по формулам:

$$e_v = \frac{\varphi_v}{100} \cdot E_{iv}; \quad (5.4)$$

$$e_n = \frac{\varphi_n}{100} \cdot E_{in}, \quad (5.5)$$

где φ_v – относительная влажность внутреннего воздуха, %; φ_n – относительная влажность наружного воздуха, %; E_{iv} , E_{in} – парциальное давление насыщенного водяного пара, Па, при расчетной температуре внутреннего воздуха t_v , °С, и расчетной температуре наружного воздуха t_n , °С.

По взаимному расположению графиков проводится анализ влажностного режима конструкции.

Задание: используя результаты расчета практических занятий 1, 2, оценить вероятность выпадения конденсата в толще наружной стены для выбранного варианта.

Порядок выполнения:

1. Использовать график распределения температур из предыдущего задания. Утеплитель разбить на несколько частей (больше четырех) и найти температуру на наружной поверхности каждого нового слоя (использовать график для температуры января).

2. По полученным температурам на границах слоев найти значения максимально возможного парциального давления водяных паров E , Па (прил. Д).

3. Характер изменения E_i показать на схеме конструкции кривой.

4. Используя формулы (5.1–5.5), определить парциальное давление водяного пара на границе слоев конструкции.

5. Изменение парциального давления водяного пара e_i , Па, показать на схеме конструкции ломаной линией. Графики E_i и e_i построить в одном масштабе.

6. По взаимному расположению кривых анализировать вероятность выпадения конденсата в толще ограждения.

Все расчеты свести в табл. 4.

Таблица 4

Построение диаграммы Фокина для наружной стены

	t_v	τ_v	τ_1	τ_2	τ_{21}	τ_{22}	τ_{23}	τ_{24}	τ_{25}	τ_{26}	τ_{27}	τ_3	τ_4	τ_5
$\tau, ^\circ\text{C}$														
$E, \text{Па}$														
$e, \text{Па}$														

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите причины выпадения влаги на поверхности или в толще ограждения.
2. Каковы отрицательные последствия выпадения влаги на поверхности или в толще ограждения?
3. Что такое парциальное давление водяных паров во влажном воздухе?
4. Какая температура носит название точки росы?
5. Каковы условия отсутствия конденсата в какой-либо точке сечения ограждающей конструкции?
6. Что такое паропроницаемость?
7. Что такое общее сопротивление паропроницанию ограждающей конструкции?
8. Напишите формулу общего сопротивления паропроницанию ограждения.
9. Как определить парциальное давление водяных паров в воздухе при известных его температуре t_v и относительной влажности φ_v ?

Практическое занятие 6

Определение затрат тепла на нагревание инфильтрирующегося воздуха

Цель занятия: научиться определять потери теплоты на нагрев инфильтрирующегося наружного воздуха.

В жилых и общественных зданиях инфильтрация происходит, главным образом, через окна, балконные двери, световые фонари, наружные и внутренние двери, ворота, открытые проемы, щели, стыки стеновых панелей. Инфильтрацию воздуха через оштукатуренные кирпичные и крупнопанельные стены практически можно не учитывать из-за их высокого сопротивления воздухопроницанию.

Добавочные потери теплоты на нагревание инфильтрирующегося наружного воздуха и внутренних поверхностей ограждений необходимо определять для двух случаев: при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемой притоком подогретого воздуха, и при действии теплового и ветрового давления.

Потери тепла на нагревание инфильтрирующегося воздуха в жилых помещениях при естественной вытяжной вентиляции определяются по формуле

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 \cdot L \cdot c \cdot \rho \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \bar{k}, \text{ Вт}, \quad (6.1)$$

где L – расход удаляемого воздуха, м³/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, принимается равным 3 м³/ч на 1 м² жилых комнат (без учета коридоров); для кухонь и санузлов – исходя из величины воздухообмена по санитарным нормам. За расчетную величину принимается большая из них; c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/кг·°С; ρ – плотность воздуха в помещении, кг/м³; $t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ – то же, что и в формуле (2.2); \bar{k} – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в светопрозрачных конструкциях, принимаемый согласно СП [2]: 0,7 – для стыков панелей стен и окон с тройными отдельными переплетами; 0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными двойными переплетами; 0,9 – то же со спаренными переплетами; 1,0 – то же с одинарными переплетами.

Задание: определить дополнительные теплотери на нагревание инфильтрирующегося наружного воздуха в квартирах предложенной планировки для заданного района строительства, используя данные практического занятия 1.

Порядок выполнения:

1. На плане здания выделить рассматриваемую квартиру.
2. Определить расчетный воздухообмен в комнатах.
3. По формуле (6.1) вычислить расход теплоты для нагревания инфильтрирующегося воздуха при естественной вентиляции, не компенсируемый притоком подогретого воздуха в квартире.
4. Пропорционально полезным площадям комнат определить расход теплоты на инфильтрацию в каждой комнате квартиры.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое воздухопроницание?
2. Что такое инфильтрация?
3. От чего зависит значение коэффициента влияния встречного теплового потока?
4. Как определяется расход теплоты для нагревания инфильтрирующегося воздуха при естественной вентиляции?

Практическое занятие 7

Расчет естественного циркуляционного давления

Цель занятия: освоить методику расчета естественного циркуляционного давления в различных системах отопления.

Расчетное циркуляционное давление представляет собой располагаемую разность давления (насосного и естественного), которая в расчетных условиях предназначается для преодоления сопротивления движению воды в системе отопления. Разность давления, создаваемая насосом (насосное циркуляционное давление), постоянна в определенной рабочей точке его характеристики. Естественная разность давления (естественное циркуляционное давление) подвержена непрерывному изменению из-за возрастания или убывания различия в плотности воды в разных частях системы в процессе ее эксплуатации.

Изменение естественного циркуляционного давления вызывает отклонение от расчетного гидравлического режима системы, что отражается на количестве протекающей воды и, в итоге, на теплопередаче приборов. По характеру воздействия естественного циркуляционного давления на расход воды в стояках все насосные системы отопления многоэтажных зданий разделяются на две группы. К первой группе относятся вертикальные однотрубные и бифилярные. Ко второй – вертикальные двухтрубные и горизонтальные однотрубные и бифилярные. Расчетный гидравлический режим в этих группах систем приурочивают к различным периодам отопительного сезона. Для вертикальных однотрубных и бифилярных насосных систем, а также для любого вида систем отопления с естественной циркуляцией воды этот период должен соответствовать температуре наружного воздуха, расчетной для отопления зданий в данной местности. При этой температуре естественное циркуляционное давление достигает своего максимального значения. Для двухтрубных и горизонтальных однотрубных и бифилярных насосных систем отопления расчетный гидравлический режим относят к периоду наиболее длительного стояния одной и той же температуры наружного воздуха. При такой температуре наружного воздуха в системе отопления возникает естественное циркуляционное давление, составляющее около 40 % максимального значения.

Для однотрубной системы с нижней разводкой в системах с П-образными стояками естественное циркуляционное давление в любом стояке находят как разность гидростатического давления в нисходящей и восходящей частях стояка.

Для однотрубной системы отопления с верхней разводкой

$$\Delta P_E = \frac{3,6g\beta\beta_1\beta_2}{cG_{ct}} \sum_1^n (Q_i h_i), \text{ Па}, \quad (7.1)$$

для двухтрубной и горизонтальной систем отопления

$$\Delta P_E = \beta \cdot g \cdot (h_1 + h_2 + \dots + h_i) \cdot (t_T - t_O), \text{ Па}, \quad (7.2)$$

где β – среднее приращение плотности (объемной массы) при понижении температуры воды на 1 °С (при разности $t_T - t_O = 95^\circ - 70^\circ \text{C}$ $\beta = 0,64$; при $t_T - t_O = 105^\circ - 70^\circ \text{C}$ $\beta = 0,66$); $Q_i h_i$ – произведение тепловой нагрузки прибора на вертикальное расстояние от его условного центра охлаждения до центра нагревания воды в системе отопления (до центра элеватора в тепловом пункте); β_1 – коэффициент учета дополнительного теплового потока при округлении сверх расчетной величины (прил. Е, табл. 1); β_2 – коэффициент учета дополнительных потерь теплоты отопительными приборами у наружных ограждений (прил. Е, табл. 2); c – удельная массовая теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/кг °С; G_{ct} – расход воды в стояке.

Задание: рассчитать естественный циркуляционный перепад давления, возникающий вследствие охлаждения воды в приборах стояка предложенной конструкции четырехэтажного жилого дома, если задана тепловая нагрузка приборов. Высота этажа – 2,8 м. Нагревательный прибор – чугунный радиатор М140-АО.

Порядок выполнения:

1. Вычертить расчетную схему стояка.
2. Определить расстояние по вертикали от условного центра нагрева в тепловом пункте до условного центра охлаждения воды в приборе.
3. Определить расчетный расход в стояке.
4. Определить температуру на входе в стояк, учитывая падение температуры по длине магистрали от теплового пункта.
5. По формуле (7.1) определить величину естественного циркуляционного давления в стояке.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте понятие расчетного циркуляционного давления в водяной системе отопления.
2. На какие две группы подразделяются все насосные системы по характеру воздействия естественного циркуляционного давления на расход воды в стояках?
3. Как определяется величина естественного циркуляционного давления для однотрубной системы отопления?
4. Как определяется величина естественного циркуляционного давления для двухтрубной системы отопления?

Практическое занятие 8

Тепловой расчет отопительных приборов системы водяного отопления

Цель занятия: овладеть методикой теплового расчета отопительных приборов.

Отопительные приборы — один из основных элементов системы отопления, предназначенных для передачи тепла от теплоносителя в обогреваемое помещение.

В настоящее время на рынке имеется большой ассортимент отопительных приборов. При их выборе главными критериями являются теплотехнические и санитарно-гигиенические характеристики, а также их механическая прочность. Выбор типа отопительного прибора производится с учетом назначения здания, архитектурно-технологической планировки и особенностей теплового режима помещений, продолжительности пребывания людей в помещении и вида системы отопления.

Отопительные приборы следует рассчитывать на максимально допустимые по санитарно-гигиеническим и противопожарным требованиям параметры теплоносителя.

Отопительные приборы следует размещать преимущественно под окнами и у наружных стен. Поток теплого воздуха от прибора, расположенного под окном, препятствует образованию ниспадающего потока холодного воздуха и его движению у пола помещения.

При расчете площади нагревательной поверхности приборов необходимо учитывать теплоотдачу труб, открыто проложенных в помещении (стояков и подводок к приборам). Поэтому теплоотдача прибора равна расчетным теплотерям помещения за вычетом теплоотдачи труб ($Q_{\text{ТР}}$):

$$Q_{\text{ИП}} = Q_{\text{РАС}} - \beta_{\text{ТР}} \cdot Q_{\text{ТР}}, \text{ Вт}, \quad (8.1)$$

где $\beta_{\text{ТР}}$ — поправочный коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи труб в помещении при открытой прокладке, $\beta_{\text{ТР}} = 0,9$.

Теплоотдачу труб $Q_{\text{ТР}}$ следует определить по формуле

$$Q_{\text{ТР}} = q_{\text{В}} \cdot l_{\text{В}} - q_{\text{Г}} \cdot l_{\text{Г}}, \text{ Вт}, \quad (8.2)$$

где $q_{\text{В}}$, $q_{\text{Г}}$ — теплоотдача 1 м трубы вертикальной и горизонтальной, Вт/м (прил. Ж); $l_{\text{В}}$, $l_{\text{Г}}$ — длина вертикальной и горизонтальной трубы, м.

Расчетная площадь нагревательной поверхности приборов определяется по формуле

$$F_p = \frac{Q_{\text{ПР}}}{q_{\text{ПР}}}, \text{ м}^2, \quad (8.3)$$

где $q_{\text{ПР}}$ – расчетная плотность теплового потока, Вт/м²:

$$q_{\text{ПР}} = q_{\text{НОМ}} \cdot \left(\frac{\Delta t_{\text{СР}}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{\text{ПР}}}{360} \right)^p \cdot c_{\text{ПР}}, \text{ Вт/м}^2, \quad (8.4)$$

где $q_{\text{НОМ}}$ – номинальная плотность теплового потока при стандартных условиях работы, Вт/м²; n , p , $c_{\text{ПР}}$ – коэффициенты (прил. Е, табл. 3); $\Delta t_{\text{СР}}$ – средний температурный перепад между средней температурой теплоносителя в приборе и температурой окружающего воздуха $t_{\text{в}}$, °С:

$$\Delta t_{\text{СР}} = \frac{t_{\text{ВХ}} + t_{\text{ВЫХ}}}{2} - t_{\text{в}}, \quad (8.5)$$

где $t_{\text{ВХ}}$ и $t_{\text{ВЫХ}}$ – температура воды, входящей и выходящей из прибора, °С; $G_{\text{ПР}}$ – расход воды в приборе, кг/ч;

$$G_{\text{ПР}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{ПР}}}{c \cdot (t_{\text{Г}} - t_{\text{О}})} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2. \quad (8.6)$$

Далее находят число секций чугунного радиатора:

$$N = \frac{F_{\text{ПР}}}{f_c} \cdot \frac{\beta_4}{\beta_3}, \text{ шт.}, \quad (8.7)$$

где f_c – площадь одной секции, принимаемая по паспорту прибора, м²; β_4 – коэффициент, учитывающий способ установки; β_3 – коэффициент, учитывающий число секций в приборе для радиатора М-140:

$$\beta_3 = 0,97 + \frac{0,16}{F_{\text{ПР}}}. \quad (8.8)$$

Для типов радиаторов с площадью одной секции 0,25 м² коэффициент β_3 определяют по формуле

$$\beta_3 = 0,92 + \frac{0,16}{F_{\text{ПР}}}. \quad (8.9)$$

Полученное по формуле дробное значение N округляют.

Задание: провести тепловой расчет отопительных приборов однотрубной системы отопления с верхней разводкой, используя результаты расчета практического задания № 7.

Порядок выполнения:

1. Вычертить расчетную схему стояка.
2. Рассчитать расход воды в стояке по формуле (8.6).
3. Определить температуру на входе и выходе из каждого прибора и средний температурный перепад по формуле (8.5).
4. Определить теплоотдачу вертикальных и горизонтальных участков стояка в каждом помещении, используя зависимость (8.2).
5. По формуле (8.4) определить величину расчетной плотности теплового потока.
4. Определить расчетную площадь отопительного прибора и количество секций радиатора, используя зависимости (8.3), (8.6–8.9).

Вопросы для самоконтроля

1. Как выбирается тип отопительного прибора?
2. Что такое номинальная плотность теплового потока?
3. Как определяется расчетная площадь отопительного прибора?

Практическое занятие 9

Определение годового потребления газа районной котельной

Цель занятия: ознакомиться с методикой расчета газопотребления поселения.

В основе проекта газоснабжения лежит расчет годового потребления газа поселением, т. е. городом, районом города, микрорайоном, сельским поселением. В результате расчета определяется количество газа, потребное для поселения в течение года. Для простоты и удобства расчета все потребители газа разделяются на 4 группы (категории).

Первая группа – население (потребление газа в жилых домах).

Вторая группа:

- предприятия бытового обслуживания населения (прачечные и бани);
- предприятия общественного питания (столовые, рестораны, кафе);
- учреждения здравоохранения (больницы, родильные дома);
- предприятия по производству хлеба и кондитерских изделий.

Третья группа – предприятия (котельные, ТЭЦ), потребляющие газ на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение жилых и общественных зданий.

Четвертая группа – промышленные предприятия.

Расчет расхода газа на первые три группы представляет собой сложную задачу, так как расход газа этими потребителями зависит от многих факторов: газового оборудования, благоустройства и заселенности квартир, климатических условий и т. п. Большинство этих факторов не поддается точному учету, поэтому потребление газа рассчитывают по нормам расхода теплоты, которые разрабатываются на основе многолетнего опыта газоснабжения. Нормы расхода теплоты на коммунально-бытовые нужды приведены в СП 42-101–2003, прил. А.

Расход газа на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, м³/ч, определяется по формуле

$$Q_{\text{ТЭЦ}} = \frac{(Q'_{o\text{max}} + Q'_{\gamma\text{max}} + Q'_{h\text{max}}) \cdot 3600}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta}, \quad (9.1)$$

где $Q'_{o\max}$, $Q'_{\gamma\max}$, $Q'_{h\max}$ – соответственно максимальные тепловые потоки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, МВт; $Q_{\text{н}}^{\text{п}}$ – низшая теплота сгорания газа, МДж/м³; η – КПД котельной или ТЭЦ ($\eta = 0,8\dots 0,9$).

Максимальный тепловой поток, Вт, на отопление жилых и общественных зданий:

$$Q'_{o\max} = q_0 \cdot A \cdot (1 + K_1), \quad (9.2)$$

где q_0 – укрупненный показатель максимального теплового потока, Вт/м², определяется в зависимости от этажности зданий и расчетной температуры наружного воздуха в районе проектирования; A – общая жилая площадь, м²; K_1 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на отопление общественных зданий.

Максимальный тепловой поток, Вт, на вентиляцию общественных зданий:

$$Q'_{\gamma\max} = q_0 \cdot A \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (9.3)$$

где K_2 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий.

Максимальный тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение жилых зданий:

$$Q'_{h\max} = 2,4 \cdot Q'_h, \quad (9.4)$$

где Q'_h – средний тепловой поток, Вт, на горячее водоснабжение за отопительный период.

$$Q'_h = q_h \cdot N, \quad (9.5)$$

где q_h – укрупненный показатель теплового потока на горячее водоснабжение.

Задание: определить годовое потребление газа котельной для предложенного района города. Основное топливо котельной – природный газ заданного состава.

Порядок выполнения:

1. Расчет основных характеристик газа.

Состав природного газа берется по прил. И согласно номеру задания. Характеристики газовой смеси – низшая теплота сгорания, плотность и относительная плотность – вычисляются соответственно по следующим формулам:

$$Q_H^C = 0,01 \sum Q_{Hi}^C \cdot \Pi_i, \quad (9.6)$$

$$\rho^C = 0,01 \sum \rho_i \cdot \Pi_i, \quad (9.7)$$

$$s = \rho^C / 1,29, \quad (9.8)$$

где Π_i – процентное содержание i -го компонента в смеси.

Результаты расчетов представить в виде табл. 5.

Таблица 5

Состав газа и его основные характеристики

Компонент газовой смеси	Химическое обозначение	Содержание в смеси, %	Низшая теплота сгорания, МДж/м ³	Плотность, кг/м ³	Относительная плотность
Метан	CH ₄		35,84	0,73	–
Этан	C ₂ H ₆		63,73	1,36	–
Пропан	C ₃ H ₈		93,37	2,02	–
Бутан	C ₄ H ₁₀		123,77	2,70	–
Пентан	C ₅ H ₁₂		146,34	3,22	–
Азот	N ₂		–	1,25	–
Диоксид углерода	CO ₂		–	1,98	–
Смесь газа	–	100			

2. Расчет годового расхода газа на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий мелкими отопительными установками.

Вначале необходимо рассчитать годовой расход теплоты (кДж) на отопление и вентиляцию жилых и общественных зданий в целом для района города по формуле [4, с. 48]:

$$G_y^{O,B} = \left[24 \cdot (1 + K) \cdot \frac{t_{вн} - t_{ср.о}}{t_{вн} - t_{р.о}} + z \cdot K \cdot K_1 \cdot \frac{t_{вн} - t_{ср.о}}{t_{вн} - t_{р.в}} \right] \cdot \frac{q \cdot F \cdot n_0}{\eta_0}, \quad (9.9)$$

где $t_{вн}$ – температура внутреннего воздуха в зданиях, 18–20 °С; $t_{ср.о}$ – температура наружного воздуха заданного города, средняя за отопительный период, °С; $t_{р.о}$ – температура наружного воздуха заданного города, принятая для расчета систем отопления, °С; $t_{р.в}$ – температура наружного воздуха заданного города, принятая для расчета систем вентиляции (параметры А), °С; K – коэффици-

ент, учитывающий расход теплоты на отопление общественных зданий, 0,25; K_1 – коэффициент, учитывающий расход теплоты на вентиляцию общественных зданий, 0,4; z – среднее число часов работы системы вентиляции общественных зданий в течение суток, 16; F – жилая площадь отапливаемых зданий, м² (норма жилой площади на человека составляет 9÷16 м²); n_0 – продолжительность отопительного периода заданного города в сутках; η_0 – КПД отопительной системы, 0,7...0,75; q – укрупненный показатель максимального часового расхода теплоты на отопление жилых зданий, кДж/(ч · м²) [4, с. 48].

Затем с учетом степени использования газа (см. задание) определить годовой расход теплоты и газа на отопление и вентиляцию мелкими отопительными установками. Остальная тепловая нагрузка переносится на районную котельную (пункт 4).

3. Расчет годового расхода газа на централизованное горячее водоснабжение от котельной.

Расчет производится по формуле [1, с. 48]:

$$Q_y^{Г.В} = 24 \cdot q_{Г.В} \cdot N \cdot \left[n_0 + (350 - n_0) \cdot \frac{60 - t_{ХЛ}}{60 - t_{ХЗ}} \cdot \beta \right] \frac{1}{\eta_{Г.В}}, \quad (9.10)$$

где $q_{Г.В}$ – укрупненный показатель среднечасового расхода теплоты на горячее водоснабжение, кДж/(ч · чел) – $q_{Г.В} = 1570$ [4, с. 48, табл. 5.3]; N – число жителей района, пользующихся горячим водоснабжением; $t_{ХЗ}$, $t_{ХЛ}$ – температуры водопроводной воды в отопительный и летний периоды, °С (при отсутствии данных соответственно принимают 5 и 15 °С); β – коэффициент, учитывающий снижение расхода горячей воды в летний период (при отсутствии данных принимают 0,8); $\eta_{Г.В}$ – КПД котельной, равный 0,8...0,85.

Полученную в результате расчета величину теплоты перевести в м³ газа.

4. Определение годового потребления газа районной котельной.

Тепловая нагрузка районной котельной складывается из нагрузки на отопление и вентиляцию (за вычетом нагрузки мелких отопительных установок (пункт 2) и нагрузки на централизованное горячее водоснабжение (пункт 3)).

Вопросы для самоконтроля

1. На какие группы (категории) разделяются потребители газа?
2. Как определяется расход газа населением?
3. Как определяется годовой расход газа второй группой потребителей?
4. Как определяется расход газа на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение ?

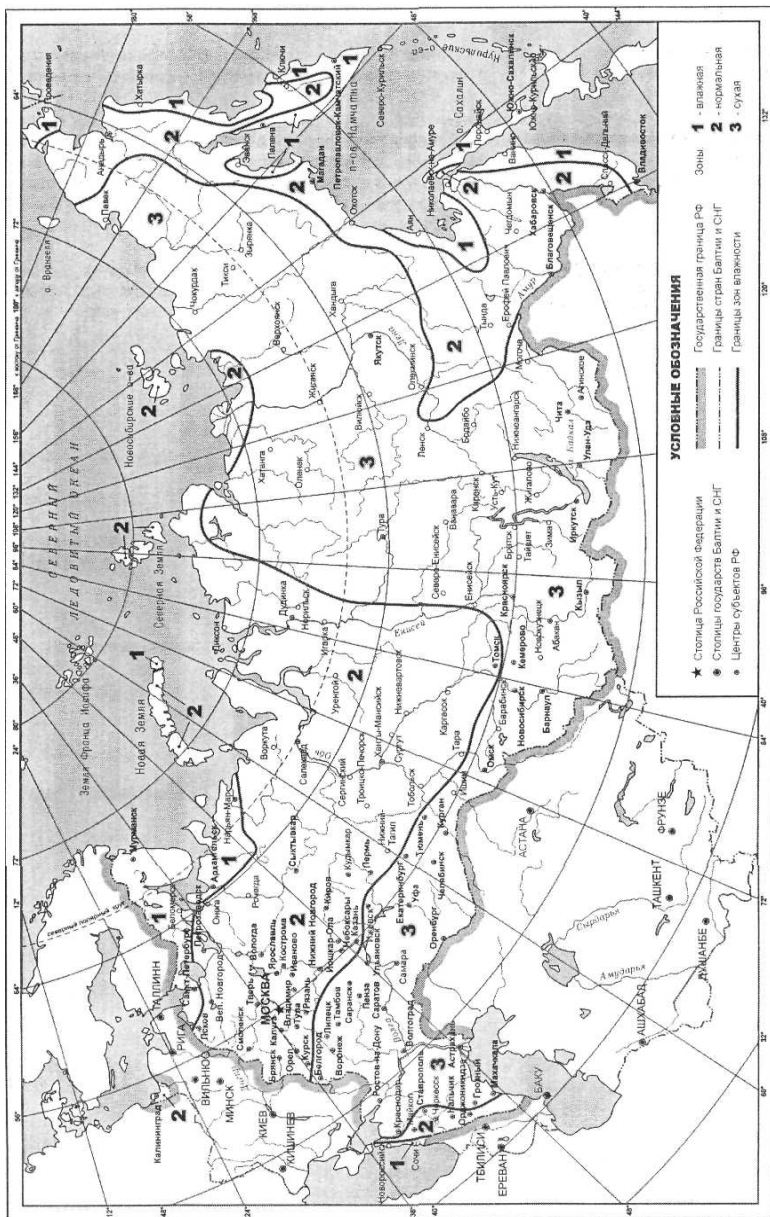
Библиографический список

1. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99* [Электронный ресурс]. – Введ. 2003–10–01 . – Режим доступа : http://www.norm-load.ru/SNiP/raznoe/aktualizir_sp/2/131.htm.
2. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 [Электронный ресурс].– Введ. 2013–07–01. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200095525>.
3. ГОСТ 30 494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [Электронный ресурс]. – Введ. 2013–01–01.– Режим доступа : <http://www.npmaar.ru/possnips/standpr/gost30494.html>.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий [Электронный ресурс]. – Введ. 2003–10–01.– Режим доступа : http://gostisnip.ru/dokumenty/snipy/snip_23-02-2003.
5. Ионин, А.А. Газоснабжение : учеб. для студ. вузов / А.А. Ионин. – М. : Стройиздат, 1989. – 439 с.
6. СП 42-101-2003. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. – М. : ПОЛИМЕРГАЗ, 2003. – 43 с.

Варианты района строительства

Номер задания	Район строительства объекта	Номер задания	Район строительства объекта
00	Архангельск	21	Мурманск
01	Астрахань	22	Магадан
02	Бугуруслан	23	Новосибирск
03	Брянск	24	Омск
04	Братск	25	Орел
05	Барнаул	26	Оренбург
06	Волгоград	27	Пермь
07	Воронеж	28	Петрозаводск
08	Нижний Новгород	29	Ростов
09	Владивосток	30	Саратов
10	Иркутск	31	Стерлитамак
11	Кемерово	32	Екатеринбург
12	Тверь	33	Смоленск
13	Казань	34	Тобольск
14	Кострома	35	Томск
15	Красноярск	36	Тамбов
16	Самара	37	Хабаровск
17	Киров	38	Челябинск
18	Курган	39	Уфа
19	Санкт-Петербург	40	Чита
20	Москва	41	Ярославль

Приложение Б



**Нормируемые сопротивления теплопередаче
ограждающих конструкций**

Здания и помещения, коэффициенты a и b	Градусо-сутки отопительного периода ГСОП	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче R_o^{TP} ограждающих конструкций, ($m^2 \cdot ^\circ C$)/Вт				
		стен	покрытий и перекрытий над проездами	перекрытий чердачных, над подпольями и подвалами	окон и балконных дверей, витрин и витражей	фонарей с вертикальным остеклением
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общественные	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
a	—	0,00035	0,0005	0,00045	—	0,000025
b	—	1,4	2,2	1,9	—	0,25
Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, производственные и другие здания и помещения с влажным и мокрым режимом	2000	1,8	2,4	2,0	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
a	—	0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
b	—	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25
Производственные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,4	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45
a	—	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025	0,000025
b	—	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Сопротивление теплопередаче центральной части остекления

Заполнение светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче R_0 в деревянных или ПВХ переплетах, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$)/Вт
Двойное остекление в спаренных переплетах	0,4
Двойное остекление в отдельных переплетах	0,44
194×194×98	0,31 (без переплета)
244×244×98	0,33 (без переплета)
Тройное остекление в раздельно-спаренных переплетах	0,55
<i>Однокамерный стеклопакет:</i>	
из обычного стекла	0,38
из стекла с твердым селективным покрытием	0,51
из стекла с мягким селективным покрытием	0,56
<i>Двухкамерный стеклопакет:</i>	
из обычного стекла (с межстекольным расстоянием 6 мм)	0,51
из обычного стекла (с межстекольным расстоянием 12 мм)	0,54
из стекла с твердым селективным покрытием	0,58
из стекла с мягким селективным покрытием	0,68
из стекла с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,65
<i>Обычное стекло и однокамерный стеклопакет в отдельных переплетах:</i>	
из обычного стекла	0,56
из стекла с твердым селективным покрытием	0,65
из стекла с мягким селективным покрытием	0,72
из стекла с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,69
<i>Обычное стекло и двухкамерный стеклопакет в отдельных переплетах:</i>	
из обычного стекла	0,68
из стекла с твердым селективным покрытием	0,74
из стекла с мягким селективным покрытием	0,81
из стекла с твердым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,82
Два однокамерных стеклопакета в спаренных переплетах	0,7
Два однокамерных стеклопакета в отдельных переплетах	0,74
Четырехслойное остекление в двух спаренных переплетах	0,8

Парциальное давление водяного пара при полном насыщении воздуха

$t, ^\circ\text{C}$	Парциальное давление E , мм рт. ст.	$t, ^\circ\text{C}$	Парциальное давление E , мм рт. ст.	$t, ^\circ\text{C}$	Парциальное давление E , мм рт. ст.
-40	0,093	-10	2,140	20	17,53
-39	0,105	-9	2,267	21	18,48
-38	0,119	-8	2,455	22	19,83
-37	0,134	-7	2,658	23	21,07
-36	0,150	-6	2,876	24	22,38
-35	0,167	-5	3,160	25	23,76
-34	0,185	-4	3,368	26	25,21
-33	0,205	-3	3,644	27	26,74
-32	0,227	-2	3,941	28	28,35
-31	0,252	-1	4,263	29	30,04
-30	0,288	0	4,58	30	31,82
-29	0,313	1	4,94	31	33,70
-28	0,347	2	5,302	32	35,66
-27	0,384	3	5,687	33	37,73
-26	0,406	4	6,097	34	38,90
-25	0,450	5	6,534	35	42,18
-24	0,488	6	6,998	36	44,56
-23	0,535	7	7,492	37	47,07
-22	0,608	8	8,017	38	49,69
-21	0,680	9	8,574	39	52,44
-20	0,927	10	9,210	40	55,32
-19	1,015	11	9,840	41	58,34
-18	1,116	12	10,520	42	61,50
-17	1,207	13	11,222	43	64,80
-16	1,308	14	11,988	44	68,26
-15	1,400	15	12,79	45	71,88
-14	1,549	16	13,63	46	75,65
-13	1,680	17	14,53	47	79,60
-12	1,831	18	15,48	48	83,70
-11	1,985	19	16,48	49	88,02

Примечание. Переводные коэффициенты из системы МКГС в СИ и обратно: 1 Па = 0,0075 мм рт. ст.; 1 мм рт. ст. = 133,3 Па.

Таблица Е1

Значение коэффициента β_1

Шаг номенклатурного ряда отопительных приборов, Вт (ккал/ч)	А
120 (130)	1,02
150 (129)	1,03
180 (155)	1,04
210 (181)	1,06
240 (206)	1,08
300 (258)	1,13

Примечание: для отопительных приборов помещения с номинальным тепловым потоком более 2,3 кВт (1978 ккал/ч) вместо коэффициента β_1 следует принимать коэффициент β'_1 , равный $\beta'_1 = 0,5(1 + \beta_1)$.

Таблица Е2

Значение коэффициента β_2

Отопительный прибор	Значение β	
	у наружной стены, в том числе под световым проемом	у остекления светового проема
Радиатор:		
чугунный секционный	1,02	1,07
стальной панельный	1,04	1,1
Конвектор:		
с кожухом	1,02	1,05
без кожуха	1,03	1,07

Таблица ЕЗ

Значение показателей n , p , c , b для определения теплового потока отопительных приборов

Тип отопительного прибора	Направление движения теплоносителя	Расход теплоносителя, G , кг/ч	Безразмерные коэффициенты					
			n	p	c	b при $P_{бар}$, мм рт. ст.		
						780	760	740
Радиатор чугунный секционный и стальной панельный типа РСВ	Сверху – вниз	18–50 54–536 536–900	0,3	0,020 0,01	1,039 1,0 0,996	0,01	1	0,994
	Снизу – вниз	18–115 119–900	0,15	0,080	1,092 1,0	1,01	1	0,994
	Снизу – вверх	18–61 65–900	0,25	0,12 0,04	1,113 0,97	1,01	1	0,994
Радиатор стальной панельный типа РСГ-2 однорядный	Сверху – вниз	22–288 324–900	0,3	0,02 5 0	1	1,01	1	0,994
	Снизу – вверх	22–288 324–900	0,25	0,080	1	1,01	1	0,994
Тоже двухрядный	Сверху – вниз	22–288 324–900	0,3	0,010	1	1,01	1	0,994
	Снизу – вверх	22–288 324–900	0,25	0,080	1	1,01	1	0,994
Конвектор настенный с кожухом «Комфорт-20» и типа «Ритм»	–	16–86 90–900	0,35	0,18 0,07	1	1,01	1	0,994
Конвектор настенный с кожухом типа «Универсал», «Скока»	любое	36–900	0,25	0,07	1	1,01	1	0,994
Труба ребристая чугунная	–	36–900	0,25	0,07	1	1,01	1	0,994
Труба стальная $D_p = 40 - 100$ мм (регистр)	любое	30–900	0,32	0	1	1,01	1	0,994
Конвектор настенный без кожуха типа «Аккорд» однорядный и двухрядный	любое	36–900	0,2	0,03	1	1,01	1	0,994

**Теплоотдача 1 м неизолированных труб, Вт,
при разности температур теплоносителя и окружающего воздуха
от 30 до 150 °С**

Раз- ность темпе- ратур	Трубы стальные водогазопрово- дные по ГОСТ 3262-85						По ГОСТ 8732-70					
	15	20	25	32	40	50	70	50	70	80	100	125
	Горизонтальные трубы											
30	29	35	41	52	58	70	87	66	87	102	116	139
40	40	52	58	71	81	97	120	93	120	133	157	193
50	46	64	79	93	105	126	155	122	155	176	207	250
60	65	81	110	129	146	174	217	170	218	222	250	319
70	79	99	122	142	163	193	242	189	267	272	319	387
80	94	117	146	172	194	233	291	228	292	331	386	464
90	112	137	171	201	227	272	342	266	343	386	455	545
100	128	157	197	233	252	314	395	308	420	449	525	639
110	145	178	218	265	300	360	448	354	448	509	598	721
120	163	198	248	302	341	410	506	402	507	573	674	813
130	192	221	274	338	382	460	570	460	573	639	757	920
140	203	246	306	375	424	510	634	499	637	711	847	1030
150	233	271	338	418	465	565	698	553	700	790	946	1133
	Вертикальные трубы											
30	17	21	33	40	49	61	77	57	77	88	108	134
40	23	33	44	56 ¹	64	81	107	78	107	122	148	182
50	35	47	61	78	88	108	142	104	142	162	195	247
60	49	62	79	99	110	139	180	134	180	209	250	299
70	58	77	100	121	139	174	219	169	221	255	306	375
80	76	93	116	145	168	209	260	203	261	308	373	458
90	87	110	141	174	197	246	310	252	311	364	441	540
100	102	126	155	203	229	288	358	281	360	424	513	625
110	116	148	191	232	266	328	412	322	413	487	585	715
120	134	168	112	267	302	362	469	354	471	555	667	813
130	151	189	232	296	333	418	526	409	529	619	744	906
140	169	209	262	331	349	465	585	454	486	685	830	1020
150	175	283	291	366	407	511	650	500	651	761	930	1163

Состав газа в объемных процентах

Газ	Последняя цифра задания									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CH ₄	92,6	93,2	92,8	92,6	91,3	91,7	92,4	93,4	93,7	94,5
C ₂ H ₆	1,4	1,0	1,1	1,6	3,1	2,8	1,8	1,1	0,9	0,3
C ₃ H ₈	0,6	0,5	0,6	0,4	0,3	0,4	0,6	0,4	0,3	0,2
C ₄ H ₁₀	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	—
C ₃ H ₁₂	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	—	—	—	—	—
Газ	Предпоследняя цифра задания									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N ₂	4,0	3,6	3,2	2,8	2,5	2,3	1,8	1,3	1,1	0,9
CO ₂	1,0	1,4	1,8	2,2	2,5	2,7	3,2	3,7	3,9	4,1