

Б.М. Хрусталеv  
Ю.Я. Кувшинов  
В.М. Копко

# ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ



# **Теплоснабжение и вентиляция**

## **Курсовое и дипломное проектирование**

Под общей редакцией профессора Б.М. Хрусталева

3-е издание исправленное и дополненное

*Допущено*

*Министерством образования и науки Российской Федерации  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по специальности «Теплогазоснабжение  
и вентиляция» направления подготовки дипломированных  
специалистов «Строительство»*

*Допущено*

*Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов специальности  
«Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»  
учреждений, обеспечивающих получение высшего образования*



Издательство Ассоциации строительных вузов

МОСКВА  
2010

ББК 31.38я7  
Т34  
УДК 697.34.001

**Авторы:**

Б. М. Хрусталеv, Ю. Я. Кувшинов, В. М. Копко, А. А. Михалеvич,  
П. И. Дячек, В. В. Покотилоv, Э. В. Сенькеvич, Л. В. Борухова,  
В. П. Пилюшенко, Г. И. Базыленко, О. И. Юрков, В. В. Артихович,  
М. Г. Пшоник

**Рецензенты:**

Кафедра энергетики Белорусского аграрно-технического университета,  
доктор технических наук, профессор *Б. В. Яковлев*

Т 34 **Теплоснабжение и вентиляция.** Курсовое и дипломное проектирование. /Под ред. проф. Б. М. Хрусталева – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 784 с., 183 ил.

3-е издание исправленное и дополненное

ISBN 978–5–93093–394–4

Изложены методические указания, примеры расчетов, справочные материалы для выполнения курсовых проектов и работ по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, горячему водоснабжению, теплоснабжению, газоснабжению, очистке вентиляционных выбросов. Приведены методические указания и рекомендации по дипломному проектированию.

Для студентов вузов и специалистов по теплоснабжению и вентиляции.

ISBN 978–5–93093–394–4

© Издательство АСВ, 2010  
© Коллектив авторов, 2010

## Предисловие

Переход от экстенсивного развития нашего общества к интенсивному, повышение качества продукции, в том числе и качества строительства, требует создания условий для высокопроизводительного труда и культуры производства, что неразрывно связано с состоянием воздушной среды на рабочих местах.

Поэтому основная задача специалистов в области теплоснабжения, вентиляции и охраны воздушного бассейна – создание в помещениях разного назначения такого микроклимата, при котором обеспечиваются благоприятные условия для выполнения работ и нормальной деятельности человека, а также решение вопросов очистки газовых выбросов, утилизации уловленных веществ и энергосбережения. Именно эти необходимые для человека и технологических процессов условия внутренней среды на производстве, в жилых и общественных зданиях обеспечиваются с помощью систем отопления, теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Эффективность систем, их технико-экономические характеристики во многом зависят не только от принятых схем, от правильного монтажа, наладки и эксплуатации, но и от правильно выбранной методики расчета и достоверности проведенных расчетов. Поэтому курсовое и дипломное проектирование, включающее вопросы расчета, проектирования, строительства и эксплуатации систем отопления, теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха, очистки вентиляционных выбросов играет важную роль в подготовке инженеров по специальности «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

Устройство данных систем и их отдельных элементов характеризуется высокой степенью сложности: большим разнообразием схем, использованием сложных механизмов и приборов для регулирования и контроля их работы. Курсовое проектирование, являясь важной составной частью учебного процесса, способствует усвоению студентами теоретических положений, формированию практических навыков в проектно-конструкторской работе.

В то же время решение конкретных практических задач в курсовом и дипломном проектировании позволяет студентам получить более полное представление о физической сущности протекающих процессов, теоретических положений, взаимосвязи отдельных элементов систем, числовых значений отдельных расчетных коэффициентов и их соотношения в зависимостях.

Дипломное проектирование является завершающим этапом в подготовке студентов к самостоятельной работе и выборе правильных экономически оправданных решений.

В одиннадцати разделах данного учебного пособия приводятся методические указания и примеры расчета по основным вопросам курсового и дипломного проектирования. Дополнительно следует пользоваться учебни-

ками, учебными пособиями, справочниками, строительными нормами и правилами, а также санитарными нормами, конспектами лекций.

В четырех первых главах приводятся методические указания и примеры расчетов по курсовому проектированию по разделам: отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, горячее водоснабжение и теплоснабжение. Пятая глава посвящена вопросам дипломного проектирования по теплоснабжению. В шестой главе изложены рекомендации к выполнению дипломных проектов по отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха в зданиях различного значения. В седьмой главе рассматривается теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций отапливаемых зданий, в восьмой – содержатся рекомендации по энергосбережению в зданиях и сооружениях. Девятая и десятая главы посвящены курсовому и дипломному проектированию по газоснабжению. В одиннадцатой главе приведены методические рекомендации и примеры расчетов тепловых сетей бесканальной прокладки с предварительно изолированными трубопроводами.

Данное учебное пособие разработано в соответствии с типовыми программами отдельных дисциплин, построено на возможности применения нормативных требований и материалов в процессе их изменений и содержит основные справочные материалы.

Авторы просят читателей присылать свои замечания, пожелания, предложения, которые помогут авторам в улучшении учебного пособия при его переиздании.

Предисловие написано доктором технических наук, профессором Хрусталевым Б. М.;

- |                     |   |
|---------------------|---|
| глава 1             | – канд. техн. наук, доц. Покотиловым В. В.;   |
| глава 2 (2.1 и 2.2) | – докт. техн. наук, проф. Дячком П. И., канд. техн. наук Боруховой Л. В., <u>доц. Пилюшенко В. П.</u> ; |
| глава 2 (2.3)       | – докт. техн. наук, проф. Дячком П. И. и докт. техн. наук, проф. Кувшиновым Ю. Я.;                      |
| глава 3             | – канд. техн. наук, проф. Копко В. М.;  |
| главы 4, 5 и 11     | – канд. техн. наук, проф. Копко В. М. и канд. техн. наук, доц. Базыленко Г. И.;                         |
| глава 6             | – докт. техн. наук, проф. Хрусталевым Б. М. и канд. техн. наук, доц. Сенькевичем Э. В.;                 |
| глава 7             | – канд. техн. наук, доц. Юрковым О. И.;   |
| глава 8             | – докт. техн. наук, проф. Михалевичем А. А.   |
| главы 9 и 10        | – канд. техн. наук, доц. Артиховичем В. В. и канд. техн. наук, доц. Пшоник М. Г.                        |

Авторы выражают большую благодарность докт. техн. наук, профессору Б. В. Яковлеву и канд. техн. наук, доценту К. Э. Гаркуше за ценные замечания, советы и рекомендации, сделанные при рецензировании рукописи.

# ГЛАВА I. Методические указания и примеры расчетов по выполнению курсового и дипломного проектов «Отопление зданий различного назначения»

## 1.1. Исходные данные для проектирования

Исходными данными для проектирования системы отопления здания являются: район строительства; планы этажей, подвала, чердака; разрезы здания; теплотехнические характеристики ограждающих конструкций (окон, дверей, стен, пола 1-го этажа, чердачного или бесчердачного покрытия), полученные на основании выполненной ранее курсовой работы по строительной теплотехнике или указанные в задании на проектирование; источник теплоснабжения и его параметры.

В качестве исходных данных могут быть также заданы: вид системы отопления и схема присоединения системы отопления к тепловым сетям; вид системы отопления и ее основные исходные параметры; тип отопительных приборов. Или же эти данные могут выявляться в процессе выполнения проекта.

## 1.2. Определение расчетных температур в неотапливаемых помещениях

Для определения основных потерь теплоты через ограждающие конструкции, разделяющие отапливаемые и неотапливаемые помещения, применяют коэффициент учета положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху  $n$  [3, табл. 5.3]. Произведение коэффициента  $n$  на расчетную разность температур заменяет реальную разность между температурами воздуха в отапливаемом помещении  $t_p$  и неотапливаемого помещения  $t_x$ . Такое упрощение в расчетах приемлемо только в случае повторяющихся конструктивных решений, например, перекрытия чердачные с кровлей из рулонных материалов; перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом. При современном разнообразии конструктивного утепления неотапливаемых объемов необходимо непосредственно определять температуру  $t_x$ , °С, неотапливаемого помещения из анализа теплового баланса тепловых потоков через ограждения данного помещения по формуле

$$t_x = \frac{\sum(kAt_p)_p + \sum(kAt_T)_T + \sum(kAt_{ext})_{ext}}{\sum(kA)_p + \sum(kA)_T + \sum(kA)_{ext}}, \quad (1.1)$$

где  $\sum(kA)_p$ ,  $\sum(kA)_T$ ,  $\sum(kA)_{ext}$  – произведение коэффициента теплопередачи на площадь соответственно внутреннего ограждения, теплопровода и наружного ограждения неотапливаемого помещения, для которого рассчитывают температуру  $t_x$ , °С;

$t_p$  – расчетная температура воздуха в помещении с учетом повышения ее в зависимости от высоты для помещений высотой более 4 м, °С;

$t_T$  – температура теплоносителя в теплопроводе, °С;

$t_{ext}$  – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года (параметр Б), °С [4, табл. Е.1].

При конструировании утепления неотапливаемых объемов необходимо обеспечить соблюдение двух основных условий:

1. Расчетная температура в неотапливаемом подвале, где расположены большинство распределительных и сборных коллекторов сантехсистем, не должна быть ниже 2°С;

2. Перепад  $\Delta t_B$ , °С [3, табл. 5.5], между температурой внутреннего воздуха  $t_p$  и температурой внутренней поверхности пола отапливаемого помещения над неотапливаемыми подвалами и подпольями не должен превышать 2°С.

Для выполнения первого условия необходимо при выполнении теплотехнических расчетов варьировать степень утепления различных ограждений неотапливаемого помещения, либо использовать выражение (1.1), задавая  $t_x = 2^\circ\text{C}$  и  $k_{ext}$  для определения величины коэффициента теплопередачи внутреннего ограждения  $k_p$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), ( $k_p = 1/R_p$ ).

Проверка выполнения второго условия производится по следующему выражению

$$\Delta t_B = \frac{t_p - t_x}{\alpha_B \cdot R_p} \leq 2^\circ\text{C}, \quad (1.2)$$

где  $\alpha_B$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, Вт/(м<sup>2</sup>·°С) [3, табл. 5.4];

$R_p$  – сопротивление теплопередаче конструкции перекрытия, отделяющего отапливаемое помещение от неотапливаемого подвала или подполья, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

В случае несоблюдения условия  $\Delta t_B \leq 2^\circ\text{C}$  необходимо изменить задаваемое значение  $k_{ext}$ , определить требуемую величину  $k_p$  и повторить проверку по выражению (1.2).

**ПРИМЕР 1.1.** Для трехэтажного двухсекционного жилого дома, фрагмент плана и разрез которого представлены на рис. 1.1, определить расчетную температуру  $t_x$  в неотапливаемом подвале. Исходные данные: район строительства – Витебская область; ориентация главного фасада – на северо-запад (СЗ). Расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года (параметр Б)  $t_{ext} = -25^\circ\text{C}$  [4, табл. Е.1].

Определяем дополнительные данные, необходимые для расчета. Сопротивление теплопередаче: двойное остекление в деревянных спаренных переплетах –  $R_{до} = 0,39$  м<sup>2</sup>·°С/Вт ( $k_{до} = 1/0,39 = 2,56$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)) [3, табл. Г.1]; наружная стена подвала, состоящая из бетонных фундаментных блоков

$\delta = 0,40$  м,  $\lambda = 1,86$  Вт/(м °С) [3, табл. А.1] и наружного теплоизоляционного слоя пенополиуретана  $\delta = 0,07$  м,  $\lambda = 0,05$  Вт/(м °С) [3, табл. А.1]  $R_{НС} = 1/8,7 + 0,40/1,86 + 0,07/0,05 + 1/23 = 1,77$  м<sup>2</sup>·°С/Вт ( $k_{НС} = 1/1,77 = 0,56$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)); неутепленные стены и полы на грунте ниже уровня земли с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 1,2$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам равны  $R_c = 2,1$  м<sup>2</sup>·°С/Вт ( $k_c = 1/2,1 = 0,48$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)) – для I зоны,  $R_c = 4,3$  м<sup>2</sup>·°С/Вт ( $k_c = 1/4,3 = 0,23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)) – для II зоны,  $R_c = 8,6$  м<sup>2</sup>·°С/Вт ( $k_c = 1/8,6 = 0,12$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)) – для III зоны,  $R_c = 14,2$  м<sup>2</sup>·°С/Вт ( $k_c = 1/14,2 = 0,07$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)) – для IV зоны [4, Приложение Ж]; утепленные стены на грунте ниже уровня земли с коэффициентом теплопроводности утепляющего слоя менее 1,2 Вт/(м<sup>2</sup>·°С)  $R_h = 2,1 + 0,07/0,05 = 3,50$  м<sup>2</sup>·°С/Вт ( $k_c = 1/3,50 = 0,29$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С)) – для I зоны.

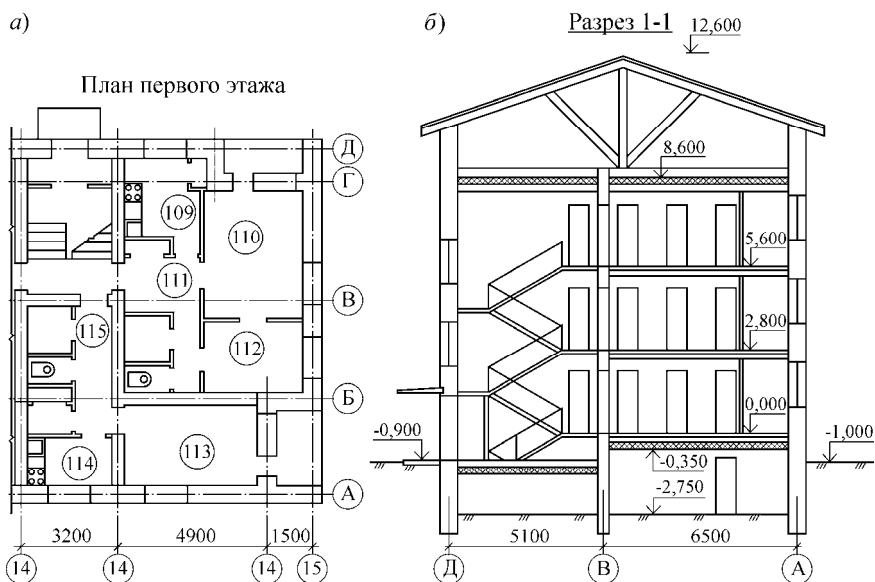


Рис. 1.1. Фрагмент плана I этажа (а) и разрез (б) жилого дома

На основании плана и разреза здания определяем площади поверхностей соответствующих ограждений подвала. Схема расположения ограждений показана на фрагменте разреза подвала (рис. 1.2).

В результате анализа плана и разреза подвала определены соответствующие площади ограждений: общая площадь окон подвала  $A_{до} = 5,2$  м<sup>2</sup>; наружная утепленная стена подвала  $A_{НС} = 61,8$  м<sup>2</sup>; утепленные стены на грунте I зоны  $A_h = 65,8$  м<sup>2</sup>; неутепленные стены и полы на грунте I зоны  $A_c = 145,6$  м<sup>2</sup>; то же II зоны  $A_c = 173$  м<sup>2</sup>; то же III зоны  $A_c = 92$  м<sup>2</sup>; то же IV зоны  $A_c = 55$  м<sup>2</sup>; перекрытие над неотапливаемым подвалом  $A_{Пл} = 344$  м<sup>2</sup>.



Сопротивление теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом  $R_{пл}$  следует определять по расчету, обеспечивая перепад между температурами пола и воздуха помещения первого этажа не более  $2^{\circ}\text{C}$  [3, табл. 5.1], при этом температура в неотапливаемом подвале не должна быть ниже  $2^{\circ}\text{C}$ . Поэтому, задаваясь  $t_x = 2^{\circ}\text{C}$ , по формуле (1.1) имеем:

$$2 = \frac{(k_{пл} \cdot 344)18 + (2,56 \cdot 5,2 + 0,56 \cdot 61,8 + 0,29 \cdot 65,8 + 0,48 \cdot 145,6 + 0,23 \cdot 173 + 0,12 \cdot 92 + 0,07 \cdot 55)(-25)}{k_{пл} \cdot 344 + 2,56 \cdot 5,2 + 0,56 \cdot 61,8 + 0,29 \cdot 65,8 + 0,48 \cdot 145,6 + 0,23 \cdot 173 + 0,12 \cdot 92 + 0,07 \cdot 55}$$

откуда получаем требуемое значение  $k_{пл} = 0,94 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$   $R_{пл} = 1,07 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . Таким образом, конструкция пола 1-го этажа, состоящая из плиты перекрытия, покрытия пола и утеплителя, должна иметь  $R_{пл} = 1,07 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . Конкретные параметры конструкции пола (материал слоев, толщина каждого слоя) необходимо определить при его конструировании, исходя из требуемого значения  $R_{тр} = R_{пл} = 1,07 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

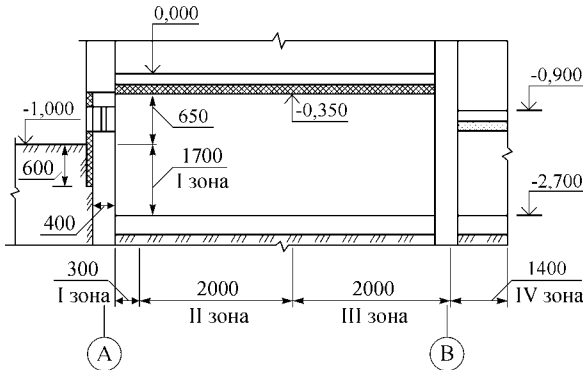


Рис. 1.2. Разрез подвала

Проверка выполнения второго условия производится по выражению (1.2):

$$\Delta t_B = \frac{18 - 2}{8,7 \cdot 1,07} = 1,72 \leq 2^{\circ}\text{C},$$

т.е. принятые проектные решения удовлетворяют нормативным требованиям.

### 1.3. Расчетные потери теплоты отапливаемого здания. Расчет тепловой мощности системы отопления

Расчетные потери теплоты отапливаемого здания  $Q_{3д}$ , Вт, определяются суммой потерь теплоты отапливаемых помещений

$$Q_{3д} = \sum Q_4. \quad (1.3)$$

где  $Q_4$  – расчетные суммарные потери теплоты отапливаемого помещения (тепловая нагрузка помещения), Вт.

Для расчета суммарных потерь теплоты каждого отапливаемого помещения предварительно необходимо:

1) выявить значения сопротивления теплопередачи для всех наружных ограждений, а также для внутренних, разделяющих помещения с разностью расчетных температур между ними  $3^{\circ}\text{C}$  и более;

2) вычертить планы этажей, подвала, чердака, разрезы здания в масштабе 1:100;

3) пронумеровать отапливаемые помещения. Как правило, нумерация производится, начиная с угловых комнат по ходу часовой стрелки (для первого этажа с №101, для второго – с №201 и т.д.). Лестничные клетки обозначаются буквами.

Помещения, не имеющие вертикальных наружных ограждений, можно не нумеровать, так как в таких помещениях не устанавливаются отопительные приборы. Теплотери таких помещений (через полы или потолок) в этом случае следует добавить к теплотерям помещений, отопительные приборы которых отапливают эти помещения.

Значения  $Q_4$  для каждого отапливаемого помещения определяются из теплового баланса отдельно рассчитываемых составляющих [4, Приложение М]

$$Q_4 = \sum Q + Q_i - Q_h(1 - \eta_1), \quad (1.4)$$

где  $Q$  – основные и добавочные потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции помещения, Вт;

$Q_i$  – расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции помещения, Вт;

$Q_h$  – суммарный тепловой поток, регулярно поступающий в помещения здания от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников [4, пункт 6.1, перечисление г], Вт;

$\eta_1$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от способа регулирования системы отопления по таблице 1.1.

Таблица 1.1

**Коэффициент  $\eta_1$ , принимаемый в зависимости от способа регулирования системы отопления [4]**

Система отопления и способ регулирования	$\eta_1$
1. Электроотопление с индивидуальным регулированием	0,85
2. Водяное отопление с индивидуальными автоматическими терморегуляторами у отопительных приборов	0,80
3. Водяное отопление с местным регулированием по температуре внутреннего воздуха помещения – представителя	0,60
4. Водяное отопление с местной системой регулирования по температуре наружного воздуха («следящая система регулирования»)	0,40
5. Водяное отопление без регулирования, печное отопление без регулирования	0,20

Каждая из составляющих теплового баланса (1.4) отапливаемого помещения рассчитывается по соответствующей методике.

### 1.3.1. Определение основных и добавочных потерь теплоты помещения через ограждающие конструкции

Расчетные основные и добавочные потери теплоты помещения определяются суммой потерь теплоты через отдельные ограждающие конструкции  $Q$ , Вт, [4, Приложение Ж] с округлением до 10 Вт для помещений по формуле

$$Q = k \cdot A \cdot (t_p - t_{ext}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n, \quad (1.5)$$

где  $k = 1/R$  – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);

$R$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·°C/Вт (сопротивление теплопередаче конструкции следует определять по [3] (кроме полов на грунте); для полов на грунте –  $R = R_c$  для неутепленных полов и  $R = R_h$  для утепленных);

$A$  – расчетная площадь ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>;

$t_p$  – расчетная температура воздуха в помещении с учетом повышения ее в зависимости от высоты для помещений высотой более 4 м, °C;

$t_{ext}$  – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года (параметр Б) [4, табл. Е.1] – при расчете потерь теплоты через наружные ограждения, или температура воздуха более холодного помещения – при расчете потерь теплоты через внутренние ограждения, °C;

$n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху [3, табл. 5.3];

$\beta$  – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь.

Сопротивление теплопередаче  $R_c$ , м<sup>2</sup>·°C/Вт, для неутепленных полов на грунте и стен ниже уровня земли с коэффициентом теплопроводности  $\lambda \geq 1,2$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C) по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам принимают равным 2,1 – для 1 зоны; 4,3 – для 2 зоны; 8,6 – для 3 зоны; 14,2 – для оставшейся площади пола.

Сопротивление теплопередаче  $R_h$  для утепленных полов на грунте и стен ниже уровня земли (с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_h$  утепляющего слоя толщиной  $\delta$ , м, менее 1,2 Вт/(м<sup>2</sup>·°C)) равно  $R_h = R_c + \delta/\lambda_h$ , а для полов на лагах  $R_h = 1,18(R_c + \delta/\lambda_h)$ .

Расчетная площадь  $A$  ограждающих конструкций рассчитывается по наружному обмеру здания (со стороны вторичного теплоносителя – наружного воздуха или со стороны более холодного помещения), при этом вертикальные размеры наружных стен разделяются по межэтажным отметкам чистого пола, а горизонтальные – от средней оси стен смежных помещений. Площадь пола и потолка определяется по общей площади

здания (в пределах периметра внутренней поверхности наружных ограждений), разделяемой между помещениями по средней оси стен между ними. Площади окон, дверей и фонарей измеряются по наименьшему строительному проему. Линейные размеры определяются с округлением до 0,1 м.

Расчетную температуру внутреннего воздуха  $t_p$  принимают минимальной из допустимых температур, при этом руководствуются следующими правилами:

– для всех ограждений помещения высотой  $h < 4$  м, а также для части вертикальных ограждений высотой 4 м от пола в помещении высотой  $h > 4$  м, расчетную температуру принимают равной нормируемой температуре воздуха в рабочей или обслуживаемой зоне  $t_{w,z}$ ;

– для крыши и фонарей производственных помещений расчетная температура принимается равной  $t_{p,h} = t_{w,z} + (h - 2)\Delta t$ , где принимают  $\Delta t = 0,3 \dots 0,7^\circ\text{C}/\text{м}$  для помещений без значительных тепловыделений,  $\Delta t = 0,7 \dots 2,0^\circ\text{C}/\text{м}$  для помещений со значительными тепловыделениями;

– для части вертикальных ограждений, расположенных выше 4 м от пола (в помещении высотой  $h > 4$  м) расчетную температуру принимают равной средней температуре между температурами воздуха под потолком и в рабочей (или обслуживаемой) зоне  $t'_{p,h} = (t_{w,z} + t_{p,h})/2$ ;

– для комнат жилых домов при наличии двух и более наружных вертикальных ограждений в комнате принимают  $t_p$  на  $2^\circ\text{C}$  больше.

Значение  $\beta$  принимают равным:

а) в помещениях любого назначения для наружных вертикальных и наклонных (вертикальная проекция) стен, дверей и окон, ориентированных на север, восток, северо-восток и северо-запад – в размере 0,1, на юго-восток и запад – в размере 0,05;

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

в угловых помещениях — дополнительно по 0,05 на каждую стену, дверь и окно;

б) для наружных дверей, не оборудованных воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте зданий  $H$ , м (от средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты) в размере:  $0,2H$  – для тройных дверей с двумя тамбурами между ними;  $0,27H$  – для двойных дверей с тамбуром между ними;  $0,34H$  – для двойных дверей без тамбура;  $0,22H$  – для одианных дверей;

в) для наружных ворот, не оборудованных воздушными и воздушно-тепловыми завесами, – в размере 3,00 при отсутствии тамбура и в размере 1,00 – при наличии тамбура у ворот.

**ПРИМЕР 1.2.** Определить расчетные основные и добавочные потери теплоты помещениями трехэтажного жилого дома, представленного в примере 1.1 на рис. 1.1. Исходные данные: район строительства – Витебская область; ориентация главного фасада – на северо-запад (СЗ). Расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года (параметр Б)  $t_{ext} = -25^\circ\text{C}$  [4, табл. Е.1].

Определяем дополнительные данные, необходимые для расчета. Методика и расчет сопротивления теплопередаче окон, балконных дверей, наружных стен, чердачного покрытия показаны в соответствующих разделах курсовой работы по строительной теплофизике. Поэтому в рассматриваемом примере примем за исходные, например, следующие значения, соответствующие требованиям [3]: тройное остекление (ТО) в деревянных раздельно-спаренных переплетах, балконные двери (БД) –  $R_{ТО} = R_{БД} = 0,55 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ( $k_{ТО} = k_{БД} = 1/0,55 = 1,82 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ) [3, табл. Г.1]; наружная стена (НС) –  $R_{НС} = 2,3 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ( $k_{НС} = 1/2,3 = 0,43 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); покрытие чердачное (Пт) –  $R_{Пт} = 3,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ( $k_{Пт} = 1/3,2 = 0,31 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); перекрытие над неотапливаемым подвалом (Пл) – (см. пример 1.1.) –  $R_{Пл} = 1,07 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ( $k_{Пл} = 1/1,07 = 0,94 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); стенка внутренняя между лестничной клеткой и помещениями (ВС) –  $R_{ВС} = 0,8 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ( $k_{ВС} = 1/0,8 = 1,24 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); стенка тамбура в лестничной клетке (СТ.Т) –  $R_{СТ.Т} = 0,38 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ( $k_{СТ.Т} = 1/0,38 = 2,63 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); лестничная площадка, перекрывающая тамбур (Л.Пл) –  $R_{Л.Пл} = 0,44 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ( $k_{Л.Пл} = 1/0,44 = 2,27 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ); одинарные входные двери (Вх.Д) –  $R_{Вх.Д} = 0,22 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  ( $k_{Вх.Д} = 1/0,22 = 4,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ).

*Решение.* Результаты расчета основных и добавочных потерь теплоты  $Q$  записываем в виде табл. 1.2.

### 1.3.2. Определение расхода теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции

Наружный воздух поступает в помещения под действием разности давлений наружного и внутреннего воздуха. Наружный воздух без его предварительного нагревания может непосредственно поступать в помещения через специальные приточные устройства, и в этом случае инфильтрация является организованной. В случае его поступления через существующие неплотности и щели в стенах, воротах, окнах, фонарях инфильтрация носит неорганизованный характер.

При естественной вытяжной вентиляции в помещениях жилых и общественных зданий приточный нормируемый расход воздуха может поступать в помещения либо в виде суммарного потока, состоящего из приточного нагретого в приточных установках, и инфильтрационного потока (без предварительного нагревания). В этом случае инфильтрационный поток является

организованным, задаваемым в исходных условиях параметром  $L_n$ , величина которого формируется в результате дисбаланса между задаваемыми вентиляционными вытяжным и приточным воздухообменами. Расход теплоты  $Q_i$ , Вт, в выражении (1.4) на нагревание этого организованного инфильтрационного потока определяется по формуле [4,5]:

$$Q_i = 0,28 L_n \rho c (t_p - t_{ext}), \quad (1.6)$$

где  $L_n$  – расход приточного, предварительно не подогреваемого, инфильтрующегося воздуха, м<sup>3</sup>/ч;

$\rho$  – плотность воздуха в помещении, кг/м<sup>3</sup>;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха ( $c \cong 1$ ), кДж/(кг·°С).

Для жилых зданий приточный воздухообмен нормируется удельным расходом 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади жилых помещений, что соответствует примерно однократному воздухообмену. В этом случае выражение (1.6) преобразуется [5] в виде

$$Q_i = F(t_p - t_{ext}). \quad (1.7)$$

При неорганизованной инфильтрации через существующие неплотности и щели в стенах, воротах, окнах, фонарях зданий различного назначения расход теплоты  $Q_i$ , Вт, определяется по формуле [4,5]:

$$Q_i = 0,28 c \sum [G_i(t_p - t_{ext})K], \quad (1.8)$$

где  $G_i$  – расход инфильтрующегося воздуха через отдельные ограждающие конструкции, кг/ч;

$K$  – коэффициент, учитывающий нагревание инфильтрующегося воздуха встречным тепловым потоком, равный: для окон и дверей (в т.ч. балконных) с раздельными переплетами – 0,8; при спаренных переплетах и одинарных окнах, дверях и воротах – 1,0.

При естественной вытяжной вентиляции в помещениях общественных зданий расчет  $Q_i$ , Вт, выполняется по выражениям (1.6) и (1.8), принимая за расчетное значение большую из величин [4, 5].

В помещениях жилых зданий при естественной вытяжной вентиляции расчет  $Q_i$  выполняется только по выражению (1.7), так как, согласно [3], конструкция уплотнения притворов окон подбирается из условия обеспечения через них нормируемого воздухообмена. Таким же образом  $Q_i$  определяется и в случае применения специальных приточных устройств – приточных управляемых клапанов в оконной коробке или в стене.

Расход инфильтрующегося воздуха  $G_i$  через отдельные ограждающие конструкции определяется по выражению (К.3) [4], которое учитывает воздухопроницаемость стен, стыков стеновых панелей, неплотностей окон, дверей, ворот и фонарей. Ввиду незначительности инфильтрационных по-

токов через стены и стыки стеновых панелей современных зданий (кроме деревянных щитовых, рубленых и т.п.) выражение (К.3) [4] для определения расхода инфильтрующегося воздуха в помещении  $G_i$ , кг/ч, можно ограничить только двумя его членами

$$G_i = \sum A_2 G_H (\Delta p_i / \Delta p_1)^{0,67} + 3456 \sum A_3 \Delta p_1^{0,67}, \quad (2.9)$$

где  $A_2$  – площадь световых проемов (окон, балконных дверей, фонарей);  
 $A_3$  – площадь щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях,  $m^2$ ;  
 $\Delta p_i, \Delta p_1$  – расчетная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций соответственно на расчетном этаже при  $\Delta p_1 = 10$  Па;  
 $G_H$  – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций,  $kg/(m^2 \cdot ч)$ , [3].

Расчетная разность давлений  $\Delta p_i$  определяется по формуле

$$\Delta p_i = h_j g (\rho_{ext} - \rho_p) + 0,5 \rho_{ext} v^2 (c_{e,n} - c_{e,p}) k_1 - p_{int}, \quad (1.10)$$

где  $h_j$  – расчетная высота от верха окон, балконных дверей, дверей, ворот, проемов, оси горизонтальных или середины вертикальных стыков стеновых панелей до отметки карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты, м;  
 $g$  – ускорение свободного падения,  $m/s^2$ ;  
 $\rho_{ext}, \rho_p$  – плотность соответственно наружного воздуха и воздуха в помещении,  $kg/m^3$ ;  
 $v$  – скорость ветра, м/с [4, Приложение Е];  
 $c_{e,n}, c_{e,p}$  – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания, принимаемые по СНиП 2.01.07;  
 $k_1$  – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемый по СНиП 2.01.07;  
 $p_{int}$  – давление воздуха в помещении, Па. Для помещений жилых и общественных зданий, оборудованных только естественной вытяжной вентиляцией, давление  $p_{int}$  можно принять равным потере давления в вытяжной системе

$$p_{int} = hg (\rho_{+5^\circ C} - \rho_p), \quad (1.11)$$

где  $h$  – расстояние по вертикали от центра вытяжной решетки до верхней кромки вытяжного канала или шахты, м;

$\rho_{+5^\circ C}$  – плотность наружного воздуха при  $t_{ext} = +5^\circ C$ ,  $kg/m^3$ .

При наличии в помещении дисбаланса механического воздухообмена значение  $p_{int}$  определяется из уравнения воздушного баланса помещения.

### **1.3.3. Определение суммарного теплового потока, регулярно поступающего в помещения здания от различных источников; затраты теплоты на нагревание холодных материалов**

Теплопоступления в помещения производственного здания задаются технологией производства и являются исходными данными, выдаваемыми технологами, для выполнения расчетов теплового баланса помещений. Источниками могут быть непосредственно технологическое оборудование, экзотермические технологические процессы, поступающие в помещения нагретые материалы и изделия, электрооборудование, электроосвещение, люди, теплота фазового перехода расплавленных материалов при их переходе в твердое состояние и др. В помещениях животноводческих основным источником являются теплопоступления от животных.

В тепловом балансе помещения учитываются только регулярно повторяющиеся теплопоступления, поэтому для определения расчетного теплового потока теплопоступлений необходимо учитывать ряд факторов: степень загрузки и одновременности работы электрооборудования, количество отводимой теплоты системой вентиляции, время нахождения нагретых материалов в помещении и другие параметры.

От людей учитываются только явные тепловыделения, величина которых зависит от интенсивности их физической деятельности, параметров воздуха в рабочей зоне и теплозащитных свойств одежды. Если на одного работающего приходится более  $50 \text{ м}^3$  объема помещения, то тепловыделения от людей не учитываются.

Нерегулярные теплопоступления в тепловом балансе помещения не учитывают, но для обеспечения энергоэффективности здания в этом случае необходимо предусматривать в помещении терморегулятор, уменьшающий тепловой поток отопительного прибора. К нерегулярным теплопоступлениям относится солнечная радиация, поступающая через окна и покрытия.

Теплопоступления в жилых зданиях учитывают в тепловом балансе помещения в виде общих бытовых тепловыделений, которые принимают для жилой комнаты из расчета  $21 \text{ Вт}$  на  $1 \text{ м}^2$  ее жилой площади.

Дополнительные затраты теплоты расходуются на нагревание холодных материалов, поступающих в помещение, на нагревание транспортных средств, въезжающих с улицы, на испарение воды в мокрых цехах и др. Данные затраты включают в тепловой баланс помещения с учетом периодичности и интенсивности необходимого дополнительного теплового потока. Основные исходные данные по расчету затрат теплоты на нагревание холодных материалов задаются технологами.

### **1.3.4. Тепловой баланс помещений и здания**

Тепловой баланс здания  $Q_{\Sigma}$  рассчитывается по выражениям (1.3) и (1.4). Для определения расчетных суммарных потерь теплоты отапливаемых поме-



щений  $Q_4$  необходимо предварительно выбрать тип системы отопления, а также уровень и способ регулирования системы отопления, что позволит задаться значением коэффициента  $\eta_1$ , входящего в выражение (1.4).

Тепловая расчетная нагрузка помещения соответствует величине расчетных суммарных потерь теплоты помещения  $Q_4$ .

**ПРИМЕР 1.3.** Определить тепловые расчетные нагрузки помещений трехэтажного жилого дома, представленного в примере 1.1 на рис. 1.1. Расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года  $t_{ext} = -25^\circ\text{C}$ . Исходными данными приняты результаты расчета примера 1.2. К проектированию задана система водяного отопления с индивидуальными автоматическими терморегуляторами у отопительных приборов, из табл. 1.1 –  $\eta_1 = 0,80$ .

*Решение.* Расчетную тепловую нагрузку помещений  $Q_4$  определяем по выражению (1.4). Расчетные основные и добавочные потери теплоты  $\Sigma Q$  принимаем из примера 1.2. Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха  $Q_i$  определяем по выражению (1.7) – для жилых помещений (см. раздел 1.3.2); по выражению (1.8) – для кухонь и санитарных узлов. Бытовые тепловыделения  $Q_h = 21F$ . Результаты расчета  $\Sigma Q$ ,  $Q_i$ ,  $Q_h$ ,  $Q_4$  записываем в виде табл. 1.3.

Таблица 1.3

**Расчет тепловой нагрузки помещений**

Номер, назначение помещения	$t_p, ^\circ\text{C}$	Площадь помещения $F, \text{ м}^2$	$\Sigma Q, \text{ Вт}$	$Q_i, \text{ Вт}$	$Q_h, \text{ Вт}$	$Q_h(1-\eta_1), \text{ Вт}$	$Q_4, \text{ Вт}$
109, кухня	20	8,25	650	160	170	35	775
110, жилая	20	14,19	1230	640	300	60	1810
112, жилая	20	7,92	700	360	170	35	1030
113, жилая	20	11,88	1320	540	250	50	1810
114, кухня	18	5,00	430	160	100	20	570
Аналогичным образом выполняется расчет для помещений 101...108 и 116...124. В примере отражен расчет только помещений, показанных на рис. 1.1, т.е. помещений 109...114.							
Итого по 1 этажу			12990	6940	3720	750	19180
Аналогичным образом выполняется расчет для помещений 2-го и 3-го этажей, поэтому приведем только итоговые результаты расчета							
Итого по 2 этажу			9190	6860	3720	750	15300
Итого по 3 этажу			13040	6770	3720	750	19060
Две лестничные клетки			2390×2	—	—	—	4780
Всего по жилому дому			35220	20570	11160	2250	53540

#### 1.4. Выбор и конструирование системы отопления

Системы отопления, тип отопительных приборов, вид и параметры теплоносителя принимаются по приложению Л [4] в соответствии с назначением и видом здания.

Как правило, для систем отопления следует применять в качестве теплоносителя воду; другие теплоносители допускается применять при технико-экономическом обосновании. Системы отопления следует проектировать, как правило, с насосной циркуляцией теплоносителя.

При проектировании отопления необходимо предусматривать автоматическое регулирование и учет количества потребляемой теплоты, а также применять энергоэффективные решения и оборудование. Для зданий с расчетным значением теплового потока 50 кВт и менее автоматическое регулирование допускается не предусматривать.

В зданиях с квартирными системами отопления необходимо предусматривать возможность установки приборов учета расхода теплоты для каждой квартиры, в таких зданиях можно не предусматривать отопление лестничных клеток.

В производственных помещениях, в которых на одного работающего приходится более 50 м<sup>2</sup> пола, отопление проектируется только на постоянных рабочих местах для обеспечения расчетной температуры воздуха, а на остальной площади помещения проектируется отопление с более низкой температурой, но не ниже 10°С.

Системы напольного отопления применяют трех типов, в зависимости от вида подогрева: электричеством; горячей водой; горячим воздухом.

Системы парового отопления, ввиду повышенного эксплуатационного шума и высокой температуры поверхности отопительных приборов, применяют для помещений коммунальных зданий (бани, прачечные), для производственных помещений [4, Приложение Л], лестничных клеток, пешеходных переходов и вестибюлей, для отопления тепловых пунктов, для теплоснабжения воздухонагревателей (калориферов) систем воздушного отопления и систем приточной вентиляции. Целесообразность использования систем парового отопления определяется, как правило, наличием технологического пароснабжения в отапливаемом здании. Следует помнить, что по сравнению с другими системами системы парового отопления обладают высокой степенью гидравлического саморегулирования, обусловленного теплоотдачей отопительных приборов за счет теплоты фазового перехода.

Отопительные приборы газового отопления (за исключением горелок инфракрасного излучения) допускается применять при условии закрытого удаления продуктов сгорания непосредственно от газовых горелок наружу, Температуру теплоносителя следует принимать не менее чем на 20% ниже температуры самовоспламенения веществ, находящихся в помещении.

Воздушное отопление помещений здания, как правило, устраивается с принудительной подачей смеси наружного и рециркуляционного воздуха в

отапливаемое помещение. Такая система должна обеспечивать в помещениях оптимальные значения параметров микроклимата: температуру и скорость движения воздуха, результирующую температуру помещения и ее локальную асимметрию. В помещениях категорий А и Б следует проектировать, как правило, воздушное отопление.

Воздушное отопление одноэтажных складских, общественных и определенных категорий производственных помещений рекомендуется решать с помощью модульных газовых воздухонагревателей, устанавливаемых как правило на крыше и включающих в себя полный комплекс автоматизированных газогорелочных, теплообменных, вентиляторных и дымососных устройств.

Электрическое отопление с непосредственной трансформацией электрической энергии в тепловую или с помощью тепловых насосов допускается применять при технико-экономическом обосновании.

#### **1.4.1. Выбор и размещение отопительных приборов и элементов системы отопления в помещениях здания**

При проектировании отопления необходимо последовательно, и в то же время комплексно решать следующие задачи:

1) индивидуальный выбор для каждого помещения или зоны помещения оптимального варианта вида отопления и вида отопительного прибора, обеспечивающих условия комфорта;

2) определение местоположения отопительных приборов и их требуемых размеров для обеспечения условий комфорта;

3) индивидуальный выбор для каждого отопительного прибора вида регулирования и местоположения датчиков в зависимости от назначения помещения и его тепловой инерционности, от величины возможных внешних и внутренних тепловых возмущений, от вида отопительного прибора и от его тепловой инерционности и др., например, двухпозиционное, пропорциональное, программируемое регулирование и т.п.;

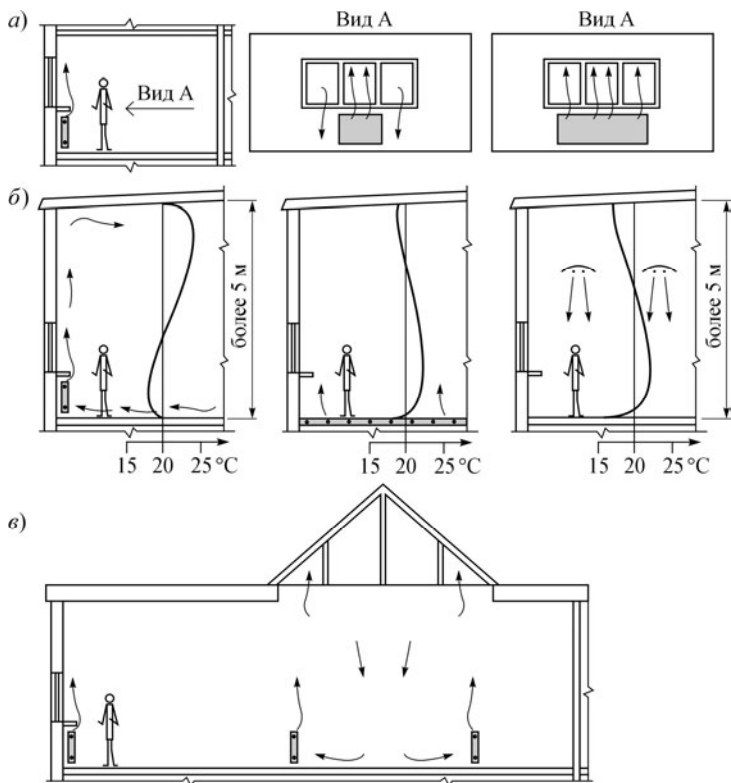
4) выбор вида подсоединения отопительного прибора к теплопроводам системы отопления;

5) решение схемы размещения трубопроводов, выбор вида труб в зависимости от требуемых стоимостных, эстетических и потребительских качеств;

6) выбор схемы присоединения системы отопления к тепловым сетям. При проектировании выполняются соответствующие тепловые и гидравлические расчеты, позволяющие подобрать материалы и оборудование системы отопления и теплового пункта.

Оптимальные комфортные условия достигаются правильным выбором вида отопления и вида отопительного прибора. Отопительные приборы следует размещать, как правило, под световыми проемами, обеспечивая доступ для осмотра, ремонта и очистки (рис. 1.3а). В качестве отопитель-

ных приборов рекомендуется использовать радиаторы или конвекторы. Размещать отопительные приборы рекомендуется у каждой наружной стены помещения (при наличии в помещении двух и более наружных стен) с целью ликвидации нисходящего на пол холодного потока воздуха. В силу тех же обстоятельств длина отопительного прибора должна составлять не менее  $0,9-0,7$  ширины оконных проемов отапливаемых помещений (рис. 1.3*а*). Полная высота отопительного прибора должна быть меньше расстояния от чистого пола до низа подоконной доски (или низа оконного проема при ее отсутствии) на величину не менее 110 мм.



**Рис. 1.3. Примеры размещения отопительных приборов в помещениях**

*а* – в жилых и административных помещениях высотой до 4 м; *б* – в помещениях различного назначения высотой более 5 м; *в* – в помещениях с верхними световыми проемами

В помещениях различного назначения высотой более 5 м при наличии вертикальных световых проемов следует под ними размещать отопительные приборы для защиты работающих от холодных нисходящих потоков

воздуха. В то же время такое решение создает непосредственно у пола повышенную скорость холодного настилающегося вдоль пола потока воздуха, скорость которого зачастую превышает 0,2...0,4 м/с (рис. 1.3б). С увеличением мощности прибора дискомфортные явления усиливаются. Кроме того, из-за увеличения температуры воздуха в верхней зоне значительно возрастают теплопотери помещения.

В таких случаях для обеспечения теплового комфорта в рабочей зоне и снижения теплопотерь рекомендуется применять напольное отопление или лучистое отопление с помощью радиационных нагревательных приборов, располагаемых в верхней зоне на высоте 2,5...3,5 м (рис. 1.3б). Дополнительно следует под световыми проемами размещать отопительные приборы с тепловой нагрузкой на возмещение теплопотерь данного светового проема. При наличии в таких помещениях постоянных рабочих мест рекомендуется применять локальное отопление в зонах рабочих мест для обеспечения в них теплового комфорта с помощью либо систем воздушного отопления, либо с помощью локальных радиационных приборов над рабочими местами, либо с помощью радиационных вертикальных отопительных панелей со встроенными нагревательными элементами. В остальной зоне помещения в пределах высоты 2 м обеспечивается температура воздуха не менее 10°C желательнее теми же отопительными средствами. При этом под световыми проемами (окнами) для защиты работающих от холодных нисходящих потоков воздуха следует размещать отопительные приборы с тепловой нагрузкой на возмещение теплопотерь данного светового проема.

При наличии в перекрытии верхних световых проемов в виде фонарей, куполов и т.п. (рис. 1.3в) отопительные приборы также следует располагать непосредственно под ними, устанавливая их на полу или стене. При этом расчетную тепловую нагрузку прибора следует принимать равной расчетным тепловым потерям данного верхнего светового проема с запасом 10–20%. В противном случае на поверхности остекления произойдет конденсатообразование.

В одной системе отопления допускается использование отопительных приборов различных типов.

Встроенные нагревательные элементы не допускается размещать в однослойных наружных или внутренних стенах, а также в перегородках, за исключением нагревательных элементов, встроенных во внутренние стены и в перегородки палат, операционных и других помещений лечебного назначения больниц.

Допускается предусматривать в многослойных наружных стенах, перекрытиях и полах нагревательные элементы водяного отопления, замоноличенные в бетон.

В лестничных клетках зданий до 12 этажей отопительные приборы можно размещать только на первом этаже на уровне входных дверей; установка отопительных приборов и прокладка теплопроводов в объеме тамбура не допускается.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
<b>Глава I. Методические указания и примеры расчетов по выполнению курсового и дипломного проектов «Отопление зданий различного назначения» .....</b>	<b>5</b>
1.1. Исходные данные для проектирования .....	5
1.2. Определение расчетных температур в неотапливаемых помещениях .....	5
1.3. Расчетные потери теплоты отапливаемого здания. Расчет тепловой мощности системы отопления .....	8
1.3.1. Определение основных и добавочных потерь теплоты помещения через ограждающие конструкции .....	10
1.3.2. Определение расхода теплоты на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха через ограждающие конструкции .....	12
1.3.3. Определение суммарного теплового потока, регулярно поступающего в помещения здания от различных источников; затраты теплоты на нагревание холодных материалов .....	18
1.3.4. Тепловой баланс помещений и здания .....	18
1.4. Выбор и конструирование системы отопления .....	20
1.4.1. Выбор и размещение отопительных приборов и элементов системы отопления в помещениях здания .....	21
1.4.2. Способы присоединений различного типа отопительных приборов к трубопроводам системы отопления и устройства для регулирования теплоотдачи отопительного прибора .....	26
1.4.3. Выбор схемы присоединения системы водяного отопления к тепловым сетям .....	28
1.4.4. Конструирование и некоторые положения по выполнению чертежей систем отопления .....	30
1.4.5. Конструирование систем напольного отопления .....	33
1.4.6. Конструирование систем электрического отопления .....	35
1.4.7. Конструирование систем воздушного отопления .....	36
1.5. Определение расчетного теплового потока и расхода теплоносителя для расчетного участка системы отопления, расчетной мощности системы водяного отопления .....	37
1.6. Гидравлический расчет системы водяного отопления .....	39
1.6.1. Исходные данные .....	39
1.6.2. Основные принципы и последовательность гидравлического расчета системы отопления и подбора регулирующих клапанов .....	41
1.6.3. Методы гидравлического расчета трубопроводов .....	45
1.6.4. Гидравлический расчет однотрубной системы водяного отопления методом характеристик сопротивления. Определение характеристик и подбор балансовых клапанов .....	46
1.6.5. Гидравлический расчет двухтрубной системы водяного отопления методом удельных потерь давления. Определение характеристик и подбор клапанов отопительных приборов .....	56

1.6.6. Конструирование и подбор оборудования теплового пункта системы водяного отопления.....	59
1.6.7. Подбор циркуляционного насоса системы водяного отопления .....	61
1.6.8. Выбор типа и подбор расширительного бака.....	63
1.6.9. Особенности теплового и гидравлического расчета систем напольного отопления.....	66
1.7. Тепловой расчет системы отопления.....	74
1.8. Особенности конструирования и расчета системы теплоснабжения калориферов.....	78
1.9. Расчет систем парового отопления .....	79
1.10. Определение годового расхода энергии на отопление и вентиляцию здания .....	81
1.11. Определение величины экономии энергии за счет программируемого снижения температуры воздуха в помещениях в нерабочие дни .....	83
1.12. Определение показателей экономической эффективности энергосберегающих мероприятий .....	85
1.12.1. Натуральные технико-экономические показатели (годовая экономия энергоресурсов).....	87
1.12.2. Исходные стоимостные показатели .....	87
1.12.3. Критерии экономической эффективности инвестиций для ЭСМ первой группы.....	89
1.12.4. Критерии экономической эффективности инвестиций для ЭСМ второй группы.....	91
1.12.5. Рабочая методика отбора лучшего варианта ЭСМ .....	94
1.12.6. Формы ТЭО энергосберегающих мероприятий .....	95
Литература .....	103

**Глава II. Методические указания и примеры расчетов по курсовым проектам «Вентиляция общественного здания», «Вентиляция и отопление промышленного здания» и курсовой работе «Кондиционирование воздуха и холодоснабжение» .....**

2.1. Вентиляция общественного здания.....	104
2.1.1. Исходные данные для выполнения курсового проекта и его объем .....	104
2.1.2. Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха.....	105
2.1.3. Расчет поступлений теплоты, влаги и вредных веществ в помещения .....	106
2.1.4. Расчет воздухообмена в помещениях .....	122
2.1.5. Организация воздухообмена в помещениях, расчет количества и размещение вентиляционных каналов на планах здания .....	128
2.1.6. Расчет воздухораспределения в помещении .....	133
2.1.7. Аэродинамический расчет воздуховодов .....	140
2.1.8. Подбор вентиляционного оборудования .....	153
2.1.9. Глушители шума.....	170
2.2. Вентиляция и отопление промышленного здания.....	182
2.2.1. Исходные данные для выполнения проекта, оформление, выбор расчетных данных .....	182

2.2.2. Расчет теплопоступлений, составление тепловых балансов и выбор системы отопления .....	188
2.2.3. Определение производительности местной вытяжной вентиляции .....	192
2.2.4. Воздушное душирование .....	198
2.2.5. Расчет воздухообмена .....	198
2.2.6. Воздушно-тепловые завесы .....	207
2.2.7. Распределение воздуха .....	211
2.2.8. Аэродинамический расчет систем вентиляции .....	213
2.3. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение .....	220
2.3.1. Исходные данные для выполнения курсовой работы .....	220
2.3.2. Системы кондиционирования воздуха .....	222
2.3.3. Построение на I–d диаграмме основных процессов обработки воздуха в теплый и холодный периоды года .....	237
2.3.4. Выбор холодильной машины .....	277
2.3.5. Проектирование системы кондиционирования воздуха офисных и жилых помещений .....	283
Литература .....	291

**Глава III. Методические указания и примеры расчетов к курсовой работе «Централизованное горячее водоснабжение жилого микрорайона» .....**

3.1. Исходные данные для проектирования, содержание и объем курсовой работы .....	293
3.2. Обоснование выбора системы горячего водоснабжения. Конструктивные элементы системы .....	294
3.3. Определение расчетных расходов горячей воды и теплоты .....	297
3.4. Расчет и построение графиков расхода теплоты .....	301
3.5. Гидравлический расчет подающих теплопроводов системы горячего водоснабжения .....	303
3.6. Расчет потерь теплоты подающими теплопроводами .....	308
3.7. Определение циркуляционных расходов воды .....	314
3.8. Корректировка гидравлического расчета подающих теплопроводов .....	317
3.9. Гидравлический расчет циркуляции в системе горячего водоснабжения .....	318
3.10. Подбор оборудования центрального теплового пункта .....	322
Литература .....	335

**Глава IV. Методические указания и примеры расчетов для курсового проекта «Теплоснабжение района города» .....**

4.1. Исходные данные для проектирования, содержание и объем курсового проекта .....	336
4.2. Описание системы теплоснабжения .....	337
4.3. Определение расчетных тепловых нагрузок района города. Построение графиков расхода теплоты .....	338
4.4. Регулирование отпуска теплоты .....	346
4.4.1. Регулирование отпуска теплоты в закрытых системах теплоснабжения .....	346



4.4.2. Регулирование отпуска теплоты в открытых системах теплоснабжения.....	352
4.5. Определение расчетных расходов теплоносителя в тепловых сетях .....	357
4.5.1. Закрытые системы теплоснабжения .....	357
4.5.2. Открытые системы теплоснабжения.....	358
4.6. Выбор конструкции тепловой сети и разработка монтажной схемы .....	359
4.7. Гидравлический расчет водяных тепловых сетей.....	365
4.8. Определение расходов воды и гидравлический расчет сети при аварийных режимах.....	376
4.9. Разработка графиков давлений и выбор схем присоединения абонентов к тепловым сетям.....	378
4.10. Разработка и построение продольного профиля тепловых сетей.....	380
4.11. Подбор основного оборудования теплоподготовительной установки источника теплоты .....	385
4.12. Механический расчет теплопроводов.....	394
4.13. Тепловой расчет теплоизоляционной конструкции.....	405
4.14. Тепловой и гидравлический расчет водоподогревательных установок.....	421
Литература .....	433

#### **Глава V. Методические указания по дипломному проекту «Теплоснабжение города» .....**

5.1. Состав и содержание проекта.....	434
5.2. Общие указания по выполнению проекта .....	435
5.3. Методические рекомендации и примеры расчетов для дипломного проекта .....	436
5.3.1. Методика построения графиков регулирования для закрытых систем теплоснабжения .....	436
5.3.2. Методика построения графиков регулирования для открытых систем теплоснабжения .....	446
5.3.3. Гидравлический расчет паропроводов.....	453
5.3.4. Гидравлический расчет конденсатопроводов .....	462
5.3.5. Тепловой и гидравлический расчет пароводяных подогревателей .....	466
Литература .....	469

#### **Глава VI. Методические указания к дипломным проектам по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха и курсовым работам «Экологическое обоснование промышленного объекта» и «Очистка вентиляционных выбросов и энергосбережение промышленного объекта» .....**

6.1. Исходные данные, состав и общие указания по выполнению дипломного проекта.....	470
6.2. Особенности экологической и энергосберегающей направленности специальности «Теплогоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».....	473
6.2.1. Влияние деятельности человека на состояние окружающей природной среды.....	476
6.2.2. Историческое и современное содержание охраны природы.....	479

6.2.3. Структура и состав атмосферы.....	480
6.2.4. Загрязнение атмосферы, его источники и последствия.....	482
6.3. Исходные данные и содержание курсовых работ экологической и энергосберегающей направленности.....	485
6.4. Расчеты выделений вредных веществ в воздушную среду технологическим оборудованием промышленных предприятий.....	488
6.4.1. Участки механической обработки материалов.....	490
6.4.2. Цеха и участки сварки и резки металлов.....	493
6.4.3. Кузнечно-прессовые и термические цеха.....	494
6.4.4. Участки нанесения лакокрасочных покрытий.....	496
6.4.5. Участки механической обработки древесины.....	499
6.4.6. Цеха и участки химической и электрохимической обработки металлов.....	500
6.5. Расчеты выбросов в атмосферу вредных веществ при сжигании топлива.....	504
6.5.1. Расчет выбросов твердых частиц.....	505
6.5.2. Расчет выбросов оксидов серы.....	508
6.5.3. Расчет содержания оксида углерода в дымовых газах.....	509
6.5.4. Расчет выбросов оксидов азота.....	511
6.5.5. Расчет выбросов оксидов ванадия.....	513
6.6. Анализ влияния выбросов в атмосферу проектируемым промышленным объектом на окружающую среду.....	514
6.6.1. Нормирование качества атмосферного воздуха.....	514
6.6.2. Определение доминирующей вредности.....	516
6.6.3. Расчет рассеивания в атмосфере вредных веществ газовых выбросов.....	519
6.6.4. Нормирование предельно допустимых выбросов.....	525
6.6.5. Обоснование размеров санитарно-защитной зоны.....	528
6.7. Очистка газовых выбросов и энергосбережение.....	529
6.7.1. Очистка газовых выбросов от пылей.....	530
6.7.2. Очистка выбросов от газообразных компонентов.....	541
6.7.3. Энергосбережение в системах очистки газовых выбросов при объединении с энерготехнологией.....	546
Литература.....	557
Приложения.....	559
<b>Глава VII. Теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций отапливаемых зданий.....</b>	<b>568</b>
7.1. Основные положения теплотехнического проектирования наружных ограждающих конструкций.....	568
7.2. Расчетные условия.....	569
7.3. Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций.....	571
7.4. Сопротивление паропрооницанию наружных ограждающих конструкций.....	581
7.5. Сопротивление воздухопроницанию ограждающих конструкций.....	585
7.6. Теплоустойчивость помещений.....	589
Литература.....	598

<b>Глава VIII. Рекомендации по использованию элементов энергосбережения в зданиях и сооружениях при выполнении курсовых и дипломных проектов</b> .....	599
8.1. Общие соображения .....	599
8.2. Установка приборов учета и регуляторов .....	601
8.3. Тепловая изоляция.....	603
8.4. Учет климатических условий при расчете отопления .....	606
8.5. Экономия электроэнергии в зданиях и сооружениях .....	609
8.6. Нормирование потребления ТЭР .....	611
Литература .....	615
<b>Глава IX. Методические указания и примеры расчетов для курсового проекта «Газоснабжение города»</b> .....	616
9.1. Исходные данные для проектирования, содержание и объем курсового проекта .....	616
9.2. Характеристика объекта проектирования и потребителей газа.....	617
9.3. Определение свойств газообразного топлива .....	618
9.4. Определение количества сетевых ГРП .....	623
9.5. Определение расходов газа потребителями города .....	624
9.6. Выбор системы газоснабжения города .....	638
9.7. Гидравлический расчет кольцевой сети среднего(высокого) давления .....	639
9.8. Гидравлический расчет распределительной сети низкого давления.....	651
9.9. Устройство внутреннего газоснабжения .....	658
9.10. Гидравлический расчет внутридомовых газопроводов.....	663
9.11. Выбор и расчет газовых горелок для котлов квартальной котельной.....	673
9.11.1. Расчет подовой горелки .....	673
9.11.2. Расчет инжекционной горелки среднего давления .....	680
9.12. Подбор и расчет оборудования для ГРУ квартальной котельной .....	688
Литература .....	696
<b>Глава X. Методические указания к дипломному проекту по газоснабжению</b> .....	698
10.1. Состав и содержание проекта .....	698
10.2. Общие указания по оформлению проекта .....	699
10.3. Методические рекомендации и примеры расчетов по проекту .....	700
10.3.1. Выбор схемы газоснабжения промышленного предприятия.....	700
10.3.2. Определение расходов газа промышленными агрегатами и котлами.....	702
10.3.3. Выбор и расчет горелочных устройств газоиспользующих агрегатов.....	705
10.3.4. Гидравлический расчет газовых сетей предприятий .....	716
10.3.5. Выбор схемы газоснабжения сельскохозяйственных объектов .....	720
10.3.6. Определение расчетных расходов газа сельскохозяйственными потребителями .....	725
10.3.7. Гидравлический расчет газопроводов сельскохозяйственных объектов .....	731
10.3.8. Защита газопроводов от коррозии.....	736
Литература .....	746

---

<b>Глава XI. Подземные бесканальные тепловые сети из предварительно изолированных трубопроводов .....</b>	<b>748</b>
11.1. Общие положения.....	748
11.2. Компенсационный метод прокладки предизолированных труб.....	752
11.3. Прокладка труб с предварительным подогревом.....	759
11.3.1. Прокладка без стартовых компенсаторов.....	759
11.3.2. Прокладка со стартовыми компенсаторами .....	760
11.4. Прокладка труб с применением сильфонных компенсаторов .....	761
11.5. Компенсационные зоны .....	762
11.6. Неподвижные опоры .....	763
11.7. Ответвления трубопроводов.....	764
11.8. Присоединение к теплопроводам канальной прокладки.....	765
11.9. Установка арматуры и фасонных изделий .....	767
11.10. Системы аварийной сигнализации .....	767
Литература .....	776

Учебное издание

*Борис Михайлович Хрусталеv*  
*Юрий Яковлевич Кувшинов*  
*Виктор Михайлович Копко*  
*Александр Александрович Михалеvич*  
*Петр Иванович Дячек*  
*Виктор Владимирович Покотилоv*  
*Эдуард Владимирович Сенькеvич*  
*Лилия Владимировна Борухова*  
*Виталий Петрович Пилуошенко*  
*Галина Ивановна Базыленко*  
*Олег Иосифович Юрков*  
*Валерий Васильевич Артихович*  
*Марина Григорьевна Пшоник*

# Теплоснабжение и вентиляция

## Курсовое и дипломное проектирование

3-е издание исправленное и дополненное

Редактор: *Копко В.М.*  
Компьютерная верстка: *Алексеев В.Ю.*

Диапозитивы предоставлены издательством

Подписано в печать 21.12.2009. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага газетная. Гарнитура «Таймс». Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 49. III завод. Тираж 1000 экз. Заказ №

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)  
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации: оф. 511  
тел., факс: (499) 183-56-83  
<http://www.iasv.ru>, e-mail: [iasv@mgsu.ru](mailto:iasv@mgsu.ru)