

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

О. В. КАРТАВЦЕВА  
Н. В. КУНДРО  
О. Н. ШИРОКОВА

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИКА, ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ВЕНТИЛЯЦИЯ

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальностей 1-70 02 01, 1-70 02 02, 1-70 04 03  
и слушателей ИПК УО «ПГУ» специальности 1-70 02 71

Новополоцк  
ПГУ  
2009

УДК 697 (075.8)  
ББК 38.762  
К27

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

директор филиала СУ-126 ОАО «Трест № 16 г. Новополоцк» В. Н. ГОРБАЧЁНОК;  
канд. техн. наук, ст. преп. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции  
УО «Полоцкий государственный университет» С. И. ПИВОВАРОВА

Рекомендовано к изданию методической комиссией  
инженерно-строительного факультета  
в качестве учебно-методического комплекса (протокол № 1 от 30.09.2008)

**Картавцева, О. В.**

К27      Инженерные сети и оборудование. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция : учеб.-метод. комплекс для студентов спец. 1-70 02 01, 1-70 02 02, 1-70 04 03 и слушателей ИПК УО «ПГУ» спец. 1-70 02 71 / О. В. Картавцева, Н. В. Кундро, О. Н. Широкова; под общ. ред. О. В. Картавцевой. – Новополоцк : ПГУ, 2009. – 232 с.  
ISBN 978-985-418-848-5.

Представлена рабочая программа изучаемого курса (лекционные и практические занятия) и рейтинговая система контроля знаний. Рассмотрены вопросы теплового режима помещений и зданий, формирования микроклимата помещений, переноса теплоты и влаги через ограждающие конструкции; составления теплового баланса помещений, отопления зданий (виды систем отопления, отопительных приборов, расчет элементов систем); вентиляции и кондиционирования воздуха; теплоснабжения и газоснабжения.

Представлены методические указания к выполнению контрольной работы для студентов заочной формы обучения; курсовой работы и расчетно-графической работы для студентов очной формы обучения; вопросы для текущего и итогового контроля.

Предназначен для преподавателей и студентов вузов, специалистов, слушателей института повышения квалификации и переподготовки кадров.

**УДК 697 (075.8)**  
**ББК 38.762**

**ISBN 978-985-418-848-5**

© Картавцева О. В., Кундро Н. В., Широкова О. Н., 2009  
© УО «Полоцкий государственный университет», 2009

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
Рабочая программа .....	5
Рейтинговая система .....	7
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ .....	9
ТЕМА 1. ОСНОВЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ .....	10
1.1. Основные понятия и определения технической термодинамики .....	10
1.2. Основные законы термодинамики .....	15
1.3. Газовые смеси .....	17
1.4. Основы теории теплообмена .....	18
1.5. Теплообменные аппараты .....	25
ТЕМА 2. ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ И ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМЫ ЗДАНИЯ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ .....	27
2.1. Понятие микроклимата. Условия комфортности .....	27
2.2. Свойства наружных ограждений и их влияние на воздушно-тепловой режим помещений в холодный период года .....	29
2.3. Тепловой баланс помещений в холодный период года. Расчетная мощность системы отопления .....	32
2.4. Летний тепловой режим зданий .....	36
ТЕМА 3. ОТОПЛЕНИЕ .....	37
3.1. Общие сведения об отоплении. Классификация систем отопления .....	37
3.2. Системы водяного отопления .....	40
3.3. Размещение элементов системы отопления в здании .....	43
3.4. Отопительные приборы .....	46
3.5. Гидравлический расчет систем водяного отопления .....	60
3.6. Системы пароводяного отопления. Понятия о системах отопления зданий повышенной этажности .....	64
3.7. Системы парового отопления .....	65
3.8. Системы воздушного отопления .....	69
3.9. Панельно-лучистое отопление .....	74
3.10. Местное отопление .....	77

ТЕМА 4. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА.....	80
4.1. Общие сведения о вентиляции.....	80
4.2. Свойства влажного воздуха, <i>I-d</i> диаграмма .....	82
4.3. Воздухообмен. Способы организации воздухообмена .....	84
4.4. Естественная вентиляция .....	89
4.5. Механическая вентиляция.....	96
4.6. Борьба с шумом и вибрациями в механических системах вентиляции .....	104
4.7. Кондиционирование воздуха .....	106
4.8. Холодоснабжение.....	110
 ТЕМА 5. ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ .....	 111
5.1. Общие сведения о топливе.....	111
5.2. Тепловой баланс котельного агрегата.....	112
5.3. Общие характеристики топочных устройств .....	114
5.4. Котельные установки.....	116
5.5. Централизованное теплоснабжение .....	118
5.6. Теплоснабжение строительной площадки.....	124
5.7. Использование нетрадиционных источников энергии .....	126
5.8. Газоснабжение .....	129
5.9. Обслуживание систем газоснабжения. Техника безопасности при строительстве и эксплуатации систем газоснабжения.....	135
 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	 137
Методические указания к проведению практических занятий .....	138
Методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплине «Инженерные сети и оборудование зданий».....	166
Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по дисциплине «Инженерные сети и оборудование зданий».....	191
Методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Инженерные сети и оборудование зданий».....	193
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ .....	195
ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ .....	214
ЛИТЕРАТУРА .....	217
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	219

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Инженерные сети и оборудование» входит в цикл общепрофессиональных дисциплин для студентов специальностей 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство», 1-70 02 02 «Экспертиза и управление недвижимостью», 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».

Целью преподавания раздела «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» дисциплины «Инженерные сети и оборудование» является подготовка высококвалифицированного специалиста согласно квалификационной характеристике, владеющего базовыми теоретическими знаниями основ теплотехники, отопления, вентиляции, тепло- и газоснабжения и навыками применения их для решения теоретических и практических задач.

После изучения данного раздела студент должен знать следующий материал: условия формирования микроклимата помещений, определение его параметров; устройство систем отопления, теплоснабжения, вентиляции, кондиционирования воздуха и газоснабжения; принципы расчетов систем отопления и естественной вентиляции зданий. Студент должен уметь рассчитывать тепловой баланс помещений зданий; выполнять расчеты и анализ тепловлажностного режима ограждающих конструкций; принимать решения по проектированию систем отопления и вентиляции жилых зданий; выполнять теплотехнический расчет системы водяного отопления и расчет систем естественной вытяжной вентиляции.

Раздел «Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция» курса «Инженерные сети и оборудование» базируется на знаниях студентов, полученных ими при изучении следующих дисциплин: высшая математика, физика, архитектура, гидравлика.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Курс рассчитан на 54 часа аудиторных занятий, из них 36 часов посвящено лекционному материалу и 18 часов – практическим занятиям. Для студентов дневной формы обучения в соответствии с учебным планом предусматривается выполнение курсовой работы (для специальностей 1-70 02 01 и 1-70 04 03) и расчетно-графической работы (для специальности 1-70 02 02). Для студентов заочной формы обучения в соответствии с учебным планом предусматривается выполнение курсовой работы (для специальностей 1-70 04 03) и контрольной работы (для специальности 1-70 02 01).

Дисциплина «Инженерные сети и оборудование» для студентов специальностей «Промышленное и гражданское строительство», «Экспертиза

и управление недвижимостью» и «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» направлена на получение знаний по теоретическим основам теплотехники, отопления, вентиляции, тепло- и газоснабжения; по конструкциям, принципам действия различных систем теплогазоснабжения и вентиляции; по методам их выбора, расчета, проектирования; по способам экономии материальных и энергетических ресурсов; на приобретение умения проектировать системы отопления и вентиляции в увязке со строительными решениями для гражданских и промышленных зданий.

Специальность	Промышленное и гражданское строительство		Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов		Экспертиза и управление недвижимостью
	Дневное обучение	Заочное обучение	Дневное обучение	Заочное обучение	Дневное обучение
Курс	3	4	3	4	3
Семестр	5	8	5	7	5
Лекции, ч	36	6	36	8	36
Экзамен (семестр)	5	8	5	7	5
Практические занятия, ч	18	6	18	6	18
Курсовая работа (семестр)	5	8	5	7	–
РГР (семестр)	–	–	–	–	5

### 1. Наименование разделов и объем лекционных занятий

Наименование тем лекций	Объем в часах	
	Обучение	
	дневное	заочное
Раздел 1. Основы технической термодинамики и теплопередачи	4	0,5
Раздел 2. Тепловлажностный и воздушный режимы зданий, методы и средства их обеспечения	4	0,5
Раздел 3. Отопление зданий	10	2
Раздел 4. Вентиляция и кондиционирование воздуха	10	2
Раздел 5. Теплогазоснабжение промышленных и гражданских зданий	8	1
<b>Всего:</b>	36	6

### 2. Наименование тем и объем практических занятий

Наименование тем лекций	Объем в часах	
	Обучение	
	дневное	заочное
1	2	3
1. Выбор оптимального термического сопротивления наружной стены. Расчет сопротивления теплопередаче ограждений. Выбор заполнения световых проемов. Определение сопротивлений воздухопроницаемости. Проверка ограждения на наличие конденсации влаги	4	1,5

1	2	3
2. Расчет теплопотерь через элементы ограждений. Расчет тепловой мощности системы отопления	4	1
3. Гидравлический расчет теплопроводов системы водяного отопления	2	0,5
4. Определение площади нагревательной поверхности отопительных приборов	2	0,5
5. <i>I-d</i> диаграмма. Расчет воздухообменов в помещениях	2	1
6. Аэродинамический расчет каналов систем естественной вентиляции. Механическая вентиляция, аэродинамический расчет	2	0,5
7. Выбор оборудования тепловых пунктов. Принципы расчета газовых сетей	2	1
<b>Всего:</b>	18	6

## РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА

по курсу для студентов специальности 1-70 02 01, 1-70 04 03

Оцениваемая работа	Балл за единицу работы	Максимально возможный балл	Примечание
1	2	3	4
<b>Лекционный курс</b>			
Посещение лекций	2 часа = 1 балл	18	36 часов
Активная работа на лекциях		32	
Контрольная проверка знаний			5 единиц
4 (четыре)	40	100	
5 (пять)	50	150	
6 (шесть)	60	200	
7 (семь)	70	250	
8 (восемь)	80	300	
9 (девять)	90	350	
10 (десять)	100	400	
<b>Практические занятия</b>			
Посещение занятий	2 часа = 2 балла	18	18 часов
Активная работа на практических занятиях		32	
<b>Курсовое проектирование</b>			
Активная работа в течение семестра		25	
Своевременная защита курсовой работы		25	
Уровень защиты курсовой работы		50	
4 (четыре)	40		
5 (пять)	50		
6 (шесть)	60		
7 (семь)	70		
8 (восемь)	80		

1	2	3	4
9 (девять)	90		
10 (десять)	100		
Экзамен		400	
ИТОГО		1000	

Результат

Набранное кол-во баллов	400÷450	451÷550	551÷650	651÷750	751÷850	851÷950	951 и более
Оценка	4 (четыре)	5 (пять)	6 (шесть)	7 (семь)	8 (восемь)	9 (девять)	10 (десять)

### РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА по курсу для студентов специальности 1-70 02 02

Оцениваемая работа	Балл за единицу работы	Максимально возможный балл	Примечание
<b>Лекционный курс</b>			
Посещение лекций	2 часа = 2 балла	36	36 часов
Активная работа на лекциях		24	
Контрольная проверка знаний			5 единиц
4 (четыре)	40	100	
5 (пять)	50	150	
6 (шесть)	60	200	
7 (семь)	70	250	
8 (восемь)	80	300	
9 (девять)	90	350	
10 (десять)	100	400	
<b>Практические занятия</b>			
Посещение занятий	2 часа = 2 балла	18	18 часов
Активная работа на практических занятиях		32	
Своевременная защита расчетно-графической работы		20	
Уровень выполненной расчетно-графической работы		70	
Экзамен		400	
ИТОГО		1000	

Результат

Набранное кол-во баллов	400÷450	451÷550	551÷650	651÷750	751÷850	851÷950	951 и более
Оценка	4 (четыре)	5 (пять)	6 (шесть)	7 (семь)	8 (восемь)	9 (девять)	10 (десять)

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

# ТЕМА 1. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

## 1.1. Основные понятия и определения технической термодинамики

**Термодинамика** – это наука о свойствах энергии в различных ее видах, а также о закономерностях перехода энергии от одних тел к другим и из одного вида в другой. Основой этой науки являются два закона природы, достоверность которых подтверждается всем опытом человечества – первый и второй законы термодинамики.

Исторически термодинамика сложилась в процессе изучения сравнительно узкого круга вопросов, связанных с работой тепловых двигателей. В процессе своего развития термодинамика вышла за пределы теории тепловых двигателей, и ее законы в обобщенном виде нашли применение во многих других областях науки и техники.

С точки зрения инженера интерес представляет не только термодинамический метод исследования процессов, с которыми ему приходится сталкиваться в своей практической деятельности, но и сопутствующее этому методу изучение микроструктуры рабочих веществ, при помощи которых осуществляются эти процессы, а также тех изменений ее, какими эти процессы сопровождаются. Именно поэтому параллельно с развитием общей термодинамики всегда существовала и развивалась прикладная наука, которая в отечественной литературе получила название технической термодинамики. Техническая термодинамика вместе с теорией тепло- и массообмена является теоретической базой всей современной теплотехники [15].

Фундаментальными понятиями технической термодинамики являются *теплота* и *работа*. Оба эти понятия неразрывно связаны с процессами передачи энергии от одних тел к другим.

Энергия, запасом которой обладает всякое тело, в общем случае состоит из внешней энергии, присущей всему телу в целом, и внутренней энергии, присущей самим молекулам, из которых состоит тело. Внешняя энергия тела обусловлена его видимым движением и наличием силового поля земного тяготения. Внутренняя энергия тела обусловлена невидимым движением составляющих его молекул и наличием сил взаимодействия между ними.

Передача энергии от одного тела к другому может происходить двумя принципиально различными способами.

Первый из них обусловлен силовым воздействием одного тела на другое в процессе видимого движения и выражается в том, что первое тело совершает над вторым механическую работу. Таким образом, **работа** характеризует энергию, передаваемую от одного тела к другому макрофизическим путем (т.е. в процессе изменения внешней энергии хотя бы одного из двух тел).

Второй способ передачи энергии обусловлен наличием разности температур между телами и выражается в том, что энергия переходит от более нагретого к менее нагретому телу непосредственно, без совершения механической работы. В этом случае передаваемая энергия называется теплотой, а сам процесс передачи энергии – теплообменом. Таким образом, **теплота** характеризует энергию, передаваемую от одного тела к другому микрофизическим путем (т.е. в процессе изменения только внутренней молекулярной энергии тел).

В общем случае обмен энергией между телами осуществляется сразу обоими способами, то есть в одном и том же процессе имеют место одновременно и совершение работы, и передача теплоты [15].

Во взаимопреобразовании тепловой и механической энергии участвует **рабочее тело**, в роли которого, как правило, выступают газообразные тела – газы и пары. Использование в качестве рабочего тела газов и паров объясняется тем, что они, обладая большим коэффициентом теплового расширения, могут при нагревании совершать гораздо большую работу, чем жидкости и твердые тела.

В термодинамике введено два понятия о газе. Газы, молекулы которых обладают силами взаимодействия и имеют конечные, хотя и весьма малые геометрические размеры, называются **реальными газами**. Газы, молекулы которых не обладают силами взаимодействия, а сами молекулы представляют собой материальные точки с ничтожно малыми объемами, называются **идеальными газами**. Понятие об идеальном газе введено для упрощения изучения термодинамических процессов и получения более простых расчетных формул.

Водяной пар рассматривают как реальный газ, к которому нельзя применять законы, установленные для идеальных газов. Все реальные газы являются парами тех или иных жидкостей; при этом чем ближе газ к переходу в жидкое состояние, тем больше его свойства отклоняются от свойств идеального газа [24].

В зависимости от внешних условий один и тот же газ может находиться в разных состояниях. Физические величины, характеризующие рабочее тело в состоянии равновесия, называют **термодинамическими па-**

**раметрами состояния.** К основным параметрам состояния газов относятся давление, абсолютная температура и удельный объем.

**Давление.** Давлением называется сила, действующая на единицу площади поверхности тела перпендикулярно последней. Давление газа есть средний результат силового воздействия громадного числа молекул газа на внутреннюю поверхность сосуда, в котором заключен газ. Молекулы газа, находясь все время в движении, ударяются о поверхность сосуда и тем самым «давят» на его стенки.

В технике различают абсолютное давление, избыточное давление и разрежение. Под **абсолютным давлением**  $p_{абс}$ , Па, подразумевается полное давление, под которым находится газ в закрытом сосуде. Под **избыточным давлением**  $p_{изб}$ , Па, понимают разность между абсолютным давлением, большим, чем атмосферное, и атмосферным давлением. **Разрежение (вакуум)**  $p_{вак}$ , Па, характеризуется разностью между атмосферным давлением и абсолютным давлением, меньшим, чем атмосферное.

Приборы, служащие для измерения давления газа больше атмосферного, называются манометрами и показывают избыточное давление газа над атмосферным. В практике избыточное давление называют манометрическим давлением. Для измерения давлений меньше атмосферного применяются вакуумметры, показывающие, насколько давление газа ниже атмосферного.

**Температура.** Абсолютная температура газа является мерой интенсивности хаотического движения его молекул. Это параметр, характеризующий тепловое состояние тела. Абсолютная температура всегда положительна, а нулевое значение ее соответствует состоянию полного покоя молекул.

Шкала, в которой температура отсчитывается от этого состояния, называется шкалой Кельвина, а измеренная в этой шкале температура обозначается через  $T$  °К. В технике же принята международная стоградусная шкала (шкала Цельсия), в которой отсчет ведется от состояния тающего льда при нормальном давлении (соответствующего абсолютной температуре  $T = 273,15$  °К). Измеренная по этой шкале температура обозначается через  $t$  °С. Величина градуса в обеих шкалах одинакова, поэтому пересчет с одной шкалы в другую производится по соотношению  $T = t + 273,15$  °К.

В ряде стран используют температурные шкалы Фаренгейта и Ренкина. Пересчет температуры, заданной в градусах Фаренгейта (°F), в градусы Цельсия производят по соотношению  $t$  °С =  $(t$  °F + 32)/1,8.

Шкала Ренкина (°R) имеет началом отсчета абсолютный нуль температур, а цена ее деления одинакова со шкалой Фаренгейта, поэтому  $T$  °R = 1,8 $T$  [23].

Температура тела характеризует его способность к теплообмену с окружающей средой или другими телами. Она определяет направление возможного самопроизвольного перехода теплоты от тела с большей температурой к телу с меньшей температурой.

**Удельный объем** – это величина, представляющая собой отношение объема газа  $V$ , м<sup>3</sup>, к заключенной в нем массе  $M$ , кг:

$$\nu = V / M, \text{ м}^3/\text{кг}. \quad (1.1)$$

Величину, обратную удельному объему, называют **плотностью**:

$$\rho = 1/\nu = M / V, \text{ кг/м}^3. \quad (1.2)$$

Термодинамические параметры идеального газа в любом его состоянии связаны зависимостью

$$p \cdot \nu = R \cdot T, \quad (1.3)$$

которая и представляет собой **уравнение состояния идеального газа**. Впервые эта зависимость была получена Клапейроном и поэтому часто называется *уравнением Клапейрона*.

Умножая обе части равенства на массу газа  $M$  и учитывая, что  $\nu \cdot M = V$ , получается уравнение состояния произвольного количества идеального газа:

$$p \cdot V = M \cdot R \cdot T. \quad (1.4)$$

В результате хаотического движения молекулы газа стремятся к равномерному распределению по всему предоставленному им объему, а взаимный обмен энергией обуславливает равномерное распределение между ними всей внутренней энергии газа. Таким образом, наиболее естественным является такое состояние газа, при котором удельный объем, давление и температура, а вместе с ними и все остальные параметры, имеют одинаковое значение во всех точках объема, занимаемого газом. Такое термодинамическое состояние газа называется **равновесным**. Внешние воздействия (например, односторонний нагрев, перемещение поршня в цилиндре, заполненном газом) нарушают равновесие, и параметры газа перестают быть одинаковыми во всех точках, но после того, как внешнее возмущение прекратится, газ вновь приходит самопроизвольно к состоянию равновесия. Отсюда видно, что всякий реальный процесс перехода газа из одного состояния в другое неизбежно связан с нарушением термодинамического равновесия, и каждое из промежуточных состояний его является **неравновесным**.

Однако в технической термодинамике реальные условия идеализируются. В ней рассматриваются только равновесные состояния газа, а всякий процесс перехода его от одного состояния в другое рассматривается как непрерывная последовательность переходов газа от одного равновесного состояния к другому, бесконечно близкому к нему равновесному состоянию. Это дает возможность характеризовать каждое из промежуточных состояний газа конкретными значениями рассмотренных выше параметров состояния  $p$ ,  $v$  и  $T$ .

В технической термодинамике под величиной **внутренней энергии** понимают запас энергии в теле, обусловленной тепловым (хаотическим) движением молекул. Внутренняя энергия является экстенсивным свойством газа, то есть зависит от его массы. Каждому состоянию газа соответствует одно и только одно значение внутренней энергии. Это означает, что внутренняя энергия представляет собой однозначную функцию состояния или, иначе, однозначную функцию любых двух независимых параметров, определяющих это состояние.

Поэтому изменение внутренней энергии в каком-либо процессе не зависит от характера процесса, а однозначно определяется заданными начальным и конечным состояниями газа:

$$\Delta u = u_2 - u_1, \quad (1.5)$$

где  $u_1$  – значение внутренней энергии в начальном состоянии, Дж/кг;

$u_2$  – значение внутренней энергии в конечном состоянии, Дж/кг.

Наряду с внутренней энергией важную роль в основах технической термодинамики играет величина  $i = u + pv$ , называемая **энтальпией** газа. Будучи составленной из функций состояния, энтальпия сама является функцией состояния. Энтальпия в общем случае представляет собой чисто математическую величину и приобретает конкретный физический смысл лишь применительно к процессам, протекающим в газовом потоке. Тогда при температуре  $T$  (или  $t$ ) энтальпия газа  $i$ , Дж/кг, численно равна количеству теплоты, которое подведено к газу в процессе нагревания его от  $0^\circ\text{K}$  (или от  $0^\circ\text{C}$ ) до температуры  $T$  (или  $t$ ) при постоянном давлении.

**Теплоемкостью** тела в каком-либо процессе изменения его состояния называется количество теплоты, необходимой для повышения его температуры на один градус. Теплоемкость, отнесенная к единице количества вещества, является его **удельной теплоемкостью**, однако обычно ее тоже называют просто теплоемкостью. В зависимости от того, к какой единице количества вещества ее относят, различают **массовую**, **объемную** и **моль-**

*ную* теплоемкости. Соответственно, единицы измерения кДж/(кг·град), кДж/(м<sup>3</sup>·град) и кДж/(кмоль·град).

Количество теплоты, подводимой для повышения температуры на 1 градус, существенным образом зависит от характера процесса. Особое значение для нагревания или охлаждения газа имеют условия, при которых происходит процесс подвода или отвода теплоты. В теплотехнике наиболее важным является нагревание (или охлаждение) при постоянном объеме и нагревание (или охлаждение) при постоянном давлении. Теплоемкость в первом случае называется *изохорной*, а во втором – *изобарной* и обозначается соответственно  $c_v$  и  $c_p$ .

Связь между этими теплоемкостями устанавливается уравнением Майера:

$$c_p = c_v + R. \quad (1.6)$$

При нагревании 1 кг газа на 1 градус при постоянном объеме при постоянном объеме сообщаемая газу теплота – теплоемкость  $c_v$  – расходуется только на увеличение внутренней энергии газа, так как внешняя работа не совершается.

При нагревании 1 кг газа на 1 градус при постоянном давлении объем газа возрастает и сообщаемую газу теплоту – теплоемкость  $c_p$  – расходуют не только на увеличение внутренней энергии газа, но и на совершение работы расширения. Поэтому изобарная теплоемкость всегда больше изохорной на величину работы, совершаемой 1 кг газа при нагревании его на 1 градус при постоянном давлении.

## 1.2. Основные законы термодинамики

**Первый закон термодинамики** является частным случаем всеобщего закона сохранения и превращения энергии. Этот закон устанавливает количественную связь между изменением внутренней энергии системы и внешними воздействиями на нее.

Первый закон термодинамики обычно формулируют следующим образом: *подводимая к рабочему телу теплота расходуется на изменение внутренней энергии и совершение работы*. При исследовании термодинамических процессов первый закон термодинамики выражают в математической форме. Допустим, что в цилиндре с подвижным поршнем находится 1 кг рабочего тела (газа). Если к этому рабочему телу подвести

$q$  (Дж) теплоты, то состояние его изменится (увеличатся температура и объем), поршень перейдет в другое положение и рабочее тело при этом совершит  $l$  (Дж) работы. Разница между количеством теплоты, подведенной к рабочему телу, и совершенной им работой выражает изменение внутренней энергии тела. Таким образом можно написать

$$q - l = u_2 - u_1 \text{ или } q = (u_2 - u_1) + l. \quad (1.7)$$

Уравнение (1.7) представляет собой математическое выражение первого закона термодинамики для конечного изменения состояния рабочего тела (газа). Оно показывает, что подводимая к рабочему телу теплота расходуется на изменение внутренней энергии и на совершение работы расширения.

**Второй закон термодинамики** связан с необратимостью (односторонней направленностью) всех естественных процессов, происходящих в макром мире.

Первый закон термодинамики определяет количественные соотношения в процессе взаимопревращения тепловой и механической энергии, но не устанавливает условий, при которых такое взаимопревращение возможно. Условия, необходимые для превращения теплоты в механическую энергию, раскрываются вторым законом термодинамики, который представляет собой, таким образом, очень важное дополнение к первому закону термодинамики. В основу современного учения о термодинамике положены оба эти закона.

Имеется целый ряд формулировок закона термодинамики, выражающих определенное свойство тепловой энергии в разных формах. Вот две характерные формулировки.

1. Теплота сама собой переходит лишь от тела с более высокой температурой к телу с более низкой температурой, но никогда наоборот; некомпенсированный переход теплоты от тела с меньшей температурой к телу с большей температурой невозможен (Клаузиус) [24].

2. Невозможно при помощи не одушевленного материального двигателя получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже самого холодного из окружающих предметов (Томсон) [19].

Объединяя постулаты Клаузиуса и Томсона и выходя за рамки тепломеханических процессов, к которым эти постулаты относятся, можно сформулировать следующее положение, которое по сути дела и составляет содержание второго закона термодинамики в его наиболее общей форме: *если в заданной системе какие-либо процессы могут протекать самопроизвольно, то обратные по отношению к ним процессы возможны*

*лишь при условии определенных компенсирующих изменений состояния системы, а протекать самопроизвольно они не могут.* Иными словами, *все самопроизвольные процессы природы необратимы* [19].

### 1.3. Газовые смеси

В теплотехнике гораздо чаще имеют дело с газовыми смесями, нежели с отдельно взятыми однородными газами. Под **смесью идеальных газов** понимается механическая смесь различных газов при условии отсутствия в них химических реакций, т.е. химически между собой не взаимодействующих. Смесь идеальных газов подчиняется всем законам для идеального газа.

Состав газовой смеси определяется количеством каждого из газов, входящих в смесь, и может быть задан массовыми или объемными долями. **Массовая доля**  $m_i$  – отношение массы отдельного газа  $M_i$ , входящего в смесь, к массе всей смеси  $M_{см}$

$$m_i = M_i / M_{см} . \quad (1.8)$$

**Объемная доля**  $r_i$  – отношение объема отдельного газа  $V_i$ , входящего в смесь, к объему всей смеси

$$r_i = V_i / V_{см} . \quad (1.9)$$

Очевидно, что сумма массовых или объемных долей всех компонентов газовой смеси в результате будет равна 1, то есть

$$\sum m_i = \sum r_i = 1 . \quad (1.10)$$

Каждый компонент смеси занимает весь располагаемый объем, в котором заключена смесь, и, соответственно, оказывает на стенки сосуда свое так называемое **парциальное давление**.

Сумма парциальных давлений всех компонентов газовой смеси равна общему (абсолютному) давлению газовой смеси

$$p_{абс} = p_{см} = \sum p_i . \quad (1.11)$$

Это положение называется **законом Дальтона**. Определить парциальное давление проще всего, если известны объемные доли компонентов смеси:

$$p_i = p \cdot r_i . \quad (1.12)$$

## 1.4. Основы теории теплообмена

**Теория теплообмена** – это наука о процессах переноса теплоты. С теплообменом связаны многие явления, наблюдаемые в природе и технике. Ряд важных вопросов проектирования и строительства зданий и сооружений решается на основе теории теплообмена или некоторых ее положений. Знание законов теплообмена позволяет инженеру-строителю увязать толщину и материал ограждающих конструкций с отопительными устройствами, разработать новые строительные материалы и конструкции, и другие вопросы, которые возникают в процессе развития строительной техники [24].

Теплообмен представляет собой сложный процесс, который можно расчленить на ряд простых процессов. Различают три элементарных принципиально отличных один от другого процесса теплообмена – *теплопроводность, конвекцию и тепловое излучение*.

Количество теплоты, переносимой в единицу времени при любом виде теплообмена, называется **тепловым потоком**  $Q$ , Вт.

Отношение теплового потока  $Q$ , Вт, к единице площади  $F$ , м<sup>2</sup>, называется **поверхностной плотностью теплового потока**  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>:

$$q = Q / F . \quad (1.13)$$

Температурное состояние тела или системы тел можно охарактеризовать с помощью температурного поля, под которым понимается совокупность мгновенных значений температур во всех точках изучаемого пространства. Температура различных точек тела определяется координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и временем  $\tau$ . Поэтому в общем случае

$$t = f(x, y, z, \tau) . \quad (1.14)$$

Температурное поле, которое изменяется с течением времени, называется **нестационарным** (неустановившимся). При этом тепловой режим и тепловой поток будут тоже нестационарными. Наглядным примером нестационарного температурного поля может служить температурное состояние стенок отопительной печи.

Если температура в любой точке тела с течением времени не изменяется, то температурное поле называется **стационарным** (установившемся). В этом случае тепловой режим и тепловой поток будут также стационарными. Простейшим температурным полем является одномерное стационарное поле, которое характеризуется изменением температуры в направлении одной координатной оси  $t = f(x)$ . Примером одномерного темпера-

турного поля может служить распределение температуры в наружных строительных конструкциях, толщина которых по сравнению с прочими размерами невелика.

Температурное поле в рассматриваемом теле или системе тел удобно характеризовать с помощью **изотермических поверхностей**, под которыми понимается геометрическое место точек с одинаковой температурой. Такие поверхности могут быть замкнутыми и выходить за границы тела, но между собой никогда не пересекаются. Если изотермические поверхности пересечь плоскостью, то на плоскости сечения получим изотермические линии, называемые **изотермами** (рис. 1.1). Взаимное расположение изотерм наглядно характеризует распределение температур в теле и интенсивность изменения температуры в различных направлениях: чем чаще расположены изотермы, тем интенсивнее изменяется температура. Наибольшее изменение температуры на единицу длины получается в направлении нормали к изотермическим поверхностям. Производная температуры по нормали к изотермической поверхности называется **температурным градиентом** и обозначается  $grad\ t$ , его размерность – град/м.

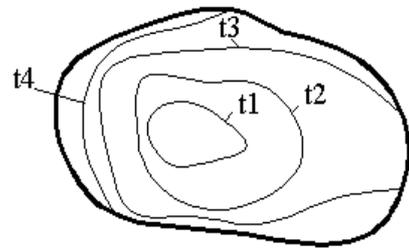


Рис. 1.1. Линии изотерм

**Теплопроводность.** Процесс теплопроводности происходит при непосредственном соприкосновении (соударении) частиц вещества (молекул, атомов и свободных электронов), сопровождающемся обменом энергии и их тепловым движением. Такой процесс теплообмена может происходить в любых телах, но механизм переноса теплоты зависит от агрегатного состояния тела. Теплопроводность жидких и газообразных тел незначительна. Твердые тела обладают разной теплопроводностью. Тела с малой теплопроводностью называют **теплоизоляционными**.

Основным законом теплопроводности, устанавливающим прямую пропорциональность между поверхностной плотностью теплового потока и температурным градиентом, является **закон Фурье**:

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = -\lambda \cdot grad\ t, \quad (1.15)$$

где  $\lambda$  – множитель пропорциональности, который называется коэффициентом теплопроводности, Вт/(м·град).

Знак минус указывает, что вектор теплового потока направлен в сторону, противоположную температурному градиенту. А из уравнения (1.15)

видно, что **коэффициент теплопроводности** количественно равен удельному тепловому потоку при температурном градиенте, равном единице (изменение температуры в  $1^\circ\text{C}$  на единицу длины).

Коэффициент теплопроводности является важной теплофизической характеристикой вещества: чем больше  $\lambda$ , тем большей теплопроводностью обладает вещество. Коэффициент теплопроводности зависит от природы вещества, его структуры, влажности, наличия примесей, температуры и других факторов.

В практических расчетах коэффициент теплопроводности строительных материалов надлежит принимать по [12, прил. А].

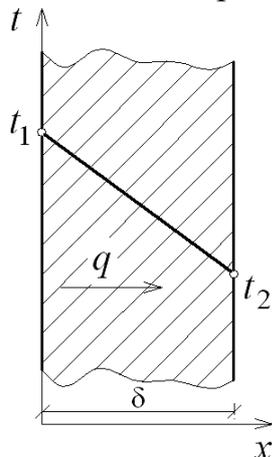


Рис. 1.2. Распределение температур в однослойной плоской стенке

Для однослойной плоской стенки (рис. 1.2)

при условии распространения теплоты только вдоль оси  $x$  (температурное поле в стенке будет одномерным и изотермическими поверхностями будут плоскости, параллельные поверхностям стенки) **закон Фурье** запишется **аналитически** в следующем виде

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2) = \frac{t_1 - t_2}{R}, \quad (1.16)$$

где  $\delta$  – толщина стенки, м;

$R = \delta/\lambda$  – термическое сопротивление стенки,  $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ .

Общее количество теплоты, проходящей за 1 ч через стенку с площадью поверхности  $F$ ,  $\text{м}^2$ , определяется как

$$Q = q \cdot F. \quad (1.17)$$

Для многослойной плоской стенки (рис. 1.3), состоящей из  $n$  слоев, плотно прилегающих друг к другу, при стационарном режиме тепловые потоки, проходящие через каждый из слоев, одинаковы. Поэтому для каждого слоя можно написать

$$q = \frac{\lambda_1}{\delta_1} (t_1 - t_2); \quad q = \frac{\lambda_2}{\delta_2} (t_2 - t_3); \quad \dots; \quad (1.18)$$

$$q = \frac{\lambda_n}{\delta_n} (t_n - t_{n+1})$$

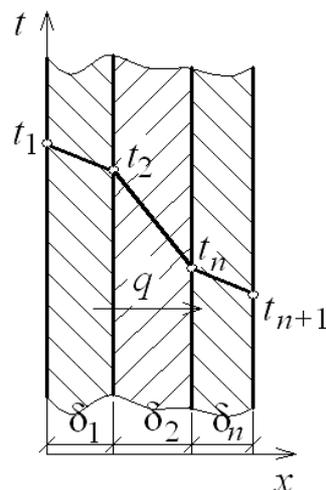


Рис. 1.3. Распределение температур в многослойной плоской стенке

Если из этих уравнений выразить разницу температур, а затем просуммировать правую и ле-

вую части этих равенств, то получится уравнение для определения **плотности теплового потока для многослойной стенки**

$$q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} = \frac{t_1 - t_{n+1}}{R}, \quad (1.19)$$

где  $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$  – общее термическое сопротивление многослойной стенки, равное сумме термических сопротивлений отдельных слоев.

**Конвекция.** Процесс конвекции происходит лишь в жидкостях и газах и представляет собой перенос теплоты в результате перемещения и перемешивания частиц жидкости или газа. Конвекция всегда сопровождается теплопроводностью.

Если перемещение частиц жидкости или газа обуславливается разностью их плотностей, то такое перемещение называют **естественной конвекцией**. При естественной конвекции нагретые объемы теплоносителя поднимаются, охладившиеся – опускаются.

Если жидкость или газ перемещается с помощью насоса, вентилятора, эжектора и других устройств, то такое перемещение называют **вынужденной конвекцией**. Теплообмен происходит в этом случае значительно интенсивнее, чем при естественной конвекции.

Тепловой поток  $Q$ , Вт, передаваемый при конвективном теплообмене, определяется по **формуле Ньютона**

$$Q = \alpha_k F \cdot (t_{жс} - t_c), \quad (1.20)$$

где  $\alpha_k$  – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$t_{жс}$  – температура теплоносителя (жидкости или газа), °С;

$t_c$  – температура поверхности стенки, °С;

$F$  – поверхность соприкосновения теплоносителя со стенкой, м<sup>2</sup>.

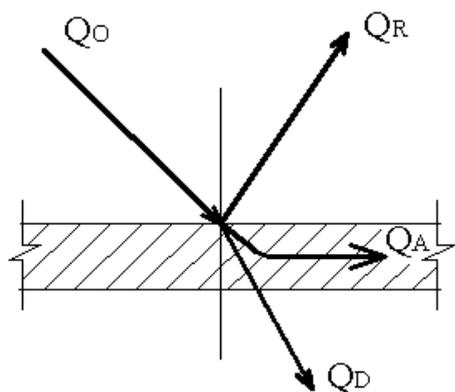
Формулу (1.20) можно использовать для определения теплового потока как при теплоотдаче от жидкости или газа к стенке, так и при теплоотдаче от стенки к жидкости или газу.

**Коэффициент теплоотдачи**  $\alpha_k$  есть количество теплоты, проходящей в единицу времени от жидкости (газа) к стенке (или наоборот) через 1 м<sup>2</sup> поверхности при разности температур жидкости и стенки 1 °С. В отличие от коэффициента теплопроводности коэффициент теплоотдачи очень сложная величина, которой учитываются следующие факторы, обу-

связывающие протекание конвективного теплообмена: характер движения жидкости или газа (ламинарное или турбулентное) и природа его возникновения; скорость движения жидкости или газа; физические параметры жидкости или газа (коэффициент теплопроводности, вязкость, плотность, теплоемкость, коэффициент объемного расширения, температура жидкости или газа и поверхности, форма и линейные размеры омываемой поверхности). Для определения коэффициента теплоотдачи предложено несколько эмпирических формул, однако более точные результаты дает экспериментальное определение его значения с использованием критериев подобия.

**Тепловое излучение.** Процесс теплового излучения состоит в переносе теплоты от одного тела к другому электромагнитными волнами, возникающими в результате сложных молекулярных и атомных возмущений. Теплообмен излучением может происходить между телами, находящимися на большом расстоянии одно от другого (например, излучение Солнца на Землю). В технике теплообмен излучением имеет место в котлах, в системе отопления зданий, в сушильных агрегатах и т.п. При высоких температурах теплообмен излучением преобладает над другими видами теплообмена и поэтому имеет важное значение.

Лучистая энергия, испускаемая на какое-либо тело, в зависимости от его физических свойств, формы и состояния поверхности, частично поглощается этим телом и переходит в тепловую энергию, а оставшаяся часть отражается и частично проходит через него (рис. 1.4), то есть



$$Q_0 = Q_A + Q_R + Q_D. \quad (1.21)$$

Разделив обе части равенства на  $Q_0$ , получим

$$\frac{Q_0}{Q_0} = \frac{Q_A}{Q_0} + \frac{Q_R}{Q_0} + \frac{Q_D}{Q_0}$$

или

$$1 = A + R + D, \quad (1.22)$$

Рис. 1.4. Схема распределения лучистой энергии, падающей на тело:  $Q_0$  – общее количество лучистой энергии, падающей на тело;  $Q_A$ ,  $Q_R$ ,  $Q_D$  – соответственно количество лучистой энергии, поглощенной, отраженной и прошедшей через него

где  $A = Q_A / Q_0$  – поглощательная способность тела;  
 $R = Q_R / Q_0$  – отражательная способность тела;  
 $D = Q_D / Q_0$  – пропускная способность тела.

Величины  $A$ ,  $R$ ,  $D$  являются безразмерными коэффициентами поглощения, отражения и пропускания. В зависимости от физических свойств тела, его температуры и длины волны падающего излучения эти коэффициенты имеют разные численные значения. А в частных случаях они могут быть равны нулю.

Так если коэффициент поглощения  $A = 1$  (т.е.  $R = D = 0$ ), то тело полностью поглощает все подающие на него лучи и называется абсолютно черным телом. Абсолютно черных тел в природе нет, свойствами, близкими к абсолютно черному телу, обладают нефтяная сажа, черное сукно, черный бархат.

Если коэффициент отражения  $R = 1$  (т.е.  $A = D = 0$ ), то тело полностью отражает падающие на него лучи. Такое тело называется зеркальным, при правильном на рассеянном отражении, или абсолютно белым телом, при рассеянном отражении.

Если  $D = 1$  (т.е.  $R = A = 0$ ), то тело пропускает через себя все падающие на него лучи. Такое тело называется абсолютно прозрачным (прозрачным). Воздух – практически прозрачная среда, твердые тела и жидкости непрозрачны. Многие тела прозрачны только для определенных волн (стекло пропускает световые лучи и почти непрозрачно для ультрафиолетового и длинноволнового инфракрасного излучения).

При теплообмене излучением между двумя поверхностями, находящимися параллельно на небольшом расстоянии друг от друга, количество теплоты, передаваемой излучением с одной поверхности на другую, на основании закона Стефана – Больцмана может быть определено по формуле

$$Q_{1-2} = C_{np} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F, \quad (1.23)$$

где  $C_{np}$  – приведенный коэффициент излучения, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$$C_{np} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_o}}, \quad (1.24)$$

$C_1$ ,  $C_2$  – коэффициенты излучения тел, между которыми происходит процесс лучистого теплообмена;

$C_o$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный 5,68 Вт/(м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>).

В строительной практике иногда возникает необходимость уменьшения интенсивности теплообмена излучением. Одним из эффективных средств уменьшения интенсивности теплообмена служат защитные экраны, выполненные из материалов с малой поглощательной и большой отражательной способностями.

Рассмотренные элементарные виды теплообмена (теплопроводность, конвекция и тепловое излучение) на практике, как правило, протекают одновременно. Конвекция, например, всегда сопровождается теплопроводностью, излучение часто сопровождается конвекцией. Сочетание различных видов теплообмена может быть весьма разнообразным, но роль их в общем процессе неодинакова. Это так называемый *сложный теплообмен*. Процесс теплообмена между стенкой и омывающим ее газом является типичным примером сложного теплообмена – совместного действия конвекции, теплопроводности и теплового излучения.

**Теплопередача.** В теплотехнике часто тепловой поток от одной жидкости (или газа) к другой передается через стенку. Такой суммарный процесс теплообмена, в котором теплоотдача соприкосновением является необходимой составной частью, называется *теплопередачей*.

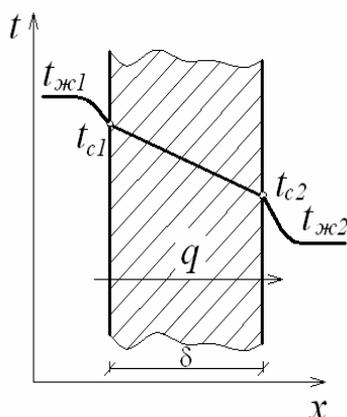


Рис. 1.5. Схема распределения температур при теплопередаче через плоскую стенку

При теплопередаче через плоскую однослойную стенку (рис. 1.5) процесс сложного теплообмена состоит из трех этапов: теплоотдача от нагретой среды к левой поверхности стенки, теплопроводность через стенку и теплоотдача от правой поверхности стенки к холодной среде. Тепловой поток в каждом случае передачи теплоты будет записываться следующим образом:

1. Уравнение теплоотдачи от нагретой среды к стенке

$$q = \alpha_1 \cdot (t_{ж1} - t_{c1});$$

2. Уравнение теплопроводности через стенку

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_{c1} - t_{c2});$$

3. Уравнение теплоотдачи от стенки к холодной среде

$$q = \alpha_2 \cdot (t_{c2} - t_{ж2}).$$

Выразив из этих уравнений температурный напор, °С, и почленно сложив эти уравнения, получим полный температурный напор

$$t_{жс1} - t_{жс2} = q \left( \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad (1.25)$$

откуда поверхностная **плотность теплового потока**, Вт/м<sup>2</sup>, для **процесса теплопередачи** через однослойную плоскую стенку

$$q = \frac{t_{жс1} - t_{жс2}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = k \cdot (t_{жс1} - t_{жс2}). \quad (1.26)$$

Величина  $k$  называется **коэффициентом теплопередачи** и представляет собой мощность теплового потока, проходящего от более нагретой среды к менее нагретой через 1 м<sup>2</sup> поверхности стенки за 1 ч при разнице температур между средами 1°С. Величина, обратная коэффициенту теплопередачи, называется **термическим сопротивлением теплопередаче** и обозначается  $R$ , м<sup>2</sup>·К/Вт.

При теплопередаче через многослойную стенку с  $n$  слоев плотность теплового потока определяется таким же образом. При этом коэффициент теплопередачи и термическое сопротивление теплопередаче согласно определению

$$\frac{1}{k} = R = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (1.27)$$

## 1.5. Теплообменные аппараты

Важным конструктивным элементом систем инженерных сетей и оборудования является **теплообменный аппарат (теплообменник)** – устройство, предназначенное для передачи теплоты от одного теплоносителя другому. В качестве теплоносителей в нем могут использоваться пар, горячая вода, дымовые газы и другие тела. По принципу действия и конструктивному оформлению теплообменники разделяются на рекуперативные, регенеративные и смешительные.

В **рекуперативных теплообменниках** обмен теплотой между теплоносителями происходит способом теплопередачи от греющего теплоно-

сителя к нагреваемому через разделяющую их твердую стенку. Процесс теплообмена в них протекает при стационарном режиме.

В зависимости от взаимного направления движения теплоносителей теплообменники этого типа бывают прямоточные, противоточные и перекрестные (рис. 1.6).

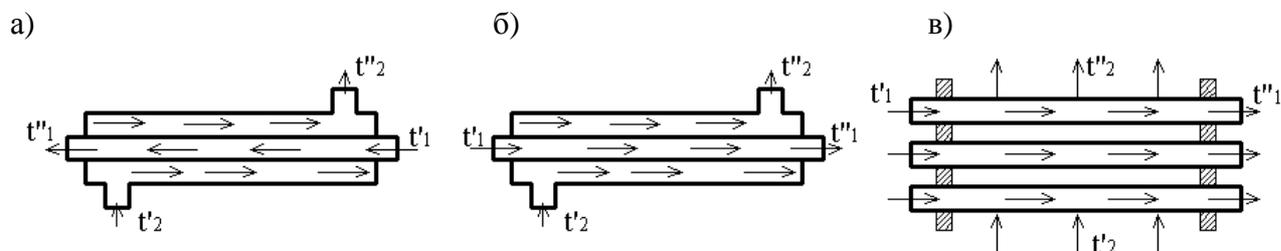


Рис. 1.6. Схема рекуперативных теплообменников:  
а) противоточного; б) прямоточного; в) перекрестного

К числу рекуперативных теплообменников относятся паровые котлы, водонагреватели, приборы систем центрального отопления и др.

В **регенеративных теплообменниках** процесс теплообмена происходит в условиях нестационарного режима. В них поверхность нагрева представляет собой специальную насадку из кирпича, металла или другого материала, которая сначала аккумулирует теплоту, а затем отдает ее нагреваемому теплоносителю. По такому принципу работают, например, отопительные печи.

В **смесительных теплообменниках** процесс теплообмена осуществляется при непосредственном соприкосновении и перемешивании теплоносителей. Примерами такого теплообменника являются башенный охладитель (градирня), предназначенный для охлаждения воды воздухом, контактные водоподогреватели.

Рекуперативные и регенеративные теплообменники являются **поверхностными**, поскольку теплопередача в них связана с поверхностью нагрева или охлаждения, а смесительные – **контактными**.

Тепловые расчеты теплообменников разделяются на проектные и поверочные. Проектные (конструктивные) тепловые расчеты выполняют при проектировании новых аппаратов **для определения необходимой поверхности нагрева**. Поверочные тепловые расчеты выполняют в том случае, если известна поверхность нагрева теплообменника и требуется определить **количество переданной теплоты и конечные температуры теплоносителей**.

## ТЕМА 2. ТЕПЛОВЛАЖНОСТНЫЙ И ВОЗДУШНЫЙ РЕЖИМЫ ЗДАНИЯ. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

### 2.1. Понятие микроклимата. Условия комфортности

Около 80 % своей жизни человек проводит в помещении. Здоровье и работоспособность человека в значительной степени зависят от того, насколько помещение в санитарно-гигиеническом отношении удовлетворяет его физиологическим требованиям.

Под **микроклиматом помещения** понимается совокупность теплового, воздушного и влажностного режимов в их взаимосвязи. Основное требование к микроклимату – поддержание благоприятных условий для людей, находящихся в помещении.

Человек в процессе обмена веществ выделяет определенное количество тепловой энергии, которая путем конвекции, излучения, теплопроводности и испарения передается окружающей среде. Поддержание постоянной температуры организма обеспечивает физиологическая система терморегуляции. Для нормальной жизнедеятельности и хорошего самочувствия человека должен быть тепловой баланс между теплотой, вырабатываемой организмом, и теплотой, отдаваемой в окружающую среду.

Интенсивность теплоотдачи человека зависит от микроклимата помещения, характеризующегося температурой внутреннего воздуха  $t_g$ , °С, радиационной температурой помещения (осредненной температурой его ограждающих конструкций)  $t_R$ , °С, скоростью движения (подвижностью)  $v_g$ , м/с, и относительной влажностью  $\phi_g$ , %, воздуха.

На основании различных сочетаний этих параметров различают:

– **комфортные** или **оптимальные** условия, при которых сохраняется тепловое равновесие в организме человека и отсутствует напряжение в его системе терморегуляции;

– **допустимые** условия, при которых человек ощущает некоторый дискомфорт, однако длительное нахождение в таких условиях не приводит к заболеваниям человека.

Комфортные условия должны быть обеспечены прежде всего в **обслуживаемой** или **рабочей зоне помещения**, под которой понимают ту часть помещения, в которой человек находится основное рабочее время (для сидячих рабочих мест это пространство до высоты 1,5 м от пола помещения, для стоячих рабочих мест – 2 м от пола).

Тепловые условия в помещении зависят главным образом от температуры внутреннего воздуха  $t_g$  и радиационной температуры помещения  $t_R$ , то есть от его температурной обстановки, которую принято характеризовать двумя условиями комфортности.

**Первое условие комфортности** определяет такую область сочетаний  $t_g$  и  $t_R$ , при которых человек, находясь в центре рабочей зоны, не испытывает ни перегрева, ни переохлаждения.

**Второе условие комфортности** определяет допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека в непосредственной близости от них. Во избежание недопустимого радиационного перегрева или переохлаждения головы человека поверхности потолка и стен могут быть нагреты или охлаждены до допустимой температуры [24].

Основные нормативные требования к микроклимату помещений содержатся в нормативной литературе [1, 5] и отраслевых нормах, действующей на территории Республики Беларусь.

При определении расчетных параметров воздуха в помещении учитывается способность человеческого организма к акклиматизации в разные периоды года, интенсивность выполняемой работы и характер тепловыделений в помещении.

Расчетные параметры воздуха нормируются в зависимости от периода года. Различают три периода года: теплый, холодный и переходный. **Холодный** период года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха  $t_n$  ниже  $+ 8^\circ\text{C}$ , **теплый** – температурой наружного воздуха  $t_n$  выше  $+ 8^\circ\text{C}$ , **переходным** считается период года со среднесуточной температурой наружного воздуха  $t_n = + 8^\circ\text{C}$ .

По интенсивности труда все работы делятся на три категории: **легкие** (с затратой энергии до 172 Вт), **средней тяжести** (с затратой энергии от 172 до 293 Вт) и **тяжелые** (с затратой энергии более 293 Вт).

Определяющими параметрами наружного воздуха для холодного периода являются температура наружного воздуха  $t_n$ ,  $^\circ\text{C}$ , и скорость ветра  $v_n$ , м/с. В некоторых случаях кроме этих параметров учитывается значение относительной влажности наружного воздуха  $\phi_n$ , %.

Теплый период года определяется, прежде всего, интенсивностью солнечной радиации и температурой наружного воздуха.

Расчетные параметры наружного воздуха принимаются на основании данных метеорологических наблюдений в различных географических

пунктах. Температура наружного воздуха  $t_n$ , скорость ветра  $v_n$  и энтальпия  $I_n$  для различных городов Беларуси приведены в литературе [6, 7].

Требуемый микроклимат в помещении создается следующими системами инженерного оборудования зданий:

– **система вентиляции** предназначена для удаления из помещений загрязненного и подачи в них чистого воздуха, при этом температура воздуха не должна меняться, то есть обеспечивается воздушный режим помещений. Система вентиляции состоит из устройств для нагревания, увлажнения и осушения приточного воздуха.

– **система кондиционирования воздуха** является более совершенным средством создания и обеспечения в помещениях улучшенного микроклимата, то есть заданных параметров воздуха: температуры, влажности и чистоты при допустимой скорости движения воздуха в помещении независимо от наружных метеорологических условий и переменных по времени вредных выделений в помещении. Системы кондиционирования воздуха состоят из устройств термовлажностной обработки воздуха, очистки его от пыли, биологических загрязнений и запахов, перемещения и распределения воздуха в помещении, автоматического управления оборудованием и аппаратурой.

– **система отопления** служит для создания и поддержания в помещениях в холодный период года необходимых температур воздуха, то есть обеспечивается необходимый тепловой режим в помещении.

## **2.2. Свойства наружных ограждений и их влияние на воздушно-тепловой режим помещений в холодный период года**

В холодный период года под влиянием низкой температуры наружного воздуха и ветра через наружные ограждения происходит потеря теплоты, и их внутренние поверхности, обращенные в помещение, оказываются относительно холодными. В то же время поверхности отопительных устройств в помещении имеют повышенную температуру. Температура наружного воздуха непрерывно изменяется, в связи с чем изменяются температуры поверхностей ограждений и отопительных приборов, интенсивность конвективных токов. Усилия систем, создающих и поддерживающих тепловой и воздушный режимы помещений, могут быть сведены на нет, если наружные ограждения помещений не будут обладать высокими теплотехническими характеристиками.

Поэтому при разработке проекта отапливаемого здания большое внимание уделяется конструкциям наружных ограждений.

**Теплозащитные качества ограждения** принято характеризовать **величиной сопротивления теплопередаче**  $R_T$ , м<sup>2</sup>·град/Вт, которая численно равна падению температуры в градусах при прохождении теплового потока в 1 Вт через 1 м<sup>2</sup> ограждения. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций определяется в соответствии с рекомендациями [12]

$$R_T = \frac{1}{\alpha_g} + R_k + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (2.1)$$

где  $\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/м<sup>2</sup>·град;

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/м<sup>2</sup>·град;

$R_k$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>·град/Вт.

Величина термического сопротивления многослойной ограждающей конструкции определяется как сумма термических сопротивлений каждого из слоев, рассчитываемого по формуле

$$R = \delta / \lambda, \quad (2.2)$$

где  $\delta$  – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала слоя ограждающей конструкции, Вт/м·град.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не менее требуемого сопротивления теплопередаче  $R_{T,TP}$ , которое является минимально допустимым, удовлетворяющим в зимних условиях санитарно-гигиеническим требованиям, и не менее нормативного значения  $R_{T,норм}$ , установленного требованиями [13].

Правильно выбранная конструкция ограждения и строго обоснованная величина его сопротивления теплопередаче обеспечивают требуемый микроклимат и экономичность конструкции здания.

Требования к расчетам сопротивления теплопередаче всех наружных ограждающих конструкций приведены в [12].

При разности давлений воздуха с одной и с другой стороны ограждения через него может проникать воздух в направлении от большего давления к меньшему. Разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждений возникает вследствие разности плотностей на-

ружного и внутреннего воздуха (гравитационное давление) и под влиянием ветра (ветровое давление). Это явление называется **фильтрацией**. Если фильтрация происходит в направлении от наружного воздуха в помещение, то она называется **инфильтрацией**, при обратном направлении – **эксфильтрацией**.

Свойство ограждения или материала пропускать воздух называется **воздухопроницаемостью**. Воздухопроницаемость ограждающей конструкции оценивается по **величине сопротивления воздухопроницанию**  $R_B$ . Фильтрация наружного воздуха через ограждения в холодный период года вызывает дополнительные потери теплоты помещениями, а также охлаждение внутренних поверхностей ограждения. Поэтому в соответствии с требованиями [12] сопротивление воздухопроницанию  $R_B$  должно быть не менее требуемого сопротивления воздухопроницанию  $R_{B,TP}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$ .

Еще одним фактором, снижающим теплозащитные качества ограждений, а, следовательно, и нарушающим воздушно-тепловой баланс помещения, является повышение влажности строительных материалов. Кроме того, влажностный режим ограждений оказывает влияние и на долговечность ограждения. В ограждающих конструкциях может оказаться строительная влага (при возведении зданий или при изготовлении сборных железобетонных конструкций), грунтовая влага (вследствие капиллярного всасывания), атмосферная влага (при косом дожде или из-за неисправности кровли), эксплуатационная влага. От всех видов влаги необходимо и возможно избавиться до начала эксплуатации здания. А избавление от конденсационной влаги нужно предусматривать еще в процессе проектирования. Процесс конденсации тесно связан с теплотехническим режимом ограждения. Влага из воздуха может конденсироваться как на внутренней поверхности ограждения, так и в его толще. Влажность воздуха в помещении обусловлена производственными процессами, а также выделением влаги находящимися в помещении людьми, выделением влаги при приготовлении пищи, стирке белья, мытье полов и тому подобное.

Оценка **паропроницаемости** ограждающих конструкций производится по **величине сопротивления паропроницанию**. Для однородного слоя материала сопротивление паропроницанию определяется по формуле

$$R_{\Pi} = \delta / \mu, \quad (2.3)$$

где  $\delta$  – толщина слоя ограждающей конструкции, м;

$\mu$  – коэффициент паропроницаемости материала слоя ограждающей конструкции,  $\text{мг} / (\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$ , который зависит от физических свойств мате-

риала и представляет собой количество водяного пара, которое диффундирует в течение 1 ч через 1 м<sup>2</sup> плоской стенки толщиной 1 м при разности упругостей водяного пара с одной и другой ее стороны, равной 1 Па [12].

Для предупреждения конденсации в толще ограждения более плотные, теплопроводные и малопаропроницаемые материалы должны располагаться у внутренней поверхности ограждения, а у наружной поверхности, наоборот, пористые, малотеплопроводные и более паропроницаемые.

### 2.3. Тепловой баланс помещений в холодный период года.

#### Расчетная мощность системы отопления

Тепловой режим в зависимости от назначения здания может быть постоянным или переменным. **Постоянный тепловой режим** должен поддерживаться круглосуточно в течение всего отопительного периода в жилых, производственных с непрерывным режимом работы зданиях, детских и лечебных учреждениях, гостиницах, санаториях и др. Для этих целей и проектируется система отопления. Для определения необходимости устройства системы отопления составляют **тепловой баланс** помещений. Для этого определяют теплотери  $\sum Q_{ном}$ , Вт, и тепlopоступления  $\sum Q_{пост}$ , Вт, в помещения. Если теплотери окажутся больше тепlopоступлений, то требуется отопление помещения.

**Тепловая мощность системы отопления**  $Q_{c.o}$  в помещении принимается равной **теплонедостаткам** в нем, то есть

$$Q_{c.o} = \sum Q_{ном} - \sum Q_{пост}, \quad (2.4)$$

Если в здании (чаще всего эта ситуация характерна для производственных зданий) тепlopоступления  $\sum Q_{пост}$  больше тепlopотерь  $\sum Q_{ном}$ , то говорят о **теплоизбытках** в помещении, которые устраняются системой приточной вентиляции. В таких помещениях при круглосуточном режиме работы систему отопления не предусматривают.

**Переменный тепловой режим** характерен для производственных зданий с одно- и двухсменной работой, а также для ряда общественных зданий. В помещениях этих зданий необходимые тепловые условия поддерживают только в рабочее время. В нерабочее время используют либо имеющуюся систему отопления, либо устраивают **дежурное отопление** для поддержания в помещении температуры воздуха  $t_g = + 5$  °С. Если в рабочее время тепlopоступления превышают тепlopотери, то в здании устраивают только дежурное отопление.

Суммарные теплотери помещения определяются по формуле

$$\sum Q_{пот} = Q_{огр} + Q_{инф} + Q_{мат} + Q_{проч}, \quad (2.5)$$

где  $Q_{огр}$  – суммарные потери теплоты в помещении через ограждающие конструкции, Вт;

$Q_{инф}$  – потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха, Вт;

$Q_{мат}$  – потери теплоты на нагрев материалов и транспорта, попадающих в помещение снаружи, Вт;

$Q_{проч}$  – прочие теплотери в помещении, Вт.

Суммарные теплопоступления в помещение

$$\sum Q_{пост} = Q_{об} + Q_{мат} + Q_{быт} + Q_{эл} + Q_{чел} + Q_{с.р.} + Q_{проч}, \quad (2.6)$$

где  $Q_{об}$  – теплопоступления от технологического оборудования, Вт;

$Q_{мат}$  – теплопоступления от нагретых материалов, Вт;

$Q_{быт}$  – бытовые теплопоступления, Вт;

$Q_{эл}$  – теплопоступления от электрооборудования и освещения, Вт;

$Q_{чел}$  – теплопоступления от людей, Вт;

$Q_{с.р.}$  – теплопоступления от солнечной радиации, Вт;

$Q_{проч}$  – прочие теплопоступления в помещение, Вт.

Для кухонь и комнат жилых зданий учитываются только теплотери через ограждения и на нагрев инфильтрующегося воздуха и теплопоступления от бытовых приборов. И тогда выражение (2.4) с учетом (2.5) и (2.6) для таких помещений примет вид

$$Q_{с.о} = Q_{огр} + Q_{инф} - Q_{быт}. \quad (2.7)$$

**Потери теплоты помещениями через ограждающие конструкции** разделяются условно на основные и добавочные.

**Основные** теплотери определяют отдельно для каждого наружного ограждения, а затем суммируют. Методика расчета потерь теплоты через ограждения приводится в [7, прил. Ж]. Потери теплоты через ограждение определяются по формуле

$$Q_{огр} = \frac{F}{R_T} (t_{в} - t_{ext}) (1 + \sum \beta) \cdot n, \quad (2.8)$$

где  $F$  – площадь ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>;

$R_T$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·К)/Вт;

$t_g$  – температура внутреннего воздуха, °С;

$t_{ext}$  – расчетная температура наружного воздуха, принимаемая равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, при расчете потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции, или температуре воздуха более холодного помещения – при расчете потерь теплоты через внутренние ограждающие конструкции, °С;

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;

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

**Добавочные** теплотопотери принимаются в долях от основных потерь теплоты и учитывают ориентацию ограждений по сторонам света, продуваемость помещений с двумя наружными стенами и более, подогрев врывающегося воздуха через наружные двери или ворота. Значения добавочных потерь приведены в [7, прил. Ж ].

**Затраты теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха** в жилых и общественных зданиях без организованного притока и с естественной вытяжкой принимаются, согласно методике, приведенной в [7, прил. К], равными большей из величин, полученных по следующим формулам

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot \sum G_{инф} \cdot c \cdot (t_g - t_n) \cdot k, \quad (2.9)$$

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_n \cdot c \cdot (t_g - t_n), \quad (2.10)$$

где  $\sum G_{инф}$  – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/кг·°С;

$t_g$  – температура внутреннего воздуха, °С;

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха, °С;

$k$  – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока в конструкциях;

$L$  – расход удаляемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, принимаемый из расчета 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади пола помещения;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Методика расчета других видов теплотерь в помещении приведена в [15, глава 8].

Для жилых зданий учитываются **бытовые теплопоступления** в кухнях и жилых комнатах в размере 21 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади пола [7]

$$Q_{\text{быт}} = 21 \cdot F_n, \quad (2.11)$$

где  $F_n$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>.

Методика определения остальных видов теплопоступлений в помещении приведена в [16, глава 2].

Для оценки теплотехнических показателей принятого конструктивно-планировочного решения введено понятие **удельного расхода тепловой энергии**  $q_A$ , Вт·ч/(м<sup>2</sup>·°С·сут.), и  $q_V$ , Вт·ч/(м<sup>3</sup>·°С·сут.), определяемого по формулам [7]

$$q_A = \frac{Q_s}{A_{bu} D} \cdot 10^3, \quad (2.12)$$

$$q_V = \frac{Q_s}{V_{bu} D} \cdot 10^3, \quad (2.13)$$

где  $Q_s$  – суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление здания, кВт·ч;

$A_{bu}$  – отапливаемая площадь здания, м<sup>2</sup>, определяемая по внутреннему периметру наружных вертикальных ограждающих конструкций;

$V_{bu}$  – отапливаемый объем здания, м<sup>3</sup>;

$D$  – количество градусо-суток отопительного периода, °С·сут.

Значение расхода тепловой энергии не должно превышать средних значений, приведенных в [7, прил. А], а поэтому еще на стадии проектирования и разработки объемно-планировочных и конструктивных решений здания инженеры-строители должны учитывать факторы, влияющие на эту величину. К этим факторам можно отнести объем и форму здания, степень остекления, площадь наружных ограждений и вид их теплозащиты.

Значение удельного расхода тепловой энергии может быть использовано и для определения ориентировочных потерь теплоты помещения (расчет по укрупненным показателям).

## 2.4. Летний тепловой режим зданий

Особенностью летнего теплового режима зданий является определение теплоступлений от солнечной радиации. Она имеет периодический характер в течение суток, что приводит к нестационарности процессов теплообмена в летний период. В жаркие летние месяцы здания подвергаются перегреву, что приводит к созданию дискомфортных тепловых условий, и, как следствие, к существенной перенапряженности системы терморегуляции человека.

Второй особенностью летнего режима является влияние архитектурно-планировочных и конструктивных решений здания.

В результате больших теплоступлений от солнечной радиации в летний период года здания могут перегреваться, что приводит к нарушению микроклимата в помещениях. Поэтому основными системами, поддерживающими тепловой и воздушный режимы в здании в теплый период, являются *системы вентиляции и кондиционирования воздуха*. Эти системы позволяют удалить из помещений горячий загрязненный воздух, заменяя его чистым и охлажденным. Расчетная мощность системы вентиляции  $Q_{\text{вент}}$  определяется исходя из суммарных теплоступлений через ограждения от солнечной радиации  $Q_{\text{с.р}}$  и от технологического оборудования  $Q_{\text{техн}}$ , которые необходимо из помещения удалить

$$Q_{\text{вент}} = Q_{\text{с.р}} + Q_{\text{техн}} \cdot \quad (2.14)$$

Так как теплоступления от солнечной радиации неравномерны в течение суток, то в расчет чаще всего принимается максимальное за сутки значение теплоступлений [24].

Кроме того, так как немаловажное значение имеют конструктивные и планировочные решения здания, то они должны быть выполнены при проектировании с учетом снижения теплоступлений в помещения. К таким мероприятиям относятся мероприятия по устройству всевозможных средств тепло- и солнцезащиты зданий, козырьков, жалюзи. Эти мероприятия позволяют не только снизить теплоступления в помещения, но и уменьшить расчетную нагрузку на системы вентиляции и кондиционирования воздуха, что ведет к снижению затрат энергии холода и электрической энергии.

## ТЕМА 3. ОТОПЛЕНИЕ

### 3.1. Общие сведения об отоплении. Классификация систем отопления

**Системой отопления** называется совокупность конструктивных элементов со связями между ними, предназначенных для получения, переноса и передачи необходимого количества теплоты в обогреваемое помещение.

Каждая система отопления включает в себя три основных конструктивных элемента (рис. 3.1):

- 1) **теплоисточник** – элемент для получения теплоты;
- 2) **теплопроводы** – элементы для переноса теплоты;
- 3) **отопительные приборы** – элементы для передачи теплоты в помещение.

В качестве теплоисточника для системы отопления может служить отопительный котельный агрегат или теплообменный аппарат, передающий теплоту от первичного теплоносителя теплоносителю системы отопления. Перенос теплоты по теплопроводам осуществляется с помощью жидкой или газообразной рабочей среды. Жидкая (вода и другие жидкости) или газообразная (пар, воздух, газ) среда, перемещающаяся в системе отопления, называется **теплоносителем** [14].

К системам отопления предъявляются разнообразные требования. Все их условно можно разделить на пять групп:

– **санитарно-гигиенические** – обеспечение требуемых соответствующими строительными нормами и правилами температур во всех точках помещения и поддержание температур внутренних поверхностей наружных ограждений и отопительных приборов на определенном уровне;

– **экономические** – обеспечение минимума приведенных затрат по сооружению и эксплуатации, определяемого технико-экономическим сравнением вариантов различных систем, небольшого расхода металла, экономия тепловой энергии при эксплуатации;

– **архитектурно-строительные** – обеспечение соответствия архитектурно-планировочным и конструктивным решениям здания, увязка размещения отопительных элементов со строительными конструкциями, хорошая сочетаемость с внутренней архитектурной отделкой помещения, минимальная площадь, занимаемая системой отопления;

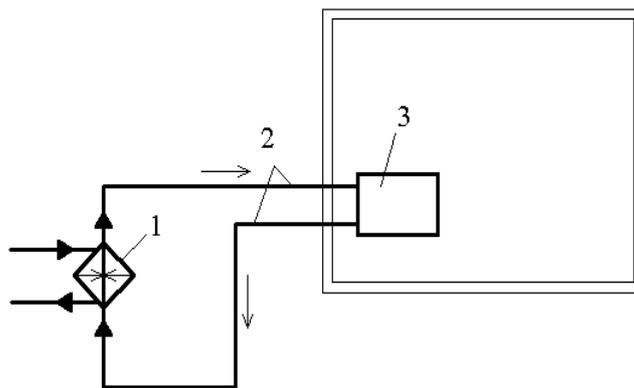


Рис. 3.1. Принципиальная схема системы отопления

– **производственно-монтажные** – обеспечение монтажа промышленными методами с максимальным использованием унифицированных узлов заводского изготовления при минимальном количестве типоразмеров, сокращение трудовых затрат при монтаже;

– **эксплуатационные** – простота и удобство обслуживания, управления и ремонта, надежность, безопасность и бесшумность действия.

Наиболее важны санитарно-гигиенические и эксплуатационные требования, которые обуславливаются необходимостью поддерживать заданную температуру в помещениях в течение отопительного сезона и всего срока службы системы.

По взаимному расположению основных элементов системы отопления бывают **центральные** (системы отопления, предназначенные для отопления нескольких помещений из одного теплового пункта, где находится теплогенератор; в таких системах теплота вырабатывается за пределами отапливаемых помещений, а затем с помощью теплоносителя по теплопроводам подается в помещения, через отопительные приборы теплота отдается, а теплоноситель возвращается в тепловой пункт) и **местные** (системы, в которых все три основных элемента конструктивно объединены в одном устройстве, установленном в обогреваемом помещении: печь, газовые и электрические приборы, воздушно-отопительные агрегаты);

По виду теплоносителя в системе отопления (вторичного теплоносителя) системы бывают водяные, паровые, воздушные и газовые.

Теплоносителем для системы отопления в принципе может быть любая среда, обладающая хорошей способностью аккумулировать тепловую энергию и изменять теплотехнические свойства, подвижная, дешевая, не ухудшающая санитарные условия в помещениях, позволяющая регулировать отпуск теплоты, в том числе и автоматически.

Наиболее распространенные виды теплоносителя – вода, водяной пар, воздух, нагретые газы.

**Вода** представляет собой практически несжимаемую жидкую среду со значительной плотностью и теплоемкостью. Вода изменяет плотность, объем и вязкость в зависимости от температуры, а температуру кипения в зависимости от давления. Вода способна сорбировать и выделять газы при изменении температуры и давления. При использовании воды в качестве теплоносителя обеспечивается довольно равномерная температура помещений, можно ограничить температуру поверхности отопительных приборов, сокращается по сравнению с другими теплоносителями площадь поперечного сечения труб, достигается бесшумность движения в трубах. Недостатками применения воды являются значительный расход металла и

большое гидростатическое давление в системах; тепловая инерция воды замедляет регулирование теплопередачи приборов [14].

**Пар** является легкоподвижной средой со сравнительно малой плотностью. Температура и плотность пара зависят от давления. Пар значительно изменяет объем и энтальпию при фазовом превращении. При использовании пара сравнительно сокращается расход металла за счет уменьшения площади приборов и поперечного сечения конденсаторов, достигается быстрое прогревание приборов. Гидростатическое давление пара в вертикальных трубах по сравнению с водой минимально. Однако пар как теплоноситель не отвечает санитарно-гигиеническим требованиям, его температура высока и постоянна при данном давлении, что не обеспечивает регулирования теплопередачи приборов, движение его в трубах сопровождается шумом.

**Воздух** является легкоподвижной средой со сравнительно малыми вязкостью, плотностью и теплоемкостью, изменяющей плотность и объем в зависимости от температуры. При использовании воздуха можно обеспечить быстрое изменение или равномерность температуры помещений, избежать установки отопительных приборов, совмещать отопление с вентиляцией помещений, достигать бесшумности его движения в каналах. Недостатками являются его малая теплоаккумулирующая способность, значительные площади поперечного сечения и расход металла на воздуховоды, относительно большое падение температуры по длине воздуховодов.

**Нагретые газы** образуются при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива, имеют сравнительно высокую температуру и применимы для отопления в тех случаях, когда в соответствии с санитарно-гигиеническими требованиями удастся ограничить температуру теплоотдающей поверхности приборов.

Широкое распространение в зданиях любого назначения получили системы водяного отопления. Паровые системы чаще применяются в промышленных и ряде общественных зданий (при наличии пара на технические нужды) при кратковременном пребывании в них людей. Паровое отопление рекомендуется для дежурного отопления. Воздушное отопление, совмещенное с вентиляцией, применяется в производственных зданиях с выделениями вредностей и влаги, а также для дежурного отопления.

Основным технико-экономическим показателем систем отопления является **масса металла**, расходуемого на изготовление основных элементов при том или ином теплоносителе, существенно влияющая на капитальные и эксплуатационные затраты в системе отопления. В этом отношении наиболее экономичными являются паровые системы отопления.

Однако из соображений санитарно-гигиенических требований эти системы являются менее приемлемыми из-за высокой температуры теплоотдающих поверхностей.

### 3.2. Системы водяного отопления

Как было сказано выше, водяное отопление, благодаря ряду преимуществ перед другими системами, получило в настоящее время наиболее широкое распространение.

Для ознакомления с устройством и принципом действия системы отопления рассмотрим схему системы, представленную на рис. 3.2.

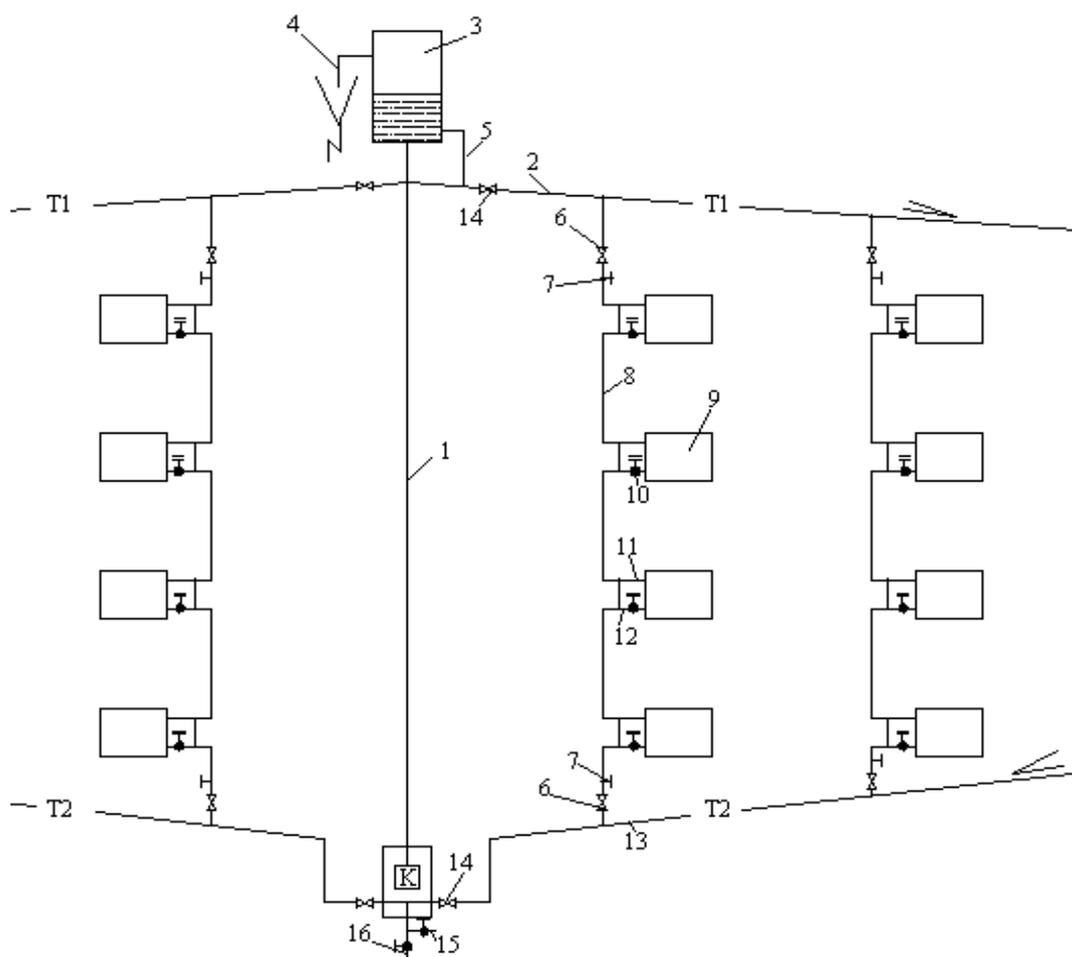


Рис. 3.2. Принципиальная схема водяной системы отопления с естественной циркуляцией

Вода, нагретая в теплогенераторе  $K$  до температуры  $t_2$ , поступает через теплопровод – главный стояк 1 в подающие магистральные тепло-

проводы (соединительные трубы между главным и подающими стояками) 2. По подающим магистральным теплопроводам горячая вода поступает в подающие стояки 8 (соединительные трубы между магистралями и подводками к отопительным приборам). Затем по подающей подводке 11 вода поступает в отопительный прибор 9 и по обратной подводке 12 снова попадает в стояк. Так теплоноситель последовательно проходит через все отопительные приборы, присоединенные к стояку. Из отопительных приборов охлажденная вода с температурой  $t_o$  по обратной магистрали 13 возвращается в теплогенератор  $K$ , где она снова подогревается до температуры  $t_2$ , и так циркуляция идет по замкнутому кольцу.

Система водяного отопления гидравлически замкнута и имеет определенную вместимость, то есть постоянный объем заполняющей ее воды. При повышении температуры воды она расширяется и в замкнутой заполненной водой системе отопления внутреннее гидравлическое давление может превысить прочность его элементов. Чтобы этого не произошло, в системе предусматривают устройство расширительного бака 3, предназначенного для вмещения прироста объема воды при ее нагревании, а также для удаления через него воздуха в атмосферу. Расширительный бак снабжен расширительной трубой, контрольной трубой, переливной трубой 4 и циркуляционной 5. Расширительный бак устанавливается в наивысшей точке системы отопления, обычно на чердаке здания. Он изолируется для предотвращения замерзания воды. При отсутствии чердака его устанавливают в специальном боксе на чердачном перекрытии, в лестничной клетке или верхнем техническом этаже. При естественной циркуляции и верхней разводке расширительный бак присоединяют в высшей точке подающей магистрали.

Для регулирования теплоотдачи отопительными приборами на подводке к ним устанавливается регулировочный кран 10.

Перед пуском в действие каждая система заполняется водой из водопровода 15 через обратную линию до контрольной трубы в расширительном баке. После этого прекращают заполнение системы водой. Для опорожнения всей системы используют спускную трубу 16.

Для отключения стояка и его опорожнения в ходе эксплуатации системы закрывают вентили или краны 6 на стояке. Из тройника 7, установленного в нижней части стояка, вывертывают пробку и к штуцеру тройника присоединяют гибкий шланг, по которому воды из трубопровода и приборов стекает в канализацию. Чтобы вода быстрее стекала, из верхнего тройника 7 тоже выкручивают пробку.

Для отключения отдельных частей системы отопления в процессе эксплуатации на магистралях устанавливается запорная арматура 14.

Как видно из рассмотренного выше, системы водяного отопления включают в себя следующие основные элементы: теплогенератор, главный стояк, магистральные теплопроводы (подающий и обратный), стояки (ветви), подводки, отопительные приборы, расширительный бак, запорно-регулирующую арматуру.

Классификация систем водяного отопления производится по следующим основным признакам.

**По способу циркуляции теплоносителя** системы водяного отопления подразделяются на **гравитационные** (с естественной циркуляцией воды за счет разности плотностей холодного и горячего теплоносителя) и **искусственной циркуляцией** (вода в системе циркулирует под действием давления, создаваемого насосом).

**По расположению подающей и обратной магистралей** системы водяного отопления бывают **с верхней разводкой** (в этом случае подающая магистраль прокладывается по чердаку или под потолком верхнего этажа и располагается выше отопительных приборов, а обратная магистраль прокладывается в подвале, по полу первого этажа или в подпольных каналах, то есть ниже всех отопительных приборов), **с нижней разводкой** (подающая и обратная магистрали располагаются прокладываются в подвале по полу первого этажа или в подпольных каналах ниже отопительных приборов) и **с опрокинутой циркуляцией** (в этом случае обратная магистраль располагается выше отопительных приборов, а подающая магистраль – ниже всех отопительных приборов).

**По направлению движения воды в магистралях** системы водяного отопления подразделяют на **тупиковые**, когда горячая и обратная вода в магистралях движется в противоположных направлениях, и **с попутным движением**, когда направления движения воды в магистралях совпадают.

**По расположению труб, соединяющих отопительные приборы**, системы бывают **горизонтальные**, в которых трубы, соединяющие приборы, расположены горизонтально и называются ветвями, и **вертикальные**, в которых трубы, соединяющие приборы, располагаются вертикально и называются стояками.

**По схеме присоединения отопительного прибора к трубопроводу** системы водяного отопления делятся на **однотрубные**, в которых горячая вода подается в приборы и охлажденная вода отводится из них по одному стояку и теплоноситель последовательно проходит через все приборы, присоединенные к этому стояку, и **двухтрубные**, в которых горячая вода

поступает в прибор по одним (подающим) стоякам, а охлажденная вода отводится по другим (обратным) и теплоноситель, пройдя через какой-то прибор, через другой на этом же стояке уже не проходит.

При выборе схемы системы отопления необходимо учитывать особенности его теплового режима. Это, прежде всего, действие инфильтрации наружного воздуха и солнечной радиации. Зимой инфильтрация переохлаждает нижние этажи, поэтому в многоэтажных зданиях целесообразно применение систем с подачей теплоносителя «снизу вверх» (с опрокинутой циркуляцией) и с позонным делением по высоте здания. Охлаждающее действие инфильтрации связано с ориентацией ограждений помещений. В связи с этим желательно предусматривать пофасадное разделение системы отопления.

Необходимо также учитывать и конструктивные особенности систем. Так двухтрубные системы эффективно работают в невысоких зданиях (2 – 3 этажа), а в более высоких строениях подвергаются разрегулировке. Поэтому в многоэтажных зданиях рекомендуется использовать однотрубные системы. Системы с верхней разводкой применяются в зданиях с чердаками, системы с нижней разводкой – в зданиях без чердаков.

### 3.3. Размещение элементов системы отопления в здании

Трубы систем центрального отопления предназначены для подачи в приборы и отвода из них необходимого количества теплоносителя, поэтому их называют *теплопроводами*. Теплопроводы вертикальных систем отопления подразделяют на магистрали, стояки и подводки. Теплопроводы горизонтальных систем, кроме магистралей, стояков и подводок, имеют еще и горизонтальные ветви.

Для пропуска теплоносителя используют трубы металлические (стальные, медные, свинцовые и др.), неметаллические (полимерные, стеклянные и др.) и металлополимерные.

Соединение теплопроводов между собой, с отопительными приборами и арматурой может быть неразборным (сварным, спайным) и разборным (резьбовым).

Прокладка труб в помещениях может быть открытой и скрытой. В основном применяют открытую прокладку как более простую и дешевую. Скрытая прокладка предусматривается только в помещениях с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями.

Размещение *подводки* – соединительной трубы между стояком или ветвью и прибором – зависит от вида отопительного прибора и положения

труб в системе отопления. Подающую и обратную подводы прокладывают горизонтально (при длине до 500 мм) или с уклоном (5 – 10 мм на всю длину подводки). Подводки в зависимости от положения продольной оси прибора по отношению к оси труб могут быть прямыми и с отступом, называемым «уткой».

Размещение **стояков** – соединительных труб между магистралями и подводками – зависит от положения магистралей и размещения подводов к отопительным приборам. Стояки прокладываются, как правило, у наружных стен открыто. Расстояние от поверхности штукатурки до трубы должно быть 3,5 см. Двухтрубные стояки размещают на расстоянии 80 мм между осями труб, причем подающие стояки располагают справа (при взгляде из помещения). В местах пересечения междуэтажных перекрытий трубы заключают в гильзы для обеспечения свободного их движения при тепловом удлинении.

Размещение **магистралей** – соединительной трубы между местным тепловым пунктом и стояками – определяется назначением и шириной здания, видом системы отопления. В производственных зданиях магистрали прокладывают по стенам, колоннам под потолком, в средней зоне или у пола, в ряде случаев магистрали прокладывают на технических этажах и подпольных каналах.

В гражданских зданиях шириной до 9 м магистрали можно прокладывать вдоль их продольной оси (если не предусматривается пофасадное регулирование работы системы). Так же размещаются магистрали при стояках, находящихся у внутренних стен здания. В гражданских зданиях шириной более 9 м рационально использовать две разводящие магистрали – вдоль каждой фасадной стены (рис. 3.3). При этом не только сокращается протяженность труб, но и становится возможным эксплуатационное регулирование теплоотдачи отдельно для каждой стороны здания – пофасадное регулирование.

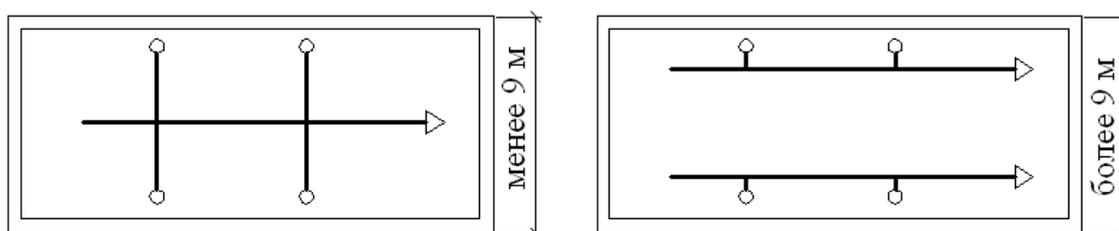


Рис. 3.3. Схемы размещения магистралей в здании

Магистрали систем отопления гражданских зданий и вспомогательных зданий промышленных предприятий размещают, как правило, в чер-

дачных и технических помещениях на расстоянии  $1 \div 1,5$  м от наружных стен для удобства монтажа и ремонта, а также для обеспечения при изгибе стояков естественной компенсации их удлинения. В подвальных помещениях, в технических этажах и подпольях, а также в рабочих помещениях магистрали для экономии места крепят на стенах.

Магистрали монтируют как правило с **уклоном**, который в системах водяного отопления необходим для отвода в процессе эксплуатации скопленных воздуха (в верхней части систем), а также для самотечного спуска воды из труб (в нижней их части).

Магистрали верхней разводки систем с искусственной циркуляцией рекомендуется монтировать с уклоном против направления движения воды для того, чтобы использовать подъемную силу совместно с силой течения воды для удаления воздуха. В гравитационных системах допускается прокладка магистралей с уклоном по движению воды. Нижние магистрали всегда прокладывают с уклоном в сторону теплового пункта здания, где при опорожнении системы вода спускается в канализацию.

Для пуска системы в эксплуатацию, а также для отключения отдельных частей системы для ремонта на магистральных теплопроводах устанавливается **запорно-регулирующая арматура**: вентили, задвижки или краны пробковые. На отопительных стояках для гидравлического регулирования, отключения и опорожнения их ставятся запорные прямооточные вентили и краны пробковые. На подводках к приборам устанавливаются краны двойной регулировки или трехходовой кран. Во вспомогательных помещениях, лестничных клетках и других опасных в отношении замерзания воды краны не ставятся.

Удаление воздуха из отопительных приборов и из всех участков теплопроводов является необходимым условием нормальной работы системы отопления. В системах отопления с естественной циркуляцией воды и верхним расположением подающих магистралей для удаления воздуха используется расширительный сосуд без каких-либо дополнительных устройств. В системах водяного отопления с нижним расположением магистралей при естественной циркуляции для удаления воздуха устраивают специальную воздухоотводящую сеть, присоединяя ее к расширительному баку или к воздухоборнику. Из таких систем воздух можно удалять также с помощью воздуховыпускных кранов или специальных шурупов, ввертываемых в верхние пробки приборов верхнего этажа.

В системе водяного отопления с искусственной циркуляцией скорость движения воды обычно больше скорости всплывания воздушных пузырьков, равной  $0,2$  м/с, и пузырьки воздуха не могут двигаться в направ-

лении, противоположном потоку воды. Поэтому в таких системах разводящие магистральные теплопроводы прокладывают с подъемом к крайним стоякам и в высших точках системы устанавливают **воздухосборники**. Наибольшее распространение получили горизонтальные проточные воздухосборники, так как в них воздух отделяется гораздо лучше, чем в других конструкциях, и они хорошо могут быть защищены от замерзания. Воздухосборники на концевых участках горячих магистралей снабжаются автоматическими воздухоотводчиками. Они служат для непрерывного удаления воздуха из системы.

### 3.4. Отопительные приборы

**Отопительные приборы** – один из основных элементов систем отопления – предназначены для теплопередачи от теплоносителя в обогреваемые помещения.

Выше говорилось о том, что расход теплоты на отопление каждого помещения определяется по тепловому балансу для поддержания в нем необходимой температуры при расчетных зимних условиях. То есть расход теплоты на отопление помещения должен компенсироваться теплоотдачей отопительного прибора  $Q_{np}$  и нагретых труб  $Q_{тр}$ , расположенных в помещении

$$Q_n = Q_{np} + Q_{тр}. \quad (3.1)$$

Эта суммарная теплоотдача в помещение, необходимая для поддержания заданной температуры, в системе отопления называется **тепловой нагрузкой отопительного прибора**.

К отопительным приборам как к оборудованию, устанавливаемому непосредственно в обогреваемых помещениях, предъявляются **требования**, дополняющие и уточняющие требования к системе отопления:

– **санитарно-гигиенические** – относительно пониженная температура поверхности; ограничение площади горизонтальной поверхности приборов для уменьшения отложения пыли; доступность и удобство очистки от пыли поверхности приборов и пространства вокруг них;

– **экономические** – относительно пониженная стоимость прибора; экономный расход металла на прибор, обеспечивающий повышение теплового напряжения металла. Показатель теплового напряжения металла  $M$  прибора определяется по отношению теплового потока к массе металла прибора. Очевидно, что чем больше показатель  $M$ , тем более экономным

будет прибор по расходу металла. При оценке расхода металла на прибор учитывают также сравнительные технико-экономические показатели используемого вида металла (чугуна, стали, алюминия и т. д.).

– **архитектурно-строительные** – соответствие внешнего вида приборов интерьеру помещений, сокращение площади помещений, занимаемой приборами. Приборы должны быть достаточно компактными, т. е. их строительные глубина и длина, приходящиеся на единицу теплового потока, должны быть наименьшими;

– **производственно-монтажные** – механизация изготовления и монтажа приборов для повышения производительности труда; достаточная механическая прочность приборов;

– **эксплуатационные** – управляемость теплоотдачи приборов, зависящая от их тепловой инерции; температуроустойчивость и водонепроницаемость стенок при предельно допустимом в рабочих условиях (рабочем) гидростатическом давлении внутри приборов.

К отопительным приборам предъявляется также в важное для них теплотехническое требование передачи от теплоносителя в помещения через единицу площади наибольшего теплового потока при прочих равных условиях (расход и температура теплоносителя, температура воздуха, место установки и т. д.).

Все перечисленные требования одновременно удовлетворить невозможно и этим объясняется рыночное разнообразие типов отопительных приборов. При этом каждый их тип в наибольшей степени отвечает какой-либо группе требований, уступая другому в прочих требованиях.

Все отопительные приборы **по преобладающему способу теплоотдачи** делятся на три группы.

– **радиационные** приборы, передающие излучением не менее 50 % общего теплового потока (к первой группе относятся потолочные отопительные панели и излучатели);

– **конвективно-радиационные** приборы, передающие конвекцией от 50 до 75 % общего теплового потока (вторая группа включает радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы, напольные отопительные панели);

– **конвективные** приборы, передающие конвекцией не менее 75 % общего теплового потока (к третьей группе принадлежат конвекторы и ребристые трубы).

В эти три группы входят отопительные приборы **пяти основных видов: радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы** (эти

три вида приборов имеют гладкую внешнюю поверхность), **конвекторы**, **ребристые трубы** (имеют ребристую поверхность).

**По используемому материалу** различают **металлические**, **комбинированные** и **неметаллические** отопительные приборы. Металлические приборы выполняют в основном из серого чугуна и стали (листовой стали и стальных труб). Применяют также медные трубы, листовой и литой алюминий и другой металл.

В комбинированных приборах используют теплопроводный материал (бетон, керамику), в который заделывают стальные или чугунные греющие элементы (панельные радиаторы); оребренные металлические трубы помещают в неметаллический (например, асбестоцементный) кожух (конвекторы).

К неметаллическим приборам относят бетонные панельные радиаторы, потолочные и напольные панели с заделанными пластмассовыми греющими трубами или с пустотами вообще без труб, а также керамические, пластмассовые и тому подобные радиаторы.

**По высоте** вертикальные отопительные приборы подразделяют на **высокие** (высотой более 650 мм), **средние** (более 400 до 650 мм) и **низкие** (более 200 до 400 мм). Приборы высотой 200 мм и менее называют **плинтусными**.

**По глубине** в установке (с учетом расстояния от прибора до стены) имеются приборы **малой глубины** (до 120 мм), **средней глубины** (более 120 до 200 мм) и **большой глубины** (более 200 мм).

**По величине тепловой инерции** можно выделить приборы **малой** и **большой инерции**. К приборам малой тепловой инерции относят приборы, имеющие небольшую массу материала и вмещающей воды. Такие приборы с греющими трубами малого диаметра (например, конвекторы) быстро изменяют теплоотдачу при регулировании количества подаваемого теплоносителя. Приборами, обладающими большой тепловой инерцией, считают массивные приборы, вмещающие значительное количество воды (например, бетонные или чугунные радиаторы). Такие приборы теплоотдачу изменяют сравнительно медленно.

**Радиатором** принято называть конвективно-радиационный отопительный прибор, состоящий либо из отдельных колончатых элементов – секций с каналами круглой или эллипсообразной формы, либо из плоских блоков с каналами колончатой или змеевиковой формы (рис. 3.4).

Секции радиаторов отливаются из серого чугуна (толщина стенки около 4 мм) и могут компоноваться в приборы различной площади путем соединения на резьбовых ниппелях с прокладками из термостойкой резины

или паронита. Несколько секций в сборе называют чугунным секционным радиатором. Наиболее распространены двухколончатые радиаторы средней высоты (монтажная высота  $h_m = 500$  мм), хотя имеются радиаторы одно- и многоколончатые, высокие ( $h_m = 1000$  мм) и низкие ( $h_m = 300$  мм).

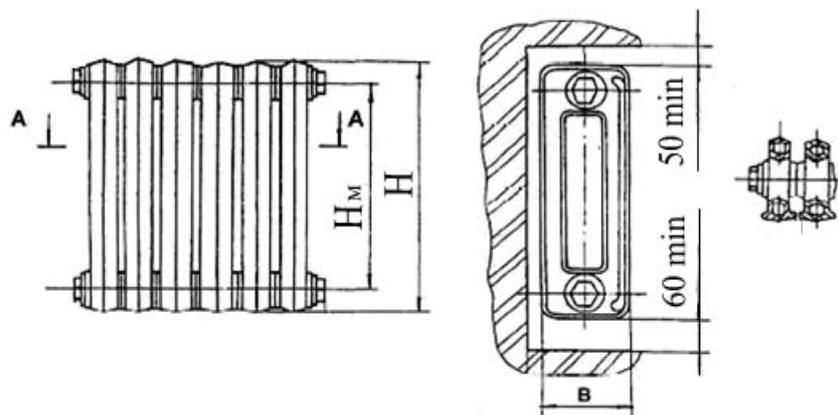


Рис. 3.4. Общий вид чугунного радиатора 2К60П

Чугунные секционные радиаторы отличаются значительной тепловой мощностью на единицу длины прибора (компактностью) и стойкостью против коррозии (долговечностью). Однако серьезные недостатки вызывают замену этих приборов другими. Чугунные радиаторы металлоемки, производство их трудоемко, монтаж затруднителен, очистка от пыли неудобна, внешний вид непривлекателен.

Плоские блоки радиаторов свариваются из двух штампованных стальных листов (толщина листа 1,4 – 1,5 мм), образуя приборы малой глубины (18 – 21 мм) и различной длины, называемые **стальными панельными радиаторами** (рис. 3.5). Панельные радиаторы с плоскими вертикальными каналами колончатой формы сокращенно именуется РСВ (радиаторы стальные вертикальные), с горизонтальными последовательно соединенными каналами (змеевиковой формы) – РСГ-1 и РСГ-2. Радиаторы РСГ-2 бывают двухходовыми и четырехходовыми.

Стальные панельные радиаторы отличаются от чугунных меньшей массой, увеличенной излучательной способностью (35 ÷ 40 % вместо 30 % общего теплового потока). Они соответствуют интерьеру помещений в полносборных зданиях, легко очищаются от пыли, их монтаж облегчен, производство механизировано. На одних и тех же производственных площадях возможен значительно больший выпуск стальных радиаторов вместо чугунных.

Распространение стальных радиаторов ограничивается необходимостью применения коррозионностойкой холоднокатаной листовой стали.

При изготовлении из обычной листовой стали срок службы радиаторов сильно сокращается из-за интенсивной внутренней коррозии. Область их применения ограничена системами со специально обработанной (деаэрированной) водой. Их не разрешается также применять в помещениях с агрессивной воздушной средой.

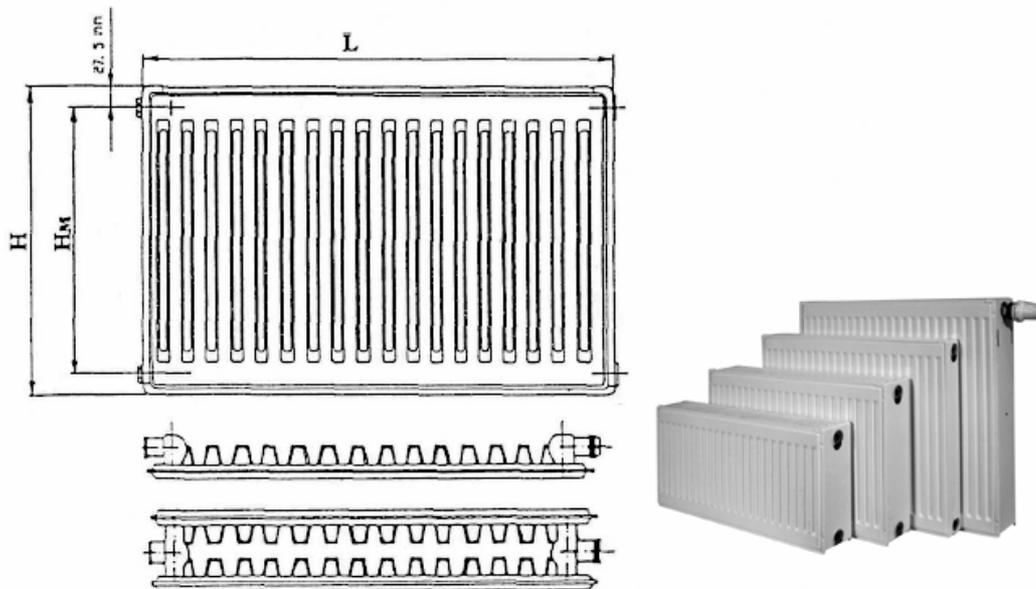


Рис. 3.5. Общий вид стального панельного радиатора

Стальные панельные радиаторы имеют относительно небольшую площадь нагревательной поверхности, из-за чего часто приходится прибегать к установке их в два ряда (на расстоянии 40 мм от одной панели до другой). При этом снижается теплоотдача (примерно на 15 %) и затрудняется очистка межпанельного пространства от пыли.

В настоящее время широкое применение приобретают алюминиевые и биметаллические **литые радиаторы**. *Алюминиевые литые радиаторы* являются, как правило, высококачественными приборами, имеющими хороший эстетический вид и удовлетворительное лакокрасочное покрытие. Они могут быть рассчитаны на высокое рабочее давление. К недостаткам этого вида отопительных приборов относят то, что высокий показатель  $pH$  теплоносителя (более 10) и наличие в нем специальных добавок на основе кальция приводят к систематическому разрушению оксидной пленки, естественным образом защищающей алюминий от разрушения.

*Биметаллические литые радиаторы* представляют собой стальные водопроводящие каналы, находящиеся внутри алюминиевого оребрения (рис. 3.6). Таким образом, все преимущества алюминиевых радиаторов со-

четаются в этих приборах с высокой коррозионной стойкостью. Обычно биметаллические радиаторы рассчитаны на высокое давление, а если водопроводящие трубки имеют достаточно большую толщину стен (2,5 мм и более), и контакт алюминия с водой отсутствует, то срок службы такого радиатора составляет не менее 50 лет.

**Стальные трубчатые радиаторы** являются одними из самых дорогих. Они имеют оригинальный «округлый» дизайн, выделяющий этот вид отопительных приборов из общего ряда. К числу недостатков (кроме цены) относится сравнительно небольшая толщина стали, из которой радиаторы изготовлены [22].

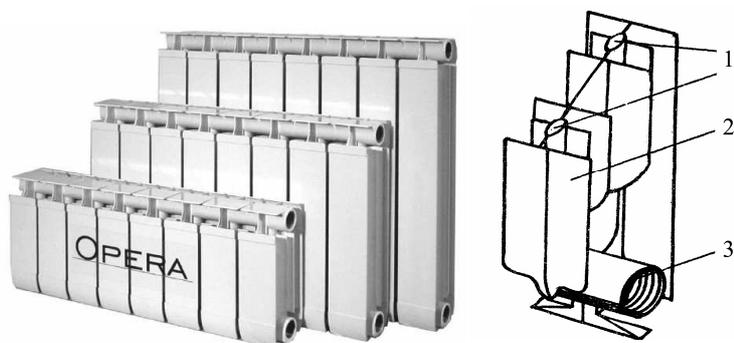


Рис. 3.6. Общий вид литых биметаллических радиаторов: 1 – трубы для прохода теплоносителя; 2 – элемент из алюминиевого сплава; 3 – установка прокладок

Плоские блоки радиаторов делают также из тяжелого бетона (**бетонные отопительные панели**), применяя нагревательные элементы змеевиковой или регистровой формы из металлических и неметаллических труб. Бетонные панели располагают в наружных ограждающих конструкциях помещений (совмещенные панели) или приставляют к ним (приставные панели).

Бетонные панели, особенно совмещенного типа, отвечают строгим санитарно-гигиеническим и архитектурно-строительным требованиям, отличаются высоким тепловым напряжением металла. К недостаткам совмещенных панелей относятся трудность ремонта, большая тепловая инерция, усложняющая регулирование теплоотдачи, увеличение теплопотерь через дополнительно прогреваемые наружные конструкции зданий. Поэтому в настоящее время они применяются ограниченно. Панели приставного типа уменьшают рабочий объем помещений.

**Гладкотрубными** называют конвективно-радиационный отопительный прибор, состоящий из нескольких соединенных вместе стальных труб, образующих каналы для теплоносителя змеевиковой или регистровой формы. В регистре при параллельном соединении горизонтальных труб поток теплоносителя делится с уменьшением скорости его движения. В змеевике трубы соединены последовательно, и скорость движения теплоносителя не изменяется по всей длине прибора.

Отопительные приборы сваривают из труб  $D_y = 32 \div 100$  мм, располагаемых одна от другой на расстоянии, на 50 мм превышающем их наружный диаметр, для увеличения теплоотдачи излучением.

Гладкотрубные приборы характеризуются высокими значениями коэффициента теплопередачи, их пылесобирающая поверхность невелика и легко очищается от пыли.

Вместе с тем эти толстостенные стальные приборы тяжелы и громоздки, занимают много места, их внешний вид не соответствует современным требованиям, предъявляемым к интерьеру помещений. Их применяют в редких случаях, когда не могут быть использованы отопительные приборы других видов (например, для обогрева световых фонарей, при значительном выделении пыли в помещении).

**Конвектор** состоит из двух элементов – трубчато-ребристого нагревателя и кожуха (рис. 3.7). Кожух декорирует нагреватель и способствует повышению теплопередачи благодаря увеличению подвижности воздуха у поверхности нагревателя. Конвектор с кожухом передает в помещение конвекцией  $90 \div 95$  % общего теплового потока. Прибор, в котором функции кожуха выполняет оребрение нагревателя, называют конвектором без кожуха. Нагреватель выполняют из стали, чугуна, алюминия и других металлов, кожух – из листовых материалов (стали, асбестоцемента и др.).

Конвекторы обладают сравнительно низкими теплотехническими показателями, особенно при использовании в двухтрубных системах отопления. Однако они характеризуются простотой изготовления, возможностью механизировать и автоматизировать их производство, сокращением трудовых затрат при монтаже. Малая металлоемкость способствует повышению теплового напряжения металла конвекторов. Конвекторы – приборы малой тепловой инерции.

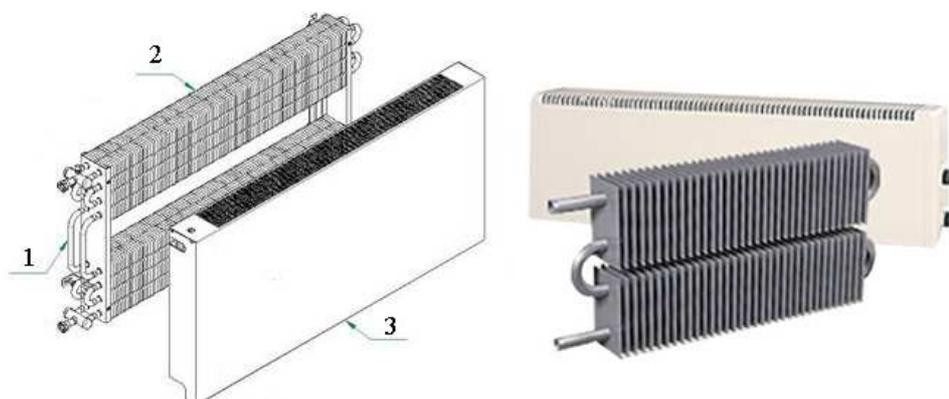


Рис. 3.7. Общий вид конвектора:  
1 – нагревательный элемент; 2 – оребрение; 3 – кожух

Теплопередача конвекторов с кожухом растет при увеличении высоты кожуха (например, на 20 % при увеличении его высоты от 250 до 600 мм). Теплопередача возрастает еще заметнее при искусственно усиленной конвекции воздуха у поверхности нагревателя, если в кожухе установить вентилятор специальной конструкции (вентиляторный конвектор).

Конвекторы без кожуха занимают мало места по глубине помещений (строительная глубина 60 ÷ 70 мм). При размещении их у пола по всей длине окон и наружных стен способствуют созданию теплового комфорта в помещениях. Однако вследствие малой теплоотдачи на единицу длины часто приходится устанавливать приборы в два яруса или ряда для получения необходимой площади нагревательной поверхности. Это придает им непривлекательный внешний вид. Конвекторы не применяются при повышенных требованиях к гигиене помещений.

**Ребристой трубой** называют конвективный прибор, представляющий собой фланцевую чугунную трубу, наружная поверхность которой покрыта совместно отлитыми тонкими ребрами.

Площадь внешней поверхности ребристой трубы во много раз больше, чем площадь поверхности гладкой трубы таких же диаметра и длины. Это придает отопительному прибору компактность. Кроме того, пониженная температура поверхности ребер при использовании высокотемпературного теплоносителя, сравнительная простота изготовления и невысокая стоимость способствуют применению этого малоэффективного в теплотехническом отношении и металлоемкого прибора. К недостаткам ребристых труб относятся также неэстетичный внешний вид, малая механическая прочность ребер и трудность очистки от пыли.

Круглые чугунные ребристые трубы выпускают длиной от 0,5 до 2,0 м; устанавливают их горизонтально в несколько ярусов и соединяют по змеевиковой форме на болтах с помощью чугунных «калачей» – фланцевых двойных отводов и контрфланцев.

**При выборе вида и типа отопительного прибора** учитывают ряд факторов: назначение, архитектурно-технологическую планировку и особенности теплового режима помещения, место и продолжительность пребывания людей, вид системы отопления, технико-экономические и санитарно-гигиенические показатели прибора. Прежде всего исходят из основной области применения, а также из соответствия санитарно-гигиенических показателей предъявляемым требованиям.

В отдельных случаях отопительный прибор выбирается на основании специального технико-экономического сопоставления нескольких видов; иногда выбор обусловлен наличием прибора определенного типа.

При повышенных санитарно-гигиенических, а также противопожарных и противозрывных требованиях, предъявляемых к помещению, выбирают приборы с гладкой поверхностью. Как уже известно, это радиаторы и гладко-трубные приборы. Бетонные панельные радиаторы в этом случае, особенно совмещенные со строительными конструкциями, наилучшим образом способствуют содержанию помещения в чистоте. Стальные панельные радиаторы и гладкотрубные приборы могут быть рекомендованы при менее строгом отношении к гигиене и внешнему виду помещения.

При обычных санитарно-гигиенических требованиях, предъявляемых к помещению, можно использовать приборы с гладкой и ребристой поверхностью. В гражданских зданиях чаще применяют радиаторы и конвекторы, в производственных – радиаторы и ребристые трубы (несколько труб друг над другом) как более компактные приборы, обеспечивающие повышенную теплоотдачу на единицу их длины.

В помещениях, предназначенных для кратковременного пребывания людей (менее 2 ч), можно использовать приборы любого типа, отдавая предпочтение приборам с высокими технико-экономическими показателями.

Благоприятным с точки зрения создания теплового комфорта для людей является обогревание помещения через пол. Теплый пол, равномерно нагретый до температуры, допустимой по санитарно-гигиеническим требованиям (например, в жилой комнате до 26 °С), обеспечивает ровную температуру и слабую циркуляцию воздуха, устраняет перегревание верхней зоны в помещении. Сравнительно высокая стоимость и трудоемкость устройства теплого пола для отопления помещения в большинстве случаев определяют замену его вертикальными отопительными приборами как более компактными и дешевыми.

**Размещение** вертикального отопительного прибора в помещении возможно как у наружной, так и у внутренней стены. На первый взгляд целесообразна установка прибора у внутренней стены помещения – сокращается длина труб, подающих и отводящих теплоноситель от прибора (требуется один стояк на два прибора).

Кроме того, увеличивается теплопередача такого прибора в помещение (примерно на 7 % в равных температурных условиях) вследствие интенсификации внешнего теплообмена и устранения дополнительной теплопотери через наружную стену. Все же подобное размещение прибора допустимо лишь в южных районах с короткой и теплой зимой, так как оно сопровождается неблагоприятным для здоровья людей движением воздуха с пониженной температурой у пола помещений.

В средней полосе целесообразно устанавливать отопительный прибор вдоль наружной стены помещения и особенно под окном. При таком размещении прибора возрастает температура внутренней поверхности в нижней части наружной стены и окна, что повышает тепловой комфорт помещения, уменьшая радиационное охлаждение людей. Поток теплого воздуха при расположении прибора под окном препятствует образованию ниспадающего потока холодного воздуха, если нет подоконника, перекрывающего прибор, и движению воздуха с пониженной температурой у пола помещения. Длина прибора для этого должна быть не менее трех четвертей ширины оконного проема.

Вертикальный отопительный прибор следует размещать возможно ближе к полу помещения (но не ближе 60 мм от пола для удобства очистки подприборного пространства от пыли).

При значительном подъеме прибора над полом в помещении создается охлажденная зона, так как циркуляционные потоки нагреваемого воздуха, замыкаясь на уровне установки прибора, не захватывают и не прогревают в этом случае нижнюю часть помещения.

Особое размещение отопительных приборов требуется в лестничных клетках – вертикальных шахтах снизу доверху здания. Естественное движение воздуха в лестничных клетках в зимний период, усиливающееся с увеличением высоты, способствует теплопереносу в верхнюю их часть и вместе с тем вызывает переохлаждение нижней части, прилегающей к открывающимся наружным дверям. Частота открывания наружных дверей и, следовательно, охлаждение прилегающей части лестницы косвенно связаны с размерами здания, и в многоэтажном здании в большинстве случаев выше, чем в малоэтажном. Очевидно, при равномерном размещении отопительных приборов по высоте будет происходить перегревание средней и верхней частей лестничной клетки и переохлаждение нижней части. Таким образом, в лестничных клетках целесообразно располагать отопительные приборы в нижней их части, рядом с входными дверями. Их размещают на первом этаже при входе и в крайнем случае переносят часть приборов (до 20 % в двухэтажных, до 30 % в трехэтажных зданиях) на промежуточную лестничную площадку между первым и вторым этажами. Установка отопительного прибора во входном тамбуре с наружной дверью нежелательна во избежание замерзания воды в нем или в отводной трубе в том случае, если наружная дверь длительное время остается открытой.

Все отопительные приборы располагают так, чтобы были обеспечены их осмотр, очистка и ремонт. Вместе с тем вертикальные металлические приборы размещают под подоконниками, в стенных нишах, специ-

ально ограждают или декорируют. Если по технологическим, противопожарным или эстетическим требованиям ограждение или декорирование прибора необходимо, то теплоотдача укрытых приборов по возможности не должна уменьшаться (или уменьшаться не более чем на 10 %). Поэтому конструкция укрытия прибора, вызывающая сокращение теплоотдачи излучением, должна способствовать увеличению конвективной теплоотдачи.

Тепловой поток от теплоносителя передается в помещение через стенку отопительного прибора. **Интенсивность теплопередачи отопительного прибора** характеризуют *коэффициентом теплопередачи*  $k_{np}$ , который выражает плотность теплового потока на внешней поверхности стенки, отнесенного к разности температуры теплоносителя и воздуха, разделенных стенкой.

Коэффициент теплопередачи каждого вновь разрабатываемого отопительного прибора не рассчитывают аналитически, а устанавливают опытным путем без разделения теплового потока на части, выражающие теплопередачу конвекцией и излучением.

Основными факторами, определяющими величину  $k_{np}$ , являются вид и конструктивные особенности, приданные типу прибора при его разработке; а также температурный напор при эксплуатации прибора.

Вид отопительного прибора позволяет заранее судить о возможной величине коэффициента теплопередачи. Для гладкотрубных приборов характерны сравнительно высокие, для секционных радиаторов – средние, для конвекторов и ребристых труб – низкие значения коэффициента теплопередачи.

Вторым основным фактором, определяющим величину  $k_{np}$  в эксплуатационных условиях, является температурный напор  $\Delta t$ , то есть разность температуры теплоносителя  $t_T$  и температуры окружающего прибор воздуха  $t_в$ . При этом наибольшему температурному напору соответствует наивысшее значение коэффициента теплопередачи.

Среди второстепенных факторов, влияющих на коэффициент теплопередачи приборов систем водяного отопления, прежде всего выделяется расход воды  $G_{np}$ . В зависимости от расхода воды изменяются скорость движения  $w$  и режим течения воды в приборе, то есть условия теплообмена на его внутренней поверхности. Кроме того, изменяется равномерность температурного поля на внешней поверхности прибора.

На равномерности температурного поля на внешней поверхности отопительных приборов отражается также направление движения воды

внутри прибора, связанное с местами ее подвода и отведения, то есть способ соединения приборов с теплопроводами.

Способ соединения приборов или их нагревательных элементов с трубами, изменяющий условия подачи, растекания, внутренней циркуляции, слияния и отведения потоков теплоносителя, называют **схемой присоединения**. Все схемы присоединения приборов к трубам систем отопления разделены на три группы. Радиаторы чугунные секционные и стальные панельные выделены в первую группу, конвекторы с кожухом – в третью, остальные приборы с трубчатыми нагревательными элементами отнесены ко второй группе.

На рис. 3.8 представлены три основные схемы подачи и отвода воды из отопительных приборов. Наиболее равномерной и высокой температура поверхности радиаторов получается при схеме присоединения сверху-вниз (схема а, когда нагретая вода подводится к верхней пробке радиатора, а охлажденная вода отводится от нижней пробки. Поэтому значение коэффициента теплопередачи будет в этом случае всегда выше, чем при движении воды снизу-вниз (схема б) и особенно снизу-вверх (схема в).

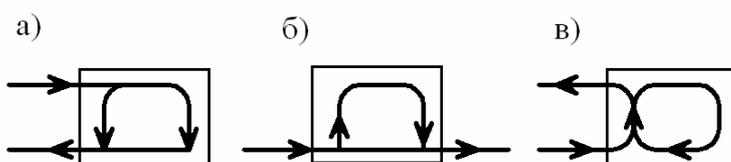


Рис. 3.8. Схемы подачи и отвода воды из отопительных приборов

На коэффициент теплопередачи влияют также следующие второстепенные факторы:

а) скорость движения воздуха  $v$  у внешней поверхности прибора. При установке прибора у внутреннего ограждения  $k_{np}$  повышается за счет усиления циркуляции воздуха в помещении;

б) конструкция ограждения прибора. Коэффициент теплопередачи уменьшается при переносе свободно установленного прибора в нишу стены; декоративное ограждение прибора, выполненное без учета теплотехнических требований, может значительно уменьшить  $k_{np}$ ;

в) расчетное значение атмосферного давления, установленное для места расположения здания. При пониженном давлении по сравнению с номинальным (1013,3 гПа) коэффициент теплопередачи также понижается вследствие уменьшения плотности воздуха;

г) окраска прибора. Состав и цвет краски могут несколько изменять коэффициент теплопередачи. Краски, обладающие высокой излучательной

способностью, увеличивают теплоотдачу прибора и наоборот. Например, окраска цинковыми белилами повышает теплопередачу чугунного секционного радиатора на 2,2 %, нанесение алюминиевой краски, растворенной в нитролаке, уменьшает ее на 8,5 %. Влияние окраски связано также с конструкцией прибора. Нанесение алюминиевой краски на поверхность панельного радиатора – прибора с повышенным излучением – снижает теплопередачу на 13 %. Окраска конвекторов и ребристых труб незначительно влияет на их теплопередачу.

На значении коэффициента теплопередачи сказываются также качество обработки внешней поверхности, загрязненность внутренней поверхности, наличие воздуха в приборах и другие эксплуатационные факторы.

В зависимости от значения коэффициента теплопередачи и размеров отопительного прибора изменяется его общий тепловой поток. Величина общего теплового потока обусловлена его *поверхностной плотностью*, то есть значением удельного теплового потока, передаваемого от теплоносителя через 1 м<sup>2</sup> площади прибора в окружающую среду.

**Тепловой расчет приборов** заключается в *определении площади внешней нагревательной поверхности каждого прибора, обеспечивающей необходимый тепловой поток от теплоносителя в помещение*. Расчет проводится при температуре теплоносителя, устанавливаемой для условий выбора тепловой мощности приборов. Для теплоносителя пара – это температура насыщенного пара при заданном его давлении в приборе. Для теплоносителя воды – это максимальная средняя температура воды в приборе, связанная с ее расходом.

Тепловая мощность прибора, то есть его расчетная теплоотдача  $Q_{np}$ , определяется теплотребностью помещения за вычетом теплоотдачи теплопроводов, проложенных в этом помещении. Площадь теплоотдающей поверхности зависит от принятого вида прибора, его расположения в помещении и схемы присоединения к трубам. Эти факторы отражаются на значении поверхностной плотности теплового потока прибора.

Расчетная площадь  $F_{np}$ , м<sup>2</sup>, отопительного прибора независимо от вида теплоносителя равна

$$F_{np} = Q_{np} / q_{np}, \quad (3.2)$$

где  $Q_{np}$  – требуемая теплоотдача прибора, Вт, в рассматриваемое помещение, определяемая в соответствии с формулой (3.1);

$q_{np}$  – поверхностная плотность теплового потока прибора, Вт/м<sup>2</sup>.

В зависимости от вида отопительного прибора по расчетной площади поверхности теплоотдачи в результате расчета определяется либо количество секций прибора, либо набор стандартных элементов прибора, либо длина греющих труб приборов.

Теплопотребности помещений, выявленные в расчетных условиях, определяют площадь отопительных приборов. Площадь является постоянной характеристикой каждого установленного прибора. Между тем, известно, что расчетные условия наблюдаются при отоплении зданий далеко не всегда. В течение отопительного сезона изменяется температура наружного воздуха, на здания эпизодически воздействуют ветер и солнечная радиация, тепловыделения в помещениях неравномерны. Поэтому для поддержания теплового режима помещений на заданном уровне необходимо в процессе эксплуатации регулировать теплопередачу отопительных приборов. Эксплуатационное **регулирование теплового потока отопительных приборов** может быть качественным и количественным.

*Качественное регулирование* достигается изменением температуры теплоносителя, подаваемого в систему отопления. Качественное регулирование по месту осуществления может быть *центральным*, проводимым на тепловой станции, и *местным*, выполняемым в тепловом пункте здания.

*Количественное регулирование* теплопередачи приборов осуществляется изменением количества теплоносителя (воды или пара), подаваемого в систему или прибор. По месту проведения оно может быть не только центральным и местным, но и *индивидуальным*, то есть выполняемым у каждого отопительного прибора.

Эксплуатационное регулирование теплопередачи приборов может быть автоматизировано. Местное автоматическое регулирование в тепловом пункте здания обычно проводят, ориентируясь на изменение температуры наружного воздуха (этот способ регулирования называют «по возмущению»). Индивидуальное автоматическое регулирование теплопередачи прибора происходит при отклонении температуры воздуха в помещении от заданного уровня (регулирование «по отклонению»).

Для индивидуального автоматического регулирования применяют регуляторы температуры прямого и косвенного действия.

Для индивидуального ручного регулирования теплопередачи приборов служат краны и вентили [14].

### 3.5. Гидравлический расчет систем водяного отопления

**Естественное циркуляционное давление**, возникающее в системах водяного отопления, в общем случае можно рассматривать как сумму двух величин: давления  $\Delta p_{e.np}$ , возникающего за счет охлаждения воды в отопительных приборах, и давления  $\Delta p_{e.mp}$ , вызываемого охлаждением воды в теплопроводах:

$$\Delta p_e = \Delta p_{e.np} + \Delta p_{e.mp}. \quad (3.3)$$

В системах отопления многоэтажных зданий первое слагаемое в большинстве случаев является основным по величине, а второе – дополнительным. **В системах с естественной циркуляцией**  $\Delta p_e$ , рассчитанное по формуле (3.3), является **расчетным циркуляционным давлением**  $\Delta p_p$ .

**Расчетное циркуляционное давление в системе с искусственной циркуляцией** складывается из давления  $\Delta p_{нас}$ , создаваемого насосом, и естественного давления  $\Delta p_e$ :

$$\Delta p_p = \Delta p_{нас} + \Delta p_e = \Delta p_{нас} + B(\Delta p_{e.np} + \Delta p_{e.mp}), \quad (3.4)$$

где  $B$  – коэффициент, определяющий долю максимального естественного давления, которую целесообразно учитывать в расчетных условиях; для двухтрубных и однострубных горизонтальных систем 0,4 – 0,5, для однострубных 1.

Системы отопления представляют собой разветвленную сеть теплопроводов, выполняющих важную функцию распределения теплоносителя по отопительным приборам. Теплопроводы предназначены для доставки и передачи в каждое помещение обогреваемого здания необходимого количества тепловой энергии. Так как теплопередача происходит при охлаждении определенного количества воды, требуется выполнить гидравлический расчет системы.

Для определения диаметров теплопроводов при заданной тепловой нагрузке и расчетном циркуляционном давлении выполняют **гидравлический расчет трубопроводов системы отопления**.

Как известно, при движении реальной жидкости по трубам всегда имеют место потери давления на преодоление сопротивления двух видов – трения и местных сопротивлений (тройники, крестовины, отводы, вентили, краны, отопительные приборы и т.д.).

Гидравлический расчет выполняют по пространственной схеме системы отопления, вычерчиваемой обычно в аксонометрической проекции.

На схеме системы выявляют циркуляционные кольца, делят их на участки и наносят тепловые нагрузки. В циркуляционное кольцо могут быть включены один (двухтрубная система) или несколько (однотрубная система) отопительных приборов и всегда теплогенератор, а также побудитель циркуляции теплоносителя в насосной системе отопления.

**Участком** называют трубу постоянного диаметра с одним и тем же расходом теплоносителя. Последовательно соединенные участки, образующие замкнутый контур циркуляции воды через теплогенератор, составляют **циркуляционное кольцо системы**.

Тепловая нагрузка прибора (точнее прибора с прилегающим этажом) принимается равной расчетным теплотерям помещений  $\sum Q_{ном}$  (за вычетом теплоступлений, если они имеются).

**Тепловая нагрузка участка**  $Q_{уч}$  составляется из тепловых нагрузок приборов, обслуживаемых протекающей по участку водой. Для участка подающего теплопровода тепловая нагрузка выражает запас теплоты в протекающей горячей воде, предназначенной для последующей (на дальнейшем пути воды) теплопередачи в помещения; для участка обратного теплопровода – потери теплоты протекающей охлажденной водой при теплопередаче в помещения (на предшествующем пути воды). Тепловая нагрузка участка предназначена для определения расхода воды на участке в процессе гидравлического расчета.

**Расход воды на участке**  $G_{уч}$  при расчетной разности температуры воды в системе  $t_2 - t_o$  с учетом дополнительной теплоподачи в помещения определяется по формуле

$$G_{уч} = \frac{3,6 \cdot Q_{уч}}{c \cdot (t_2 - t_o)} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2, \quad (3.5)$$

где  $Q_{уч}$  – тепловая нагрузка участка, Вт;

$c$  – удельная массовая теплоемкость воды, равная 4,187 кДж/кг·град;

$\beta_1, \beta_2$  – поправочные коэффициенты, учитывающие дополнительную теплоотдачу в помещение.

Гидравлический расчет можно выполнять различными методами: по удельным потерям давления, по характеристикам сопротивления, по приведенным длинам, по динамическим давлениям. Наиболее широкое распространение получили первые два метода расчета теплопроводов: **по удельным потерям давления** и **по характеристикам сопротивления**.

**Методика гидравлического расчета теплопроводов систем водяного отопления:**

1. Разрабатывается аксонометрическая схема системы отопления. К составлению такой схемы приступают после того, как подсчитаны тепловые потери помещениями здания; выбран тип отопительных приборов и определено их число для каждого помещения; размещены на поэтажных планах здания отопительные приборы, горячие и обратные стояки, а на планах чердака и подвала – подающие и обратные магистрали; выбрано место для теплового пункта или котельной; определены размеры расширительного сосуда, если он требуется, и способ воздухоудаления; показано на плане чердака или верхнего этажа (при совмещенной крыше) размещение расширительного сосуда и приборов воздухоудаления. На планах этажей, чердака и подвала горячие и обратные стояки системы отопления должны быть пронумерованы, а на аксонометрической схеме кроме стояков нумеруются и все расчетные участки циркуляционных колец. Для расчета трубопровода дополнительно на схеме указывают тепловую нагрузку и длину каждого расчетного участка трубопровода циркуляционного кольца, а также всю запорно-регулирующую арматуру (краны, задвижки и т.д.). Сумма длин всех расчетных участков составляет величину расчетного циркуляционного кольца.

2. Выбирается главное циркуляционное кольцо. В тупиковых однотрубных системах – это кольцо через наиболее удаленный стояк, в попутных однотрубных системах – кольцо через один из средних наиболее нагруженных стояков, в двухтрубных с верхней разводкой – кольцо через нижний прибор наиболее удаленного стояка.

3. Определяется расчетное циркуляционное давление  $\Delta p_p$ , Па, по формулам (3.3) и (3.4)

4. Определяются потери давления  $\Delta p_{уч}$  на каждом участке:

– при расчете по методу удельных потерь:

$$\Delta p_{уч} = Rl + Z, \quad (3.6)$$

где  $R$  – удельные потери давления на трение на участке, Па/м, определяемые по номограммам;

$Z = \sum \zeta \frac{\rho \cdot w^2}{2}$  – потери давления в местных сопротивлениях, Па;

$\sum \zeta$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке;

$\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

$w$  – скорость воды на участке, м/с.

– при расчете по методу характеристик сопротивления:

$$\Delta p_{уч} = SG_{уч}^2, \quad (3.7)$$

где  $S = A \left( \frac{\lambda}{d} l + \sum \zeta \right)$  – характеристика сопротивления рассматриваемого участка трубопровода, Па/(кг/с)<sup>2</sup>;

$G$  – расход воды на рассматриваемом участке, кг/с;

$\lambda/d$  – приведенный коэффициент гидравлического трения;

$l$  – длина участка трубопровода;

$\sum \zeta$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке;

$A$  – удельное динамическое давление на участке, Па/(кг/с)<sup>2</sup>.

При расчете отдельных участков трубопровода необходимо иметь в виду следующее: местное сопротивление тройников и крестовин относят к расчетным участкам с наименьшим расходом воды; местные сопротивления нагревательных приборов, котлов и бойлеров учитывают поровну в каждом примыкающем к ним трубопроводе.

Определяются суммарные потери давления в расчетном циркуляционном кольце.

$$\Delta p = \sum \Delta p_{уч} \leq 0,9 \Delta p_p. \quad (3.8)$$

Для нормальной работы системы отопления, т.е. обеспечения затекания воды во все отопительные приборы и, соответственно, передачи заданного количества теплоты во все помещения, потери давления в расчетном циркуляционном кольце должны быть на 10 % меньше располагаемого циркуляционного давления, то есть должно соблюдаться условие (3.8). При этом желательно не отступать от величины 10 % ни в большую, ни в меньшую стороны.

Если по произведенному расчету с учетом запаса до 10 % расходуемое давление в системе будет больше или меньше располагаемого давления, то на отдельных участках кольца следует изменить диаметры труб.

Невязка в расходуемом давлении между отдельными циркуляционными кольцами допускается в однотрубных системах и двухтрубных системах с попутным движением воды до 15 %, а в двухтрубных с тупиковой разводкой – до 25 % [14].

### 3.6. Системы пароводяного отопления.

#### Понятие о системах отопления зданий повышенной этажности

Системы пароводяного отопления выполняют по любой схеме водяного отопления, но *нагрев циркулирующей в них воды осуществляется паром* в теплообменных аппаратах. Такие системы целесообразно применять, когда система централизованного теплоснабжения паровая. Чаще всего применение пароводяных систем характерно для промышленных предприятий. Для жилых зданий пароводяные системы отопления применяются в верхней части высотных зданий.

Многоэтажные здания для уменьшения гидростатического давления на приборы нижних этажей здание разделяют по высоте на несколько зон и в каждой зоне устраивают отдельную систему отопления (рис. 3.9). Число зон по высоте здания и высота каждой зоны определяются допустимым гидростатическим давлением отопительных приборов и оборудования теплового пункта. Система каждой зоны гидравлически независима от других зон, а также от давления наружных тепловых сетей. При теплоснабжении от ТЭЦ зональные системы отопления присоединяют по независимой схеме к водоводяным теплообменникам, размещаемым в подвале здания.

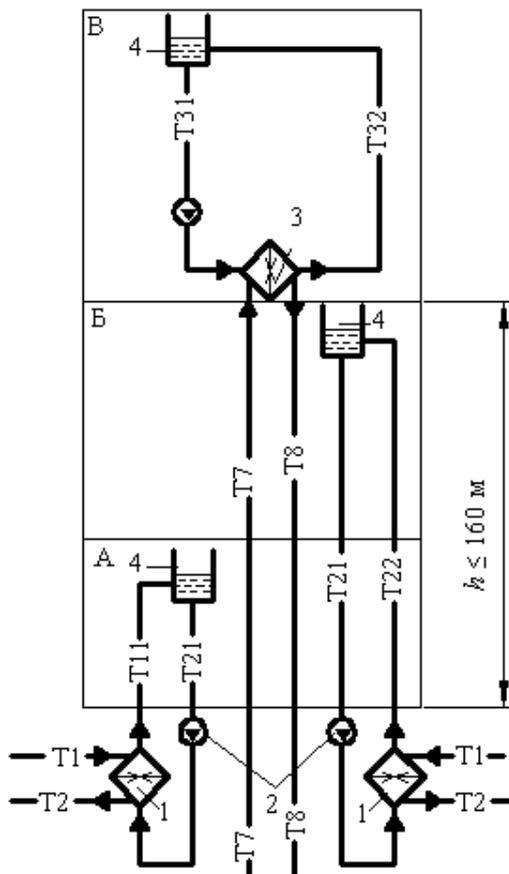


Рис. 3.9. Принципиальная схема комбинированного отопления многоэтажного здания:  
1 – водоводяной теплообменный аппарат; 2 – циркуляционный насос; 3 – пароводяной теплообменный аппарат; 4 – расширительный бак; T1, T2 – подающая и обратная магистрали водяной системы теплоснабжения; T7, T8 – подающая и обратная магистрали паровой системы теплоснабжения; T11, T12 – подающая и обратная магистрали системы отопления зоны А; T21, T22 – подающая и обратная магистрали системы отопления зоны Б; T31, T32 – подающая и обратная магистрали системы отопления зоны В

В зданиях высотой более 160 м в верхней зоне устраивают пароводяное отопление. Теплоноситель – пар, отличающийся незначительным гидростатическим давлением, – подается на технический этаж верхней зоны в тепловой пункт с пароводяным подогревателем. В нижней зоне таких зданий устраиваются водоводяные системы отопления.

В зданиях высотой более 250 м пароводяные системы могут быть в двух верхних зонах и более [24].

### 3.7. Системы парового отопления

В системах парового отопления используется свойство пара при конденсации выделять скрытую теплоту фазового превращения. При конденсации в нагревательном приборе 1 кг пара помещение получает около 2260 кДж теплоты.

По сравнению с системами водяного отопления системы парового отопления имеют следующие *преимущества*:

1) благодаря малой плотности пара он перемещается с большими скоростями, вследствие чего требуются меньшие диаметры теплопроводов, чем при водяном отоплении, поэтому стоимость теплопроводов в системах парового отопления ниже, чем в системах водяного отопления;

2) большой коэффициент теплоотдачи от пара к стенкам отопительного прибора (за счет высокой величины скрытой теплоты фазового превращения), благодаря этому и высокой температуре пара площадь поверхности отопительных приборов в системах парового отопления приблизительно на 25 – 30 % меньше, чем и системах водяного отопления;

3) быстрый прогрев помещений и выключение системы из работы;

4) возможность использования систем отопления в зданиях повышенной этажности вследствие малой плотности пара.

Однако наряду со всеми перечисленными положительными свойствами, пар имеет ряд существенных *недостатков*:

1) невозможность регулирования теплоотдачи отопительных приборов путем изменения температуры теплоносителя, то есть невозможность качественного регулирования;

2) постоянно высокая температура (100 °С и более) поверхности теплопроводов и отопительных приборов, что вызывает разложение оседающей органической пыли, а также вынуждает устраивать перерывы в подаче пара; перерывы в подаче пара приводят к колебанию температуры воздуха в помещениях, то есть к понижению уровня теплового комфорта;

3) увеличение бесполезных теплопотерь паропроводами, когда они проложены в необогреваемых помещениях;

4) шум при действии систем, особенно при возобновлении работы после перерыва;

5) сокращение срока службы теплопроводов; при перерывах в подаче пара теплопроводы заполняются воздухом, что усиливает коррозию их внутренней поверхности.

Вследствие этих недостатков система парового отопления не допускается к применению в жилых, общественных и административно-бытовых зданиях, а также в производственных помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха.

Паровое отопление может устраиваться в производственных помещениях без выделения пыли и аэрозолей или с выделением негорючей и неядовитой пыли, негорючих и не поддерживающих горение газов и паров, со значительными влаговыведениями, а также для обогрева лестничных клеток, пешеходных переходов, вестибюлей зданий.

Классификация систем парового отопления выполняется по нескольким признакам. **По величине начального давления пара**, подаваемого в систему отопления, различают системы отопления **высокого** ( $p_{изб} > 0,07$  МПа), **низкого** ( $p_{изб} < 0,07$  МПа) давления и **вакуум-паровые** ( $p_{абс} < 0,1$  МПа).

**По способу возврата конденсата** системы парового отопления подразделяют на **замкнутые** (конденсат благодаря наклону трубопроводов самотеком возвращается из отопительных приборов в котел или в тепловую сеть) и **разомкнутые** (конденсат поступает сначала в конденсаторный бак, а затем перекачивается насосом в котел или в тепловую сеть).

**По месту расположения паропроводов** и схеме стояков системы парового отопления могут выполняться с **верхним, нижним и промежуточным** распределением пара при однотрубной и двухтрубной схемах обслуживания отопительных приборов.

На рис. 3.10 показана схема замкнутой системы парового отопления низкого давления с промежуточным распределением пара. Пар из котла по главному стояку 1, вследствие разностей давлений в котле и отопительных приборах, поднимается в магистральный паропровод 2 и далее по паровым стоякам 5 подается в отопительный прибор. Здесь пар конденсируется, отдавая в отапливаемое помещение скрытую теплоту парообразования. Образующийся при этом конденсат по конденсатным стоякам 3 и сборному конденсатопроводу 6, прокладываемому с уклоном не менее 0,005 в направлении его движения, самотеком возвращается в котел. Для нормально-

го удаления воздуха из системы диаметр конденсатопровода в рассматриваемой схеме должен быть таким, чтобы стекающий конденсат заполнял не больше половины диаметра трубы. Соблюдение этого условия позволяет воздушному пространству конденсатопровода сообщаться с атмосферой с помощью воздушной трубки 8. Место присоединения воздушной трубки к конденсатопроводу должно быть выше уровня воды в трубе 7, питающей котел конденсатом. При этом условии магистральный конденсатопровод никогда не будет заполняться полностью водой, то есть будет так называемым «сухим» конденсатопроводом. Такой конденсатопровод прокладывают либо под потолком подвала, либо под полом первого этажа. При большой протяженности паропровода в замкнутых системах для уменьшения заглубления котельных конденсатопровод прокладывается ниже уровня воды в котле. Такой конденсатопровод называется «мокрым», так как он полностью заполняется конденсатом.

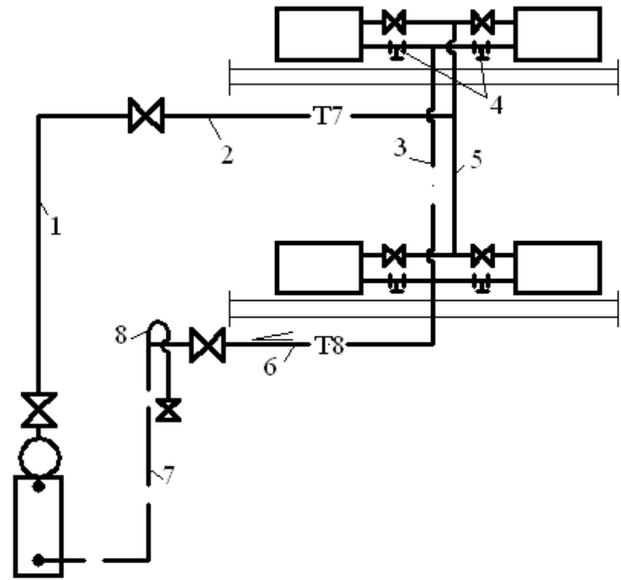


Рис. 3.10. Система парового отопления низкого давления с промежуточным распределением пара

На подводках к отопительному прибору устанавливается тройник с пробкой 4 для проверки наличия пара в конденсационной подводке, которого там быть не должно.

Система парового отопления низкого давления с нижним распределением пара отличается от систем с верхним и промежуточным распределением главным образом расположением магистрального паропровода, при котором устраивают специальный гидравлический затвор или устанавливают водоотводчик у дальнего стояка для отвода конденсата из стояков и магистрального паропровода (рис. 3.11).

Рассмотрим узел управления и схему парового отопления высокого давления с верхним распределением пара (рис. 3.12). Пар из котельной по паропроводу 1 поступает в узел управления с давлением  $p_{изб} = 0,6$  МПа. Для системы отопления здания пар может быть использован с давлением не выше 0,3 МПа, поэтому для понижения давления устанавливается ре-

дукционный клапан 2 с обводной линией 3. После этого устанавливают предохранительный клапан 4, отрегулированный на давление  $p_{изб} = 0,3$  МПа. Затем пар поступает по паропроводу 5 и отопительным стоякам 6 в нагревательные приборы, после которых по конденсационным стоякам 7 и конденсатопроводу 8 конденсат поступает обратно в котельную. Для предотвращения прорыва пара в конденсатопровод и отвода попутного конденсата устанавливаются конденсатоотводчики 9.

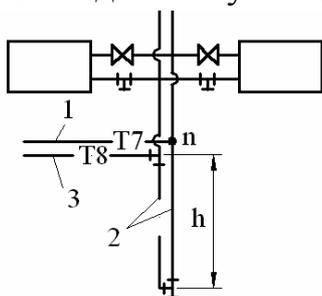


Рис. 3.11. Схема системы осушки пара при нижней разводке паропроводов:  
1 – паропровод; 2 – гидравлический затвор;  
3 – конденсатопровод

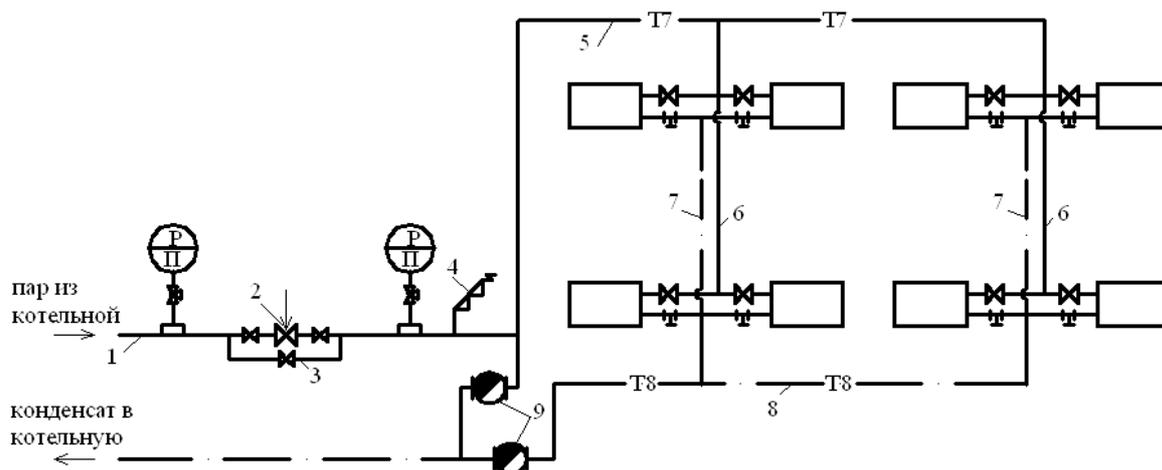


Рис. 3.12. Система парового отопления высокого давления с верхним распределением пара

В отличие от систем водяного отопления **гидравлический расчет систем парового отопления** предусматривает отдельные расчеты паропроводов и конденсатопроводов, а не расчет общего кольца, как в системах водяного отопления. Однако методы расчета обеих систем аналогичны.

**Располагаемым давлением** на преодоление сопротивлений трения и местных сопротивлений в паропроводе системы отопления является разность давлений пара в котле (или в тепловом пункте после редуктора) и перед вентиляем наиболее удаленного от котла (от теплового пункта) прибора. Давление пара в котле  $p_{изб}$  для систем парового отопления низкого давления принимают в зависимости от протяженности паропровода, соединяющего котел с наиболее удаленным отопительным прибором.

### 3.8. Системы воздушного отопления

При воздушном отоплении *в качестве теплоносителя* используют *воздух, нагретый до температуры более высокой, чем воздух в помещении*. Нагретый воздух подается в помещение и, смешиваясь с внутренним воздухом, отдает ему то количество теплоты, которое необходимо для возмещения теплотерь помещения.

Классификация систем воздушного отопления:

– *по виду первичного теплоносителя*, нагревающего воздух: *паровоздушные, водовоздушные, газовоздушные*;

– *по способу перемещения нагретого воздуха: естественная* (воздух перемещается за счет разности плотностей холодного и нагретого воздуха) и *с механическим побуждением* (воздух перемещается с помощью вентилятора);

– *по месту приготовления нагретого воздуха: централизованные* (подача воздуха в несколько помещений производится из одного центра) и *децентрализованные* (подача воздуха производится местными отопительными и отопительно-вентиляционными агрегатами);

– *по качеству воздуха, подаваемого в помещение: приточные* (обрабатывают и подают в помещения только наружный воздух), *рециркуляционные* (перемещают и обрабатывают один и тот же внутренний воздух) и *с частичной рециркуляцией* (часть обрабатываемого воздуха забирается снаружи, часть изнутри помещения).

Теплоотдачу систем воздушного отопления регулируют с учетом теплотерь помещения: при повышении наружной температуры понижают температуру подаваемого в помещение воздуха, и наоборот. Предельная температура подогретого воздуха не должна превышать 70 °С, чтобы не вызывать пригорание органической пыли.

Расход воздуха для воздушного отопления, совмещенного с вентиляцией, определяется по формуле

$$L_{np} = \frac{3,6 \cdot Q_n}{\rho \cdot c(t_{np} - t_g)}, \quad (3.9)$$

$Q_n$  – тепловой поток на отопление помещения, Вт;

$c = 1,2$  кДж/(м<sup>3</sup>·К) – теплоемкость воздуха;

$t_{np}$  – температура воздуха, подаваемого в помещение, °С;

$t_g$  – температура воздуха в рабочей зоне помещения, °С.

К основным **преимуществам** воздушного отопления перед другими способами отопления относятся:

- 1) возможность совмещения отопления с вентиляцией;
- 2) отсутствие тепловой инерции, то есть тепловой эффект при включении системы в действие достигается немедленно;
- 3) расход металла меньше в 6 – 8 раз, а капитальные затраты – в 1,5 – 2 раза (при сосредоточенной подаче воздуха).

К **недостаткам** воздушного отопления относятся:

- 1) возможность перемещения вредных выделений вместе с движущимся воздухом;
- 2) шум при работе вентиляторных установок;
- 3) большой расход электроэнергии.

На рис. 3.13. представлены принципиальные схемы местной системы воздушного отопления. Чисто отопительная система с полной рециркуляцией теплоносителя воздуха может быть бесканальной (рис. 3.13, а) и канальной (рис. 3.13, б). При бесканальной системе внутренний воздух, имеющий температуру  $t_g$ , нагревается первичным теплоносителем в калорифере до температуры  $t_{np}$  и перемещается вентилятором. Наличие вертикального канала для горячего воздуха вызывает естественную циркуляцию внутреннего воздуха через помещение и калорифер. Эти две схемы применяются для местного воздушного отопления помещений, не нуждающихся в искусственной приточной вентиляции. В качестве нагревательного элемента в данных схемах может применяться тепловентилятор.

Для местного воздушного отопления помещения одновременно с его приточно-вытяжной вентиляцией используют две другие схемы, изображенные на рис. 3.13, в, г. По схеме на рис. 3.13, в с частичной рециркуляцией часть воздуха забирается снаружи, другая часть внутреннего воздуха подмешивается к наружному (осуществляется частичная рециркуляция воздуха). Смешанный воздух догревается в калорифере и подается вентилятором в помещение. Помещение обогревается всем поступающим в него воздухом, а вентилируется только той его частью, которая забирается снаружи. Эта часть воздуха удаляется из помещения в атмосферу (по каналу 7 на рис. 3.13, в).

Схема на рис. 3.13, г – приточная: наружный воздух в количестве, необходимом для вентиляции помещения, дополнительно нагревается для отопления, а после охлаждения до температуры помещения удаляется в таком же количестве в атмосферу. Нагрев и подача воздуха при таких схемах организации воздушного отопления осуществляется отопительно-вентиляционными агрегатами.

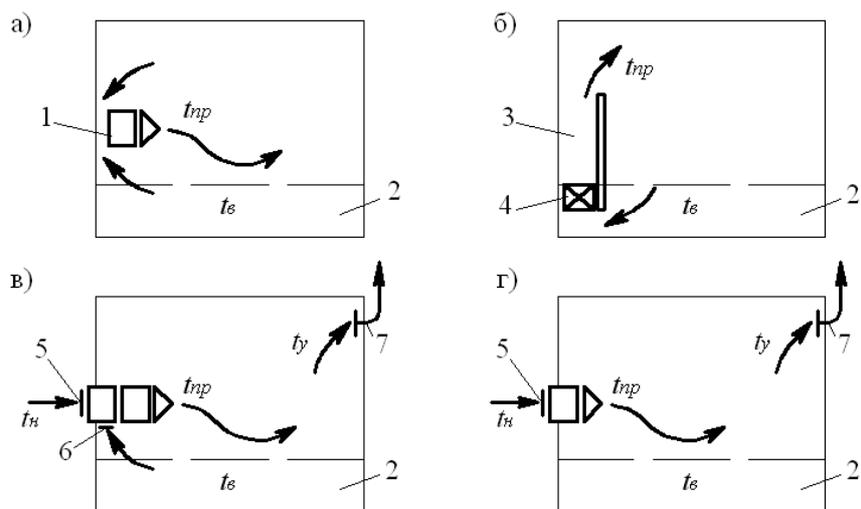
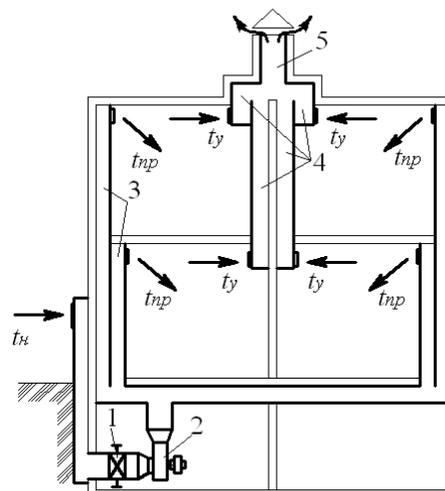


Рис. 3.13. Принципиальные схемы местной системы воздушного отопления:  
 а, б – полностью рециркуляционные; в – частично рециркуляционная; г – прямоточная;  
 1 – отопительный агрегат; 2 – рабочая зона; 3 – канал нагретого воздуха;  
 4 – теплообменник-калорифер; 5 – воздухозабор; 6 – рециркулирующий воздух;  
 7 – канал вытяжной вентиляции

Центральная система воздушного отопления – канальная. Воздух нагревается до необходимой температуры в тепловом центре здания и выпускается в помещения через воздухораспределители. Принципиальная схема центральной системы приведена на рис. 3.14.

Рис. 3.14. Прямоточная система централизованного воздушного отопления: 1 – калорифер; 2 – вентиляторный агрегат; 3 – каналы для подачи подогретого воздуха; 4 – каналы для удаления воздуха из помещения; 5 – вытяжная шахта



**Отопительным агрегатом** называется комплекс стандартных элементов, собираемых воедино на заводе, имеющий определенную воздушную, тепловую и электрическую мощность. Агрегаты изготавливают для установки непосредственно в отапливаемых помещениях. Они представляют собой компактное, мощное и сравнительно недорогое оборудование. Не-

достатком агрегатов является шум при действии вентилятора, что ограничивает возможность их применения в рабочее время.

Отопительные агрегаты подразделяются на подвесные и напольные.



Рис. 3.15. Подвесной воздушно-рециркуляционный отопительный агрегат: 1 – корпус; 2 – вентиляторный агрегат; 3 – калорифер; 4 – воздухо-распределитель вихревого типа

Подвесной отопительный агрегат представлен на рис. 3.15. Корпус, имеющий воздухозаборное отверстие, соединен с воздухонагревателем (калорифером). Внутри корпуса находится вентилятор с электродвигателем.

Воздух, забираемый из помещения вентилятором, пропускается через калорифер, нагреваемый высокотемпературной водой, и выпускается снова в помещение в нужном направлении через створки воздухораспределителя вихревого типа. Агрегат снабжен кронштейнами для подвески его в помещении.

**Рециркуляционный воздухонагреватель** с естественным движением воздуха – это отопительный прибор типа высокого конвектора, обогреваемый теплоносителем – водой. По способу отопления помещения, связанному с интенсивной циркуляцией воздуха при сосредоточенном его нагревании, рециркуляционный воздухонагреватель считают прибором местного водовоздушного отопления.

Рециркуляционные воздухонагреватели по тепловой мощности занимают промежуточное место между обычными отопительными приборами систем водяного и парового отопления и отопительными агрегатами систем воздушного отопления. Применяют их для отопления отдельных помещений, не имеющих постоянных рабочих мест у наружных ограждений и периодически используемых людьми, в первую очередь для отопления лестничных клеток многоэтажных зданий.

В лестничной клетке, отапливаемой рециркуляционным воздухонагревателем, помещенным близ наружной входной двери (рис. 3.16, а), обеспечивается более ровная температура воздуха, чем при водяном отоплении приборами, расположенными на нескольких лестничных площадках. Этому способствует усиленное прогревание наружного воздуха, проникающего через открываемую входную дверь.

В общественных и вспомогательных помещениях (в вестибюлях, холлах, торговых залах, складах и т. п.), имеющих значительную площадь

при ограниченной высоте и сообщающихся с наружным воздухом, рециркуляционные воздухонагреватели устанавливаются при входах (рис. 3.16, б). Они поддерживают равномерную температуру, вовлекая в циркуляцию и нагревая как внутренний, так и холодный наружный воздух, поступающий в помещения.

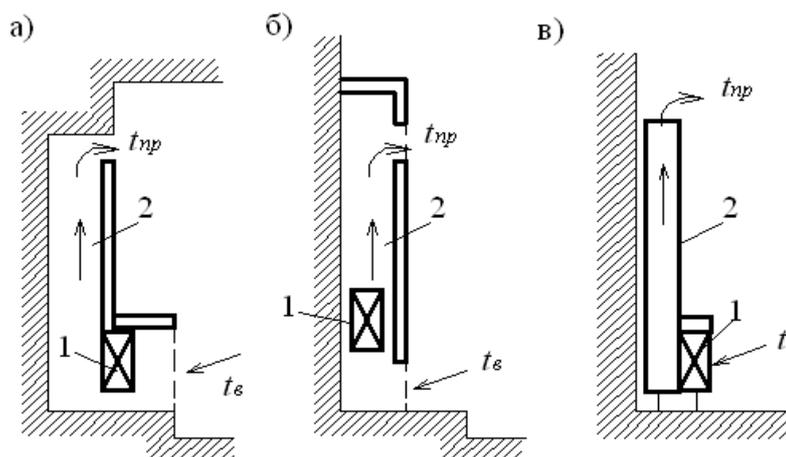


Рис. 3.16. Конструкции рециркуляционных воздухонагревателей: а – со встроенным каналом; б – приставной с каналом из строительных материалов; в – приставной металлический; 1 – нагреватель; 2 – канал горячего воздуха

Рециркуляционные воздухонагреватели применяют также для отопления помещений, окруженных по периметру постоянно отапливаемой частью здания и охлаждающихся в основном через покрытия (рис. 3.16, в). К таким помещениям относятся зрительные залы театров, концертные и другие залы, а также цехи.

*Достоинствами* рециркуляционных воздухонагревателей являются:

1) создание сильного восходящего потока нагретого воздуха, вызывающего интенсивную циркуляцию воздуха с выравниванием температуры по площади и высоте помещения;

2) простота устройства и эксплуатации, надежность действия без специального наблюдения;

3) пониженная стоимость (например, для отопления лестничной клетки в 1,5 раза по сравнению с радиаторным отоплением) и расход металла (в том же примере – почти в 2 раза) на отопительную установку;

4) количественное саморегулирование, характерное для системы отопления с естественной циркуляцией воды [14].

Еще одним видом воздушно-отопительного агрегата является **воздушно-тепловая завеса**, которая устраивается для предотвращения попадания холодного наружного воздуха через открытые двери в обществен-

ных зданиях и через двери и ворота в промышленных зданиях (рис. 3.17). В воздушно-тепловых завесах воздух подогревается в калориферах и подается в помещение. Воздух забирается из верхней зоны помещения и выходит из щели или отверстия канала, устраиваемого либо вверху дверей или ворот, либо сбоку. В последнем случае завесы бывают одно- или двухсторонние.

Скорость выпуска воздуха из щели или отверстия у ворот и технологических проемов не должна превышать 25 м/с, у наружных дверей – 8 м/с.

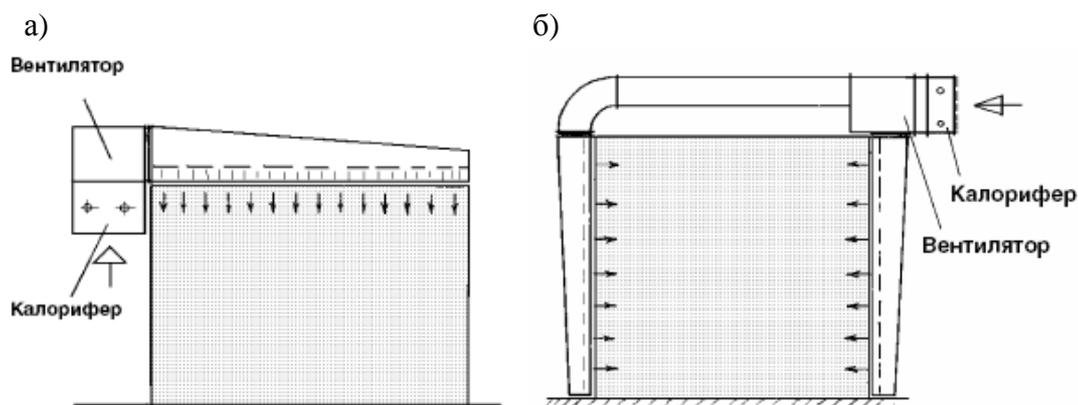


Рис. 3.17. Воздушно-тепловая завеса горизонтальная (а) и вертикальная (б)

### 3.9. Панельно-лучистое отопление

В системах панельно-лучистого отопления в качестве нагревательной поверхности используют искусственно обогреваемые стены, потолок, пол или специально изготовленные панели приставного и подвесного типа.

Для получения таких поверхностей теплоотдачи в указанных конструкциях заделывают трубы небольшого диаметра (рис. 3.18), прокладывают электрический кабель или устраивают воздухопроводы и каналы.

Теплоносителем в системах панельно-лучистого отопления могут быть вода, пар, воздух или электричество.

Принципиальное отличие панельно-лучистого отопления от обычного водяного и парового с отопительными приборами, размещаемыми под окнами, заключается в том, что помещения обогреваются главным образом теплом, излучаемым нагретыми поверхностями ограждающих конструкций или специальных панелей. При нагревании потолка только 20 – 25 % теплоты отдается помещению путем конвекции.

Под **системой панельно-лучистого отопления** следует понимать такую систему, при которой средневзвешенная температура ограждений

(радиационная температура) выше температуры воздуха, в то время как при конвективной системе отопления (посредством конвекторов или радиаторов) радиационная температура всегда ниже температуры воздуха, так как ограждения обогреваются в основном этим же воздухом.

Системы панельно-лучистого отопления кроме очевидных гигиенических преимуществ перед другими системами имеют следующие технико-экономические **достоинства**: совмещение нагревательных элементов со строительными конструкциями; снижение расхода металла и трудовых затрат на монтаж; улучшение интерьера помещения.

К специфическим **недостаткам** панельно-лучистого отопления относятся следующие: непосредственное облучение мебели и других предметов, находящихся в помещении, что сопряжено с возможностью их порчи; большая тепловая инерция систем, осложняющая регулирование теплоотдачи панелей; опасность засоров труб и сложность их ликвидации.

Имеются разногласия по вопросу о долговечности нагревательных элементов из труб, заделанных в бетон, хотя практика эксплуатации систем панельно-лучистого отопления в течение 40 – 50 лет достаточно убедительно опровергает эти сомнения.

**По конструктивному признаку** системы панельно-лучистого отопления подразделяют на следующие основные виды: **панельные стеновые системы отопления**;

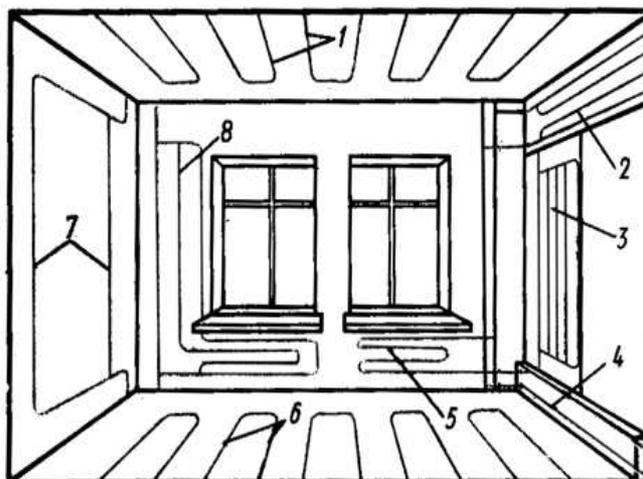


Рис. 3.18. Панельно-лучистое отопление: 1 – потолочное; 2 – ригельное; 3 – перегородочное; 4 – плинтусное; 5 – подоконное; 6 – напольное; 7 – контурное; 8 – стеновое

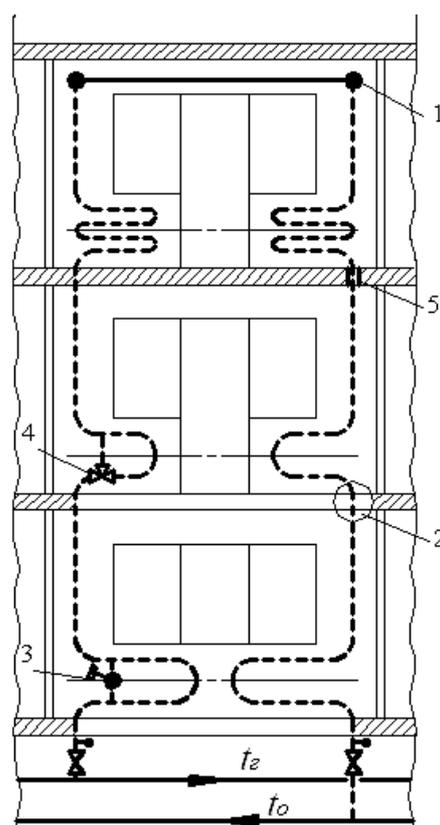


Рис. 3.19. Схема панельной системы отопления крупнопанельных зданий: 1 – воздухоотводчик; 2 – монтажный стык; 3 – кран двойной регулировки; 4 – трехходовой кран; 5 – гильза

*системы отопления нагретым полом; системы лучистого потолочного отопления; системы отопления с подвесными излучающими панелями.*

*Допустимая средняя температура поверхности* подоконных панелей – до 95 °С; стеновых панелей в зоне выше 1 м над уровнем пола – 45 °С; потолка при высоте помещений до 3 м – 30 °С; пола – 25 – 28 °С.

В 1961 г. Академией строительства и архитектуры УССР совместно с НИИ санитарной техники и оборудования зданий и сооружений (Киев) была разработана, а в 1962 г. (и до сих пор) стала применяться панельная *система отопления крупнопанельных зданий* (рис. 3.19).

Стояки этой системы отопления служат одновременно нагревательными элементами панели и монтируются по П-образной схеме с расположением подъемного и опускного участков стояка в пределах одного помещения. При монтаже системы отопления последовательно соединяют стояки по всей высоте дома специальными соединительными скобами.

Если нагревательные элементы при устройстве панельно-стенового отопления замоноличивают в наружные стены, в особенности в подоконные участки, то следует их наиболее тщательно изолировать со стороны стены, чтобы избежать значительных потерь тепла. Если же панели размещают в перегородках, то излишних потерь теплоты можно не опасаться, так как теплоотдача другой стороной панели идет в смежное помещение.

В настоящее время для отопления зданий усадебного типа широкое применение находит *система отопления нагретым полом*. Такой способ отопления наиболее целесообразен для помещений большого объема, например вокзалов, ангаров, выставочных павильонов, спортивных залов и так далее, а также жилых и общественных зданий (детских яслей-садов, лечебно-профилактических учреждений, бань и др.).

Опыт эксплуатации системы отопления нагретым полом показывает большие преимущества ее перед обычной радиаторной. Температурный градиент воздуха по высоте помещения ниже, чем при любой другой системе. Эта система экономична как по первоначальным затратам, так и в процессе эксплуатации.

В *системе лучистого потолочного отопления* нагревательной поверхностью служит потолок. Системы потолочного отопления с замоноличенными в бетон трубами можно использовать в летнее время для охлаждения помещений. Если по трубам проходит артезианская вода, то никаких дополнительных устройств не требуется.

**Проектирование системы панельно-лучистого отопления здания** начинается с выбора вида конструкции отопительных панелей и мест их расположения в помещении (стены, потолок, пол). Этот весьма важный вопрос инженер по отоплению и вентиляции **решает совместно с инженером-строителем**, исходя из назначения помещений, конструктивных и планировочных решений здания, а также возможности заделки нагревателей в строительных ограждениях. При этом конструкции ограждений имеют всегда решающее значение.

В зданиях с трехслойными стеновыми панелями нагревательные элементы (змеевики из труб) целесообразно, например, заделывать в панели с максимальным приближением их в сторону помещения. В зданиях с несущими поперечными железобетонными стенами, изготавливаемыми касетным способом, нагревательные элементы можно размещать в стенах, предусматривая их двустороннюю теплопередачу. В отдельных случаях целесообразно заделывать нагревательные элементы в несущие колонны и другие конструктивные элементы здания. Если конструкцию здания нельзя использовать для заделки нагревательных элементов, делают встроенные или приставные бетонные, отопительные панели.

Содружество инженера-строителя и инженера по отоплению и вентиляции в работе по проектированию здания с панельно-лучистым отоплением способствует выбору наиболее экономичных видов этого прогрессивного способа отопления.

**Вопросы технологии монтажа систем панельно-лучистого отопления** и методы производства работ **решаются** так же, как и проектирование этих систем, не изолированно, а **в комплексе с производством всех других работ по возведению здания**.

Специфика панельно-лучистого отопления сама по себе уже обуславливает параллельный метод работ, так как нагревательные элементы системы служат одновременно конструктивными строительными элементами.

### 3.10. Местное отопление

**Печное отопление** относится к местным системам отопления, при которых **получение, перенос и передача теплоты происходят в одном и том же обогреваемом помещении**. Теплота генерируется при сгорании топлива в топливнике печи. Горячие дымовые газы нагревают внутреннюю поверхность каналов – дымооборотов, теплота через стенки каналов пере-

дается в отапливаемое помещение. Охладившиеся дымовые газы удаляются через дымовую трубу в атмосферу.

Топливо сжигается в печи периодически, поэтому теплота поступает в помещение неравномерно, и в нем наблюдается **нестационарный тепловой режим**. Наибольшая теплоотдача печи приходится на конец топки, когда температура ее стенок достигает максимума; наименьшая теплоотдача относится ко времени перед началом очередной топки.

Печное отопление имеет распространение и в настоящее время. В нашей стране почти треть жилого фонда (в основном за счет старых домов в сельской местности) оборудована печами. При новом капитальном строительстве печное отопление применяется ограниченно.

Печное отопление допускается в жилых домах, зданиях сельских советов и управлений при числе этажей не более двух (не считая цокольного этажа), небольших общественных зданиях (например, в общеобразовательных школах при числе мест не более 80), производственных помещениях категорий Г и Д площадью не более 500 м<sup>2</sup>. Печное отопление часто устраивается в садовых домиках.

**Отопительные печи** разделяются по нескольким признакам:

- **по теплоемкости:** *теплоемкие* и *не теплоемкие*;
- **по схеме движения дымовых газов:** *канальные* (дымовые газы перемещаются по специальным каналам), *бесканальные* (в них отсутствуют дымообороты) и *скомбинированные* (дымовые газы частично перемещаются по каналам, частично без каналов);
- **в зависимости от температуры нагрева стенок:** *умеренного прогрева* (температура в отдельных точках на теплоотдающей поверхности не более 90 °С), *повышенного прогрева* (температура в отдельных точках не более 120 °С) и *высокого прогрева* (температура в отдельных точках более 120 °С);
- **по форме в плане:** *прямоугольные, круглые, треугольные*;
- **по материалу и характеру отделки теплоотдающей поверхности:** кирпичные изразцовые, кирпичные оштукатуренные, кирпичные в металлических футлярах, блочные из жаростойкого бетона, стальные с внутренней футеровкой огнеупорным кирпичом, чугунные без футеровки.

Распространение печного отопления объясняется его **достоинствами**: меньшей стоимостью устройства по сравнению с другими видами отопления, малой затратой металла (только на колосниковую решетку, дверцы, задвижки, иногда на каркас), простотой устройства и обслуживания, независимостью отопления отдельных помещений, одновременным обеспечением вентиляции помещений.

**Недостатки** печного отопления: пониженный уровень теплового комфорта по сравнению с водяным отоплением (нестационарный тепловой режим, а также переохлаждение нижней зоны помещения), затруднения при эксплуатации (заботы о топливе, уход за печью, загрязнение помещения), повышенная пожарная опасность, возможность отравления окисью углерода при неправильном уходе за печью, потеря (до 5 %) рабочей площади помещения.

При устройстве печного отопления не допускаются отвод дымовых газов в вентиляционные каналы, а также установка вентиляционных решеток на дымовых каналах. Следовательно, каналы обеих систем – печного отопления и естественной вытяжной вентиляции – должны быть обособлены во избежание нарушения их действия. Печи в здании размещают так, чтобы одна печь обогревала не более трех помещений, расположенных на одном этаже. В здании с коридорной системой связи помещений печи устанавливают таким образом, чтобы обслуживание осуществлялось из коридоров или подсобных помещений, имеющих окна с форточками и оборудованных естественной вытяжной вентиляцией. В двухэтажных зданиях можно устраивать двухъярусные печи как обособленные, так и с одной общей топкой на первом этаже.

Под **газовым отоплением** понимают такое, в котором *в качестве теплоносителя* для нагрева подаваемого в помещение воздуха используются *продукты сгорания газообразного топлива*.

Различают следующие *виды газового отопления*:

- газовыми отопительными печами (печь АКХ);
- газовыми нетеплоемкими отопительными приборами без отвода продуктов сгорания в дымоход (газовые конвекторы и каминны);
- газовыми горелками инфракрасного излучения.

Газовые приборы инфракрасного излучения применяют для обогрева рабочих мест на открытых и полу открытых строительных площадках или в неотапливаемых помещениях большой высоты.

**Преимуществами** газового отопления являются:

- высокая теплота сгорания;
- отсутствие твердых продуктов сгорания;
- отсутствие необходимости складов для топлива;
- удобство обслуживания и подключения;
- автоматизация эксплуатации.

К **недостаткам** такого вида отопления относятся:

- повышенная взрыво- и пожароопасность;
- возможность отравления людей из-за утечки газа или продуктов сгорания в помещении.

**Электрическое отопление** допускается применять при соответствующем технико-экономическом обосновании в лечебно-профилактических учреждениях, в спортивных сооружениях, вокзалах, аэропортах. Этот вид отопления целесообразно применять в теплых районах с непродолжительным отопительным периодом.

**Принцип действия электрических отопительных приборов основан на законе Джоуля – Ленца, характеризующего тепловое действие электрического тока.**

Электрические отопительные приборы делятся на **две группы**:

- высокотемпературные (температура греющих поверхностей более 70 °С: масляные электрорадиаторы, рефлекторы и электрокамины);
- низкотемпературные (температура отдающей поверхности 25 – 70 °С: низкотемпературные отопительные панели, панельные приборы из токопроводящей резины).

К основным **преимуществам** электрического отопления относятся: хорошая управляемость, высокая степень автоматизации, отсутствие продуктов сгорания и загрязнения атмосферы, высокая транспортабельность электроэнергии, простота монтажа, высокий КПД.

Основные **недостатки** электрического отопления – высокая стоимость электроэнергии, пожароопасность, низкие гигиенические показатели для открытых элементов нагрева.

## ТЕМА 4. ВЕНТИЛЯЦИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

### 4.1. Общие сведения о вентиляции

Современные условия жизни человека требуют эффективных искусственных средств оздоровления воздушной среды. Этой цели служит техника вентиляции.

**Вентиляционные установки** – устройства, обеспечивающие в помещении такое состояние воздушной среды, при котором человек чувству-

ет себя нормально и микроклимат помещений не оказывает неблагоприятного действия на его здоровье.

**Назначение вентиляции – обеспечить санитарно-гигиенические условия для пребывания в помещении человека** – температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха (подвижность) и чистоту воздуха, для чего вентиляционные устройства должны ассимилировать или удалять избыточную теплоту, влагу, а также газы, пары, пыль с соблюдением при этом определенной подвижности воздуха в помещении.

Системы вентиляции проектируются для обеспечения параметров воздуха в пределах рабочей зоны. **Рабочей** или **обслуживаемой зоной помещения** называют пространство высотой 2 м над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания людей.

К факторам, вредное действие которых устраняется с помощью вентиляции, относятся: избыточная теплота (конвекционная, вызывающая повышение температуры воздуха, и лучистая); избыточные водяные пары – влага; газы и пары химических веществ общетоксичного или раздражающего действия; токсичная и нетоксичная пыль; радиоактивные вещества.

**Избыточная теплота** может появляться в помещении за счет тепловыделений от человека, оборудования, от солнечной радиации и других источников теплоты.

Количество теплоты, выделяемой в помещение человеком, зависит от температуры в помещении и степени тяжести работы, выполняемой человеком. Различают явную и полную теплоту, выделяемую человеком. Под **явным тепловыделением** понимается только та часть теплоты, которая воздействует на повышение температуры воздуха помещения. **Полные тепловыделения** учитывают еще и скрытую теплоту, которая идет на испарение влаги.

Количество теплоты, выделяемое всевозможными видами оборудования, зависит от мощности электродвигателей этого оборудования, а также от технологического процесса, выполняемого на этом оборудовании.

Количество теплоты, поступающей в помещение через оконные проемы и перекрытие от солнечной радиации, определяется для периода наиболее интенсивного лучеиспускания.

Еще один вид вредностей, который должен удаляться системами вентиляции, – это **избыточная влага**. Она выделяется в помещение от людей, а также при испарении с открытых поверхностей воды. Повышенная влажность в помещении в сочетании с высокой температурой может вызывать у человека процесс перегрева, в сочетании же с пониженной темпера-

турой – процесс переохлаждения. Также при повышенной влажности в помещении может происходить конденсация водяного пара на внутренних поверхностях ограждающих конструкций, что приводит к преждевременному их разрушению.

Кроме этого во время производственных процессов в помещение могут выделяться *газы, пары вредных веществ и пыль*.

Содержание этих веществ в помещении не должно превышать *предельно допустимые концентрации (ПДК)* – концентрации, которые при ежедневной работе в течение 8 ч или при другой продолжительности, но не более 41 ч в неделю, в течение всего рабочего стажа не могут вызвать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Величины ПДК приводятся в [1].

#### 4.2. Свойства влажного воздуха. *I-d* диаграмма

В системах вентиляции рабочим телом является влажный воздух. *Влажным воздухом* называется парогазовая смесь, состоящая из сухого воздуха и водяных паров.

Основными характеристиками влажного воздуха являются:

1) *абсолютная влажность*  $D$ , г/м<sup>3</sup>, – масса водяного пара, содержащегося в 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха;

2) *относительная влажность*  $\varphi$ , % – отношение действительной абсолютной влажности к максимально возможной влажности в насыщенном воздухе при той же температуре;

3) *влагосодержание воздуха*  $d$ , г/кг, – масса водяного пара, находящегося во влажном воздухе, сухая часть которого весит 1 кг.

4) *энтальпия*  $I$ , кДж/кг, – количество теплоты, содержащейся во влажном воздухе и отнесенной к 1 кг заключенного в нем сухого воздуха.

При обработке воздуха в вентиляционных установках изменяется его тепловлажностное состояние. Вопросы, относящиеся к влажному воздуху, удобно и легко решаются с помощью *I-d* диаграммы (рис. 4.1). Она была предложена в 1918 г профессором Л.К. Рамзиным. В *I-d* диаграмме графически связаны все параметры, определяющие тепловлажностное состояние воздуха: энтальпия  $I$ , влагосодержание  $d$ , температура  $t$ , относительная влажность  $\varphi$  и парциальное давление  $p_{п.н}$ .

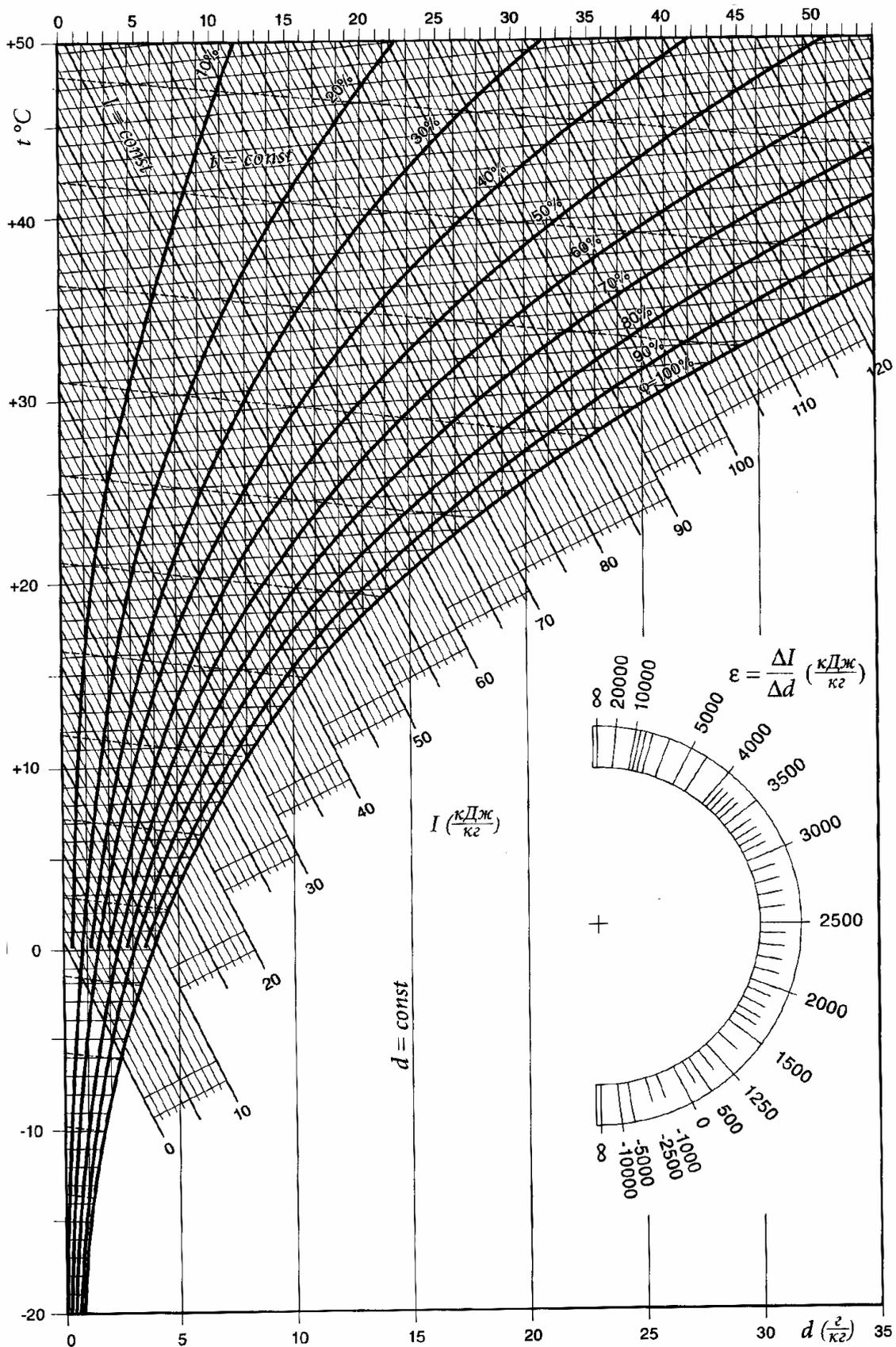


Рис. 4.1.  $I$ - $d$  диаграмма влажного воздуха

$I$ - $d$  диаграмма построена в косоугольной системе координат. По оси ординат отложены значения энтальпий  $I$ , кДж/кг, по оси абсцисс, направленной под углом  $150^\circ$  к оси  $I$ , – значения влагосодержаний  $d$ , г/кг. Поле диаграммы разбито линиями постоянных энтальпий  $I = \text{const}$  и влагосодержаний  $d = \text{const}$ . На диаграмму нанесены также линии постоянных температур  $t = \text{const}$ . Все поле диаграммы линией  $\phi = 100\%$  разделено на две части. Выше этой линии расположена область ненасыщенного влажного воздуха. Линия  $\phi = 100\%$  соответствует состоянию воздуха, насыщенного водяными парами. Ниже этой линии расположена область перенасыщенного состояния воздуха (метастабильное состояние или состояние тумана).

**Каждая точка на поле диаграммы соответствует определенному тепловлажностному состоянию воздуха.** Положение точки определяется любыми двумя из пяти ( $I$ ,  $d$ ,  $t$ ,  $\phi$ ,  $p_n$ ) параметрами состояния. Остальные три параметра могут быть определены по  $I$ - $d$  диаграмме как производные.

Кроме основных параметров воздуха, которые использовались при построении, с помощью  $I$ - $d$  диаграммы можно найти еще два параметра, которые широко используются в расчетах вентиляции и кондиционирования воздуха, а также техники строительства: температуру точки росы  $t_p$  и температуру мокрого термометра  $t_m$ .

**Температура точки росы  $t_p$ , °С,** – температура, до которой нужно охладить ненасыщенный воздух, чтобы он стал насыщенным при сохранении постоянного влагосодержания.

**Температура мокрого термометра  $t_m$ , °С,** – температура, которую принимает воздух при достижении насыщенного состояния и сохранении постоянной энтальпии воздуха, равной начальной.

### 4.3. Воздухообмен. Способы организации воздухообмена

**Воздухообменом  $L$ , м<sup>3</sup>/ч,** называется количество чистого воздуха, необходимого для частичной или полной замены воздуха помещения, содержащего вредные выделения.

Количество воздуха, подаваемого или удаляемого за 1 ч из помещения, отнесенное к внутреннему объему этого помещения, называется **кратностью воздухообмена  $n$ , ч<sup>-1</sup>.**

$$n = L/V. \quad (4.1)$$

Воздухообмен в помещениях определяется отдельно для теплого и холодного периодов года и переходных условий при плотности приточного и удаляемого воздуха  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$  по следующим формулам [7]:

– по избыткам явной теплоты

$$L = L_{p.з} + \frac{3,6Q_{явн} - cL_{p.з}(t_{p.з} - t_{np})}{c(t_y - t_{np})}; \quad (4.2)$$

– по избыткам полной теплоты

$$L = L_{p.з} + \frac{3,6Q_{полн} - 1,2L_{p.з}(I_{p.з} - I_{np})}{1,2(I_y - I_{np})}; \quad (4.3)$$

– по избыткам влаги (водяного пара)

$$L = L_{p.з} + \frac{W - 1,2L_{p.з}(d_{p.з} - d_{np})}{1,2(d_y - d_{np})}; \quad (4.4)$$

– по массе выделяющихся вредных веществ

$$L = L_{p.з} + \frac{m_{po} - L_{p.з}(k_{p.з} - k_{np})}{k_y - k_{np}}; \quad (4.5)$$

– по нормируемой кратности воздухообмена

$$L = n \cdot V; \quad (4.6)$$

– по нормируемому удельному расходу приточного воздуха

$$L = F \cdot L'_{np} \text{ или } L = N \cdot L''_{np}, \quad (4.7)$$

где  $L_{p.з}$  – расход воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения системами местных отсосов, и на технологические нужды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_{явн}$ ,  $Q_{полн}$  – избыточный явный и полный тепловой потоки в помещении, Вт;

$c$  – теплоемкость воздуха, равная  $1,2 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$ ;

$t_{p.з}$  – температура воздуха в обслуживаемой или рабочей зоне помещения, удаляемого системами местных отсосов или на технологические нужды,  $\text{°C}$ ;

$t_y$  – температура воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны,  $\text{°C}$ ;

$t_{np}$  – температура воздуха, подаваемого в помещение, °С;

$W$  – избытки влаги в помещении, г/ч;

$d_{p.z}$  – влагосодержание воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения системами местных отсосов или на технологические нужды, г/кг;

$d_y$  – влагосодержание воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, г/кг;

$d_{np}$  – влагосодержание воздуха, подаваемого в помещение, г/кг;

$I_{p.z}$  – удельная энтальпия воздуха, удаляемого из обслуживаемой или рабочей зоны помещения системами местных отсосов или на технологические нужды, кДж/кг;

$I_y$  – удельная энтальпия воздуха, удаляемого из помещения за пределами обслуживаемой или рабочей зоны, кДж/кг;

$I_{np}$  – удельная энтальпия воздуха, подаваемого в помещение, кДж/кг;

$m_{po}$  – расход каждого из вредных или взрывоопасных веществ, поступающих в воздух помещения, мг/ч;

$k_{p.z}, k_y$  – концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, удаляемом соответственно из обслуживаемой или рабочей зоны помещения и за ее пределами, мг/м<sup>3</sup>;

$k_{np}$  – концентрация вредного или взрывоопасного вещества в воздухе, подаваемом в помещение, мг/м<sup>3</sup>;

$V$  – объем помещения, м<sup>3</sup>;

$F$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$N$  – число людей (посетителей), рабочих мест, единиц оборудования;

$n$  – нормируемая кратность воздухообмена, ч<sup>-1</sup>;

$L'_{np}$  – нормируемый расход приточного воздуха на 1 м<sup>2</sup> пола помещения, м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>);

$L''_{np}$  – нормируемый удельный расход приточного воздуха на 1 чел., м<sup>3</sup>/ч, на 1 рабочее место, на 1 посетителя или единицу оборудования.

За **расчетное значение воздухообмена** при проектировании вентиляционных установок принимается **большее** из полученных по формулам значение [7].

Воздушная среда в помещении, удовлетворяющая санитарные нормы, обеспечивается в результате удаления загрязненного воздуха из помещения и подачи чистого наружного воздуха. Соответственно этому **по на-**

**значению** системы вентиляции подразделяют на **вытяжные** и **приточные**. Системы вентиляции, удаляющие загрязненный воздух из помещения, называются **вытяжными**. Системы вентиляции, обеспечивающие подачу в помещение наружного воздуха, подогреваемого в холодный период года, называются **приточными**.

**По способу перемещения** удаляемого из помещений и подаваемого в помещения воздуха различают **естественную** (неорганизованную и организованную) и **механическую** (искусственную) вентиляцию.

Под **неорганизованной естественной вентиляцией** понимают воздухообмен в помещениях, происходящий под влиянием разности давлений наружного и внутреннего воздуха и действия ветра через неплотности ограждающих конструкций, а также при открывании форточек, фрамуг и дверей. Воздухообмен, происходящий также под влиянием разности давлений наружного и внутреннего воздуха и действия ветра, но через специально устроенные в наружных ограждениях фрамуги, степень открытия которых с каждой стороны здания регулируется, является **вентиляцией естественной, но организованной**. Этот вид вентиляции называется **аэрацией**.

**Механической, или искусственной, вентиляцией** называется способ подачи воздуха в помещение или удаления из него с помощью вентилятора. Такой способ воздухообмена является более совершенным, так как воздух, подаваемый в помещение, может быть специально подготовленным в отношении его чистоты, температуры и влажности.

**По способу организации** воздухообмена в помещениях вентиляция может быть общеобменной, местной (локализующей), смешанной, аварийной и противодымной.

**Общеобменная вентиляция** предусматривается для создания одинаковых условий воздушной среды (температуры, влажности, чистоты воздуха и его подвижности) во всем помещении в его рабочей зоне. Общеобменная вентиляция может быть как приточной, так и вытяжной, а чаще приточно-вытяжной, обеспечивающей организованный приток и удаление воздуха.

**Местная вентиляция** создает местные (на рабочих местах), отвечающие гигиеническим требованиям, условия воздушной среды, отличные от условий в остальной части помещения (местная приточная вентиляция) или улавливает вредные выделения непосредственно у производственных установок с помощью специальных укрытий, предотвращающих поступление вредных выделений в помещение (местная вытяжная вентиляция).

**Смешанные системы**, применяемые главным образом в производственных помещениях, представляют собой комбинации общеобменной вентиляции с местной.

**Аварийную вентиляцию** предусматривают в помещениях, в которых возможно внезапное неожиданное выделение вредных веществ в количествах, значительно превышающих допустимые. Эти системы включают только в случае, если необходимо быстро удалить вредные выделения.

**Противодымная вентиляция** предусматривается для обеспечения эвакуации людей из помещений здания в начальной стадии пожара.

Вопрос о том, какую из перечисленных систем вентиляции следует устраивать, решается в каждом отдельном случае в зависимости от назначения помещения, характера вредных выделений, возникающих в нем, и схемы движения воздушных потоков внутри здания.

В так называемых горячих цехах широко используют аэрацию, местные отсосы и воздушные души. В воротах устраивают воздушные тепловые завесы. В холодных цехах применяют общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию. В общественных зданиях (театрах, кинозалах, залах заседаний, магазинах, спортзалах и т. п.), как правило, устраивают общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию.

В помещениях, где требуется незначительный воздухообмен, организуют только одну вытяжную вентиляцию. Количество удаляемого воздуха в этом случае восполняется воздухом, поступающим в помещение через неплотности в ограждающих конструкциях и при открывании форточек или фрамуг.

В жилых домах устраивают обычно только вытяжную (естественную, редко – механическую) вентиляцию из кухонь и санузлов. Приток в жилые комнаты осуществляется через окна, форточки или специальные устройства под окнами.

В зависимости от геометрической формы помещения и выделяющихся в нем вредных веществ воздухообмен в помещении организуют по следующим основным схемам (рис. 4.2):

– **схема «снизу вверх»** (рис. 4.2, а): приточный воздух подается в рабочую зону, удаление воздуха производится из верхней зоны помещения; применяется такая схема при одновременном выделении теплоты и пыли в помещении;

– **схема «сверху вниз»** (рис. 4.2, б): подача воздуха осуществляется в верхнюю зону, а удаление воздуха выполняется из рабочей или нижней зоны помещения; применяется при одновременном выделении пыли и тяжелых газов в помещении;

– **схема «сверху вверх»** (рис. 4.2, в): воздух подается и удаляется из верхней зоны помещения; это наиболее распространенная схема организации воздухообмена в жилых и общественных помещениях;

– **схема «снизу вверх и вниз»** (рис. 4.2, г): подача воздуха выполняется в рабочую зону, а удаление – из верхней и рабочей зон помещения; применяется схема при выделении пыли и газов с различной плотностью и при недопустимости их скопления в верхней зоне;

– **схема «сверху и снизу вверх»** (рис. 4.2, д): приток воздуха производится в верхнюю и рабочую зоны помещения, а удаление выполняется из верхней зоны; применяется при одновременном выделении теплоты и влаги или только влаги в помещении;

– **схема «снизу вниз»** (рис. 4.2, е): воздух подается и удаляется из рабочей зоны помещения; такая схема организации воздухообмена характерна для помещений небольшой высоты и при наличии местных отсосов от источников вредных выделений.

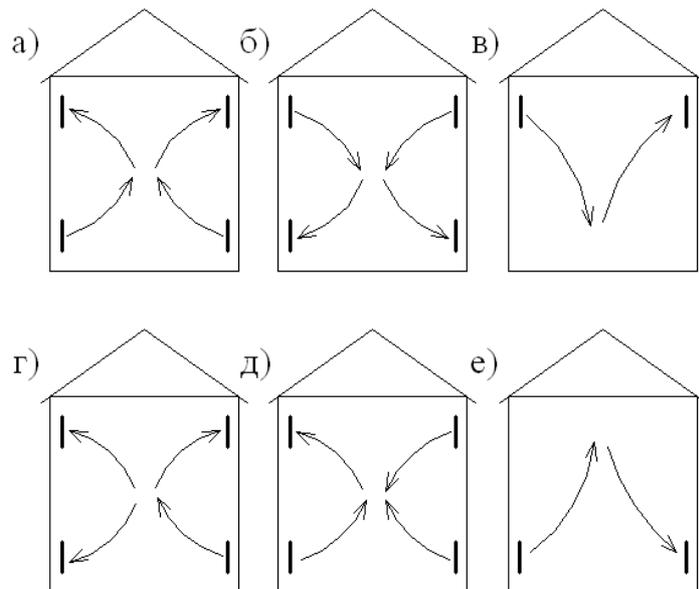


Рис. 4.2. Схемы организации воздухообмена

#### 4.4. Естественная вентиляция

**Канальными системами естественной вентиляции** называются системы, в которых подача наружного воздуха или удаление загрязненного осуществляется по специальным каналам, предусмотренным в конструкциях здания, или приставным каналам. Воздух в этих системах перемещается вследствие разности давлений наружного и внутреннего воздуха.

В системах естественной вентиляции величина располагаемого давления, которое расходуется на преодоление сопротивления движению воздуха по каналам и другим элементам системы, незначительна и непостоянна. Поэтому приточную канальную вентиляцию с естественным побуждением в настоящее время почти не применяют. Вытяжная естественная ка-

нальная вентиляция осуществляется преимущественно в жилых и общественных зданиях для помещений, не требующих воздухообмена больше однократного. В производственных зданиях согласно [7] естественную вентиляцию следует проектировать, если она обеспечит нормируемые условия воздушной среды в помещениях и если она допустима по технологическим требованиям.

Вытяжная естественная канальная вентиляция состоит из вертикальных внутростенных или приставных каналов с отверстиями, закрытыми жалюзийными решетками, сборных горизонтальных воздуховодов и вытяжной шахты. Для усиления вытяжки воздуха из помещений на шахте часто устанавливают специальную насадку – дефлектор. Загрязненный воздух из помещений поступает через жалюзийную решетку в канал, поднимается вверх, достигая сборных воздуховодов, и оттуда выходит через шахту в атмосферу.

Вытяжка из помещений регулируется жалюзийными решетками в вытяжных отверстиях, а также дроссель-клапанами или задвижками, устанавливаемыми в сборном воздуховоде и в шахте.

Для панельных домов в настоящее время изготавливаются специальные **вентиляционные панели или блоки** с каналами круглого, прямоугольного или овального сечения. Наиболее рациональной формой сечения канала считается круглая, так как по сравнению с другими формами она при той же площади сечения имеет меньший периметр, а следовательно, и меньшую величину сопротивления трению.

Вентиляционные блоки для зданий с числом этажей до пяти изготавливают с индивидуальными каналами для каждого этажа (рис. 4.3, а), а для зданий с числом этажей более пяти с целью сокращения площади, занимаемой каналами, выполняют по схеме с перепуском через один или несколько этажей. Такие блоки имеют сборный канал большого сечения, к которому подключаются вертикальные каналы из этажей (рис. 4.3, б, в).

Устройство самостоятельных каналов из каждого помещения обеспечивает пожарную безопасность вентиляционных систем, звукоизоляцию и выполнение санитарно-гигиенических требований.

В кирпичных зданиях вентиляционные каналы выкладываются в несущих стенах (рис. 4.4, а). Их размеры кратны размерам кирпича (140×140, 140×270, 140×410). Толщина стенок канала и расстояние между каналами должно быть не меньше половины кирпича (140 мм).

Также каналы могут устраиваться в бороздах, заделываемых плитами (рис. 4.4, б).

***В наружных стенах вентиляционные каналы не устраивают.***

Если нет внутренних кирпичных стен, устраивают **приставные каналы** из блоков или плит; минимальный размер их 100×150 мм. Приставные каналы в помещениях с нормальной влажностью воздуха обычно выполняют из гипсошлаковых и гипсоволокнистых плит, а при повышенной влажности воздуха – из шлакобетонных или бетонных плит толщиной 35 ÷ 40 мм. Приставные каналы устраивают, как правило, у внутренних строительных конструкций: они могут размещаться у перегородок или компоноваться со встроенными шкафами, колоннами и т. д. (рис. 4.4, в – е).

Если приставные каналы по какой-либо причине размещаются у наружной стены, то между стеной и каналом обязательно оставляют зазор не менее 5 см или делают утепление, чтобы предотвратить охлаждение воздуха, перемещаемого по каналу, и снижение в связи с этим действующего давления. Кроме того, в каналах, расположенных у наружных стен, может конденсироваться влага из удаляемого воздуха.

**Сборные вентиляционные каналы**, прокладываемые на чердаках или в неотапливаемых помещениях, выполняют из двойных гипсошлаковых или шлакобетонных плит толщиной 40 ÷ 50 мм с воздушной прослой-

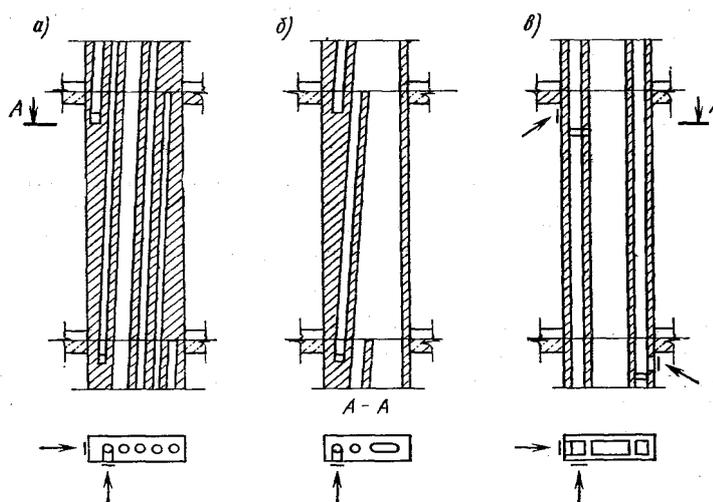


Рис. 4.3. Индустриальные вентиляционные блоки

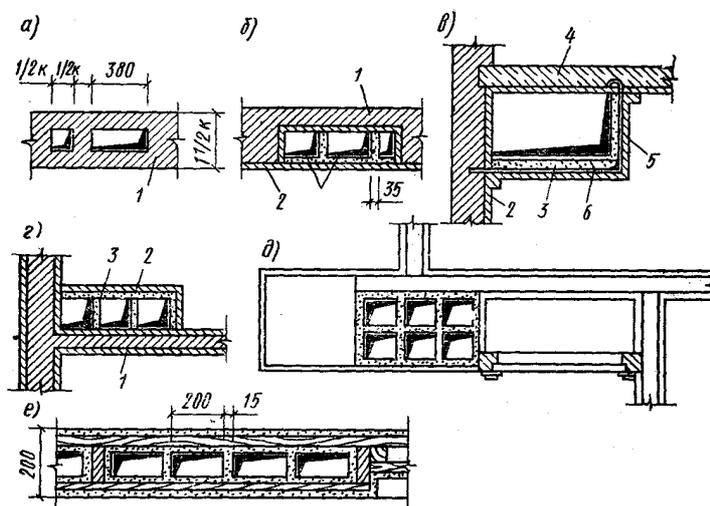


Рис. 4.4. Конструкция вентиляционных каналов: а – в кирпичных стенах; б – в бороздах стены, заделываемых плитами; в – подвесной воздуховод у потолка; г – приставные вертикальные каналы; д – компоновка каналов со встроенными шкафами; е – каналы из сухой штукатурки в перегородках: 1 – кирпичные стены; 2 – штукатурка; 3 – гипсошлаковые плиты; 4 – перекрытие; 5 – подвеска стальная; 6 – крепление (50×50×4 мм)

кой 40 мм (рис. 4.5, а) либо из многпустотных гипсошлаковых или шлакобетонных плит толщиной 100 мм (рис. 4.5, б). Сборные каналы на чердаке размещают по железобетонному покрытию с подстилкой одного ряда плит, который заливают цементным раствором слоем не менее 5 мм. Размер горизонтальных воздухопроводов, расположенных на чердаках, следует принимать не менее 200×200 мм.

В бесчердачных жилых зданиях вентиляционные каналы часто выводят без объединения в сборный короб (рис. 4.6).

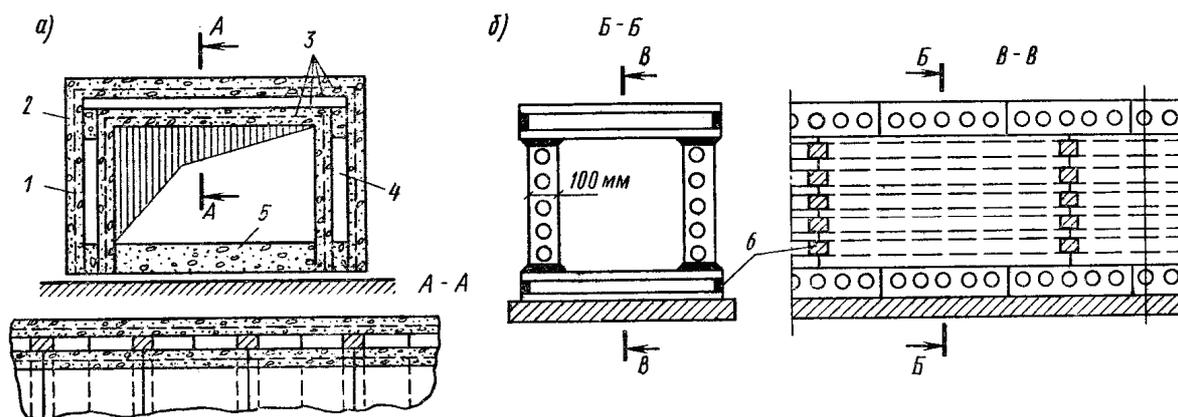


Рис. 4.5. Каналы, устраиваемые на чердаке или в неотапливаемых помещениях:

- 1 – штукатурная драпка; 2 – арматура из пачечной стали;
- 3 – гипсошлаковые плиты; 4 – воздушная прослойка; 5 – заливка гипсом;
- 6 – место тщательной заделки гипсом на глубину 25 мм

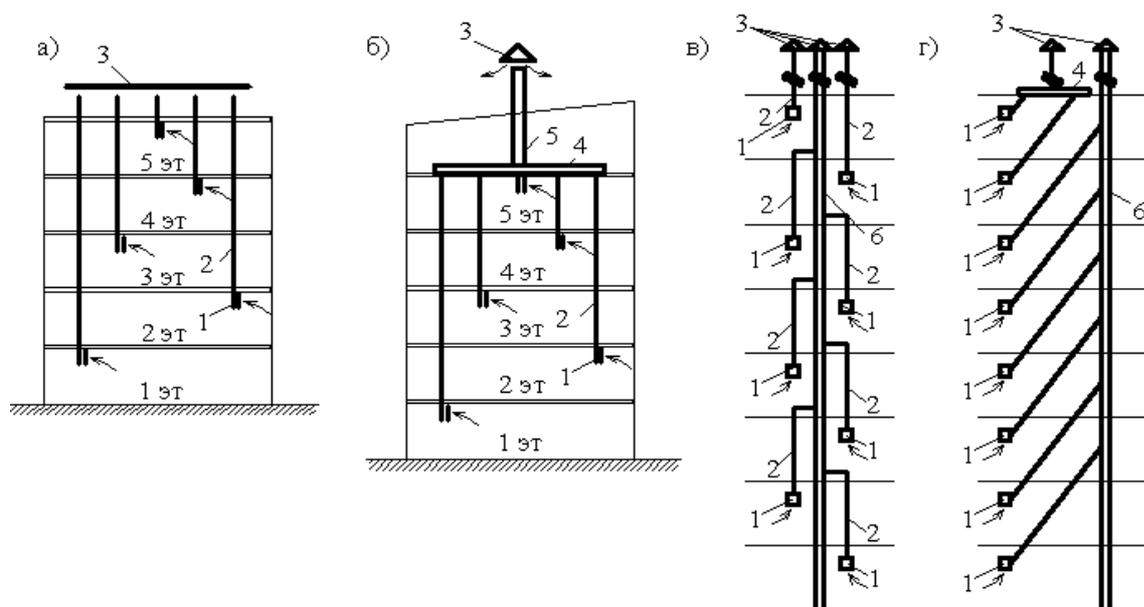


Рис. 4.6. Схема вытяжных каналов жилых зданий: а – отдельные каналы;

б – каналы, объединенные на чердаке здания; в, г – каналы спутники;

1 – жалюзийная решетка; 2 – канал; 3 – зонт (или дефлектор); 4 – сборный короб;

5 – вытяжная вентиляционная шахта; 5 – сборный вертикальный канал

Высота *шахты* естественной вытяжной вентиляции над кровлей должна быть не менее 0,5 м от поверхности кровли. Вытяжные шахты систем вентиляции жилых зданий рекомендуется устраивать с обособленными и объединенными каналами. Шахты с обособленными каналами могут быть выполнены из бетонных блоков с утеплителем фибролитом (рис. 4.7, а) с утолщенными стенками из шлакобетона, керамзитобетона или другого малотеплопроводного и влагостойкого материала, а также каркасными с эффективным утеплителем. Шахты с объединенными каналами выполняют из легкого бетона (рис. 4.7, б), каркасные шахты – с заполнением малотеплопроводным огнестойким и влагостойким материалом; из бетонных плит – с утеплением из досок толщиной 40 мм, обитых с внутренней стороны кровельной сталью по войлоку, смоченному в глиняном растворе, и оштукатуренных по драни с наружной стороны.

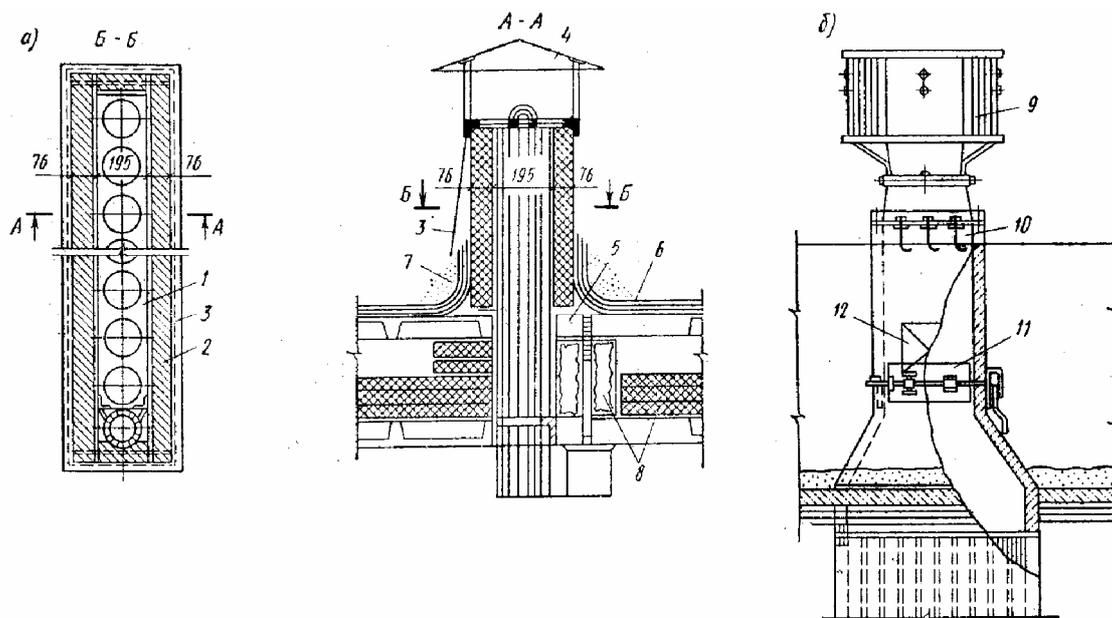


Рис. 4.7. Вытяжные шахты: 1 – железобетонный блок; 2 – щиты из цементно-фибролитовых плит (внешние поверхности утеплителя покрыты битумом); 3 – фартук из оцинкованной кровельной стали; 4 – зонт металлический; 5 – борт из асфальта или цементного раствора марки 100; 6 – рулонный гидроизоляционный ковер из четырех слоев рубероида; 7 – присыпка гравием на битуме; 8 – панель в комплекте; 9 – дефлектор; 10 – болты для крепления дефлектора, заделанные в стенки шахты; 11 – дроссель-клапан; 12 – люк

Для регулирования количества воздуха в местах забора или раздачи воздуха в системах вентиляции устраивают *жалюзийные решетки*. С помощью жалюзи производится изменение площади поперечного сечения, а соответственно и расхода воздуха.

Естественное давление, под действием которого происходит движение воздуха в системе естественной канальной вентиляции, определяется по формуле

$$\Delta p_e = h_i \cdot g (\rho_n - \rho_g), \quad (4.8)$$

где  $h_i$  – высота воздушного столба, принимаемая от центра вытяжного отверстия до устья вытяжной шахты, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха при температуре +5 °С;

$\rho_g$  – плотность внутреннего воздуха.

Анализируя это выражение можно сделать вывод, что наиболее неблагоприятными будут условия для естественного удаления воздуха с верхних этажей, так как естественное давление уменьшится за счет снижения размера  $h_i$ . Поэтому аэродинамический расчет каналов естественных систем вентиляции выполняется для каналов, выходящих на верхний этаж. В результате аэродинамического расчета производится подбор размеров каналов и определение потерь давления при движении воздуха по ним.

**Методика аэродинамического расчета каналов системы вентиляции:**

1) при заданных объемах воздуха принимают скорость его движения (в пределах допустимых значений исходя из условий бесшумности работы системы вентиляции: в вертикальных каналах верхнего этажа 0,5-0,6 м/с, в вертикальных каналах не более 1 м/с, в сборных воздуховодах 1 м/с, в вытяжной шахте 1 – 1,5 м/с);

2) по объему воздуха и принятой скорости определяют предварительно площадь сечения каналов, потери давления на трение и местные сопротивления (по таблицам и номограммам);

3) сравнивают полученные потери давления с располагаемым. Для нормальной работы системы должно выполняться равенство

$$1,1 \sum (Rl\beta + Z)_i = \Delta p_e, \quad (4.9)$$

где  $R$  – удельная потеря давления на трение, Па/м;

$l$  – длина участка вентиляционной сети, м;

$\beta$  – поправочный коэффициент на шероховатость поверхности;

$Z$  – потеря давления на местные сопротивления, Па.

Если данное равенство выполняется, то предварительные площади сечения принимаются за окончательные, а если не выполняется, то производится изменение размеров каналов.

Один из недостатков системы вытяжной вентиляции с естественным побуждением, применявшейся на первом этапе массового строительства жилых зданий повышенном этажности, состоял в частом «опрокидывании» вытяжки в помещениях верхних этажей, располагаемое давление для удаления воздуха из которых является наименьшим. Это вызывалось увеличением (по сравнению с располагаемым давлением) фактических аэродинамических сопротивлений общих участков (вытяжной шахты, горизонтальных коробов).

Для улучшения работы системы вентиляции с естественным побуждением в каждой секции жилого дома над кровлей устанавливается общая вытяжная шахта, обслуживающая сборные вертикальные каналы всех квартир независимо от их ориентации. Поскольку такая шахта всегда может примыкать к выступающему над кровлей машинному помещению лифта, высоту ее над кровлей можно увеличить до 2,5 м, а общую расчетную высоту – до 6 м. Воздух из вертикальных сборных каналов выпускается непосредственно в помещение чердака, который в этом случае становится *«теплым»*. Скорости движения воздуха в сборных каналах значительно увеличиваются, что дает заметный эффект эжектирования воздуха из ответвлений транзитным потоком воздуха, проходящим через тройник по сборному каналу.

Большое значение для улучшения работы каналов верхних этажей имеет конструкция выпуска воздуха из вытяжной шахты. Кроме того, должны быть обеспечены хорошие дефлектирующие свойства шахты при действии ветра.

При устройстве общих посекционных вытяжных шахт помещение «теплого» чердака также должно иметь посекционные перегородки, что соответствует и противопожарным требованиям. Установка двух вытяжных шахт в одном отсеке «теплого» чердака не допускается, так как атмосферное давление у оголовков разных вытяжных шахт при действии ветра может существенно отличаться и вследствие малого аэродинамического сопротивления шахт одна из них может начать работать на приток. Это явление наблюдалось на практике.

Помимо указанного, устройство «теплых» чердаков позволяет: снизить теплопотери через перекрытие верхнего этажа до 30 %; исключить необходимость утепления чердачного перекрытия; снизить сопротивление теплопередаче покрытия чердака за счет утилизации теплоты, содержащейся в удаляемом из здания воздухе.

## 4.5. Механическая вентиляция

Системы механической вентиляции по сравнению с естественной более сложны в конструктивном отношении и требуют больших первоначальных затрат и эксплуатационных расходов. Вместе с тем они имеют ряд преимуществ. К основным их *достоинствам* относятся: независимость от температурных колебаний наружного воздуха и его давления, а также скорости ветра; подаваемый и удаляемый воздух можно перемещать на значительные расстояния; воздух, подаваемый в помещение, можно обрабатывать, то есть нагревать или охлаждать, очищать, увлажнять и осушать.

Вследствие этого механическая вентиляция, как приточная, так и вытяжная, получила весьма широкое применение, особенно в промышленности. На рис. 4.8 показана схема приточно-вытяжной вентиляции общественного здания с приточной камерой, расположенной в подвале, и вытяжной камерой, расположенной на чердаке.

*Приточные системы механической вентиляции* состоят из следующих конструктивных элементов:

- 1) воздухоприемного устройства, через которое наружный воздух поступает в приточную камеру;
- 2) приточной камеры с оборудованием для обработки воздуха и подачи его в помещения;
- 3) сети каналов и воздуховодов, по которым воздух вентилятором распределяется по отдельным вентилируемым помещениям;
- 4) приточных отверстий с решетками или специальных приточных насадков (воздухораспределителей), через которые воздух из приточных каналов поступает в помещения;
- 5) регулирующих устройств в виде дроссель-клапанов или задвижек, устанавливаемых в воздухоприемных устройствах, на ответвлениях воздуховодов и в каналах.

*Вытяжные системы механической вентиляции* обычно состоят из следующих элементов:

- 1) жалюзийных решеток и специальных насадков, через которые воздух из помещений поступает в вытяжные каналы;
- 2) вытяжных каналов, по которым воздух, извлекаемый из помещений, транспортируется в сборный воздуховод;
- 3) сборных воздуховодов, соединенных с вытяжной камерой;
- 4) вытяжной камеры, в которой установлен вентилятор с электродвигателем;
- 5) оборудования для очистки воздуха перед выбросом его в атмосферу, если удаляемый воздух сильно загрязнен;

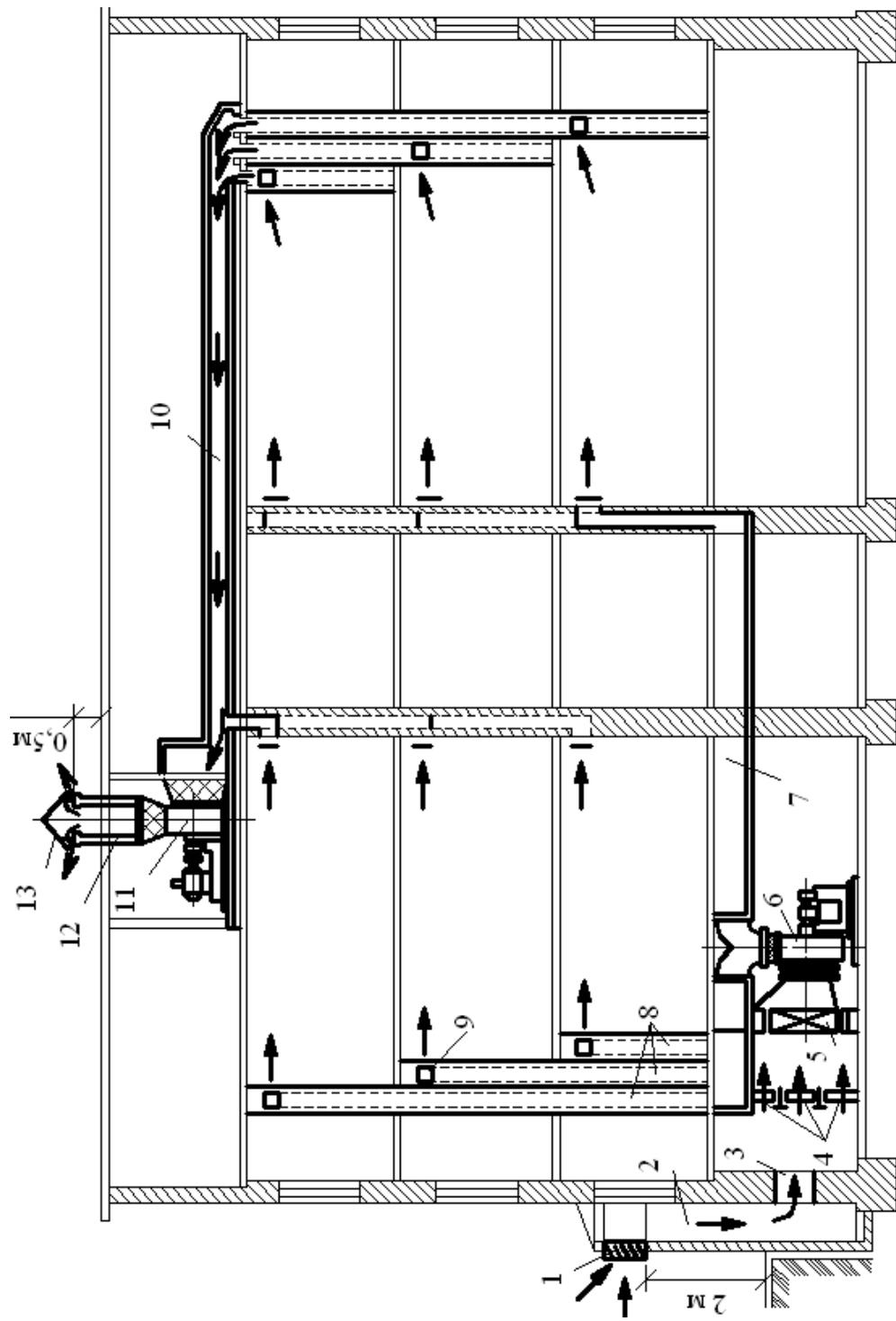


Рис. 4.8. Приточно-вытяжная вентиляция общественного здания:

- 1 – воздухозаборная решетка; 2 – воздухозаборная шахта; 3 – утепленный клапан; 4 – фильтр; 5 – калорифер; 6 – приточный вентилятор; 7 – приточный воздухоподогреватель; 8 – вытяжная шахта; 9 – жалюзийная решетка; 10 – сборный короб; 11 – вытяжной вентилятор; 12 – вытяжная шахта; 13 – зонтик

б) вытяжной шахты, служащей для отвода в атмосферу воздуха, извлекаемого из помещений;

7) регулирующих устройств (дроссель-клапанов или задвижек).

Отдельные приточные и вытяжные системы механической вентиляции могут не иметь некоторых из перечисленных элементов.

Механическая система вентиляции отличается от естественной способом перемещения воздуха. Основным устройством, которое перемещает воздух в механической системе, является **вентилятор**. По принципу действия и назначению вентиляторы подразделяются на радиальные, осевые, крышные, канальные и потолочные.

Обычный *радиальный вентилятор* (рис. 4.9) состоит из трех основных частей: рабочего колеса с лопатками, улиткообразного кожуха и станины с валом, шкивом и подшипниками.

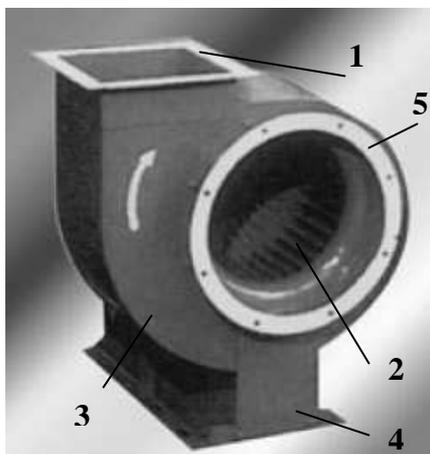


Рис. 4.9. Радиальный вентилятор:  
1 – нагнетательный патрубок; 2 –  
рабочее колесо; 3 – кожух; 4 – ста-  
нина; 5 – всасывающий патрубок

Работа радиального вентилятора заключается в следующем: при вращении рабочего колеса воздух поступает через входное отверстие в каналы между лопатками колеса, под действием центробежной силы перемещается по этим каналам, собирается спиральным кожухом и направляется в его выходное отверстие. Таким образом воздух в радиальный вентилятор поступает в осевом направлении и выходит из него в направлении, перпендикулярном оси.

**По назначению** вентиляторы изготавливают: *общего назначения* (для перемещения чистого и малозапыленного воздуха с температурой до 80 °С), *коррозионно-стойкие* (из винипласта и других материалов; для транспортирования газообразных коррозионных сред), *искрозащищенные* (для перемещения горючих и взрывоопасных сред) и *пылевые* (для перемещения воздуха или газовой смеси, содержащей пыль и другие твердые примеси в количестве более 100 мг/м<sup>3</sup>).

**По создаваемому давлению:** *низкого* (до 1000 Па), *среднего* (до 3000 Па) и *высокого* (более 3000 Па) давления.

Для обеспечения широких пределов подачи вентиляторов их выпускают сериями, состоящими из нескольких разных по размерам, но обычно геометрически подобных номеров. Номер вентилятора соответствует наружному диаметру вытяжного патрубка (в дециметрах).

Простейший **осевой вентилятор** (рис. 4.10) состоит из рабочего колеса, закрепленного на втулке и насаженного на вал электродвигателя, и кожуха (обечайки), создающего направленный поток воздуха.



Рис. 4.10. Осевой вентилятор

Осевой вентилятор по сравнению с радиальным при работе создает больший уровень шума и неспособен преодолевать большие сопротивления при перемещении воздуха и, как следствие этого, имеет малый радиус действия и неспособен работать на разветвленную сеть.

Однако по сравнению с радиальными вентиляторами осевые имеют следующие преимущества: сравнительно небольшую массу; компактность, возможность включения непосредственно в сеть воздухопроводов, реверсивность (при симметричном профиле лопаток).

**Крышный вентилятор** (рис. 4.11) представляет собой вентиляционный агрегат, приспособленный для установки вне помещений на бесчердачном покрытии производственных и общественных зданий вместо большого числа вытяжных шахт или аэрационных фонарей. Их вал имеет вертикальное положение, а рабочее колесо вращается в горизонтальной плоскости.



Рис. 4.11. Крышный вентилятор

**Радиальные крышные вентиляторы** применяют для установок общеобменной вытяжной вентиляции как без сети, так и с сетью воздухопроводов. **Осевые крышные вентиляторы** применяются только для децентрализованных установок общеобменной вытяжной вентиляции без сети воздухопроводов.

**Канальные вентиляторы** (рис. 4.12) предназначены для установки непосредственно в сети воздухопроводов и выпускаются по габаритам воздухопроводов круглой и прямоугольной модели корпуса. Они могут применяться как для общеобменной, так и для местной вентиляции.

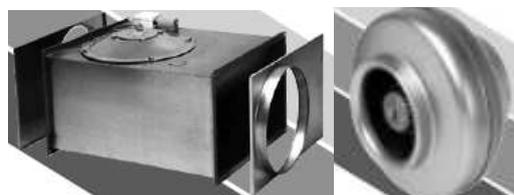


Рис. 4.12. Канальный вентилятор

**Потолочные вентиляторы** (рис. 4.13) предназначены для периодического увеличения скорости движения воздуха в теплый период года в производственных и общественных зданиях. Потолочный вентилятор состоит из двигателя, на вал которого насажены лопасти. Двигатель с помощью системы подвеса крепят к арматуре или специальному устройству в перекрытии здания.



Рис. 4.13. Потолочный вентилятор

**Вентилятор подбирают по подаче и требуемому полному давлению вентилятора, пользуясь рабочими характеристиками, приведенными в справочной литературе.**

Полное давление, создаваемое вентилятором, определяется аэродинамическим расчетом вентиляционной сети, на которую он работает.

Аэродинамический расчет воздуховодов механической системы вентиляции производится по той же методике, что и воздуховоды естественной системы вентиляции. **Задачей аэродинамического расчета является определение размеров воздуховодов и потери давления в магистральном направлении сети воздуховодов.**

За **магистральное направление** принимается направление воздуховодов от вентилятора до наиболее удаленного воздухоприточного или воздухозаборного устройства.

В организованной вентиляции, обеспечивающей подачу воздуха в помещение, воздухоподготовка заключается в очистке и нагреве его и осуществляется в **приточных центрах**.

Воздух забирается снаружи через **воздухоприемное устройство**, которое должно быть расположено в продуваемой незагрязненной зоне. По отношению к каким-либо источникам загрязнения оно должно находиться с заветренной стороны на расстоянии по горизонтали не менее 12 м и по вертикали не менее 6 м. Архитектурная форма воздухоприемного устройства должна быть увязана с внешним оформлением здания. Для предотвращения засорения, отверстие для поступления наружного воздуха должно располагаться на высоте не менее 2 м от земли и быть закрыто решеткой. Воздухоприемное устройство может быть выполнено как:

- отверстие в наружном ограждении;
- приставная шахта;
- шахта, отнесенная на какое-то расстояние от стены здания;
- шахта, выведенная над кровлей здания.

После воздухоприемного устройства наружный воздух попадает в **приточную камеру**, где производится его обработка. Приточная камера может располагаться в подвале или на техническом этаже, на чердаке, а в промышленных зданиях на специальной площадке прямо в обслуживаемом помещении. Приточные камеры могут компоноваться из подобранного оборудования, а могут быть типовыми. В настоящее время широкое распространение получили **приточные камеры каркасно-панельного типа** (рис. 4.14) имеющие широкий модельный ряд.

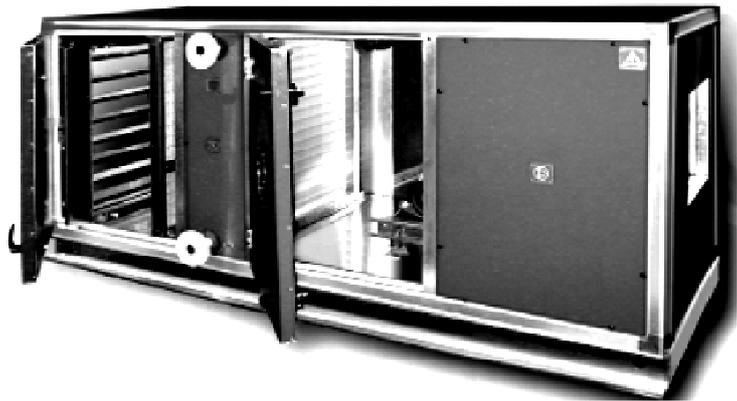


Рис. 4.14. Приточная камера каркасно-панельного типа

Основным оборудованием, которое обычно входит в состав приточной камеры, является приемная секция с утепленным воздушным клапаном, фильтр, калорифер и вентилятор.

Очистка воздуха от пыли должна осуществляться перед подачей наружного воздуха в вентилируемое помещение. Производится она в секциях очистки воздуха. **Секция очистки воздуха**, часто которую называют **фильтром**, предназначена для снижения в обрабатываемом воздухе концентрации механических примесей и доведения этого параметра до уровня ниже ПДК. Второе назначение секции фильтрации – защита теплообменных поверхностей (в утилизаторах теплоты, калориферах и воздухоохладителях) от загрязнений механическими примесями.

В настоящее время наиболее широкое распространение получили **ячейковые** и **карманные** фильтры. По эффективности очистки фильтры делятся на фильтры **грубой**, **тонкой** и **особо тонкой** очистки. Фильтры грубой очистки (по европейскому стандарту EUROVENT – EU1...EU4) имеют степень очистки 65 – 90 %; фильтры тонкой очистки (EU5...EU9) имеют степень очистки до 95 %. Для систем общеобменной приточной вентиляции как правило достаточно использование в приточных камерах фильтров грубой очистки.

**Выбор фильтров заключается в определении продолжительности его работы.** По источнику [7] требуется, чтобы работа фильтра до регенерации составляла не менее 1 месяца.

После очистки воздуха в приточной камере в холодный период года должен производиться нагрев воздуха. Процесс нагрева воздуха происходит в поверхностных теплообменниках, называемых **калориферами**. Обработка воздуха в калориферах осуществляется греющей средой – теплоносителем (паром, водой, газом, электричеством) при нагревании. При обработке воздух не контактирует с теплопередающей средой, а теплопередача осуществляется через металлическую поверхность теплообменника.

Для нагревания воздуха применяют преимущественно стальные пластинчатые и биметаллические со спирально-накатным оребрением калориферы.

По движению теплоносителя калориферы подразделяются на одноходовые для пара (КП) и многоходовые (обычно четыре хода) для воды (КВ) и каждая из перечисленных бывает двух моделей: средние (С) глубиной 120 мм и большие (Б) глубиной 220 мм. Каждая модель калорифера общепромышленного применения имеет несколько номеров, отличающихся друг от друга габаритами, а значит, и поверхностью нагрева.

Для нагрева воздуха кроме паровоздушных, водовоздушных калориферов могут использоваться электрокалориферы с регулируемым электронагревом.

Для обработки расчетного количества воздуха от температуры наружного воздуха до требуемой температуры приточного воздуха могут потребоваться несколько калориферов и тогда их размещают и питают теплоносителем по последовательной или параллельной схеме движения воздуха и теплоносителя.

*При подборе калориферов определяется требуемая площадь поверхности теплообмена для нагрева воздуха на заданную разность температур.* В зависимости от этой площади принимается к установке какой-либо тип калорифера с типовой поверхностью теплоотдачи.

*Технико-экономическими показателями воздухонагревателей являются коэффициент теплопередачи, аэродинамическое сопротивление проходу воздуха и масса металла,* приходящаяся на 1 м<sup>2</sup> площади поверхности нагрева.

Так как поверхность нагрева при установке типовых калориферов принимается с запасом на 10 – 20 %, для получения расчетного значения температуры воздуха, как правило, установка калориферов снабжается *обводным клапаном*. Клапан монтируют над калорифером или сбоку, и степень его открытия определяется требуемой температурой смеси воздуха.

Перемещение воздуха от приточного центра до обслуживаемого помещения происходит по *воздуховодам*. В настоящее время для монтажа систем вентиляции применяют металлические (из листовой оцинкованной или нержавеющей стали, черной стали, алюминиевые, металлопластиковые) и неметаллические (из синтетических полимерных материалов). Сечение воздуховодов может быть круглое и прямоугольное.

Раздача воздуха в помещении осуществляется через специальные устройства, называемые *воздухораспределителями*. Через них свежий воздух из приточных воздуховодов поступает в помещение или в заданную

в нем зону. По конструктивному исполнению воздухораспределители весьма разнообразны: решетки, плафоны, сопла, перфорированные панели и воздуховоды, панели с форсунками, направляющими струю, различного рода насадки, например вихревые, для подачи в рабочую зону с малыми скоростями и др.

**Вытяжные камеры** механической системы вентиляции (рис. 4.15) можно располагать на чердаке, в техническом этаже или специальном помещении, расположенном на одном уровне с обслуживаемыми помещениями. Стенки камеры выполняют из огнестойкого материала. Вытяжные воздуховоды подводятся к камере и выпускают в нее загрязненный воздух. Из камеры воздух с помощью вентилятора удаляется в атмосферу либо через вытяжную шахту при установке осевого или радиального вентилятора, либо напрямую при установке крышного вентилятора. Вытяжные шахты выводятся выше кровли не менее чем на 0,5 м. Для предотвращения засорения сверху на устье вытяжной шахты устанавливают зонт.

**Местная вентиляция** так же как и общеобменная может быть приточной и вытяжной.

**Местную вытяжную вентиляцию** устанавливают в том случае, когда загрязнения можно улавливать непосредственно у мест их возникновения (рис. 4.16). С этой целью применяют отсосы в виде разного рода укрытий (вытяжные шкафы и зонты, завесы у плит, бортовые отсосы у ванн, кожухи у абразивных, шлифовальных, полировальных и других кругов, отсосы у станков и т.п.). Если это возможно технологически, применяют отсосы, встроенные в оборудование.

К **местной приточной вентиляции** относятся воздушные души, воздушные оазисы и воздушные завесы.

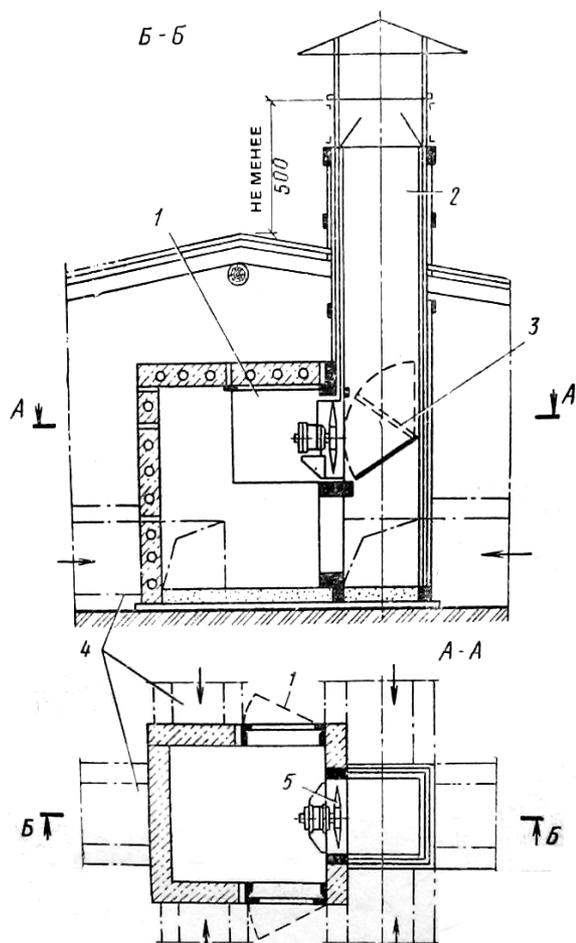


Рис. 4.15. Вытяжная камера: 1 – дверка; 2 – вытяжная шахта; 3 – клапан; 4 – воздуховоды; 5 – вентилятор

**Воздушный душ** представляет собой сосредоточенный поток воздуха из специального насадка, направленный на рабочее место или на ограниченный рабочий участок. Наиболее широкое распространение получили воздушные души в цехах с большими теплоизбытками, в которых они устанавливаются около источников тепловыделений (печи, горны). По конструктивному оформлению душирующие установки могут быть *стационарными* или *передвижными*. Приточные системы, обслуживающие стационарные души, не совмещают с другими системами вентиляции (рис. 4.17). В передвижных установках воздух забирается из цеха, обрабатывается в самой установке и подается на рабочее место.

Под **воздушным оазисом** понимается некоторый объем помещения (не замкнутый сверху), в котором поддерживается микроклимат, отличный от условий во всем остальном объеме помещения.

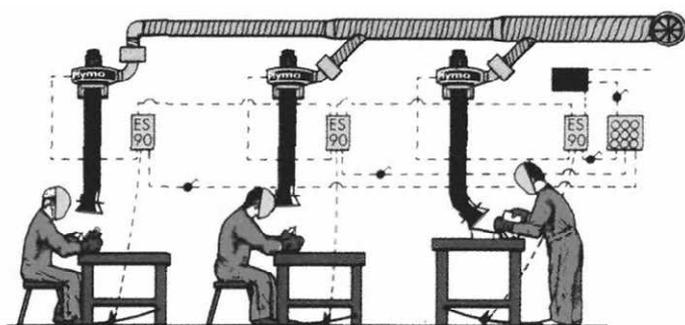


Рис. 4.16. Местные отсосы от рабочих мест

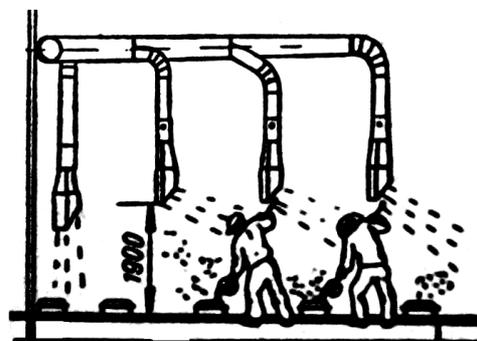


Рис. 4.17. Воздушное душирование рабочих мест

#### 4.6. Борьба с шумом и вибрациями в механических системах вентиляции

Основным источником шума и вибрации в механических системах вентиляции является вентиляторная установка, которая создает два вида шума – аэродинамический и механический.

**Аэродинамический шум** образуется вследствие вихреобразования у лопастей колеса и кожуха вентилятора. **Механический шум** создается от вибрации лопастного колеса, кожуха и электродвигателя, а также от подшипников, передачи и других элементов вентиляторной установки.

Сильная вибрация отрицательно влияет на самочувствие человека, может служить причиной несвоевременного износа и разрушения строительных конструкций.

Аэродинамический и механический шум, возникающий при работе вентиляторной установки, распространяется по воздушной среде, движущейся в каналах и воздуховодах, по их стенкам или по массиву, в котором они проложены. Кроме того, шум распространяется через основание и фундамент вентиляторной установки по ограждающим конструкциям здания, через которые проникает в помещения, иногда довольно далеко расположенные от вентиляторной камеры. Для борьбы с шумом вентиляторных установок снижают окружную скорость вращения рабочего колеса вентилятора, скорость движения воздуха в воздуховодах и других элементах системы вентиляции, а также проводят конструктивные и монтажные мероприятия [24].

Максимальные скорости движения воздуха в воздуховодах и других элементах системы вентиляции назначают, руководствуясь следующими значениями: для общественных зданий до 8 м/с, в производственных зданиях до 20 м/с [7].

Конструктивные и монтажные мероприятия, снижающие уровень шума, должны тщательно разрабатываться в процессе проектирования системы вентиляции здания и полностью осуществляться при монтаже ее до сдачи в эксплуатацию. В качестве **конструктивных мероприятий** можно рассматривать установку виброизолирующих вставок, виброоснований и шумоглушителей.

Вентиляторный агрегат для снятия вибраций, возникающих при работе электродвигателя и рабочего колеса, устанавливают на **виброизолирующее основание**, представляющее собой раму с виброизолирующими пружинами.

Для предотвращения передачи вибраций от вентилятора на воздуховоды соединение их между собой производится через **мягкую виброизоляционную вставку**, которая может выполняться из резины или прорезиненной ткани.

**Глушители шума** устанавливаются в воздуховодах в том случае, если все остальные меры не снизили шум до допустимого уровня. Глушители бывают **диссипативные** (активные) с поглощающим материалом и **отражающие** (реактивные) без поглощающего материала. В качестве звукопоглощающего материала рекомендуется использовать минеральные маты и базальтовое волокно. Активные глушители бывают трубчатые, сотовые, пластинчатые и камерные.

Кроме того, применяется **виброизоляция** и **звукоизоляция вентиляционных камер**, а также максимально возможное отдаление их от помещений с высокими требованиями к шуму.

#### 4.7. Кондиционирование воздуха

Системы механической вентиляции, *автоматически* поддерживающие в помещениях метеорологические условия на уровне заданных *независимо* от изменяющихся параметров внешней воздушной среды называются **системами кондиционирования воздуха (СКВ)**.

Комплекс технических средств, служащих для требуемой обработки воздуха (фильтрации, подогрева, охлаждения, осушки, увлажнения), перемещения его и распределения в обслуживаемых помещениях, устройства для глушения шума, источники тепло- и холодоснабжения, средства автоматического регулирования, контроля и управления, а также вспомогательное оборудование, составляют систему кондиционирования воздуха.

Устройство, в котором осуществляется требуемая тепловлажностная обработка воздуха и его очистка, называют *кондиционером*.

Системы кондиционирования воздуха применяются для обеспечения в помещениях оптимальных параметров внутреннего воздуха. Как правило, стоимость систем кондиционирования воздуха намного превышает стоимость систем вентиляции, поэтому применение этих систем должно быть технико-экономически обосновано. Основное применение СКВ находят в промышленных и общественных помещениях, где в соответствии с технологическим процессом или санитарно-гигиеническими нормами предъявляются высокие требования к внутреннему воздуху (ВПК, радиотехнические, операционные и т.д.).

*По назначению* СКВ делятся на *комфортные* (применяются в жилых, общественных и промышленных зданиях для обеспечения полного постоянного комфорта для находящихся в помещении людей), *технологические* (для обеспечения требуемых условий протекания производственных процессов) и *комфортно-технологические* (создаваемые системами параметры, требуемые для технологического процесса, совпадают или существенно отличаются от комфортных для человека).

В зависимости от использования наружного и рециркуляционного воздуха различают *прямоточные* (работают только на наружном воздухе), *частично рециркуляционные* (используют и наружный и рециркуляционный воздух) и *рециркуляционные* (работают только на рециркуляционном воздухе) СКВ. Частично рециркуляционные системы кондиционирования воздуха могут быть *с первой рециркуляцией* (подмешивание внутреннего воздуха к наружному осуществляется до камеры орошения), *со второй рециркуляцией* (смешивание наружного и внутреннего воздуха осуществляется после камеры орошения) и *с двумя рециркуляциями*.

*По расположению основных элементов* системы кондиционирования воздуха подразделяют на **центральные** (кондиционер устанавливается вне обслуживаемого помещения, воздух подается по сети воздуховодов) и **местные** (кондиционер размещается в кондиционируемом помещении в виде подоконных, шкафных, подвесных агрегатов).

*По наличию* в конструкции кондиционера **систем холодо- и тепло-снабжения** системы кондиционирования бывают **автономные** (узел холодо- и теплоснабжения является составной частью кондиционера) и **неавтономные** (снабжаются теплотой и холодом из центральных систем холодо- и теплоснабжения).

*По сезонности* обеспечения условий СКВ подразделяются на **круглогодичные** и **сезонные**.

В современной технике центральных систем кондиционирования воздуха для обработки воздуха применяют центральные кондиционеры каркасно-панельного блочно-модульного типа (рис. 4.18).

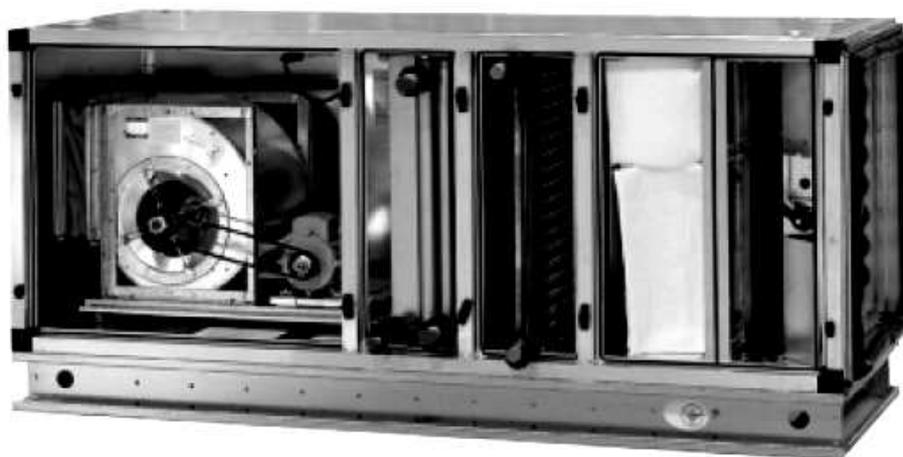


Рис. 4.18. Центральный неавтономный кондиционер

Центральный кондиционер состоит из отдельных типовых секций, герметично соединенных между собой. Корпус кондиционера выполнен на базе каркаса из алюминиевых профилей, к которым крепятся постоянные и съемные (для доступа к агрегатам) панели. Панели состоят из наружного и внутреннего оцинкованных листов, между которыми устанавливается минераловатная теплоизоляционная прокладка. С целью облегчения подхода к узлам установки предусмотрены открываемые смотровые двери или съемные панели со стороны обслуживания.

Увлажнение воздуха в центральном кондиционере осуществляется в секции оросительного увлажнения водой (камере орошения) или секции парового увлажнения.

**Камеры орошения** представляют собой устройства, в которых вода разбрызгивается с помощью форсунок. При контакте воздуха с каплями воды за счет процессов тепло- и массообмена происходит изменение температуры и влажности обрабатываемого воздушного потока. Камеры орошения состоят из одного или двух коллекторов, к которым присоединяются трубные стояки. На стояках крепятся форсунки для распыла воды. В зависимости от количества коллекторов камеры бывают одно- и двухрядными, с распылом воды по и против потока воздуха. Распыляясь, вода превращается в густой туман мелких капель, сквозь который движется воздух, поглощая водяные пары. На выходе из камеры устанавливается **каплеуловитель** (сепаратор). Сепараторы изготовлены из пластмассовых профилей и имеют несущую конструкцию из нержавеющей стали.

На входе может предусматриваться **стабилизатор воздушного потока**, обеспечивающий равномерное по сечению поле скоростей воздушного потока.

**Паровые увлажнители** состоят из генератора пара, паропровода, форсунок или коллектора ввода пара в воздушную среду, трубопровода отвода конденсата.

Все устройства увлажнения воздуха должны обеспечиваться системами автоматического регулирования режима работы и в обоснованных случаях могут иметь обводной канал с клапаном.

**Блоки первого и второго подогрева** центрального кондиционера комплектуются воздухонагревателями, которые могут быть водяными, паровыми и электрическими. Воздухонагревательные элементы калориферов изготавливаются преимущественно из оребренных медных труб или биметаллических труб. Число рядов трубок определяется потребностью в теплоте на нагрев воздуха. Чаще всего применяются калориферы с числом рядов трубок от одного до четырех.

Расчет воздухонагревателей заключается в определении площади теплоотдающей поверхности, необходимой для передачи воздуху требуемого количества теплоты для подогрева до заданной температуры.

**Воздухоохладители** конструктивно схожи с воздухонагревателями. Отличие их от воздухонагревателей определяется условиями применения. При охлаждении воздуха может образовываться конденсат, который способствует интенсификации коррозии поверхности трубок. В этой связи применяются оребренные трубки, поверхность которых со стороны обрабатываемого воздуха покрывается цинком. В воздухоохладителях необходимо также организовывать сбор и отвод конденсата. Секция воздухоохладителя, как секция подогрева воздуха может иметь обводной канал с кла-

паном. На выходе из воздухоохладителя может устанавливаться каплеуловитель. В трубки воздухоохладителей может подаваться холодоноситель (холодная вода) или хладагент (фреон).

**Секция очистки воздуха**, часто которую называют **секцией фильтрации**, предназначена для снижения в обрабатываемом воздухе концентрации механических примесей и доведения этого параметра до уровня ниже ПДК. **Размеры и форма поперечного сечения кондиционера определяются размерами модуля фильтрующего элемента.**

**Секции утилизации теплоты** предназначены для повторного применения теплоты или холода, забираемых от уходящего воздуха систем вентиляции и кондиционирования, от технологических потоков и местных отсосов и т.п. В системах кондиционирования воздуха в качестве утилизаторов тепловой энергии применяются **пластинчатые рекуперативные теплообменники** с перекрестным движением теплоносителей, **роторные теплообменники** регенеративного типа и **теплообменники с промежуточным теплоносителем**. Применение секции утилизации теплоты должно обосновываться технико-экономическими расчетами. Тип секции утилизации теплоты определяется характеристиками потоков и требованиями, предъявляемыми к помещению, в котором необходимо осуществлять кондиционирование воздуха.

Кроме основного оборудования (воздухонагревателей, воздухоохладителей, блока увлажнения, секции фильтра, блока утилизации и вентиляторного блока) в состав кондиционера входит и дополнительное оборудование: приемный блок с воздушным утепленным клапаном, воздушные и промежуточные секции.

**Блок приемный** предназначен для приема, регулирования, смешения и распределения по живому сечению объема наружного и рециркуляционного воздуха, поступающего в кондиционер.

**Воздушные секции** предназначены для смешения воздушных потоков и обслуживания соседнего оборудования.

**Клапаны воздушные** предназначены для регулирования объемов наружного и рециркуляционного воздуха, поступающего в кондиционер, а также регулирования количества воздуха, проходящего через воздухонагреватели.

Выбор компоновки кондиционера зависит от многих факторов, прежде всего от назначения и режима использования помещений, конструктивных особенностей здания, от санитарно-гигиенических, строительно-монтажных, архитектурных, эксплуатационных и экономических требований.

В настоящее время широкое применение для обслуживания отдельных помещений жилых и административных зданий получили местные автономные кондиционеры, работающие на рециркуляционном (внутреннем) воздухе. Это так называемые «сплит-системы» и оконные кондиционеры (рис. 4.19). «Сплит-системы» комплектуются из наружного блока и одного или нескольких внутренних блоков. В наружном блоке хладагент охлаждается с помощью вентилятора, устроенного в нем, по специальным трубкам подается в помещение, где нагревается, забирая теплоту у внутреннего воздуха, и затем снова подается наружу.

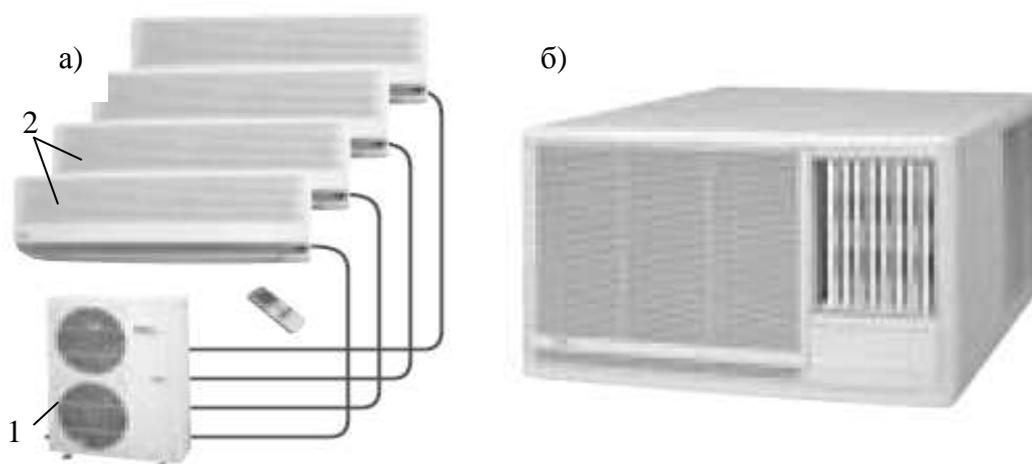


Рис. 4.19. Виды местных автономных кондиционеров: «сплит-система» (а) и оконный кондиционер (б): 1 – наружный блок; 2 – внутренний блок

#### 4.8. Холодоснабжение

*По способу производства холода* для охлаждения кондиционируемого помещения выделяют четыре разновидности: использование искусственных источников холода, использование природных источников холода, испарительное охлаждение, комбинированное охлаждение.

В качестве *природных источников холода* может быть использована артезианская вода, намороженный в естественных условиях лед, холодный наружный воздух.

*Источниками искусственного холода* являются холодильные машины, использующие различные холодильные агенты. Наиболее широко в системах кондиционирования воздуха в настоящее время применяются хладоны R-410A, R-407C, R-134a.

Способы испарительного охлаждения осуществляются с помощью *прямого* (камера орошения) и *косвенного* (воздухоохладители) *испарительного охлаждения*.

## ТЕМА 5. ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ

### 5.1. Общие сведения о топливе

**Топливом** называются горючие вещества, которые экономически целесообразно использовать для получения значительного количества тепловой энергии (табл. 5.1). Основным видом топлива является *органическое топливо*, образовавшееся из остатков растительного и животного происхождения под давлением и без доступа воздуха в течение длительного времени.

*По агрегатному состоянию* топливо можно разделить на *твердое*, *жидкое* и *газообразное*. *По способу получения* на *естественное*, добываемое из недр земли, и *искусственное* (получаемое путем химической или механической переработки естественного топлива).

Таблица 5.1

Общая классификация топлива [24]

Агрегатное состояние топлива	Естественное	Искусственное
Твердое	древесина, торф, бурый уголь, каменный уголь, полуантрацит, антрацит, горючие сланцы	древесный уголь, кокс, полукокс, брикеты, термоантрацит и др.
Жидкое	нефть	продукты перегонки и переработки нефти (мазут, бензин, керосин, лигроин и др.)
Газообразное	природный газ, нефтепромысловый (попутный) газ	газы: доменный, генераторный, коксовый, пиролиза, крекинга и др.

Топливо в том виде, в котором оно сжигается, то есть поступает в топку, называется *рабочим топливом*.

В состав твердого и жидкого рабочего топлива входят углерод, водород, сера, кислород, азот, зола и влага. Выразив компоненты в процентах от 1 кг массы, уравнение состава рабочей массы топлива можно представить в следующем виде

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_{\text{л}}^P + A^P + W^P = 100 \% . \quad (5.1)$$

Сера, обозначенная символом  $S_{\text{л}}^P$ , называется летучей серой и составляет часть общего количества серы, находящейся в топливе, остальная часть серы (негорючая) входит в состав минеральных примесей.

Газообразное топливо представляет собой смесь различных химических соединений. В состав природного газа входят метан (50 – 98 %), этан, пропан, бутан, углеводороды высшего порядка метанового ряда, углекислый газ, азот. Основные компоненты искусственного газообразного топлива – окись углерода, водород, метан, углекислый газ, азот. В газообразном топливе, как естественном, так и искусственном, содержатся водяные пары, различные смолы и др.

Основной теплотехнической характеристикой топлива является **теплота сгорания**, которая показывает, какое количество теплоты в кДж выделяется при сжигании 1 кг твердого (или жидкого) топлива или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива. Различают высшую и низшую теплоту сгорания топлива.

**Высшей теплотой сгорания** топлива  $Q_v^p$ , кДж/кг, называют количество теплоты, выделяемой топливом при полном его сгорании с учетом теплоты, выделившейся при конденсации водяных паров, которые образуются при горении. **Низшая теплота сгорания**  $Q_n^p$ , кДж/кг, не учитывает теплоту, выделившуюся при конденсации водяных паров, находящихся в продуктах сгорания.

В расчетах используется низшая теплота сгорания, так как теплота водяных паров бесполезно теряется, уходя с дымовыми газами в трубу.

Для сравнения различных видов топлива по величинам их теплоты сгорания введено понятие «**условное**» **топливо** – топливо, расчетная теплота сгорания которого равна 29,308 МДж/кг. В соответствии с этим каждое топливо имеет свой **тепловой эквивалент**

$$\mathcal{E}_T = Q_n^p / 29308. \quad (5.2)$$

## 5.2. Тепловой баланс котельного агрегата

**Горение топлива** есть химический процесс соединения его горючих элементов с кислородом воздуха, протекающий при высокой температуре и сопровождающийся выделением большого количества теплоты.

Комплекс устройств, в котором происходит сгорание топлива и получение горячей воды или пара за счет выделившейся теплоты сгорания, называется **котельным агрегатом (котлоагрегатом)**.

**Тепловым балансом котлоагрегата** называется распределение теплоты, выделившейся при сжигании топлива, на полезно использованную теплоту и тепловые потери, возникающие при его работе. Обычно тепло-

вой баланс составляется на 1 кг твердого (или жидкого) или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива. Уравнение теплового баланса имеет вид

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (5.3)$$

где  $Q_p^p$  – располагаемая теплота, кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>);

$Q_1$  – полезно использованная теплота на образование пара или нагревание воды, кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>);

$Q_2$  – потери теплоты с уходящими газами, кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>);

$Q_3$  – потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>);

$Q_4$  – потери теплоты вследствие механической неполноты сгорания топлива, кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>);

$Q_5$  – потери теплоты в окружающую среду, кДж/кг (кДж/м<sup>3</sup>);

$Q_6$  – потери теплоты с физической теплотой шлаков, кДж/кг.

В процентном соотношении уравнение теплового баланса можно представить в виде

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6. \quad (5.4)$$

Располагаемая теплота  $Q_p^p$  включает низшую теплоту сгорания топлива, теплоту, вносимую горячим воздухом, используемым для горения топлива, и физическую теплоту топлива при внешнем его подогреве. В том случае, когда воздух и топливо предварительно не подогреваются,  $Q_p^p = Q_n^p$ .

**Потери теплоты с уходящими газами**  $q_2$  являются наибольшими из всех потерь теплоты. Эта величина может достигать 8 – 10 %. Эти потери возникают в связи с тем, что продукты сгорания, выходя из котлоагрегата, имеют температуру значительно выше температуры окружающего воздуха. Чем выше температура уходящих газов, тем больше теплотопотери.

**Потеря теплоты от химической неполноты сгорания** топлива  $q_3$  тем значительнее, чем ниже температура в топке, хуже перемешивание топлива с воздухом, чем меньше длительность пребывания топлива в топке. Для механических и полумеханических топок  $q_3 \approx 3$  %, для камерных топок  $q_3 \approx 0,5-1$  %.

**Механическая неполнота сгорания** топлива  $q_4$  является результатом неучастия во всех стадиях процесса горения части топлива, поступив-

шего в топку (унос мелкодисперсных частиц топлива дымовыми газами, провал их через зазоры колосниковой решетки и др.). Для слоевых механических и полумеханических топок  $q_4 = 1 - 10 \%$ , для камерных топок  $q_4 = 1 - 6 \%$ .

Потеря теплоты в окружающую среду  $q_5$  зависит от температуры наружных поверхностей котлоагрегата, теплоизоляции, тепловой мощности котлоагрегата и др. В зависимости от мощности котлоагрегата величина  $q_5$  колеблется от 0,2 до 0,7 %.

Потеря теплоты с физической теплотой шлаков  $q_6$  зависит от способа шлакоудаления. При сухом шлакоудалении эта величина составляет 1 – 1,5 %, а при жидком шлакоудалении в камерных топках  $q_6 = 1 - 3 \%$ .

Для сравнения разных способов сжигания топлива и сопоставления топочных устройств используют **коэффициент полезного действия котельного агрегата брутто**:

$$\eta_{к.а} = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (5.5)$$

### 5.3. Общие характеристики топочных устройств

Для обеспечения устойчивого процесса горения топлива необходимы следующие условия: наличие в топочном устройстве высокой температуры для подогрева топлива до температуры воспламенения; постоянный подвод к топливу достаточного количества воздуха, необходимого для горения; непрерывный отвод продуктов сгорания из топки.

Устройство, предназначенное для сжигания топлива, называется **топкой** или **топочным устройством**. Конструкция топки должна обеспечивать устойчивый процесс горения, экономичное сжигание необходимого количества топлива, высокую производительность, удобную подачу топлива и воздуха, удобное удаление золы и шлака.

Существующие топки классифицируют по следующим признакам:

– **по способу сжигания топлива**: слоевые, камерные (факельные) и циклонные;

– **по режиму подачи топлива**: с периодической подачей и с непрерывной подачей;

– **по взаимосвязи с котлом**: внутренние, то есть находящиеся внутри котла, и выносные, устраиваемые вне обогреваемой поверхности котла;

– **по способу подачи топлива и организации обслуживания**: ручные, механические и полумеханические.

**Топки для слоевого сжигания** топлива могут быть:

- с неподвижной колосниковой решеткой и неподвижно лежащим на ней слоем топлива;
- с неподвижной колосниковой решеткой и слоем топлива, перемещающимся на ней (наклонная колосниковая решетка, шурующая планка);
- с движущейся колосниковой решеткой, перемещающей лежащий на ней слой топлива.

Принцип действия таких топок заключается в следующем: топливо лежит на колосниковой решетке, кислород из воздуха, соприкасающегося с поверхностью кусков топлива, реагирует с топливом, и происходит процесс горения с выделением теплоты.

Существенным недостатком всех слоевых топок является ограничение мощности из-за горения только на поверхности слоя топлива. Этой поверхности, как правило, недостаточно для быстрого сжигания больших количеств топлива.

В **камерных топках** может сжигаться измельченное твердое топливо, газообразное и жидкое топливо. В таких топочных устройствах топливо в смеси с воздухом через специальное устройство подается в топку, где и происходит его сгорание.

Работа топок характеризуется тепловой мощностью, тепловой нагрузкой колосниковой решетки или топочного объема, коэффициентом полезного действия.

Под **тепловой мощностью топки** понимают количество теплоты, кВт, выделяемое в топке за единицу времени

$$Q = B \cdot Q_n^p, \quad (5.6)$$

где  $B$  – количество топлива, сжигаемого за единицу времени, кг/с.

Тепловая нагрузка на колосниковую решетку, кВт/м<sup>2</sup> – это количество теплоты, выделяющееся с 1 м<sup>2</sup> зеркала горения (т.е. площади решетки) за 1с:

$$Q/R = B \cdot Q_n^p / R, \quad (5.7)$$

где  $R$  – площадь решетки, на которой происходит горение топлива, м<sup>2</sup>.

Количество теплоты, выделяющееся в единицу времени в единице объема топочной камеры, принято называть тепловой нагрузкой топочного объема, кВт/м<sup>3</sup>:

$$Q/V_T = B \cdot Q_n^p / V_T = q_v, \quad (5.8)$$

где  $V_T$  – объем топочного пространства, м<sup>3</sup>.

**Коэффициент полезного действия топки** оценивает ее теплотехническое совершенство и выражается уравнением [24]

$$\eta = 100 - (q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (5.9)$$

#### 5.4. Котельные установки

**Котельной установкой** называется комплекс устройств, предназначенных для выработки тепловой энергии в виде горячей воды или пара. Главной частью этого комплекса является котел.

В зависимости от того, для какой цели используется тепловая энергия, котельные подразделяются на энергетические, отопительно-производственные и отопительные.

**Энергетические котельные** снабжают паром паросиловые установки, вырабатывающие электроэнергию, и обычно входят в комплекс электрической станции.

**Отопительно-производственные котельные** сооружаются на промышленных предприятиях и обеспечивают тепловой энергией системы отопления и вентиляции, горячего водоснабжения зданий и технологические процессы производства.

**Отопительные котельные** предназначаются для тех же целей, но обслуживают жилые и общественные здания. Они делятся на отдельно стоящие, сблокированные, т.е. примыкающие к другим зданиям, и встроенные в здания (индивидуальные).

**Расчетная производительность котельной** определяется суммой расходов теплоты на отопление и вентиляцию при максимальном режиме (максимальные тепловые нагрузки) и тепловых нагрузок на горячее водоснабжение при среднем режиме и расчетных нагрузок на технологические цели при среднем режиме. При определении расчетной производительности котельной должны учитываться также расходы теплоты на собственные нужды котельной, включая отопление в котельной.

Котельные тепловой мощностью от 3 – 20 кВт до 3000 кВт называют **автономными** котельными.

Оборудование автономных котельных должно располагаться в отдельном помещении, недоступном для несанкционированного проникновения посторонних людей.

Автономные котельные обычно состоят из котлов, циркуляционных и подпиточных насосов и тягодутьевых устройств. При установке паровых

котлов устанавливают конденсатные баки, насосы для перекачки конденсата и теплообменники.

В настоящее время промышленность выпускает чугунные и стальные котлы, предназначенные для сжигания газа, жидкого котельно-печного топлива и сортированного твердого топлива (рис. 5.1).

При необходимости твердотопливные котлы могут быть переоборудованы для сжигания газообразного и жидкого топлива путем установки на фронтальной плите соответствующих газо-горелочных устройств или форсунок и автоматики к ним.

Экономичность котла оценивается его коэффициентом полезного действия. Как правило, КПД котлов должен быть не менее 92 %.

Развитие рыночных отношений в нашей стране вызвало к жизни поквартирные системы теплоснабжения. Такие системы получили применение и в многоквартирных жилых домах, в том числе имеющих встроенные помещения общественного назначения.

**Поквартирное теплоснабжение** – обеспечение теплотой систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения квартир в жилом здании. Система состоит из индивидуального источника теплоты – теплогенератора, трубопроводов горячего водоснабжения с водоразборной арматурой, трубопроводов отопления с отопительными приборами и теплообменников систем вентиляции.

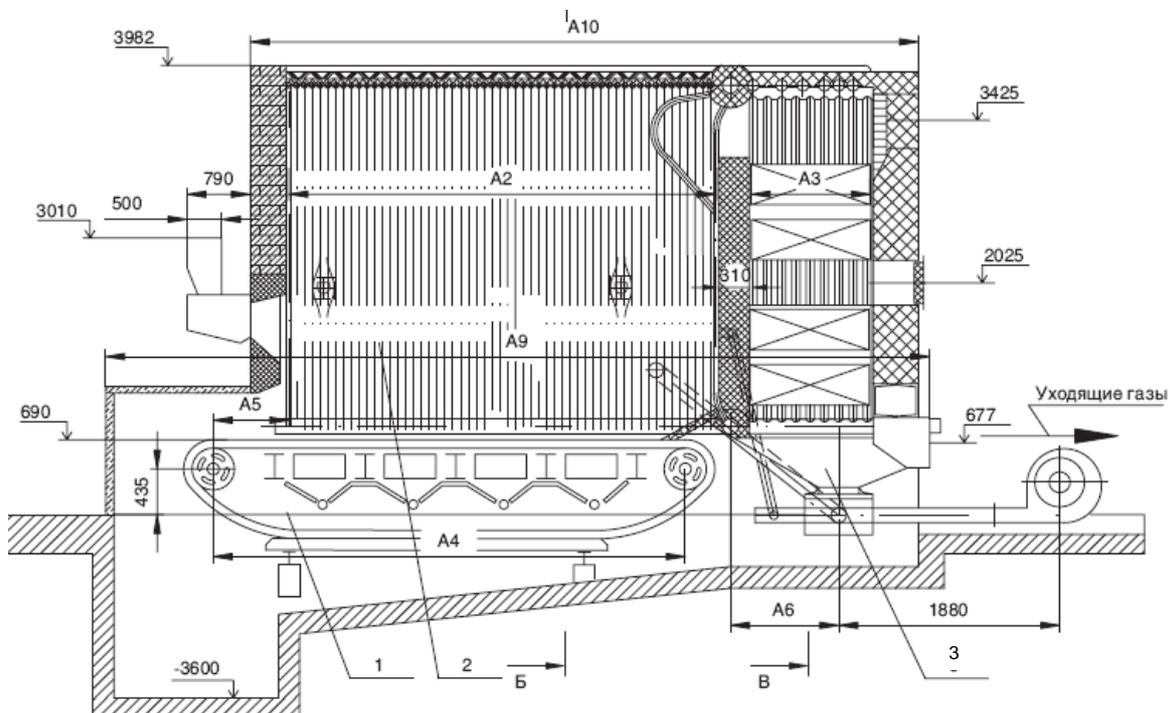


Рис. 5.1. Котел водогрейный КВ для сжигания твердого топлива:  
1 – топка; 2 – трубная система; 3 – золовой бункер



Рис. 5.2. Автономный газовый котел

В качестве источников теплоты систем поквартирного теплоснабжения рекомендуется применять индивидуальные теплогенераторы – автоматизированные котлы полной заводской готовности на различных видах топлива, в том числе на природном газе (рис. 5.2), работающие без постоянного обслуживающего персонала.

Для многоквартирных жилых домов и встроенных помещений общественного назначения следует применять теплогенераторы с закрытой (герметичной) камерой сгорания, с автоматикой безопасности, обеспечивающей прекращение подачи топлива при прекращении подачи электроэнергии, при неисправности цепей защиты, при погасании пламени горелки, при падении давления теплоносителя ниже предельно допустимого значения, при достижении предельно допустимой температуры теплоносителя, при нарушении дымоудаления; с температурой теплоносителя до 95 °С; с давлением теплоносителя до 1,0 МПа.

В квартирах теплогенераторы общей производительностью до 35 кВт можно устанавливать в кухнях, коридорах, в нежилых помещениях, а во встроенных помещениях общественного назначения – в помещениях без постоянного пребывания людей [15].

Котельные средней и большой мощности отличаются сложностью оборудования и составом служебно-бытовых помещений. Кроме котлов, насосов и тягодутьевых устройств они имеют дополнительные поверхности нагрева (экономайзер, воздухоподогреватель), оборудование для водоподготовки, топливоподающие и шлакоудаляющие устройства, теплообменники, устройства автоматики и др.

## 5.5. Централизованное теплоснабжение

*Системы централизованного теплоснабжения* строятся по трехзвенной трехступенчатой схеме: *источник тепловой энергии* (ТЭЦ, РК и др.) – *тепловые сети* – *потребитель теплоты*, а сам процесс теплоснабжения представляет собой сложный технологический процесс единовременного производства, транспортирования и потребления энергии потребителем. Любое нарушение в этой трехзвенной системе приводит к прекращению ее работы или нарушению параметров и качества теплоснабжения.

**Источником тепловой энергии** в системах централизованного теплоснабжения могут быть теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), районные (РК) и квартальные котельные. На ТЭЦ (рис. 5.3) производится централизованное теплоснабжение на базе комбинированной выработки теплоты и электрической энергии, называемое **теплофикацией**. При комбинированном способе энтальпия пара используется сначала для выработки электроэнергии, а затем тепловая энергия частично отработавшего пара используется для центрального теплоснабжения.

Тепловая энергия отпускается потребителям в виде горячей воды или водяного пара.

**Потребители теплоты** по характеру их загрузки во времени делятся на *сезонные* (системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) и *круглогодичные* (системы горячего водоснабжения и технологические).

При проектировании систем теплоснабжения максимальные тепловые потоки на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение принимаются по соответствующим проектам. Если таковые отсутствуют, то расчеты расходов теплоты производятся по укрупненным показателям.

Одним из наиболее дорогостоящих и трудоемких элементов системы теплоснабжения являются **тепловые сети**, по которым тепловая энергия в виде воды или водяного пара подается к потребителям. Тепловые сети представляют собой сеть трубопроводов с теплоизоляцией, компенсаторами тепловых удлинений, запорной и регулирующей арматурой, подвижными и неподвижными опорами, камерами, дренажными и воздухопускными устройствами.

**По виду теплоносителя** тепловые сети бывают **водяные** и **паровые**.

**По количеству параллельно проложенных теплопроводов** тепловые сети могут быть **однотрубные** (в них сетевая вода после прохождения систем отопления и вентиляции полностью используется на горячее водоснабжение), **двухтрубные** (состоят из подающего и обратного трубопроводов – для водяных сетей, паропровода и конденсатопровода – для паровых сетей), **трехтрубные** (в них две трубы используются как подающие для подачи теплоносителя с разными тепловыми потенциалами, а одна как общая обратная), **четырёхтрубные** (в этих системах одна пара трубопроводов обслуживает системы отопления и вентиляции, а другая – систему горячего водоснабжения и технологические нужды). В настоящее время наиболее распространенными являются двухтрубные тепловые сети.

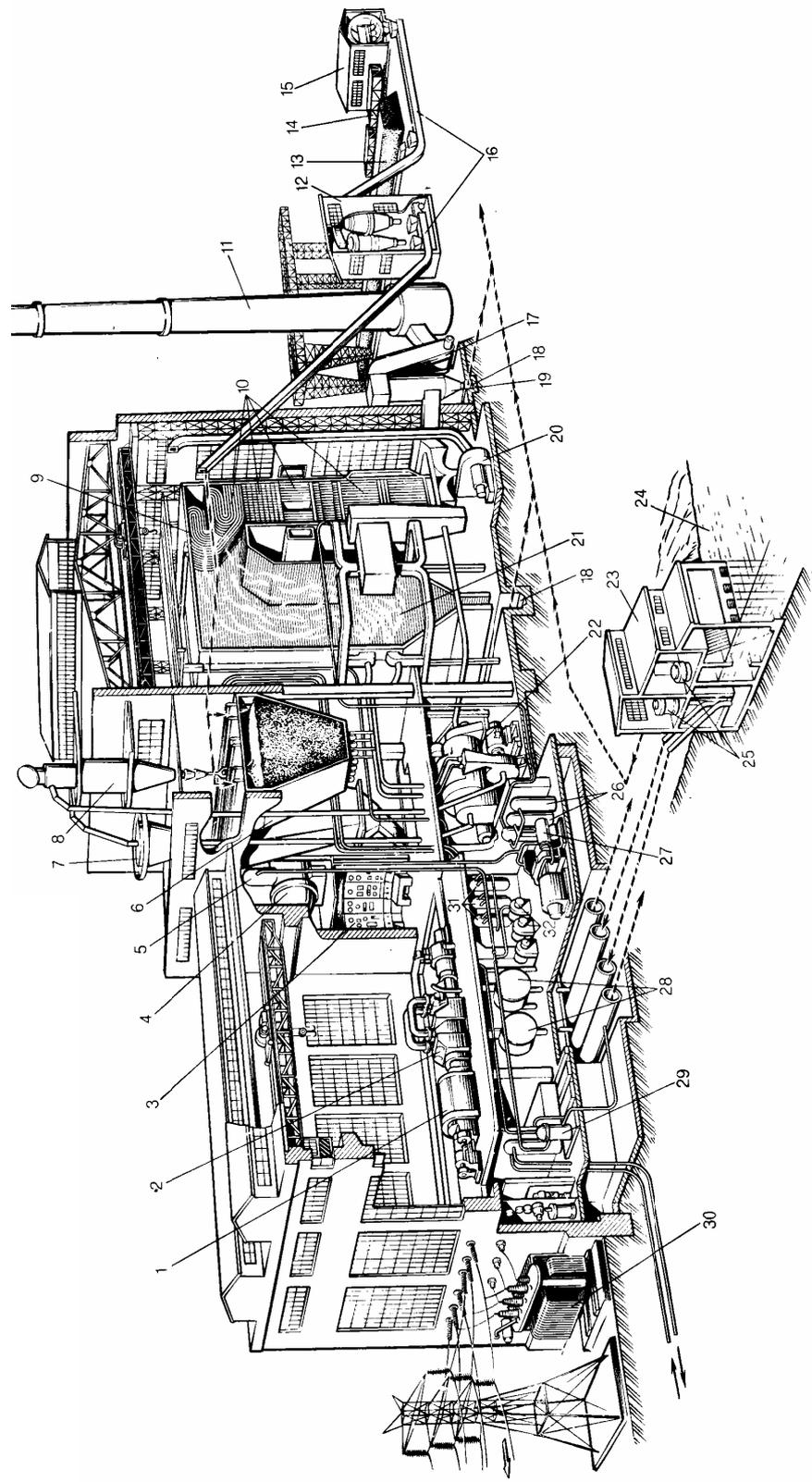


Рис. 5.3. Тепловая электрическая станция (ТЭЦ): 1 – электрический генератор; 2 – паровая турбина; 3 – пульт управления; 4 – дымовая труба; 5 и 6 – бункера; 7 – сепаратор; 8 – циклон; 9 – котел; 10 – поверхность нагрева (теплообменник);

11 – дымовая труба; 12 – дробильное помещение; 13 – склад резервного топлива; 14 – вагон; 15 – разгрузочное устройство; 16 – конвейер; 17 – дымосос; 18 – канал; 19 – золоуловитель; 20 – вентилятор; 21 – топка; 22 – мельница; 23 – насосная станция;

24 – источник воды; 25 – циркуляционный насос; 26 – регенеративный подогреватель высокого давления; 27 – питательный насос; 28 – конденсатор; 29 – установка химической очистки воды; 30 – повышающий трансформатор; 31 – регенеративный подогреватель низкого давления; 32 – конденсаторный насос

Тепловые сети разделяют на *магистральные*, прокладываемые на главных направлениях населенных пунктов, *распределительные* – внутри квартала, микрорайона и *ответвления* к отдельным зданиям.

*По геометрическому виду* тепловые сети бывают *радиальные*, когда их сооружают с постепенным понижением диаметра от источника теплоты до последнего потребителя, и *кольцевые*, которые закольцовываются и присоединяются к дублирующему источнику теплоты. Радиус действия радиальных сетей 15 – 20 км, их основной недостаток – отсутствие резервирования, что значительно снижает их надежность, хотя они являются наиболее простыми и экономичными по начальным затратам. Кольцевые сети требуют больших капитальных затрат, но при этом имеют повышенную надежность. Поэтому такая схема тепловых сетей используется при наличии потребителей, в которых не допускается перерыв в теплоснабжении (больницы, родильные дома, реанимационные помещения, картинные галереи, шахты и т.д).

*По способу прокладки* тепловые сети делят на *подземные* и *надземные*. Надземная прокладка труб (на отдельностоящих мачтах и эстакадах, на опорах, на кронштейнах, заделываемых в стены здания) применяется на территориях промышленных предприятий, при сооружении тепловых сетей вне черты города, при пересечении оврагов и т.д. Преобладающим способом прокладки трубопроводов тепловых сетей является подземная прокладка: в проходных, полупроходных и непроходных каналах, бесканальная. В настоящее время на территории Республики Беларусь тепловые сети выполняются из *предизолированных труб* с прокладкой их бесканальным способом.

*По принципу использования первичного теплоносителя* системы централизованного теплоснабжения подразделяют на две группы: *закрываемые*, в которых первичный теплоноситель не разбирается потребителем на нужды горячего водоснабжения, и *открытые*, когда первичный теплоноситель частично используется потребителем для горячего водоснабжения.

Потребителей присоединяют к тепловым сетям в **тепловых пунктах**. В тепловых пунктах абонентов предусматривается размещение оборудования, арматуры, приборов контроля управления и автоматизации, посредством которых осуществляются следующие основные функции:

- преобразование вида теплоносителя или его параметров;
- контроль параметров теплоносителя;

- регулирование расхода теплоносителя и распределение его по системам потребления теплоты;
- отключение систем потребления теплоты;
- защита местных систем от аварийного повышения параметров теплоносителя;
- заполнение и подпитка систем потребления теплоты;
- учет тепловых потоков, расходов теплоносителя и конденсата;
- сбор, охлаждение, возврат конденсата и контроль его качества;
- аккумулярование теплоты и теплоносителей;
- водоподготовка для систем горячего водоснабжения.

В тепловом пункте в зависимости от его назначения и конкретных условий присоединения потребителей могут осуществляться все перечисленные функции или только их часть. По таким признакам тепловые пункты подразделяют на *центральные* (ЦТП) и *индивидуальные* (ИТП).

**Тепловой пункт** – комплекс устройств, расположенный в обособленном помещении, состоящий из элементов тепловых энергоустановок, обеспечивающих присоединение этих установок к тепловой сети, их работоспособность, управление режимами теплоснабжения, трансформацию, регулирование параметров теплоносителя.

**Абонентский ввод** (индивидуальный тепловой пункт) – комплекс оборудования, с помощью которого системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, а также технологические установки промышленных зданий присоединяются к тепловым сетям.

Оборудование теплового пункта зависит от схемы присоединения потребителя к тепловой сети. На рис. 5.4 изображены наиболее распространенные схемы присоединения потребителей в ЦТП [15].

Системы горячего водоснабжения при закрытой водяной системе теплоснабжения, а системы отопления – при независимой системе теплоснабжения присоединяют к тепловым сетям через скоростные секционные водо-водяные или пароводяные теплообменники. Они могут быть кожухотрубного, пластинчатого и других типов

Для понижения параметров теплоносителя в системах отопления при присоединении их к тепловым сетям по зависимой схеме используются элеваторы (рис. 5.5) или насосы смешения, подмешивающие к горячей воде из подающего трубопровода тепловой сети охлажденную воду из обратного трубопровода тепловой сети.

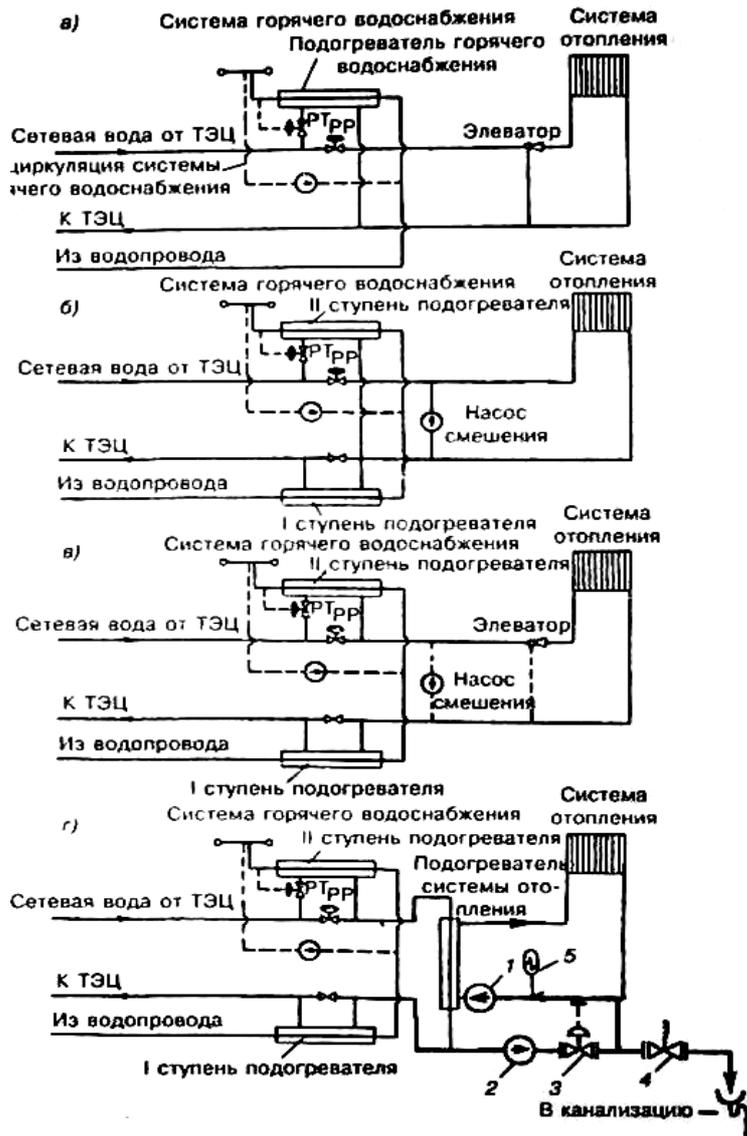


Рис. 5.4. Схемы присоединения потребителей (системы отопления/вентиляции и подогревателей горячего водоснабжения) в центральном тепловом пункте:  
 а, б, в – соответственно параллельная, смешанная, последовательная схемы присоединения; г – схема независимого присоединения системы отопления к тепловой сети;  
 1 – циркуляционный насос системы отопления; 2 – подпиточный насос; 3 – регулятор подпитки; 4 – предохранительно-спускной клапан; 5 – расширительный бак;  
 РТ – регулятор температуры; РР – регулятор расхода.

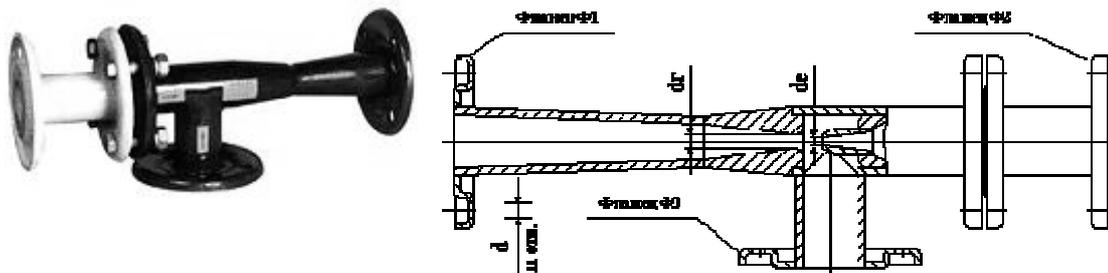


Рис. 5.5. Водоструйный элеватор

Бак-аккумулятор – емкость, предназначенная для хранения воды в целях выравнивания суточного графика расхода воды в системах теплоснабжения, а также для создания и хранения запаса подпиточной воды на источниках теплоты. Для снижения тепловых потерь баки-аккумуляторы тщательно теплоизолируют.

Грязевики устанавливают в тепловых пунктах для защиты систем отопления от посторонних частиц, попавших в теплопроводы при монтаже, ремонтах и эксплуатации. Принцип действия грязевика основан на резком снижении скорости воды, благодаря чему взвешенные частицы оседают на дне грязевика, откуда периодически удаляются.

## **5.6. Теплоснабжение строительной площадки**

На строительной площадке теплота потребляется:

- 1) на производство строительных работ – оттаивание мерзлых грунтов паровыми иглами, подогрев воды и песка, приготовление бетонов и растворов, для ускорения твердения бетонов и др.;
- 2) на технологические нужды производственных предприятий (в пропарочных камерах, сушилках, автоклавами др.);
- 3) на временный обогрев и сушку строящихся зданий.

На крупных строительствах потребителями могут быть также бани, прачечные, дезинфекционные камеры, столовые и др.

Лучшим источником теплоснабжения в районе строительства является ТЭЦ или котельная большой мощности. Если этих источников нет или использовать их не представляется возможным, то строят местные котельные. Для местных котельных и тепловых сетей на строительной площадке следует, если это возможно, использовать отдельные элементы постоянного теплоснабжения. Временные котельные, сооружаемые на строительной площадке небольших объектов с коротким сроком строительства, должны быть, как правило, инвентарного типа, передвижные или сборно-разборные, чтобы их можно было использовать и на других стройках. Такие котельные выпускаются промышленностью как с водогрейными, так и с паровыми котлами.

Для стационарных котельных установок в строительстве используют те же котлы, что и для отопительных и отопительно-производственных котельных малой и средней мощности.

Котельные на строительстве, хотя бы и временного характера, необходимо оборудовать механизацией топливоподачи и золоудаления, а также складом для хранения топлива. Тип котлов и топков следует подбирать по

роду местного топлива, а при его отсутствии ориентироваться на наиболее дешевое привозное топливо,

Мощность источника теплоты рассчитывают исходя из максимального расхода в зимнее время и среднего расхода в остальное время года с учетом отдельных этапов строительства. В начале строительства потребность в теплоте может быть удовлетворена и небольшой передвижной котельной или несложной тепловой установкой. По мере развертывания строительного-монтажных работ потребность в теплоте возрастает.

Основными источниками влажности в здании в период его строительства являются: влага, внесенная со строительными изделиями и материалами, так называемая построечная технологическая влага; атмосферная влага в виде осадков дождя и снега, а также водяные пары, содержащиеся в воздухе. Обычно перед началом отделочных работ влажность приближается к максимальной.

Содержание построечной технологической влаги в строительных материалах и изделиях может быть очень высоким и зависит от технологического процесса изготовления и качества сушки их, технологии внутренних работ и других факторов.

Снижение построечной технологической и атмосферной влаги в строящихся зданиях имеет большое практическое значение, особенно в условиях влажного климата или при большом количестве выпадающих осадков. Многие внутренние работы могут успешно проводиться только при определенной температуре воздуха и достаточно сухих конструкциях здания. Для ускорения сушки конструкций здания и обеспечения надлежащих условий для производства работ в настоящее время используют не только системы отопления, но и специальные тепловые установки (тепловые пушки) и инфракрасные излучатели (рис. 5.6) [24].

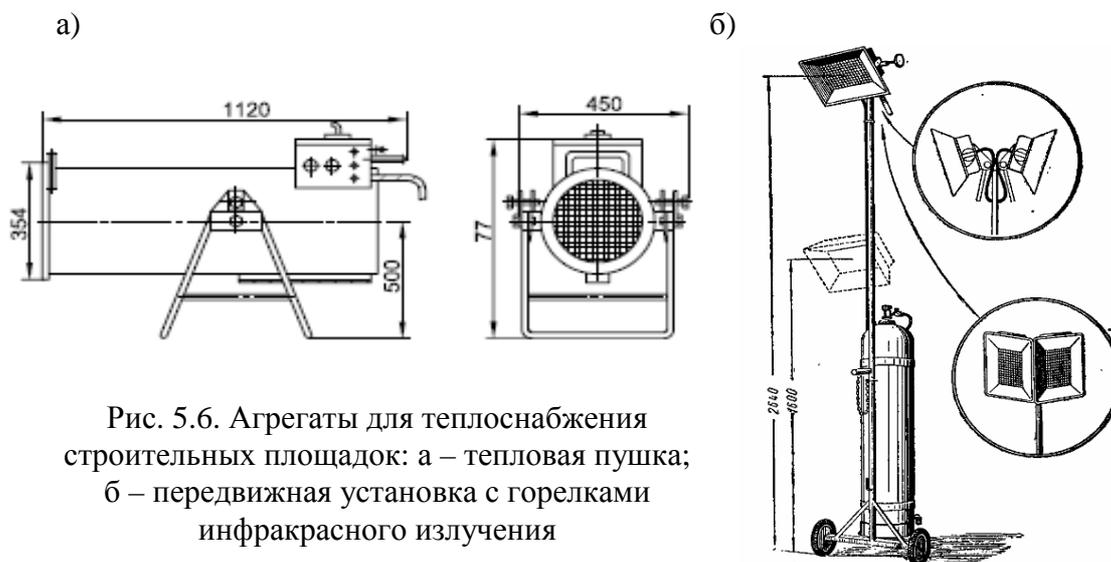


Рис. 5.6. Агрегаты для теплоснабжения строительных площадок: а – тепловая пушка; б – передвижная установка с горелками инфракрасного излучения

## 5.7. Использование нетрадиционных источников энергии

В нашей республике в настоящее время весьма актуален вопрос использования для теплоснабжения вторичных и возобновляемых источников энергии.

**Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)** – это энергетический потенциал продукции, отходов, побочных и промежуточных продуктов, образующихся в технологических агрегатах, который не используется в самом агрегате, но может быть использован частично или полностью для энергосбережения других агрегатов.

Наличие ВЭР связано с тем, что большинство технологических процессов сопровождается материальными и энергетическими отходами. Создание безотходных технологий – прогрессивное и весьма перспективное направление развития промышленности.

*По виду энергии* ВЭР делят на три группы: *горючие* (топливные) (побочные горючие газы плавильных печей, горючие отходы химических и нефтехимических производств, твердые и жидкие топливные отходы); *тепловые* (физическая теплота отходящих газов, теплота горячей воды, конденсата, пара, отработанных в технологических и силовых установках); *ВЭР избыточного давления* (потенциальная энергия газов, жидкостей, покидающих технологические аппараты с избыточным давлением).

По виду и параметрам рабочих тел различают следующие *направления использования ВЭР*: *топливное* (непосредственное использование в качестве топлива); *тепловое* (использование теплоты, получаемой в виде ВЭР); *силовое* (использование механической или электрической энергии, вырабатываемой за счет ВЭР); *комбинированное*.

Основной *недостаток* вторичных энергетических ресурсов – низкий потенциал таких источников.

**Возобновляемые источники энергии** – это источники на основе постоянно существующих или периодически возникающих в окружающей среде потоков энергии. Возобновляемая энергия не является следствием целенаправленной деятельности человека, и это является ее отличительным признаком.

В соответствии с резолюцией № 33/148 Генеральной Ассамблеи ООН (1978 г.) к нетрадиционным и возобновляемым источникам энергии относятся: солнечная, ветровая, геотермальная, энергия морских волн, приливов и океана, энергия биомассы, древесины, древесного угля, торфа, тяглового скота, сланцев, битуминозных песчаников и гидроэнергия больших и малых водотоков.

**Системами солнечного отопления** называются системы, использующие в качестве теплоисточника энергию солнечной радиации. Их характерным отличием от других систем низкотемпературного отопления является применение специального элемента – **гелиоприемника**, предназначенного для улавливания солнечной радиации и преобразования ее в тепловую энергию.

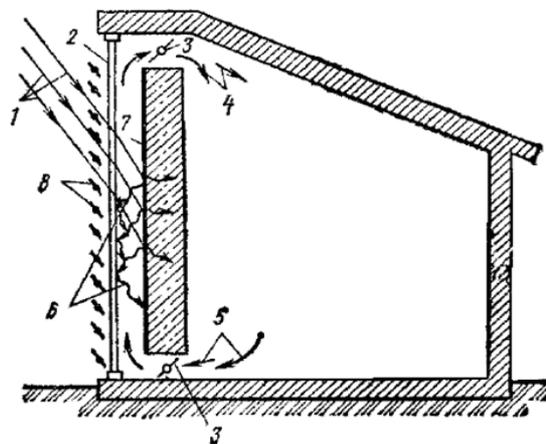
**По способу использования солнечной радиации** системы солнечного низкотемпературного отопления делят на пассивные и активные.

**Пассивными** называются системы солнечного отопления, в которых в качестве элемента, воспринимающего солнечную радиацию и преобразующего ее в теплоту, служат само здание или его отдельные ограждения (здание-коллектор, стена-коллектор (рис. 5.7), кровля-коллектор и т. п.).

**Активными** называются системы солнечного низкотемпературного отопления, в которых гелиоприемник является самостоятельным отдельным устройством, не относящимся к зданию. Активные гелиосистемы могут быть подразделены:

- **по назначению** (системы горячего водоснабжения, отопления, комбинированные системы для целей теплоснабжения);
- **по виду используемого теплоносителя** (жидкостные – вода, антифриз и воздушные);
- **по продолжительности работы** (круглогодичные, сезонные);
- **по техническому решению схем** (одно-, двух-, многоконтурные).

Рис. 5.7. Пассивная низкотемпературная система солнечного отопления «стена-коллектор»: 1 – солнечные лучи; 2 – лучепрозрачный экран; 3 – воздушная заслонка; 4 – нагретый воздух; 5 – охлажденный воздух из помещения; 6 – собственное длинноволновое тепловое излучение массива стены; 7 – черная лучевоспринимающая поверхность стены; 8 – жалюзи.



**Основными элементами активной солнечной системы** являются гелиоприемник, аккумулятор теплоты, дополнительный источник или трансформатор теплоты (тепловой насос), ее потребитель (системы отопления и горячего водоснабжения зданий). Выбор и компоновка элементов в каждом конкретном случае определяются климатическими факторами, назначением объекта, режимом теплоснабжения, экономическими показателями.

**Сезонные гелиосистемы горячего водоснабжения** обычно одноконтурные и функционируют в летние и переходные месяцы, в периоды с положительной температурой наружного воздуха. Они могут иметь дополнительный источник теплоты или обходиться без него в зависимости от назначения обслуживаемого объекта и условий эксплуатации.

**Гелиосистемы отопления зданий** обычно двухконтурные или чаще всего многоконтурные, причем для разных контуров могут быть применены различные теплоносители (например, в гелиоконтуре – водные растворы не замерзающих жидкостей, в промежуточных контурах – вода, а в контуре потребителя – воздух).

**Комбинированные гелиосистемы круглогодичного действия** для целей теплоснабжения зданий многоконтурные и включают дополнительный источник теплоты в виде традиционного теплогенератора, работающего на органическом топливе (рис. 5.8).

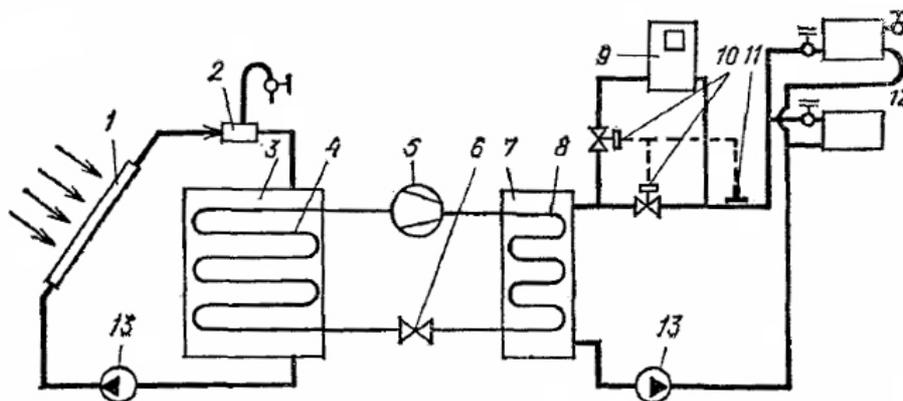


Рис. 5.8. Жидкостная двухконтурная комбинированная низкотемпературная система солнечного отопления с плоскими коллекторами, тепловым насосом и двумя жидкостными теплоаккумуляторами: 1 – солнечные коллекторы; 2 – воздухосборник; 3 – низкотемпературный жидкостный теплоаккумулятор; 4 – испаритель теплового насоса; 5 – компрессор; 6 – дроссельный вентиль; 7 – высокотемпературный жидкостной теплоаккумулятор; 8 – конденсатор теплового насоса; 9 – дополнительный теплоисточник; 10 – магнитный вентиль; 11 – датчик температуры; 12 – отопительные приборы; 13 – циркуляционный насос

В земной коре существует подвижный и чрезвычайно теплоемкий энергоноситель – вода, играющая важную роль в тепловом балансе верхних геосфер.

Наиболее рациональное **использование термальных вод** может быть достигнуто при последовательной их эксплуатации: первоначально в отоплении, а затем в горячем водоснабжении. Но это представляет некоторые трудности, так как потребность в горячей воде по времени года относи-

тельно постоянна, тогда как отопление является сезонным, оно зависит от климатических условий района, температуры наружного воздуха, времени года и суток.

В настоящее время разработаны различные схемы использования термальных вод для отопления и горячего водоснабжения жилых и промышленных зданий.

Городские стоки и твердые отходы, отходы при рубках леса и деревообрабатывающей промышленности, представляя собой возможные источники сильного загрязнения природной среды, являются в то же время сырьем для получения энергии, удобрений, ценных химических веществ. Поэтому широкое развитие *биоэнергетики* эффективно в экологическом отношении. По сравнению с древесиной биогаз – более чистое топливо, непроизводящее вредных газов и частиц.

## 5.8. Газоснабжение

Газоснабжение жилых зданий значительно улучшает условия быта населения городов и населенных пунктов. Применение газа в городском хозяйстве, промышленности и энергетике создает благоприятные условия для улучшения технологических процессов производства, позволяет применять прогрессивную и экономически эффективную технологию, повышает технический и культурный уровень производственных, коммунальных и энергетических установок, позволяет повысить экономическую эффективность работы производства в целом.

Для газоснабжения жилых зданий, коммунальных и промышленных предприятий используют природные, искусственные и смешанные газы.

Применение газа в быту и промышленности в сравнении с твердым топливом в 4 – 5 раз эффективнее. Газ сгорает без образования дыма, в котором много продуктов неполного сгорания твердого и жидкого топлива, поэтому замена газом других видов топлива способствует очистке воздушного бассейна населенных пунктов.

В качестве топлива используют газы природных нефтяных и газовых месторождений, а также сжиженные углеводородные газы.

Для газоснабжения городов и промышленных предприятий в настоящее время широко применяют природные газы.

Природные газы можно подразделить на три группы:

– *газы*, добываемые *из чисто газовых месторождений*: они в основном состоят из метана и являются тощими или сухими, тяжелых углеводородов (от пропана и выше) сухие газы содержат менее 50 г/м<sup>3</sup>;

– **газы**, которые выделяются из скважин нефтяных месторождений совместно с нефтью, так называемые **попутные**: помимо метана они содержат значительное количество более тяжелых углеводородов (обычно свыше  $150 \text{ г/м}^3$ ) и являются жирными газами (смесь сухого газа, пропан-бутановой фракции и газового бензина);

– **газы**, которые добывают **из конденсатных месторождений**: они состоят из смеси сухого газа и паров конденсата, который выпадает при снижении давления (процесс обратной конденсации), пары конденсата представляют собой смесь паров тяжелых углеводородов, содержащих  $C_5$  и выше (бензина, лигроина, керосина).

**Добыча газа** производится на газовых месторождениях и называется промыслом. Выкидные линии, по которым газ выходит из скважины, соединяют с сепараторами, в которых он очищается от твердых и жидких механических примесей. Далее по промысловым газопроводам газ поступает в коллекторы и в промысловые газораспределительные станции (ГРС). Здесь газ вновь очищают в масляных пылеуловителях, осушают, одорируют и снижают давление газа до 5,4 – 5,7 МПа.

Природный газ не имеет запаха. Поэтому для своевременного выявления утечек газа ему придают запах – газ одорируют. В качестве одоранта применяют этилмеркаптан ( $C_2H_5SH$ ).

Для надежности газоснабжения и возможности транспортирования больших потоков газа современные магистральные газопроводы выполняют в две или несколько ниток. Газопровод заканчивается газораспределительной станцией, которая подает газ крупному городу или промышленному узлу. Газопроводы строят  $\varnothing$  1220 и 1420 мм. Для отключения отдельных участков газопроводов на ремонт или ликвидацию аварий предусматривается установка отключающей арматуры не реже чем через 25 км.

В пределах населенного пункта газ к потребителям подается по **газовым распределительным сетям**.

**В зависимости от максимального рабочего давления** газовые сети делятся на газопроводы:

- **высокого** давления **I ступени** (от 0,6 до 1,2 МПа);
- **высокого** давления **II ступени** (от 0,3 до 0,6 МПа);
- **среднего** давления (от 0,005 до 0,3 МПа);
- **низкого** давления (до 0,005 МПа).

К газопроводам низкого давления подключаются жилые и общественные здания, газопроводы среднего и высокого давления через газорегуляторные пункты питают сети низкого давления, а также крупных потребителей газа.

*По числу ступеней давления*, применяемых в газовых сетях, системы газоснабжения делят на *двухступенчатые*, состоящие из сетей низкого и среднего или низкого и высокого (до 0,6 МПа) давления, *трехступенчатые*, включающие газопроводы низкого, среднего и высокого (до 0,6 МПа) давления, и *многоступенчатые*, в которых газ подается по газопроводам низкого, среднего и высокого (до 0,6 и до 1,2 МПа) давления.

Применение той или иной схемы зависит от величины населенного пункта, планировки его застройки. В небольших населенных пунктах чаще применяют двухступенчатую, в крупных городах – трех- или многоступенчатую.

*Городские газопроводы* можно разделить на следующие три группы:

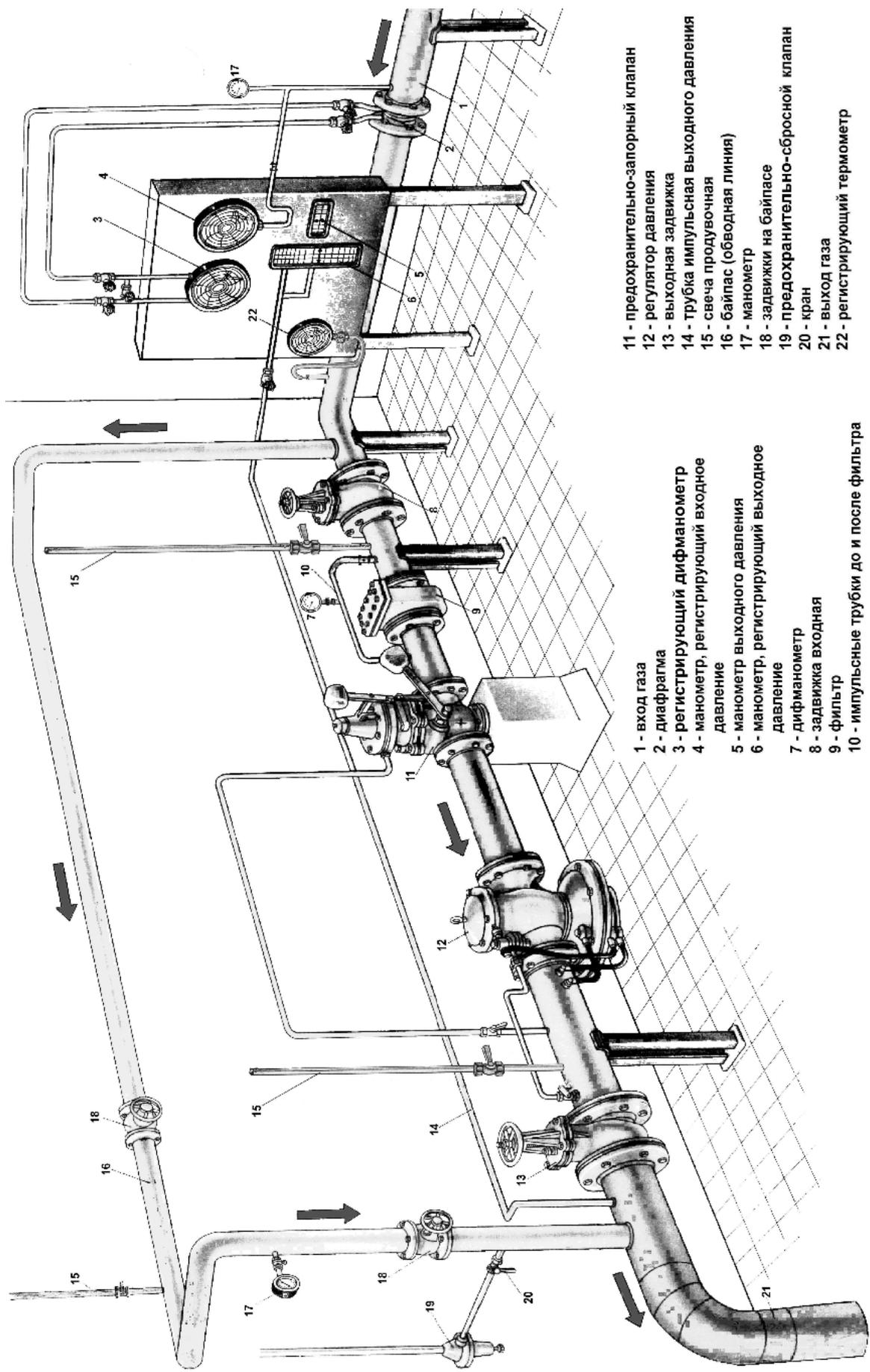
1) *распределительные газопроводы*, по которым газ транспортируют по снабжаемой газом территории и подают его промышленным потребителям, коммунальным предприятиям и в жилые дома;

2) *абонентские ответвления*, подающие газ от распределительных сетей к отдельному потребителю или к группе потребителей;

3) *внутридомовые газопроводы*, транспортирующие газ внутри здания и распределяющие его по отдельным газовым приборам.

**Газорегуляторные пункты (ГРП) и установки (ГРУ)** служат для снижения давления газа и поддержания его на необходимом заданном уровне. ГРП обычно сооружают для питания газом распределительных сетей, ГРУ – для питания отдельных потребителей. ГРП размещают в отдельно стоящих зданиях или шкафах снаружи здания, ГРУ – в помещениях предприятия где расположены агрегаты, использующие газ.

На рис. 5.9 показана схема помещения ГРП с установленным оборудованием. Газ высокого или среднего давления входит в ГРП и после отключающей задвижки проходит через фильтр, где очищается от пыли и механических примесей. Фильтр состоит из стального или чугунного корпуса, внутри которого вставляются сменные кассеты, заполненные фильтрующим материалом – конским волосом или стекловолокном. После фильтра газ через предохранительно-запорный клапан поступает в регулятор давления, где давление газа снижается до заданного. Предохранительно-запорный клапан предназначен для автоматического прекращения поступления газа в сеть низкого или среднего давления при превышении давления сверх заданного. После регулятора газ пониженного давления выходит через задвижку в городскую газораспределительную сеть соответствующего давления. Чтобы во время ремонта оборудования ГРП не было перерыва в газоснабжении, на технологической линии предусматривается обводной газопровод (байпас).



- 11 - предохранительно-запорный клапан
- 12 - регулятор давления
- 13 - выходная задвижка
- 14 - трубка импульсная выходного давления
- 15 - свеча продувочная
- 16 - байпас (обводная линия)
- 17 - манометр
- 18 - задвижка на байпасе
- 19 - предохранительно-сбросной клапан
- 20 - кран
- 21 - выход газа
- 22 - регистрирующий термометр

- 1 - вход газа
- 2 - диафрагма
- 3 - регистрирующий дифманометр
- 4 - манометр, регистрирующий входное давление
- 5 - манометр выходного давления
- 6 - манометр, регистрирующий выходное давление
- 7 - дифманометр
- 8 - задвижка входная
- 9 - фильтр
- 10 - импульсные трубки до и после фильтра

Рис. 5.9. Газорегуляторный пункт

При перекрытии задвижек 8 и 13 открытой задвижке 18 байпаса газ идет, минуя регулятор давления, в газораспределительную сеть. Для снижения давления газа в этом случае прикрывается задвижка 18.

На выходном газопроводе низкого давления после регулятора давления устанавливают гидравлический предохранительный клапан, который сбрасывает избыток газа в атмосферу, предотвращая повышение давления газа после регулятора.

Если избыток газа будет настолько велик, что пропускная способность предохранительного клапана будет недостаточной для его удаления, то срабатывает предохранительно-запорный клапан. Для замера давления в газопроводе до регулятора и после него служат показывающие и самопишущие манометры, устанавливаемые на щите.

В *систему газоснабжения здания* входят следующие элементы: ввод, распределительный газопровод, стояки, поэтажные подводы, запорная арматура, газовые приборы, в отдельных случаях – контрольно-измерительные устройства (рис. 5.10).

Внутри здания газопровод прокладывают, как правило, *открыто* и монтируют из стальных труб *на сварке* с разъемными резьбовыми или фланцевыми соединениями в местах установки запорной арматуры и газовых приборов, регуляторов давления. В производственных зданиях допускается скрытая прокладка участков труб в полу с заделкой их цементным раствором после окраски водостойкими красками или в каналах, засыпанных песком и перекрытых плитами. Запорную арматуру внутри зданий устанавливают на вводе, на ответвлениях к каждому газовому прибору или агрегату, перед газовыми горелками и запальниками, на продувочных трубопроводах, внизу каждого стояка, обслуживающего пять и более этажей. Для присоединения переносных и передвижных газовых приборов после отключающей арматуры допускается применение резиноканевых шлангов.

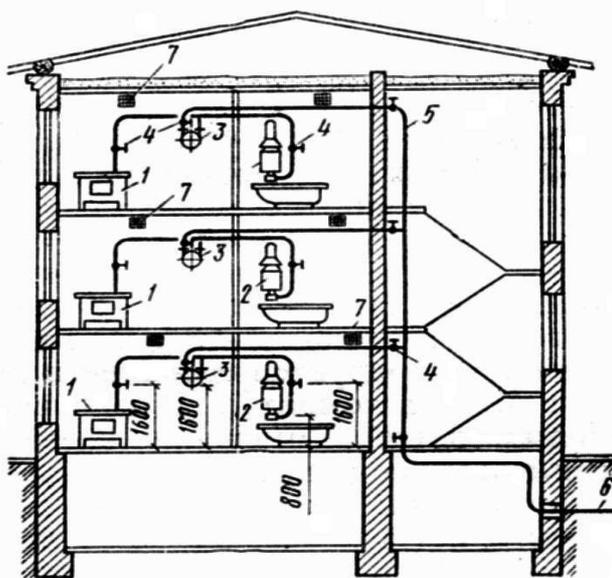


Рис. 5.10. Схема внутридомовой газовой сети  
 1 – газовая плита; 2 – газовая колонка; 3 – газовый счетчик; 4 – краны отключающие;  
 5 – газопровод; 6 – ввод газопровода;  
 7 – вытяжная вентиляция

Газопроводы крепят к стенам зданий с помощью хомутов, крючьев, подвесок, кронштейнов на расстоянии, обеспечивающем монтаж, ремонт и осмотр трубопроводов. Газопроводы, транспортирующие влажный газ, прокладывают с уклоном в сторону ввода.

На вводе вблизи распределительного трубопровода устанавливают главную отключающую запорную арматуру – пробковый кран или задвижку. От главного запорного крана на вводе до стояков прокладывают распределительный трубопровод, а от стояков делают подводы на каждом этаже к местам установки газовых приборов и технологического оборудования, потребляющих газ.

**Вводы** газопроводов устраивают в нежилые помещения, лестничные клетки, коридоры, кухни, в помещения с газовыми приборами или в изолированные помещения, оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией и отдельным входом и выходом.

Трубопровод ввода не разрешается прокладывать в помещения вентиляционных камер, шахты, каналы, помещения лифтов, машин и механизмов, складов. Трубопровод ввода прокладывают с уклоном не менее 0,002 в сторону, противоположную направлению движения газа.

В местах пересечения фундаментов, перекрытий, стен, перегородок, лестничных площадок газопроводы заключаются в **футляры** из стальных труб с кольцевым зазором не менее 5 – 10 мм и с возвышением над уровнем пола не менее чем на 30 мм. Зазор между трубой и футляром заделывают просмоленной паклей, резиновыми втулками или другими эластичными материалами. На этих участках не должно быть стыковых соединений. Длина футляра должна соответствовать полной толщине пересекаемой конструкции.

**Стояки** проходят в кухнях, коридорах, лестничных клетках, нежилых помещениях. В жилых помещениях, санузлах, ванных комнатах их прокладка запрещена. Заделка стыков труб в строительные конструкции не допускается.

Перед каждым газовым прибором должен быть установлен **отключающий кран** и **прибор учета расхода газа**.

Широкое развитие получило снабжение бытовых потребителей **сжиженными газами** (смесь пропана и бутана), которые могут использоваться для группового и индивидуального снабжения.

С нефтеперерабатывающих заводов сжиженный газ перекачивается насосами в емкости (железнодорожные и автомобильные цистерны). Из цистерн жидкий газ переливают в хранилища – подземные стальные резервуары. Из хранилищ сжиженный газ подают в автоцистерны и балло-

ны для перевозки к потребителям. В случае группового снабжения газ доставляется к месту потребления автоцистернами, из которых сливается в подземные резервуары. В резервуарах, так же как и в баллонах, происходит *регазификация* сжиженных газов, т.е. переход в газообразное состояние, в котором они и поступают к приборам, пройдя через регуляторы давления [20].

### **5.9. Обслуживание систем газоснабжения. Техника безопасности при строительстве и эксплуатации систем газоснабжения**

При строительстве и монтаже газопроводов, газовых приборов и агрегатов должны соблюдаться требования техники безопасности в строительстве [10, 11].

К газоопасным относятся работы, выполняемые при наличии в окружающей среде газа или при возможности его появления. Работы, связанные с присоединением к действующим газовым сетям, ликвидацией утечек газа, ремонтом оборудования на действующих газопроводах, ГРП и ГРУ, производятся в газоопасной среде.

Работы в газоопасных местах выполняют не менее, чем два слесаря. Место газоопасных работ ограждают и охраняют. Рабочих снабжают противогазами: при работе в колодцах и котлованах – шланговыми, при работе в помещениях – изолирующими.

При выполнении работ в колодцах и котлованах рабочие надевают пояса с веревками, концы которых держат наверху наблюдающие за производством работ. Работы по присоединению к действующим газопроводам выполняют организации, эксплуатирующие газовое хозяйство города, поселка, предприятия.

Газовую резку и сварку действующих газопроводов при ремонте или присоединении к ним новых газопроводов выполняют при давлении газа 200 – 1200 Па, которое проверяют в течение всего времени работы. Если давление становится ниже или выше указанных пределов, резку или сварку необходимо прекратить.

Газовую сеть принимает в эксплуатацию комиссия, назначаемая заказчиком. Комиссия проверяет соответствие газовой сети проекту и техническим условиям, качество работ, наличие актов на скрытые работы и проведение испытания, а также состояние арматуры и оборудования. Приемка в эксплуатацию оформляется актом специальной формы, к которому должна быть приложена соответствующая документация.

В населенных пунктах создается специальная служба эксплуатации газового хозяйства, которая ведет строгий контроль за состоянием всех элементов газового хозяйства и за выполнением «Правил безопасности в газовом хозяйстве». В службу эксплуатации входят: работники городского и районного управлений, обслуживающий персонал отдельных участков и объектов. Эксплуатацию систем газоснабжения жилых, общественных зданий и отдельных предприятий, осуществляют бригады специалистов-сантехников, хорошо знающих газовое хозяйство, правила эксплуатации, ремонта и техники безопасности.

Для успешной работы эксплуатационный персонал должен иметь необходимую техническую документацию, исполнительские чертежи, акты на скрытые работы, акты всех испытаний трубопроводов и оборудования, инструкции по эксплуатации и т.п.

Все оборудование и устройства газоснабжения зданий требуют систематической проверки, наблюдения и профилактического ухода (осмотра, чистки, покраски масляной краской, регулировки подачи первичного воздуха в горелки, наличия тяги в вентиляционных каналах и дымоходах). Неисправные или изношенные дефектные части отдельных элементов оборудования должны быть своевременно отремонтированы или заменены новыми. Периодически необходимо смазывать техническим вазелином краны, подтягивать накидные гайки, пробки. Газовое оборудование ремонтируют только после надежного отключения газопровода на вводе и при соблюдении действующих правил техники безопасности (включать электрические приборы, курить, зажигать огонь запрещается).

Профилактический осмотр газовых плит и скоростных проточных водонагревателей производят раз в два месяца. Газовые приборы с автоматическими устройствами (емкостные водонагреватели, отопительные печи и др.) осматриваются один раз в месяц.

Специально подготовленный обслуживающий персонал должен регулярно по графику проводить профилактическое обслуживание баллонных и резервуарных установок сжиженного газа.

Перед пуском и приемкой газовой установки в эксплуатацию необходимо выполнить тщательный осмотр всех элементов устройств, наличие окраски, пломбировки регуляторов давления, произвести контрольную опрессовку газопроводов давлением 4 кПа, чтобы падение давления не превышало 200 Па, продуть трубопроводы [20].

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

**Задача 1.** Определить толщину утеплителя (маты минераловатные  $\rho = 125 \text{ кг/м}^3$ ) и сопротивление теплопередаче наружной стены из кирпича силикатного  $\rho = 2000 \text{ кг/м}^3$  трехэтажного жилого дома, расположенного в г. Полоцке (рис. 1.1).

**Решение:** Термическое сопротивление слоя многослойной конструкции  $R_i, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ , определяется по формуле

$$R_i = \delta_i / \lambda_i,$$

где  $\delta_i$  – толщина слоя, м;

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции,  $\text{Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ .

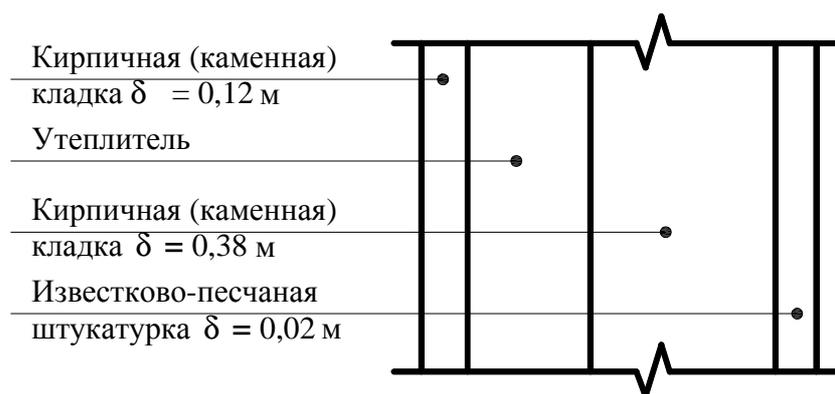


Рис. 1.1. Конструкция наружной стены из штучных материалов

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ , определяется по формуле

$$R = \frac{1}{\alpha_в} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \frac{1}{\alpha_н},$$

где  $R_1, R_2, R_3, R_4$  – термические сопротивления отдельных слоев наружной стены,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ ;

$\alpha_в$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ ;

$\alpha_н$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий,  $\text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$ .

По [12, прил. А] по параметрам Б [12, табл. 4.2], принимаем значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·°С), и теплоусвоения  $s$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), для каждого слоя наружной стены (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Значения коэффициентов теплопроводности и теплоусвоения для каждого слоя конструкции наружной стены

№ п/п	Материал слоя	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С)	Коэффициент теплоусвоения $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1	Кирпич силикатный ( $\rho = 2000 \text{ кг/м}^{30}$ )	1,63	12,13
2	Маты минераловатные ( $\rho = 125 \text{ кг/м}^3$ )	0,051	0,66
3	Известково-песчаная штукатурка	0,81	9,76

Принимаем по [12, табл. 5.4] коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности наружной стены  $\alpha_g = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}$ , по [12, табл. 5.7] коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения  $\alpha_n = 23 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}$ .

Нормативное сопротивление теплопередаче наружной стены из штучных материалов принимаем равным  $R_{T.норм}^{н.с.} = 3,2 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт}$  [12, табл. 5.1].

Расчетное сопротивление теплопередаче наружной стены, м<sup>2</sup>·°С/Вт, определяется по формуле

$$R_{T.расч}^{н.с.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,63} + \frac{x}{0,051} + \frac{0,38}{1,63} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23}.$$

Приравняем данное выражение к нормативному сопротивлению теплопередаче и выразим толщину утеплителя

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,63} + \frac{x}{0,051} + \frac{0,38}{1,63} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} = 3,2 \text{ Вт}; \quad x = 0,137 \text{ м.}$$

Для расчета принимаем толщину утеплителя равной 0,15 м (округленную в большую сторону с кратностью до 0,05 м).

Определим действительное сопротивление теплопередаче наружной стены

$$R_{T.расч}^{н.с.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{1,63} + \frac{0,15}{0,051} + \frac{0,38}{1,63} + \frac{0,02}{0,81} + \frac{1}{23} = 3,43 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт.}$$

Тепловая инерция ограждения  $D$  определяется по формуле

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + R_3 s_3 + R_4 s_4,$$

где  $R_1, R_2, R_3, R_4$  – термические сопротивления отдельных слоев конструкции наружной стены, м<sup>2</sup>·°С/Вт;

$s_1, s_2, s_3, s_3$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Тепловую инерцию наружной стены  $D$ , определим по формуле

$$D = \frac{0,12}{1,63} \cdot 12,13 + \frac{0,15}{0,051} \cdot 0,66 + \frac{0,38}{1,63} \cdot 12,13 + \frac{0,02}{0,81} \cdot 9,76 = 5,9.$$

Так как  $D = 5,9$  входит в предел от 4 до 7 [12, табл. 5.2], принимаем температуру наружного воздуха равной средней температуре наиболее холодных трех суток (среднее арифметическое между температурой наиболее холодных суток и температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92) [6, табл. 3.1].

$$\text{Для г. Полоцка } t_H = \frac{-30 + (-25)}{2} = -27,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R$  ограждающей конструкции должно быть не менее требуемого сопротивления  $R^{mp}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, определяемого по формуле

$$R_{T.mp} = \frac{n(t_g - t_H)}{\alpha_g \Delta t_g},$$

где  $t_g$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$t_H$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С;

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху;

$\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°С);

$\Delta t_g$  – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С.

Коэффициент  $n$ , учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, для наружной стены, принимается равным 1 [12, табл. 5.3].

Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_g = 18$  °С [12, табл. 4.1].

Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности  $\Delta t_g$ , °С, в соответствии с [12, табл. 5.5] принимаем для наружной стены равным 6.

Требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены из штучных материалов, определим по формуле

$$R_{T.mp}^{н.с.} = \frac{1 \cdot (18 + 27,5)}{8,7 \cdot 6} = 0,88 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Согласно [13, пункт 5.1], должно выполняться следующее условие

$$R_{T.норм}^{н.с.} \leq R_{T.расч}^{н.с.}$$

$$3,2 \leq 3,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Следовательно, для составления теплового баланса, термическое сопротивление наружной стены принимаем  $R_T^{н.с.} = 3,43 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$

**Задача 2.** Определить толщину утеплителя (пенополиуретан  $\rho = 80 \text{ кг/м}^3$ ) и сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия трехэтажного жилого дома, расположенного в г. Полоцке. Конструкция ограждения приведена на рис. 2.1.

**Решение:** По [12, прил. А ] по параметрам А [12, табл. 4.2], принимаем значения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$ , Вт/м·°С, и теплоусвоения  $s$ , Вт/м·°С, для каждого слоя чердачного перекрытия (табл. 2.1).

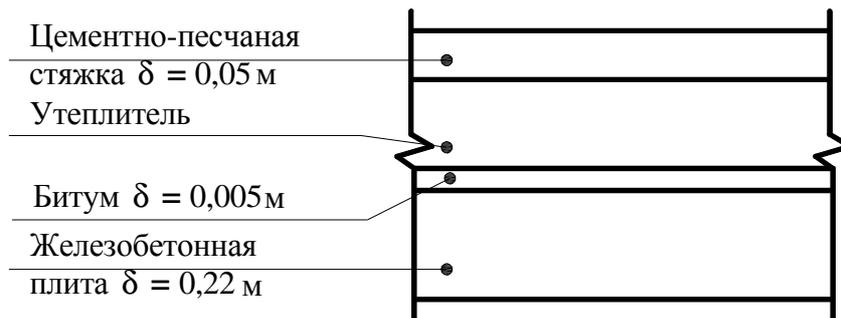


Рис. 2.1. Конструкция чердачного перекрытия

Принимаем по [12, табл. 5.4] коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности  $\alpha_{в} = 8,7$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С) [12, табл. 5.7], коэффициент теплоотдачи наружной поверхности чердачного перекрытия  $\alpha_{н} = 12$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Таблица 2.1

Значения коэффициентов теплопроводности и теплоусвоения для каждого слоя конструкции чердачного перекрытия

№ п/п	Материал слоя	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·°С)	Коэффициент теплоусвоения $s$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1	Известково-песчаная стяжка	0,76	9,6
2	Пенополиуретан ( $\rho = 80 \text{ кг/м}^3$ )	0,05	0,67
3	Битум	0,27	6,8
4	Железобетонная плита	1,92	17,96

Нормативное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия принимаем равным  $R_{T,норм}^{ч.н.} = 6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , [13, табл. 5.1].

Расчетное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяется по формуле

$$R_{T,расч}^{ч.н.} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_н} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{x}{0,05} + \frac{0,005}{0,27} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12}.$$

Приравняем данное выражение к нормативному сопротивлению теплопередаче и выразим толщину утеплителя

$$\frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{x}{0,05} + \frac{0,005}{0,27} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12} = 6,0; \quad x = 0,28 \text{ м}.$$

Для расчета принимаем толщину утеплителя равной 0,3 м (округленную в большую сторону с точностью до 0,05 м).

Определим расчетное сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия

$$R_{T,расч}^{ч.н.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{0,76} + \frac{0,3}{0,05} + \frac{0,005}{0,27} + \frac{0,22}{1,92} + \frac{1}{12} = 6,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

Тепловую инерцию чердачного перекрытия  $D$ , определим по формуле

$$D = \frac{\delta_1}{\lambda_1} \cdot s_1 + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \cdot s_2 + \frac{\delta_3}{\lambda_3} \cdot s_3 + \frac{\delta_4}{\lambda_4} \cdot s_4 =$$

$$= \frac{0,05}{0,76} \cdot 9,6 + \frac{0,3}{0,05} \cdot 0,67 + \frac{0,005}{0,27} \cdot 6,8 + \frac{0,22}{1,92} \cdot 17,98 = 6,85.$$

Так как значение  $D = 6,85$  входит в предел от 4 до 7 [12, табл. 5.2], принимаем температуру наружного воздуха равной средней температуре наиболее холодных трех суток (среднее арифметическое между температурой наиболее холодных суток и температурой наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92).

$$\text{Для г. Полоцка } t_n = \frac{-30 + (-25)}{2} = -27,5 \text{ °C}.$$

Коэффициент  $n$ , учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, для чердачного перекрытия, принимается равным 0,9 [12, табл. 5.3].

Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_в = 18, \text{ °C}$  [12, табл. 4.1].

Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности  $\Delta t_g$ , °С, в соответствии с [12, табл. 5.5] принимаем для чердачного перекрытия равным 4.

Требуемое сопротивление теплопередаче для чердачного перекрытия,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ , определим по формуле

$$R_{T.mp}^{ч.н.} = \frac{n(t_g - t_H)}{\alpha_g \Delta t_g} = \frac{0,9 \cdot (18 + 27,5)}{8,7 \cdot 4} = 1,19, \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}.$$

Согласно [13, пункт 5.1], должно выполняться следующее условие

$$R_{T.норм}^{ч.н.} \leq R_{T.расч}^{ч.н.}$$

$$6,0 \leq 6,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}.$$

Следовательно, для составления теплового баланса, термическое сопротивление чердачного перекрытия принимаем  $R_T^{ч.н.} = 6,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ .

**Задача 3.** Проверить наличие конденсации влаги на внутренней поверхности наружной стены (расчетные параметры приняты из условия задачи 1).

**Решение:** Для наружной стены по принятому значению сопротивления теплопередаче  $R$  выполним проверку на отсутствие конденсации влаги на ее поверхности. Для выполнения этого условия температура внутренней поверхности ограждающей конструкции должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной зимней температуре наружного воздуха.

Температура внутренней поверхности  $\tau_g$ , °С, ограждающей конструкции определяется по формуле

$$\tau_g = t_g - \frac{t_g - t_H}{R \cdot \alpha_g},$$

где  $t_g = 18 \text{ °С}$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

$t_H = -25 \text{ °С}$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С, принимаемая равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [6, табл. 3.1];

$R$  – термическое сопротивление ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ ;

$\alpha_g$  – коэффициент теплоотдаче внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С})$ , принимаемый по табл. 5.4 [12];  
 $\alpha_g = 8,7 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°С}$ .

Полученное значение  $\tau_g$  должно быть больше температуры точки росы  $\tau_p$ , которая определяется по формуле

$$\tau_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e_g)^2,$$

где  $e_g$  – упругость водяных паров в воздухе помещения, Па, определяемая по формуле

$$e_g = \frac{\varphi}{100} \cdot [477 + 133,3 \cdot (1 + 0,14 \cdot t_g)^2],$$

$\varphi$  – относительная влажность воздуха в помещении, %, в жилых домах принимается равной 55 %;

$t_g$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С.

Определим упругость водяных паров в воздухе помещения

$$e_g = \frac{55}{100} \cdot [477 + 133,3 \cdot (1 + 0,14 \cdot 18)^2] = 1170 \text{ Па.}$$

Температура точки росы составит

$$\tau_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot 1170)^2 = 8,94 \text{ °С.}$$

Определим температуру внутренней поверхности наружной стены

$$\tau_g = 18 - \frac{18 + 25}{2,45 \cdot 8,7} = 16 \text{ °С.}$$

По полученным значениям видно, что температура внутренней поверхности ограждающей конструкции выше температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной зимней температуре наружного воздуха

$$\tau_g > \tau_p, \quad 16 > 8,94 \text{ °С.}$$

Следовательно, конденсации влаги на внутренней поверхности наружной стены не будет.

**Задача 4.** Составить тепловой баланс для жилой комнаты 1 в трехэтажном чердачном жилом доме, расположенном в г. Полоцке (рис. 4.1). Высота этажа 2,8 м. Ориентация здания – запад. Сопротивление теплопередаче ограждений принять из условий задач 1 – 3.

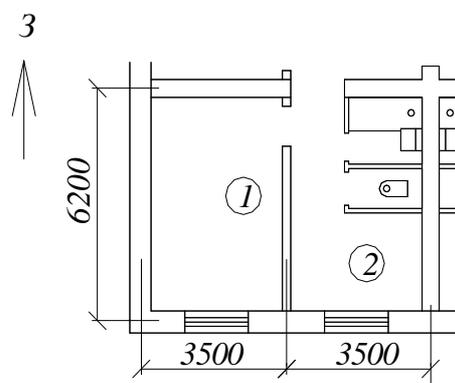


Рис. 4.1. Фрагмент плана

**Решение:** Потери теплоты  $Q_{огр}$ , Вт, через отдельную ограждающую конструкцию определяются по формуле

$$Q_{огр} = \frac{F_p}{R_T} \cdot (t_g - t_n) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n,$$

где  $F_p$  – площадь ограждающей конструкции, м<sup>2</sup>;

$R_T$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, (м<sup>2</sup>·°С)/Вт;

$t_g$  – температура внутреннего воздуха, °С;

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха, принимаемая равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, °С;

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

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху.

По [8, прил. В] принимаем температуру внутреннего воздуха для жилой комнаты равной  $t_g = 20$  °С, так как комната 1 является угловой. Для составления теплового баланса принимаем температуру наружного воздуха равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92. Для г. Полоцка  $t_n = -25$  °С [6, табл. 3.1].

В жилой комнате 1 имеют место потери теплоты через следующие наружные ограждения:

- на первом этаже: наружные стены, световые проемы, пол (перекрытие над неотапливаемым подвалом);
- на промежуточном этаже: наружные стены и световые проемы;
- на верхнем этаже: наружные стены, световые проемы, потолок (чердачное перекрытие).

Линейные размеры наружных ограждений определяем по чертежу в соответствии с рекомендациями [16, с. 35] и заносим их в гр. 6 табл. 4.1. Для того чтобы дважды не учитывать потери теплоты через световые проемы, площадь световых проемов вычитается из площади наружной стены, в которой они располагаются. В результате этого расчетная площадь такой наружной стены становится меньше на величину площади светового проема.

Сопротивления теплопередаче наружных стен и световых проемов принимаем равными нормативным сопротивлениям теплопередаче, значения которых приведены в табл. 5.1 [13] и заносим в гр. 10 табл. 4.1.

Коэффициент  $n$  в соответствии с [12, табл. 5.3] принимаем равным: для наружных стен, окон и чердачного перекрытия равны 1, для перекрытия над подвалом равным 0,6 (гр. 12 табл. 4.1).

Добавочные потери теплоты в данном помещении вводятся на ориентацию ограждений (северо-запад, северо-восток, север и восток –  $\beta = 0,1$ ; запад и юго-восток –  $\beta = 0,05$ ; на юг и юго-запад –  $\beta = 0$ ) и для угловых помещений по  $\beta = 0,05$  на каждую стену [7, прил. Ж] и заносятся в гр. 13 – 15 табл. 4.1.

Так потери теплоты через наружную стену на первом этаже, ориентированную на юг, составят

$$Q_{огр} = \frac{19,53}{3,43} \cdot (20 + 25) \cdot (1 + 0,05) \cdot 1 = 269,0 \text{ Вт.}$$

Потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха, Вт, определяем по формуле [7]

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_n \cdot c \cdot (t_в - t_n),$$

где  $L$  – расход удаляемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, для жилых зданий принимаемый равным 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилых помещений и кухни;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/кг·°С;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>, определяемая по формуле

$$\rho = \frac{353}{273 + t}.$$

$$\rho = \frac{353}{273 - 25} = 1,4 \text{ кг/м}^3.$$

Определяем потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха и заносим в гр.17 табл. 4.1. Для помещения 1 на всех этажах это значение будет равно

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot (3 \times 19,8) \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot (20 + 25) = 1047,8 \text{ Вт.}$$

При составлении теплового баланса для жилых зданий учитываются бытовые теплопоступления в кухнях и жилых комнатах в размере 21 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади пола, то есть

$$Q_{быт} = 21 \cdot F_n,$$

где  $F_n$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>.

Определим теплоступления от бытовых приборов, Вт, и занесем в гр. 18 табл. 4.1. Для помещения 1 на всех этажах

$$Q_{\text{быт}} = 21 \cdot 19,8 = 415,8 \text{ Вт.}$$

Суммируя потери теплоты через все ограждения (гр. 16) и потери теплоты на инфильтрацию (гр. 17), и отнимая от этой суммы теплоступления от бытовых приборов (гр. 18), определяем теплонедостатки в помещении 1, значение которых заносим в гр. 19 табл. 4.1.

На первом этаже

$$Q_{\text{нед}} = (269 + 147 + 105,6 + 213,8) + 1047,8 - 415,8 = 1367,4 \text{ Вт.}$$

Теплонедостатки в помещении компенсируются отопительными приборами. Поэтому тепловая нагрузка отопительных приборов, установленных в данном помещении, будет равна его теплонедостаткам.

**Задача 5.** Произвести гидравлический расчет двухтрубной системы отопления. Параметры теплоносителя в трубопроводах  $t_2 - t_0 = 95 - 70$  °С. Схема системы приведена на рис. 5.1.

**Решение:** Неблагоприятным циркуляционным кольцом является кольцо через стояк № 11, так как он является наиболее удаленным от теплового пункта. Расчет ведется через прибор верхнего этажа на стояке № 11.

Для систем с искусственной циркуляцией величина располагаемого давления определяется по формуле

$$\Delta p_p = \Delta p_n + B(\Delta p_{e,np} + \Delta p_{e,mp}),$$

где  $\Delta p_n$  – искусственное давление, создаваемое элеватором, Па, ( $\Delta p_n = 10 \div 12$  кПа);

$\Delta p_{e,np}$  – давление, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах, Па;

$\Delta p_{e,mp}$  – давление, вызываемое охлаждением воды в теплопроводах, Па, принимаемое по [16, рис. II.1] или по прил. Б;

$B$  – коэффициент, определяющий долю максимального естественного давления, которую целесообразно учитывать в расчетных условиях; для двухтрубной системы  $B = 0,4$  [16].

Таблица 4.1

## Тепловой баланс помещений

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Добавочные потери теплоты $\beta$ в долях единиц			16	17	18	19
												на стороны света	прочие	сумма				
101	ЖК	20	НС	Ю	6,3×3,1	19,53		19,53	3,43	45	1	0	0,05	0,05	269,0			
			НС	В	3,8×3,1	11,78	2,04	9,74	3,43	45	1	0,1	0,05	0,15	147,0			
			ТО	В	1,7×1,2	2,04		2,04	1	45	1	0,1	0,05	0,15	105,6			
201	ЖК	20	ПЛ	-	6,0×3,3	19,8		19,8	2,5	45	0,6	-	-	213,8	1047,8	415,8	1367,4	
			НС	Ю	6,3×2,8	17,64		17,64	3,43	45	1	0	0,05	0,05	243,0			
			НС	В	3,8×2,8	10,64	2,04	8,6	3,43	45	1	0,1	0,05	0,15	129,8			
301	ЖК	20	ТО	В	1,7×1,2	2,04		2,04	1	45	1	0,1	0,05	0,15	105,6	1047,8	415,8	1110,3
			НС	Ю	6,3×2,8	17,64		17,64	3,43	45	1	0	0,05	0,05	269,0			
			НС	В	3,8×2,8	10,64	2,04	8,6	3,43	45	1	0,1	0,05	0,15	147,0			
	ЖК	20	ТО	В	1,7×1,2	2,04		2,04	1	45	1	0,1	0,05	0,15	105,6			
			ПТ	-	6,0×3,3	19,8		19,8	6,3	45	1	-	-	-	141,4	1047,8	415,8	1295,0



При расчете трубопроводов по методу удельных потерь давления для предварительного выбора диаметров участков неблагоприятного циркуляционного кольца находят ориентировочное значение удельной потери давления от трения при движении теплоносителя по трубам по формуле

$$R_{cp} = \frac{0,9 \cdot \Delta p_p \cdot K}{\sum l},$$

где  $K$  – доля потерь давления на трение, принимаемая для систем с искусственной циркуляцией, равной 0,65 [16];

$\sum l = 57,3$  м – сумма длин участков расчетного кольца.

$$R_{cp} = \frac{0,9 \cdot 10792,2 \cdot 0,65}{57,3} = 110 \text{ Па/м.}$$

Приведем расчет участка № 1:

Тепловая нагрузка участка равна тепловой мощности системы отопления здания  $Q_{уч1} = Q_c = 41787$  Вт. Длина участка 12,6 м. Расход теплоносителя на участке:

$$G_{уч1} = \frac{0,86 \cdot Q_{уч1}}{t_2 - t_o} = \frac{0,86 \cdot 41787}{95 - 70} = 1437,5 \text{ кг/ч.}$$

Используя [16, табл. II.1] или прил. В по расходу теплоносителя  $G_{уч1} = 1437,5$  кг/ч с учетом величины  $R_{cp} = 122$  Па/м принимаем диаметр участка №1  $\varnothing 25$  мм. Тогда скорость теплоносителя в трубопроводе составит  $v = 0,665$  м/с, а потери давления от трения  $R = 279$  Па/м. Потери давления по длине на участке № 1

$$Rl = 279 \cdot 12,6 = 3515,4 \text{ Па.}$$

На участке находятся 3 отвода под  $90^\circ$ , по [16, табл. II.11] или прил. Г сумма коэффициентов сопротивления равна  $\sum \zeta = 1 \times 3 = 3$ . Потери давления в местных сопротивлениях:

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 3 \cdot \frac{978,5 \cdot 0,665^2}{2} = 649,2 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке № 1 составят:

$$Rl + Z = 3515,4 + 649,2 = 4164,6 \text{ Па.}$$

Аналогично рассчитываются оставшиеся участки циркуляционного кольца. Расчет значений коэффициентов местных сопротивлений приведен в табл. 5.1.

Таблица 5.1

## Коэффициенты местных сопротивлений на участках

№ участка	Вид местного сопротивления	Значение КМС	Сумма КМС на участке
Участок 1	– 3 отвода 90°	3 × 1 = 3	Σξ = 3
Участок 2	– тройник на ответвление	1,5	Σξ = 1,5
Участок 3	– тройник проходной	1	Σξ = 1
Участок 4	– вентиль обыкновенный – тройник на ответвление	16 1,5	Σξ = 17,5
Участок 5	– тройник проходной	1	Σξ = 1
Участок 6	– тройник на ответвление – 2 отвода 90° – вентиль обыкновенный – тройник проходной	1,5 2 × 1,5 = 3 16 1	Σξ = 21,5
Участок 7	– тройник на ответвление – радиатор двухколонный – отвод 90° – тройник на противотоке	1,5 2 1 3	Σξ = 7,5
Участок 8	– тройник на противотоке	3	Σξ = 3
Участок 9	– тройник на противотоке – 2 отвода 90° – кран проходной пробковый – тройник проходной	3 2 × 1,5 = 3 4 1	Σξ = 11
Участок 10	– тройник на противотоке	3	Σξ = 3
Участок 11	– тройник на противотоке – кран проходной пробковый	3 4	Σξ = 7
Участок 12	– тройник на противотоке	3	Σξ = 3
Участок 13	– тройник на противотоке	3	Σξ = 3
Участок 14	– отвод 90°	1	Σξ = 1

Результаты гидравлического расчета сводятся в табл. 5.2.

Суммируя потери давления на трение и в местных сопротивлениях, определяют потери давления на участке, а затем, суммируя потери давления на расчетных участках, получают потери давления в кольце, которые должны быть в пределах 90 % располагаемого давления.

После заполнения табл. 5.2 проверяется выполнение условия

$$\frac{\Delta p_p - \sum (Rl_i + Z_i)}{\Delta p_p} \cdot 100\% = \frac{10792,2 - 9934,9}{10792,2} \cdot 100\% = 7,9\% \leq 10\% .$$

Так как условие выполняется, то гидравлический расчет неблагоприятного кольца системы отопления произведен верно.

Таблица 5.2

## Гидравлический расчет трубопроводов

Номера участков	Тепловая нагрузка на участке $Q_i$ , Вт	Расход воды на участке $G_i$ , кг/ч	Длина участка $l$ , м	Диаметр трубопровода $d$ , мм	Скорость движения воды $v$ , м/с	Потери давления от трения на 1 погонный метр $R$ , Па/м	Потери давления от трения на участке $Rl$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений	Динамическое давление $P_0$ , Па	Потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	Сумма потерь давления участка $Rl+Z$ , Па
1	41787	1437,5	12,6	25	0,665	279	3515,4	3	216,4	649,2	4164,6
2	25428	874,7	4,2	25	0,405	108,1	454,0	1,5	80,2	120,3	574,3
3	22093	760,0	0,5	25	0,349	81,2	40,6	1	59,6	59,6	100,2
4	11108	382,1	0,9	20	0,291	77,8	70,0	17,5	41,4	724,5	794,5
5	7428	255,5	3,2	15	0,345	161	515,2	1	58,2	58,2	573,4
6	3173	109,2	9,2	15	0,146	32	294,4	21,5	10,4	223,6	518,0
7	1046	36,0	4,3	15	0,048	3,1	13,3	7,5	1,1	8,3	21,6
8	2057	70,8	3,1	15	0,095	14,5	45,0	3	4,4	13,2	58,2
9	3173	109,2	7,8	15	0,146	32	249,6	11	10,4	114,4	364,0
10	7428	255,5	3,2	15	0,345	161	515,2	3	58,2	174,6	689,8
11	11108	382,1	0,9	20	0,291	77,8	70,0	7	41,4	289,8	359,8
12	22093	760,0	1	25	0,349	81,2	81,2	3	59,6	178,8	260,0
13	25428	874,7	4,6	25	0,405	108,1	497,3	3	80,2	240,6	737,9
14	41787	1437,5	1,8	25	0,665	279	502,2	1	216,4	216,4	718,6
$\Sigma$			57,3								9934,9

**Задача 6.** Произвести гидравлический расчет однотрубной системы отопления с нижней разводкой. Параметры теплоносителя в системе 105 – 70 °С. Схема системы представлена на рис. 6.1.

**Решение:** Неблагоприятным циркуляционным кольцом в данной схеме является кольцо через стояк № 1, так как он является наиболее удаленным от теплового пункта.

Расход воды через отопительный стояк  $G_{cm}$ , кг/ч, определяется по формуле

$$G_{cm} = \frac{0,86 \cdot Q_{cm}}{t_2 - t_0},$$

где  $Q_{cm}$  – тепловая нагрузка стояка, Вт.



Плотность воды в зависимости от ее температуры определяется по формуле

$$\rho = 1000,3 - 0,06 \cdot t - 0,0036 \cdot t^2,$$

где  $t$  – температура воды, °С.

$$\rho_{см1(n)} = 1000,3 - 0,06 \cdot 98 - 0,0036 \cdot 98^2 = 959,8 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{см2(n)} = 1000,3 - 0,06 \cdot 92,5 - 0,0036 \cdot 92,5^2 = 963,9 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{см2(o)} = 1000,3 - 0,06 \cdot 80,4 - 0,0036 \cdot 80,4^2 = 972,2 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{см1(o)} = 1000,3 - 0,06 \cdot 75,9 - 0,0036 \cdot 75,9^2 = 975 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_n = 1000,3 - 0,06 \cdot 105 - 0,0036 \cdot 105^2 = 954,3 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_o = 1000,3 - 0,06 \cdot 70 - 0,0036 \cdot 70^2 = 978,5 \text{ кг/м}^3.$$

Для систем с искусственной циркуляцией величина располагаемого давления определяется по формуле

$$\Delta p_p = \Delta p_n + B(\Delta p_{e.np} + \Delta p_{e.mp}),$$

где  $\Delta p_n$  – искусственное давление, создаваемое элеватором, Па,  
 $\Delta p_n = 10000$  Па;

$\Delta p_{e.np}$  – давление, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах, Па;

$\Delta p_{e.mp}$  – давление, вызываемое охлаждением воды в трубопроводах, Па, принимаемое по [16, табл. II.1] или по прил. Б;

$B$  – коэффициент, определяющий долю максимального естественного давления, которую целесообразно учитывать в расчетных условиях; для однотрубной системы  $B = 1$ .

Величина естественного давления, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах, Па, для вертикальной однотрубной системы с опрокинутой циркуляцией рассчитывается следующим образом

$$\Delta p_{e.np} = h_1 \cdot g \cdot (\rho_{см1(o)} - \rho_{см1(n)}) + h_2 \cdot g \cdot (\rho_{см2(o)} - \rho_{см2(n)}) + h_n \cdot g \cdot (\rho_o - \rho_n)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_{см1(n)}, \rho_{см2(n)}$  – плотность воды на соответствующем участке подъемной части стояка, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{см1(o)}, \rho_{см2(o)}$  – плотность воды на соответствующем участке опускной части стояка, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_o, \rho_n$  – плотности, соответственно обратной и горячей воды, кг/м<sup>3</sup>;

$h_1, h_2$  – вертикальные расстояния для систем отопления со стояками проточными регулируемые от центра приборов одного этажа до центра приборов следующего этажа, м;

$h_n$  – вертикальное расстояние от середины элеватора до центра прибора нижнего этажа, м

$$\Delta p_{e.np} \Delta P_{enp} = 3,1 \cdot 9,8 \cdot (972,2 - 959,8) + 3,1 \cdot 9,8 \cdot (975 - 963,9) + 1,6 \cdot 9,8 \cdot (978,5 - 954,3) = 1093 \text{ Па.}$$

Тогда располагаемое давление в системе составит

$$\Delta p_p \Delta P_p = 10000 + 1 \cdot (1093 + 100) = 11193 \text{ Па.}$$

При расчете трубопроводов по методу удельных потерь давления для предварительного выбора диаметров участков неблагоприятного циркуляционного кольца находят ориентировочное значение удельной потери давления от трения при движении теплоносителя по трубам по формуле:

$$R_{cp} = \frac{0,9 \cdot \Delta p_p \cdot K}{\sum l},$$

где  $K$  – доля потерь давления на трение, принимаемая для систем с искусственной циркуляцией, равной 0,65 [16];

$\sum l = 51,1$  м – сумма длин участков расчетного кольца.

$$R_{cp} = \frac{0,9 \cdot 11193 \cdot 0,65}{51,1} = 127,8 \text{ Па/м.}$$

Приведем пример расчета для участка № 2:

Тепловая нагрузка участка равна сумме нагрузок стояков 1 – 5 системы отопления здания  $Q_{уч2} = \sum_{cm1}^{cm5} Q = 25803$  Вт. Длина участка 6,2 м. Расход теплоносителя на участке:

$$G_{уч2} = \frac{0,86 \cdot Q_{уч2}}{t_2 - t_o} = \frac{0,86 \cdot 25803}{105 - 70} = 634,0 \text{ кг/ч.}$$

Используя [16, табл. II.1] или по прил. В по расходу теплоносителя  $G_{уч2} = 634,0$  кг/ч с учетом величины  $R_{cp} = 142,4$  Па/м принимаем диаметр участка № 2  $\varnothing 20$  мм. Тогда скорость теплоносителя в трубопроводе составит  $v = 0,478$  м/с, а потери давления от трения  $R = 218$  Па/м. Потери давления по длине на участке № 2:

$$Rl = 218 \cdot 6,2 = 1351,6 \text{ Па.}$$

Все местные сопротивления, которые располагаются на стыках двух участков, относятся к участкам с меньшим расходом. На участке № 2 находится тройник на ответвление, по [16, табл. П.11] или по прил. Г коэффициент местного сопротивления равен  $\xi = 1,5$ . Потери давления в местных сопротивлениях на участке 2:

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} = 1,5 \cdot \frac{978,5 \cdot 0,478^2}{2} = 460,83 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке № 2 составят:

$$Rl + Z = 1351,6 + 460,83 = 1519,28 \text{ Па.}$$

Аналогично рассчитываются оставшиеся участки циркуляционного кольца. Расчет значений коэффициентов местных сопротивлений приведен в табл. 6.1. Результаты гидравлического расчета сведены в табл. 6.2.

Таблица 6.1

Коэффициенты местных сопротивлений на участках

№ участка	Вид местного сопротивления	Значение КМС	Сумма КМС на участке
Участок 2	– тройник на ответвление	1,5	$\Sigma \xi = 1,5$
Участок 3	– тройник проходной – вентиль обыкновенный	1,5 16	$\Sigma \xi = 17,5$
Участок 4	– 9 тройников на проходе – 14 отводов 90° – 6 радиаторов двухколонных – 6 кранов трехходовых при прямом проходе – тройник на противотоке – вентиль обыкновенный – кран проходной пробковый	$\xi = 1 \times 9 = 9$ $\xi = 1,5 \times 14 = 21$ $\xi = 2 \times 6 = 12$ $\xi = 2 \times 6 = 12$ $\xi = 3$ $\xi = 16$ $\xi = 4$	$\Sigma \xi = 77$
Участок 5	– тройник на противотоке – кран проходной пробковый	$\xi = 3$ $\xi = 4$	$\Sigma \xi = 7$
Участок 6	– тройник на противотоке	$\xi = 3$	$\Sigma \xi = 3$

Суммируя потери давления на расчетных участках, получают потери давления в кольце, которые должны быть в пределах 90% располагаемого давления. После заполнения табл. 6.2 проверяется выполнение условия

$$\frac{\Delta p_p - \sum (Rl + Z)}{\Delta p_p} \cdot 100\% = \frac{11193 - 10169,81}{11193} \cdot 100\% = 9,1 \leq 10\% .$$

Так как условие выполняется, то гидравлический расчет неблагоприятного кольца системы отопления произведен верно.

Таблица 6.2

## Гидравлический расчет трубопроводов

Номера участков	Тепловая нагрузка на участке $Q_i$ , Вт	Расход воды на участке $G_i$ , кг/ч	Длина участка $l$ , м	Диаметр трубопровода $d$ , мм	Скорость движения воды $v$ , м/с	Потеря давления от трения на 1 погонный метр $R$ , Па/м	Потеря давления от трения на участке $Rl$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений	Динамическое давление $P_0$ , Па	Потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	Сумма потерь давления участка $Rl+Z$ , Па
1	52609	1292,7	1,4	25	0,589	223	312,20		169,73	0,00	312,20
2	25803	634,0	6,2	20	0,478	218	1351,60	1,5	111,79	167,68	1519,28
3	12593	309,4	5,6	20	0,232	52	291,20	17,5	26,33	460,83	752,03
4	8040	197,6	24,5	15	0,269	99	2425,50	77	35,40	2726,00	5151,50
5	12593	309,4	6,1	20	0,232	52	317,20	7	26,33	184,33	501,53
6	25803	634,0	6	20	0,478	218	1308,00	3	111,79	335,36	1643,36
7	52609	1292,7	1,3	25	0,589	223	289,90		169,73	0,00	289,90
			51,1								10169,81

**Задача 7.** Расставить и рассчитать отопительные приборы в жилой комнате 1 трехэтажного жилого дома, расположенного в г. Полоцке (см. задачу 4). В качестве отопительных приборов установить радиаторы чугунные типа 2К-60П-500. Система отопления – двухтрубная.

**Решение:** Отопительные приборы размещаем в помещении под оконным проемом (рис. 7.1).

Количество теплоты, которое должно передаваться в помещение 1, равно теплонедостаткам в данном помещении, принимаемым по табл. 4.1 «Тепловой баланс помещений».

Определяем количество теплоты, Вт, поступающей в помещение от открыто проложенных труб по формуле

$$Q_{тр} = q_6 l_6 + q_2 l_2,$$

где  $q_6, q_2$  – теплоотдача 1 м вертикально и горизонтально проложенных труб, Вт/м, принимаемые равными  $q_6 = 90$  Вт/м;  $q_2 = 110$  Вт/м [16];

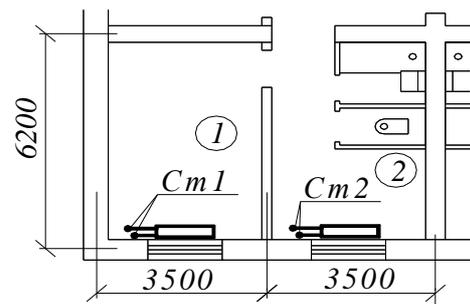


Рис. 7.1. Фрагмент плана с размещением отопительных приборов

$l_g, l_2$  – длина вертикальных и горизонтальных трубопроводов, проложенных в помещении, м.

Длина вертикальных труб: в помещении 101  $l_g = 4,3$  м; в помещении 201  $l_g = 5,0$  м; в помещении 301  $l_g = 2,7$  м.

Длина горизонтальных труб во всех помещениях  $l_2 = 1,0$  м.

Теплопотупления от труб в помещении 101 составят:

$$Q_{mp} = 90 \cdot 4,3 + 110 \cdot 1 = 497 \text{ Вт.}$$

Необходимая теплопередача отопительного прибора, Вт, в рассматриваемое помещение определяется по формуле

$$Q_{np} = Q_n - 0,9 \cdot Q_{mp},$$

где  $Q_n$  – теплопотери помещения, Вт (табл. 4.1);

$Q_{mp}$  – теплоотдача открыто проложенных в пределах помещения труб стояка (ветви) и подводок, к которым непосредственно присоединен прибор, Вт.

Определим необходимую теплопередачу отопительного прибора в помещении 101

$$Q_{np} = 1367,4 - 0,9 \cdot 497 = 920,1 \text{ Вт.}$$

Количество секций отопительного прибора определяется по формуле

$$N = \frac{Q_{np} \cdot \beta_4}{q_{np} \cdot \beta_3},$$

где  $Q_{np}$  – теплопередача отопительного прибора, Вт;

$\beta_4$  – поправочный коэффициент, учитывающий способ установки радиатора в помещении, при открытой установке  $\beta_4 = 1$  [16];

$\beta_3$  – поправочный коэффициент, учитывающий число секций в одном радиаторе, принимаемый при числе секций до 15 шт.  $\beta_3 = 1$ ; при числе секций от 16 до 20 –  $\beta_3 = 0,98$ ; при числе секций от 21 до 25 –  $\beta_3 = 0,96$  [16];

$q_{np}$  – расчетная плотность теплового потока, Вт, определяемая для одной секции чугунного радиатора по формуле

$$q_{np} = q_{ном} \cdot \left( \frac{\Delta t_{cp}}{70} \right)^{1,3},$$

где  $q_{ном}$  – номинальная плотность теплового потока секции чугунного радиатора, Вт, принимаемая для чугунных радиаторов 2К-60П-500 равной  $q_{ном} = 125$  Вт;

$\Delta t_{cp}$  – температурный напор, °С, определяемый по формуле

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_g,$$

где  $t_g$  – температура воздуха в помещении, °С;

$t_{cp}$  – средняя температура воды в приборе, °С, определяемая по формуле для двухтрубной системы:

$$t_{cp} = 0,5 \cdot (t_z + t_o),$$

где  $t_z, t_o$  – температура соответственно горячей и обратной воды, °С.

Так как система отопления – двухтрубная, то температура воды, поступающей в отопительный прибор, равна  $t_z = 95$  °С, а выходящая из отопительного прибора –  $t_o = 70$  °С.

Тогда средняя температура воды в приборе составит

$$t_{cp} = 0,5 \cdot (95 + 70) = 82,5 \text{ °С.}$$

Температурный напор составит

$$\Delta t_{cp} = 82,5 - 20 = 62,5 \text{ °С.}$$

Определим расчетную плотность теплового потока для одной секции чугунного радиатора, принимая номинальную плотность теплового потока секции для чугунных радиаторов 2К-60П-500 равной  $q_{ном} = 125$  Вт

$$q_{пр} = 125 \cdot \left( \frac{62,5}{70} \right)^{1,3} = 107,9 \text{ Вт.}$$

Количество секций отопительного прибора, установленного в помещении 101, будет равно

$$N = \frac{920,1 \cdot 1}{107,9 \cdot 1} = 8,5 \text{ шт.}$$

К установке в помещении 101 принимаем чугунный радиатор 2К-60П-500, скомпонованный из 9 секций. Аналогично производится расчет отопительных приборов в помещениях 201 и 301. Результаты расчета сведены в табл. 7.1

Расчет отопительных приборов

Номер помещения	Теплопотери помещения $Q_n$ , Вт	Теплоотдача труб $Q_{тр}$ , Вт	Температурный напор $\Delta t_{ср}$ , °С	Расчетная плотность теплового потока $q_{нр}$ , Вт	Расчетное число секций $N$	Принятое число секций
101	1367,4	497	62,5	107,9	8,5	9
201	1110,3	560	62,5	107,9	5,1	5
301	1295,0	353	62,5	107,9	8,7	9

**Задача 8.** Запроектировать систему вентиляции в однокомнатной квартире (рис. 8.1) трехэтажного безчердачного дома с высотой этажа 2,8 м. Выполнить расчет элементов запроектированных систем вентиляции.

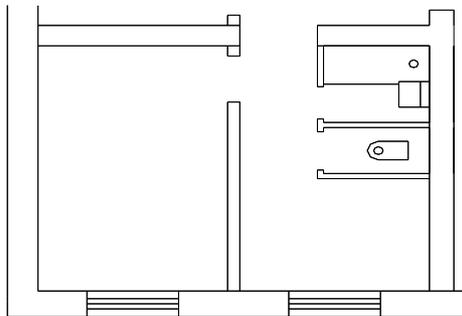


Рис. 8.1 План однокомнатной квартиры

**Решение.** В соответствии с рекомендациями [8] в квартире проектируем систему естественной вытяжной вентиляции. Приток воздуха в помещения квартиры будет происходить неорганизованно через неплотности в ограждающих конструкциях. Так как все жилые комнаты квартиры сообщаются с кухней и санузлом через коридор, то вытяжные системы устраиваем только в этих помещениях. Удаление воздуха организуем по вентиляционным каналам, выполненным во внутренних несущих стенах. Так как стены выполнены из кирпича, то размеры принимаем кратными размерам кирпича. Вентиляционные каналы размещаем в кухне и ванной. Для удаления воздуха из уборной в перегородке предусматриваем переточное отверстие.

Количество воздуха, удаляемого системами вытяжной вентиляции, принимаем [8, прил. В]:

- для кухни при четырехконфорочной плите  $L = 90 \text{ м}^3/\text{ч}$ ;
- для ванной и туалета  $L = 25 + 25 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Для удаления воздуха с каждого этажа предусматривается отдельный вентиляционный канал. Удаляемый воздух из помещения попадает в канал через вентиляционную решетку. Так как здание безчердачное, то каналы выводятся непосредственно на кровлю без объединения в сборный вентиляционный короб. Выброс воздуха осуществляется на высоте 0,5 м от по-

верхности кровли. На кровле каналы объединяются оголовком и накрываются зонтом для предотвращения попадания атмосферных осадков в систему вентиляции. На рис. 8.2 представлены расчетные схемы систем вентиляции, запроектированные в однокомнатной квартире.

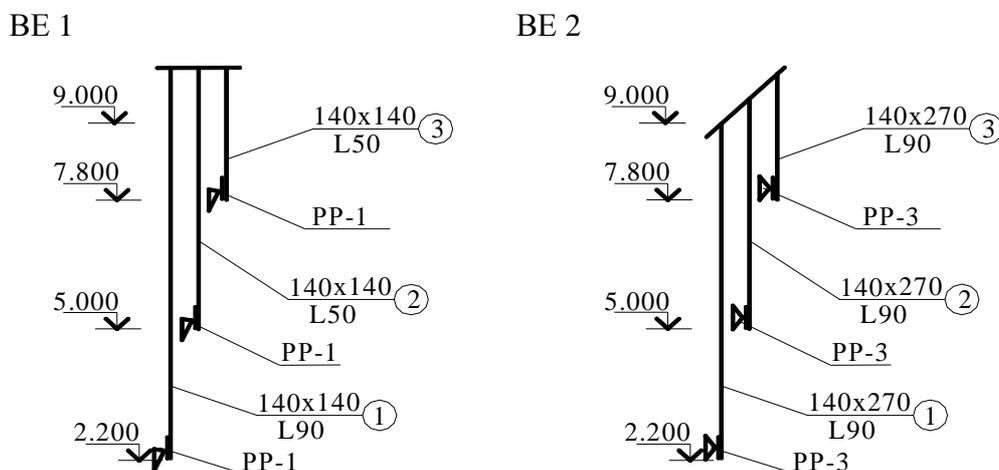


Рис. 8.2. Расчетные схемы систем вентиляции

Ориентировочное сечение канала,  $m^2$ , определяется по формуле

$$f_k^{op} = \frac{L}{3600 \cdot v_{don}},$$

где  $L$  – расход воздуха, удаляемого через канал,  $m^3/ч$ ;  
 $v_{don}$  – допустимая скорость воздуха в канале,  $м/с$ .

Определяем ориентировочное сечение канала для кухни и ванной, задаваясь допустимой скоростью движения воздуха в канале  $v_{don} = 0,7$   $м/с$ .

$$f_k^{op} = \frac{90}{3600 \cdot 0,7} = 0,036 \text{ м}^2;$$

$$f_k^{op} = \frac{50}{3600 \cdot 0,7} = 0,0198 \text{ м}^2.$$

Принимаем в кухне вентиляционные каналы размером  $140 \times 270$   $мм$  ( $f_k = 0,038 \text{ м}^2$ ), в ванной комнате  $140 \times 140$   $мм$  ( $f_k = 0,0196 \text{ м}^2$ ).

По [24, рис. 14.9] или по прил. Д определяем значения удельных потерь давления от трения на 1 м длины вентиляционного канала  $R$ ,  $Па/м$ , и динамическое давление  $P_d$ ,  $Па$ .

Для определения потерь давления в местных сопротивлениях [16] определяем коэффициенты местных сопротивлений, значения которых

принимается по [24, прил. 9] или прил. Г. На всех участках систем вентиляции будут следующие местные сопротивления:

- вход с поворотом потока воздуха  $\xi = 2$ ;
  - выход с поворотом потока воздуха  $\xi = 2,5$ ;
- $$\sum \xi = 4,5.$$

Потери давления на участке вентиляционной сети определяются по формуле

$$\Delta p = R \cdot l \cdot \beta + Z,$$

где  $R$  – потери давления на 1 м длины круглого воздуховода, Па/м, принимается по [24, рис. 14.9] или прил. Д;

$l$  – длина участка, м;

$\beta$  – поправочный коэффициент на шероховатость стенок канала, принимаемый для кирпичных каналов равным 1,3; для каналов в вентблоках 1,5;

$Z$  – потери давления в местных сопротивлениях, определяемые как

$$Z = \sum \xi \cdot p_{\partial},$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке, определяемая в зависимости от видов местных сопротивлений по таблице прил. 9 [24] или прил. Г;

$p_{\partial}$  – динамическое давление на участке, Па, принимается по [24, рис. 14.9] или прил. Д.

Тогда потери давления в местных сопротивлениях на участке 1 равны

$$Z = 4,5 \cdot 0,49 = 2,19 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке 1:

$$\Delta p = 0,087 \cdot 6,8 \cdot 1,3 + 2,19 = 2,96 \text{ Па.}$$

Расчетное располагаемое давление, Па, в системе естественной вентиляции определяется по формуле

$$\Delta p_e = g \cdot h \cdot (\rho_n - \rho_e),$$

где  $h$  – вертикальное расстояние от центра вытяжной решетки до устья вытяжной шахты, м;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха при температуре +5 °С,  $\rho_n = 1,27 \text{ кг/м}^3$ ;

$\rho_e$  – плотность внутреннего воздуха,  $\text{кг/м}^3$ , определяемая для температуры  $t$  по формуле

$$\rho_e = \frac{353}{273 + t}.$$

Плотность внутреннего воздуха составит:

$$\text{– для кухни} \quad \rho_e = \frac{353}{273+18} = 1,21 \text{ кг/м}^3;$$

$$\text{– для санузла} \quad \rho_e = \frac{353}{273+25} = 1,18 \text{ кг/м}^3.$$

Располагаемое естественное давление определяется отдельно для канала каждого этажа:

– для каналов с I этажа из кухни

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 6,8 \cdot (1,27 - 1,21) = 4,0 \text{ Па};$$

– для каналов с I этажа из ванной комнаты

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 6,8 \cdot (1,27 - 1,18) = 6,0 \text{ Па};$$

– для каналов с II этажа из кухни

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 4,0 \cdot (1,27 - 1,21) = 2,35 \text{ Па};$$

– для каналов с II этажа из ванной комнаты

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 4,0 \cdot (1,27 - 1,18) = 3,53 \text{ Па};$$

– для каналов с III этажа из кухни

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 1,2 \cdot (1,27 - 1,21) = 0,71 \text{ Па};$$

– для каналов с III этажа из ванной комнаты

$$\Delta p_e = 9,81 \cdot 1,2 \cdot (1,27 - 1,18) = 1,06 \text{ Па};$$

Для нормальной работы системы вентиляции необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\frac{\Delta p_e - \sum(Rl\beta + Z)}{\Delta p_e} \cdot 100\% \leq 10\% .$$

Выполняем проверку условия для участка 1:

$$\frac{4,0 - 2,96}{4,0} \cdot 100\% = 26\% > 10\% .$$

Условие не выполняется. Уменьшать сечение в данном случае нецелесообразно, так как канал ближайшего сечения 140×140 мм не сможет пропустить такой расход воздуха, то можно регулировать расход удаляемого воздуха путем прикрытия жалюзи воздухозаборной решетки.

Аналогично выполняется расчет всех остальных участков, и результаты расчета сведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

## Аэродинамический расчет системы вентиляции

Номер участка	Расход воздуха на участке $L$ , м <sup>3</sup> /ч	Длина участка $l$ , м	Размеры канала $a \times b$ , м	Эквивалентный диаметр $d_{эке}$ , м	Действительная скорость воздуха в канале $v$ , м/с	Потери на 1 м канала $R$ , Па/м	Поправочный коэффициент на шероховатость $\beta$	Потери давления от трения на участке $R \cdot l \cdot \beta$ , Па	Динамическое давление на участке $p_0$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	Общие потери давления на участке $(R \cdot l \cdot \beta + Z)$ , Па	Увязка, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BE2													
1	90	6,8	140×270	184	0,9	0,087	1,3	0,77	0,49	4,5	2,19	2,96	26
2	90	4,0	140×270	184	0,9	0,087	1,3	0,45	0,49	4,5	2,19	2,64	-12
3	90	1,2	140×270	184	0,9	0,087	1,3	0,14	0,49	4,5	2,19	2,33	-228
BE1													
1	50	6,8	140×140	140	0,9	0,115	1,3	1,02	0,49	4,5	2,19	3,21	47
2	50	4,0	140×140	140	0,9	0,115	1,3	0,6	0,49	4,5	2,19	2,79	21
3	50	1,2	140×140	140	0,9	0,115	1,3	0,18	0,49	4,5	2,19	2,37	-124

В тех помещениях, где потери давления превышают располагаемое естественное давление, а размеры канала увеличить невозможно, вместо жалюзийных решеток на входе в вентиляционный канал устанавливаются осевые вентиляторы.

Ориентировочное сечение решетки, м<sup>2</sup>, определяется по формуле

$$f_{реш}^{op} = \frac{L}{3600 \cdot v_{дон}}$$

где  $L$  – расход воздуха, удаляемого через решетку, м<sup>3</sup>/ч;

$v_{дон}$  – допустимая скорость воздуха в решетке, м/с.

Определим ориентировочное сечение решетки, м<sup>2</sup>, с допустимой скоростью в решетке  $v_{дон} = 0,75$  м/с:

– на кухне  $f_{реш}^{op} = \frac{90}{3600 \cdot 0,75} = 0,033$  м<sup>2</sup>, следовательно принимаем по

табл. 3.9 [21] к установке жалюзийную решетку с поперечными размерами 200×200 с площадью живого сечения  $f = 0,032$  м<sup>2</sup>;

– в санузле  $f_{реш}^{op} = \frac{50}{3600 \cdot 0,75} = 0,019 \text{ м}^2$ , следовательно принимаем по

табл.3.9 [21] к установке жалюзийную решетку с поперечными размерами  $200 \times 100$  с площадью живого сечения  $f = 0,016 \text{ м}^2$ .

План квартиры (третий этаж) с запроектированной системой вентиляции представлен на рис. 8.3.

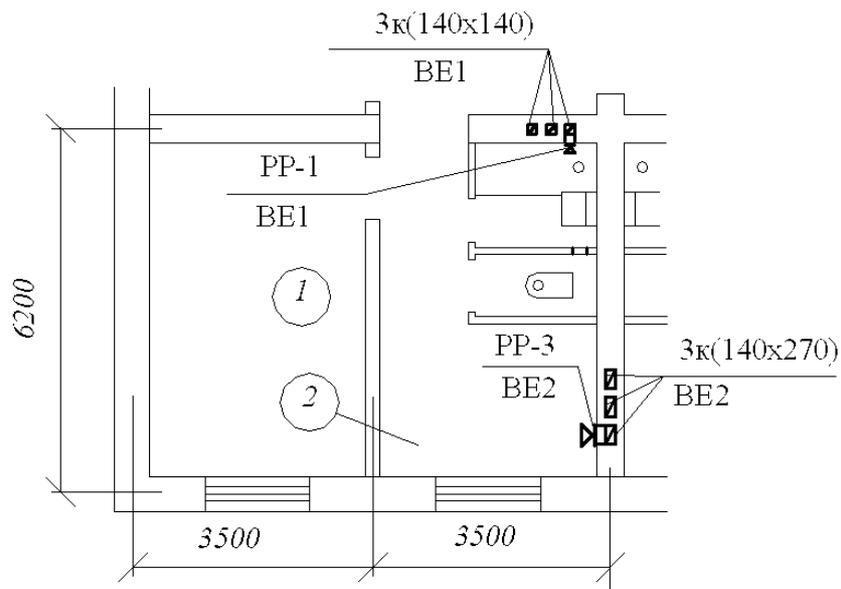


Рис. 8.3 План однокомнатной квартиры третьего этажа с размещением систем вентиляции

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ ЗДАНИЙ»

Данные методические указания приведены в помощь студенту при выполнении курсовой работы на тему «Отопление и вентиляция жилого дома». Задание на выполнение курсовой работы выдает преподаватель.

Самостоятельное выполнение курсовой работы позволит студентам научиться выполнять теплотехнический расчет наружных ограждений здания, составлять тепловой баланс помещений, проектировать и производить расчет элементов систем водяного отопления и естественной вентиляции жилого дома.

Состав курсовой работы – выбор заполнения световых проемов и теплотехнический расчет основных ограждающих конструкций, конструирование и расчет систем отопления и вентиляции здания с планами здания, схемами систем отопления, вентиляции и расчетно-пояснительной запиской.

Данную курсовую работу следует выполнять, применяя единицы системы СИ.

Курсовая работа подразделяется на 4 раздела:

- общая часть;
- теплотехнический расчет ограждающих конструкций;
- отопление здания;
- вентиляция здания.

Графическая часть работы выполняется на бумаге формата А1 и содержит: а) план подвала (технического подполья) или подпольных каналов с размещением трубопроводов и оборудования отопительно-вентиляционных систем; б) план одного из этажей с размещением трубопроводов, вентиляционных каналов и оборудования отопительно-вентиляционных систем; в) план чердака или кровли с размещением трубопроводов, вентиляционных каналов и оборудования отопительно-вентиляционных систем; г) характерный разрез с нанесением элементов систем отопления и вентиляции; д) аксонометрические схемы систем отопления и вентиляции; е) отдельные узлы систем отопления. Все чертежи выполняются в соответствии с требованиями действующей нормативной литературы [2 – 4]. Пример оформления графической части курсовой работы приведен в приложении А.

## 1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

В разделе приводятся:

- краткое описание здания (назначение, число этажей, характеристика основных конструкций, наличие подвала и чердака, строительный объем);
- краткая характеристика запроектированных устройств (источник теплоснабжения, теплоноситель и вид системы центрального отопления, тип отопительных приборов, вид системы вентиляции);
- климатологические данные местности строительства (расчетные температуры и скорость ветра);
- метеорологические условия в помещениях (расчетные температуры и относительная влажность воздуха).

## 2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

### 2.1. Сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций (кроме световых проемов)

Целью данного раздела курсовой работы является определение толщины теплоизоляционного слоя и термического сопротивления теплопередаче строительной конструкции.

Термическое сопротивление слоя многослойной конструкции  $R$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , определяется по формуле

$$R_i = \delta_i / \lambda_i, \quad (2.1)$$

где  $\delta_i$  – толщина слоя, м;

$\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции,  $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$ , принимаемый по [12, прил. А] в зависимости от условий эксплуатации, определяемых по [12, табл. 4.2] или табл. 2.1.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , определяется по формуле:

$$R = \frac{1}{\alpha_g} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (2.2)$$

где  $R_1, R_2, R_n$  – термические сопротивления отдельных слоев конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ , определяемые по формуле (2.1);

$\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаемый по табл. 5.4 [12];  
 $\alpha_g = 8,7$  Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаемый по табл. 5.7 [12] или табл. 2.2.

Таблица 2.1

Относительная влажность внутреннего воздуха, %, при температуре $t_g$			Режим помещений	Условия эксплуатации ограждений
до 12 °С	св.12 до 24 °С	св. 24 °С		
до 60 включ.	до 50 включ.	до 40 включ.	Сухой	А
св. 60 до 75 включ.	св. 50 до 60 включ.	св. 40 до 50 включ.	Нормальный	Б
св. 75	св. 60 до 75 включ.	св. 50 до 60 включ.	Влажный	Б
–	св. 75	св. 60	Мокрый	Б

*Примечания:* 1. Внутренние ограждающие конструкции, перекрытия чердачные, перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями помещений с нормальным влажностным режимом следует рассчитывать для условий эксплуатации ограждений «А».

2. Параметры внутреннего воздуха принимаются по табл. 4.1 [12].

Таблица 2.2

Ограждающие конструкции	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности $\alpha_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Наружные стены, покрытия, перекрытия над проездами.	23
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом.	17
3. Перекрытия чердачные и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружные стены с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом.	12
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли.	6

Подставляя в формулу (2.2) значения термических сопротивлений отдельных слоев конкретно заданной конструкции ограждающей поверх-

ности и приравнивая значение сопротивления теплопередаче ограждения  $R$  значению нормативного сопротивления теплопередаче  $R^{норм}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяется толщина теплоизоляционного слоя ограждения. Значение нормативного сопротивления теплопередаче  $R^{норм}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , в зависимости от типа ограждения принимается по табл. 5.1 [13] или табл. 2.3.

Таблица 2.3

Ограждающие конструкции	Нормативное сопротивление теплопередаче $R^{норм}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$
<b>А. Строительство, реконструкция, модернизация</b>	
1. Наружные стены зданий.	3,2
2. Совмещенные покрытия, чердачные перекрытия и перекрытия над проездами.	6,0
3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями.	2,5
4. Заполнения световых проемов.	1

Полученная толщина теплоизоляционного слоя округляется с интервалом 0,01 м в большую сторону, и производится уточнение действительного значения термического сопротивления ограждения  $R_d$  по формуле (2.2).

Определяется тепловая инерция ограждения  $D$  по формуле

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n, \quad (2.3)$$

где  $R_1, R_2, R_n$  – термические сопротивления отдельных слоев ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяемые по формуле (2.1);

$s_1, s_2, s_n$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , принимаемые по [12, прил. А], в зависимости от условий эксплуатации, определяемых по [12, табл. 4.2] или по табл. 2.1.

Полученное значение сопротивления теплопередаче  $R$  ограждающей конструкции должно быть не менее требуемого сопротивления  $R^{mp}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяемого по формуле

$$R^{mp} = \frac{n \cdot (t_g - t_n)}{\alpha_g \Delta t_g}, \quad (2.4)$$

где  $t_g$  – расчетная температура внутреннего воздуха,  $\text{°C}$ , принимаемая по [12, табл. 4.1];

$t_n$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха,  $\text{°C}$ , принимаемая по [6, табл. 3.1] с учетом тепловой инерции ограждающих конструкций  $D$  (за исключением заполнений проемов) по [12, табл. 5.2] или по табл. 2.4;

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимаемый по [12, табл. 5.3] или по табл. 2.5;

$\alpha_g$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м<sup>2</sup>·°С), принимаемый по [12, табл. 5.4];  $\alpha_g = 8,7$  Вт/м<sup>2</sup>·°С;

$\Delta t_g$  – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С, принимаемый по [12, табл. 5.5] для наружных стен равным 6 °С, для покрытий и чердачных перекрытий – 4 °С, перекрытий над проездами, подвалами и подпольями – 2 °С.

Таблица 2.4

Тепловая инерция ограждающей конструкции $D$	Расчетная зимняя температура наружного воздуха $t_n$ , °С
До 1,5 включ.	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98
Св.1,5 до 4,0 включ.	То же, обеспеченностью 0,92
Св.4,0 до 7,0 включ.	Средняя температура наиболее холодных трех суток обеспеченностью 0,92*
Св. 7,0	Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92

\* температура наиболее холодных трех суток определяется как среднее арифметическое между температурой наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Таблица 2.5

Ограждающие конструкции	Коэффициент, учитывающий положение ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху $n$
1. Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом); перекрытия чердачные с кровлей из штучных материалов и перекрытия над проездами.	1
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные с кровлей из рулонных материалов.	0,9
3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах.	0,75
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли.	0,6
5. Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенные ниже уровня земли.	0,4

Для наружной стены по принятому значению сопротивления теплопередаче  $R_0$  выполняется проверка на отсутствие конденсации влаги на ее поверхности. Для выполнения этого условия температура внутренней поверхности ограждающей конструкции должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной зимней температуре наружного воздуха.

Температура внутренней поверхности  $\tau_6$ , °С, ограждающей конструкции определяется по формуле

$$\tau_6 = t_6 - \frac{t_6 - t_n}{R \cdot \alpha_6}, \quad (2.5)$$

Полученное значение  $\tau_6$  должно быть больше температуры точки росы  $\tau_p$ , которая определяется по формуле

$$\tau_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e_6)^2, \quad (2.6)$$

где  $e_6$  – упругость водяных паров в воздухе помещения, Па, определяемая по формуле

$$e_6 = \frac{\varphi}{100} \cdot \left[ 477 + 133,3 \cdot (1 + 0,14 \cdot t_6)^2 \right]; \quad (2.7)$$

$\varphi$  – относительная влажность воздуха в помещении, %, в жилых домах принимается равной 55 %;

## 2.2. Сопротивление теплопередаче наружных дверей и ворот

Сопротивление теплопередаче наружных дверей (кроме балконных) и ворот определяется по формуле

$$R_{н.д.} = 0,6 \cdot R_{н.с.}^{mp}, \quad (2.8)$$

где  $R_{н.с.}^{mp}$  – требуемое сопротивление теплопередаче наружной стены, определяемое по формуле (2.4) при расчетной зимней температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

### 2.3. Сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов

Для выбранного типа остекления по [12, прил. Г] с учетом примечания 2 определяется значение термического сопротивления теплопередаче световых проемов.

При этом сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов (кроме заполнений световых проемов в помещениях с избытками явной теплоты)  $R_{ок}$  должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче  $R_{ок}^{норм}$ , определяемого по [13, табл. 5.1] или табл. 2.3, и не менее требуемого сопротивления  $R_{ок}^{мп}$ , определяемого по [12, табл. 5.6] и равного для окон и балконных дверей жилых зданий  $R_{ок}^{мп} = 0,39 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

## 3. ОТОПЛЕНИЕ ЗДАНИЯ

### 3.1. Расчет теплотерь через ограждающие конструкции

Потери теплоты  $Q$ , Вт, через отдельную ограждающую конструкцию определяют по формуле

$$Q_{огр} = \frac{F_p}{R_0} \cdot (t_g - t_n) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n \quad (3.1)$$

где  $F_p$  – площадь ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$ ;

$R_0$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ ;

$t_g$  – температура внутреннего воздуха,  $\text{°C}$ ;

$t_n$  – расчетная температура наружного воздуха, принимаемая равной температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92,  $\text{°C}$ ;

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

$n$  – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху [12, табл. 5.3].

Добавочные теплотери учитывают:

1) ориентацию ограждений по сторонам света:

– северо-запад, северо-восток, север и восток –  $\beta = 0,1$ ;

– запад и юго-восток –  $\beta = 0,05$ ;

– на юг и юго-запад –  $\beta = 0$ ;

2) подогрев врывающегося воздуха через наружные двери или ворота при высоте здания  $H$ , м:

- для тройных дверей с двумя тамбурами –  $\beta = 0,2 \cdot H$ ;
- для двойных дверей с тамбуром –  $\beta = 0,27 \cdot H$ ;
- для двойных дверей без тамбура –  $\beta = 0,34 \cdot H$ ;
- для одинарных дверей –  $\beta = 0,22 \cdot H$ .

3) для угловых помещений по 0,05 на каждую наружную стену, дверь и окно [7, прил. Ж].

Площадь  $F$  в формуле (3.1) и линейные размеры ограждающих конструкций необходимо определять следующим образом [16, с. 35]:

а) площадь световых проемов и дверей – по наименьшим размерам строительных проемов в свету;

б) площадь потолков и полов – по размерам между осями внутренних стен и от внутренней поверхности наружной стены до оси внутренней стены;

в) высоту стен первого этажа – по размеру от уровня нижней поверхности конструкции пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа (для зданий с неотапливаемыми подвалами);

г) высоту стен промежуточного этажа – по размеру между уровнями чистых полов данного и вышележащего этажей;

д) высоту стен верхнего этажа – по размеру от уровня чистого пола до верха утеплителя чердачного перекрытия при наличии чердака и до пересечения внутренней поверхности наружной стены с верхней плоскостью покрытия при отсутствии чердака;

е) длину наружных стен:

- неугловых помещений – по размерам между осями внутренних стен;
- угловых помещений – от внешней поверхности наружных стен до оси внутренних стен или до внешней поверхности примыкающих наружных стен;

ж) длину внутренних стен – по размерам от внутренних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен или между осями внутренних стен.

Линейные размеры ограждающих конструкций следует определять с точностью до 0,1 м.

Для лестничных клеток теплотери вычисляются по всей высоте без деления на этажи.

Теплообмен через ограждения между смежными отапливаемыми помещениями учитывается в случае, когда разность температур воздуха этих помещений превышает  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7].

### 3.2. Затраты теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха

В жилых зданиях без организованного притока и с естественной вытяжкой потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха принимаются равными большей из величин, полученных по формулам [7]

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot \sum G_{инф} \cdot c \cdot (t_в - t_n) \cdot k, \quad (3.2)$$

$$Q_{инф} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_n \cdot c \cdot (t_в - t_n), \quad (3.3)$$

где  $\sum G_{инф}$  – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения;

$c$  – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/кг·°С;

$k$  – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока в конструкциях: для стыков панелей и окон с тройными переплетами  $k = 0,7$ ; для окон и балконных дверей с двойными переплетами  $k = 0,8$ ; для одинарных окон и открытых проемов  $k = 1$ ;

$L$  – расход удаляемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, для жилых зданий принимаемый равным 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> жилых помещений и кухни;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>, определяемая по формуле

$$\rho = \frac{353}{273 + t}. \quad (3.4)$$

При анализе выполненных ранее курсовых проектов стало очевидно, что практически всегда большее значение теплотерь на нагрев инфильтрующегося воздуха получается по формуле (3.3). Поэтому студенту рекомендуется выполнять расчет затрат теплоты на инфильтрацию по формуле (3.3).

При составлении теплового баланса для жилых зданий учитываются бытовые теплопоступления в кухнях и жилых комнатах в размере 21 Вт на 1 м<sup>2</sup> площади пола, т.е.

$$Q_{быт} = 21 \cdot F_n, \quad (3.5)$$

где  $F_n$  – площадь пола помещения, м<sup>2</sup>.

Полный расчет теплотерь и теплопоступлений производится для лестничной клетки и одной четырехкомнатной квартиры на первом, промежуточном и последнем этажах здания. При этом отдельно рассчитывается каждое помещение в квартире (жилые комнаты, кухни, коридоры и др.). Результаты расчета заносятся в табл. 3.1.

Таблица 3.1

## Тепловой баланс помещений

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Добавочные потери теплоты $\beta$ в долях единиц			16	17	18	19
												на стороны света	прочие	сумма				

*Примечание:* в таблице помещения и ограждения обозначаются сокращениями следующего вида: жилая комната – ЖК, кухня – К, коридор – Кор, ванна – В, туалет – Т, совмещенный санузел – СС, лестничная клетка – ЛК, наружная стена – НС, тройное остекление – ТО, пол – ПЛ, потолок – ПТ, внутренняя стена – ВС, внутренняя дверь – ВД, наружная дверь – НД.

Для остальных помещений количество теплотерь помещений определяется по укрупненным показателям, для чего определяется удельный расход тепловой энергии на отопление здания.

### 3.3. Определение удельного расхода тепловой энергии на отопление

Удельный расход тепловой энергии на отопление жилого здания, Вт/(м<sup>3</sup>·°С) определяется в соответствии с требованиями [7, прил. А] по формуле

$$q_{om} = \frac{Q_s}{V \cdot (t_{cp} - t_n^{om})}, \quad (3.6)$$

где  $Q_s$  – суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление, Вт;  
 $V$  – отапливаемый объем, м<sup>3</sup>;

$t_{cp}$  – средняя по объему здания расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимается  $t_{cp} = 18$  °С;

$t_n^{om}$  – средняя за отопительный период температура наружного воздуха, °С, для периода с температурой наружного воздуха ниже +8 °С [6, табл. 3.1].

Суммарный годовой расход тепловой энергии на отопление  $Q_s$ , Вт, определяется по формуле

$$Q_s = (Q_{ts} + Q_{is}) - Q_{hs} \cdot \eta_1, \quad (3.7)$$

где  $Q_{ts}, Q_{is}$  – основные, добавочные годовые потери теплоты и годовой расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха, Вт;

$Q_{hs}$  – годовые поступления теплоты от бытовых приборов, Вт;

$\eta_1$  – коэффициент, принимаемый по [7, табл. А.1] в зависимости от способа регулирования системы отопления (для водяного отопления без автоматического регулирования принимается равным 0,2).

Основные, добавочные годовые потери теплоты и годовой расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха  $Q_{ts} + Q_{is}$ , Вт, определяются по формуле

$$(Q_{ts} + Q_{is}) = \frac{(\sum Q + \sum Q_{инф})}{t_{cp} - t_n} \cdot (t_{cp} - t_n^{om}) \quad (3.8)$$

где  $\sum Q$  – сумма основных и добавочных потерь теплоты помещениями здания, Вт, принимается по табл. 3.1;

$\sum Q_{инф}$  – сумма расходов теплоты на нагревание наружного воздуха, инфильтрующегося в помещениях здания, Вт, принимается по табл. 3.1;

$t_n$  – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92, °С, принимаемая по табл. 3.1 [6].

Годовые поступления теплоты от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников  $Q_{hs}$ , Вт, определяются по формуле

$$Q_{hs} = \sum Q_{быт}, \quad (3.9)$$

где  $\sum Q_{быт}$  – суммарный тепловой поток, регулярно поступающий в помещения здания от бытовых приборов, Вт, принимается по табл. 3.1.

### 3.4. Определение тепловой мощности системы отопления

После определения удельной тепловой характеристики производится расчет теплонедостатков остальных помещений здания, не вошедших в составленный тепловой баланс, и результаты расчета для этих помещений заносятся в табл. 3.2. Теплонедостатки таких помещений определяются по формуле

$$Q = q_{от} \cdot V_{пом} \cdot (t_в - t_n), \quad (3.10)$$

где  $V_{пом}$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Результаты расчета теплонедостатков для всех оставшихся помещений заносятся в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Теплонедостатки помещений

№ помещения	Объем помещения, $V_{пом}$ , м <sup>3</sup>	Теплонедостатки в помещении $Q$ , Вт
1	2	3

После расчета теплонедостатков всех помещений определяется тепловая нагрузка стояков (ветвей) и тепловая мощность системы отопления. Тепловая нагрузка стояка (ветви) определяется по формуле

$$Q_{ст(ветви)} = \sum_{i=1}^n Q_{npi}, \quad (3.11)$$

где  $Q_{npi}$  – тепловая нагрузка прибора, принимаемая равной теплонедостаткам помещения, в котором этот прибор установлен, Вт; в случае, когда в помещении установлено несколько приборов, теплонедостатки делятся поровну на каждый прибор;

$n$  – число отопительных приборов, присоединенных к стояку (ветви).

Результаты расчета заносятся в табл. 3.3.

Таблица 3.3

№ стояка (ветвь)	Тепловая нагрузка стояка (ветви) $Q_{ст(ветви)}$ , Вт
1	2

Тепловая мощность системы отопления определяется как сумма тепловых нагрузок всех стояков (ветвей) и должна быть равна суммарным теплонедостаткам всех помещений в здании.

### 3.5. Выбор системы отопления и ее конструирование

В данном разделе курсовой работы студент описывает запроектированную в здании систему отопления, указывая вид системы, тип отопительных приборов, вид и параметры применяемого в системе теплоносителя, выбирает места расположения магистральных трубопроводов, стояков (ветвей) и подводок к отопительным приборам и задается уклонами их прокладки.

Для жилых зданий рекомендуются следующие системы отопления, отопительные приборы, теплоноситель и его параметры [7, прил. Л]:

- водяное отопление с радиаторами и конвекторами, при температуре теплоносителя для систем: 95 °С – двухтрубных и 105 °С – однетрубных;
- водяное отопление со встроенными в перекрытия и полы нагревательными элементами;
- воздушное отопление;
- местное (квартирное) водяное отопление с радиаторами или конвекторами при температуре теплоносителя 95 °С;
- электрическое или газовое отопление с температурой на теплоотдающей поверхности 95 °С.

Уклоны трубопроводов воды, пара и конденсата следует принимать не менее 0,002. Трубопроводы воды допускается прокладывать без уклона при скорости движения воды в них 0,25 м/с и более.

### 3.6. Гидравлический расчет трубопроводов

Целью гидравлического расчета трубопроводов систем отопления является выбор таких сечений теплопроводов для наиболее протяженного и нагруженного циркуляционного кольца или ветви системы, по которым, при располагаемой разности давлений в системе, обеспечивается пропуск заданного расхода теплоносителя.

Располагаемая разность давлений выражает собой ту энергию, которая при движении теплоносителя по трубам может быть израсходована на преодоление сопротивлений трения и в местных сопротивлениях.

В разветвленных системах теплопроводов участком называют отрезок теплопровода, по которому проходит постоянная масса теплоносителя.

Гидравлическому расчету должна предшествовать подготовительная работа: подсчитываются теплотери каждого отапливаемого помещения, расставляются отопительные приборы и стояки, намечается место распо-

ложения теплового пункта, намечаются места прокладки магистралей, вычерчивается аксонометрическая схема системы отопления.

Неблагоприятным циркуляционным кольцом следует считать:

– при естественной циркуляции – кольцо, у которого в зависимости от расчетного циркуляционного давления ориентировочное значение удельной потери давления на трение  $R_{cp}$ , Па/м, будет наименьшим;

– при искусственной циркуляции и тупиковой разводке в однотрубных системах – кольцо через наиболее удаленный (от узла управления) стояк;

– при искусственной циркуляции и попутном движении воды в однотрубных системах – кольцо через наиболее нагруженный стояк;

– в двухтрубных системах – кольцо через самый низко расположенный (над водонагревателем или элеватором) прибор наиболее удаленного стояка (для тупиковых систем) или самого нагруженного стояка (для систем с попутным движением);

– в горизонтальных однотрубных системах – кольцо через ветвь верхнего этажа.

Неблагоприятное циркуляционное кольцо служит показателем допускаемого расхода давления по всем остальным кольцам в системе, в нем расходуется максимальное давление на трение и в местных сопротивлениях.

После выбора неблагоприятного циркуляционного кольца оно разбивается на расчетные участки, которые нумеруются, начиная от водоподогревателя (элеватора) по расчетному кольцу. Расчетным участком называется отрезок трубопровода, на котором остаются постоянными тепловая нагрузка и диаметр. Практически, чаще всего участок начинается у одного разветвления и заканчивается у другого разветвления.

Для систем с искусственной циркуляцией величина располагаемого давления определяется по формуле

$$\Delta p_p = \Delta p_n + B(\Delta p_{e.np} + \Delta p_{e.mp}) \quad (3.12)$$

где  $\Delta p_n$  – искусственное давление, создаваемое элеватором, Па, ( $\Delta p_n = 10 \div 12$  кПа);

$\Delta p_{e.np}$  – давление, возникающее за счет охлаждения воды в отопительных приборах, Па;

$\Delta p_{e.mp}$  – давление, вызываемое охлаждением воды в теплопроводах, Па, принимаемое по [24, прил. 4] или по прил. Б;

$B$  – коэффициент, определяющий долю максимального естественного давления, которую целесообразно учитывать в расчетных условиях; для двухтрубных и однотрубных горизонтальных систем 0,4; для однотрубных систем 1.

Величина естественного давления, возникающего за счет остывания воды в отопительных приборах определяется в зависимости от вида системы по следующим формулам:

– для двухтрубной системы с верхней или нижней разводкой

$$\Delta p_{e.np_i} = h_i \cdot g \cdot (\rho_o - \rho_z) \quad (3.13)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ;

$h_i$  – вертикальное расстояние от середины водонагревателя (элеватора) до середины рассматриваемого отопительного прибора, м (рис. 3.1, а, б);

$\rho_o, \rho_z$  – плотности, соответственно, обратной и горячей воды,  $\text{кг/м}^3$ ;

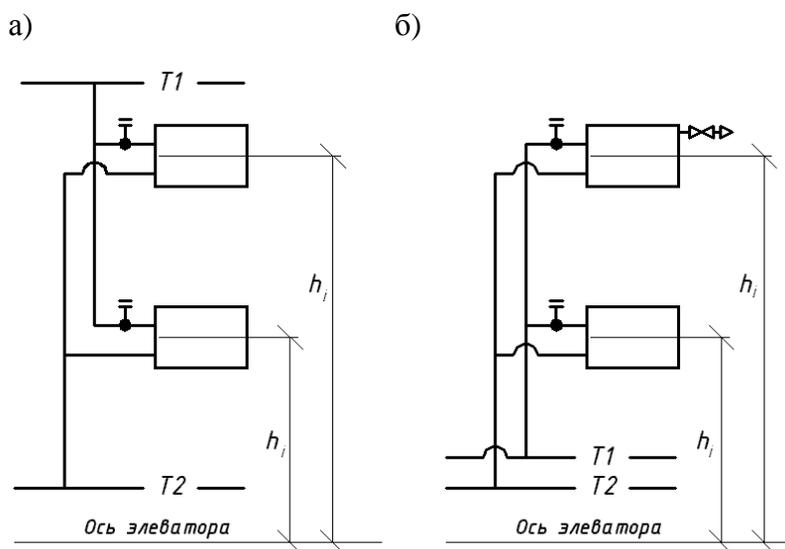


Рис. 3.1. Расчетная схема вертикального двухтрубного стояка при верхней (а) и нижней (б) разводках

– для системы однотрубной вертикальной с верхней разводкой:

$$\Delta p_{e.np} = h_1 g (\rho_{cm1} - \rho_z) + h_2 g (\rho_{cm2} - \rho_z) + \dots + h_n g (\rho_o - \rho_z) \quad (3.14)$$

где  $h_n$  – вертикальное расстояние от середины водонагревателя (элеватора) до низа или центра (для проточных систем) прибора нижнего этажа, м (рис. 3.2 а, б);

$h_1, h_2$  – вертикальные расстояния для систем отопления с рабочими осевыми или смещенными замыкающими участками от низа приборов одного этажа до низа приборов следующего этажа (рис. 3.2, а), для систем отопления проточных от центра приборов одного этажа до центра приборов следующего этажа, м (рис. 3.2, б);

$\rho_{cm1}, \rho_{cm2}$  – плотности воды на соответствующих участках стояка,  $\text{кг/м}^3$  (рис. 3.2, а, б).

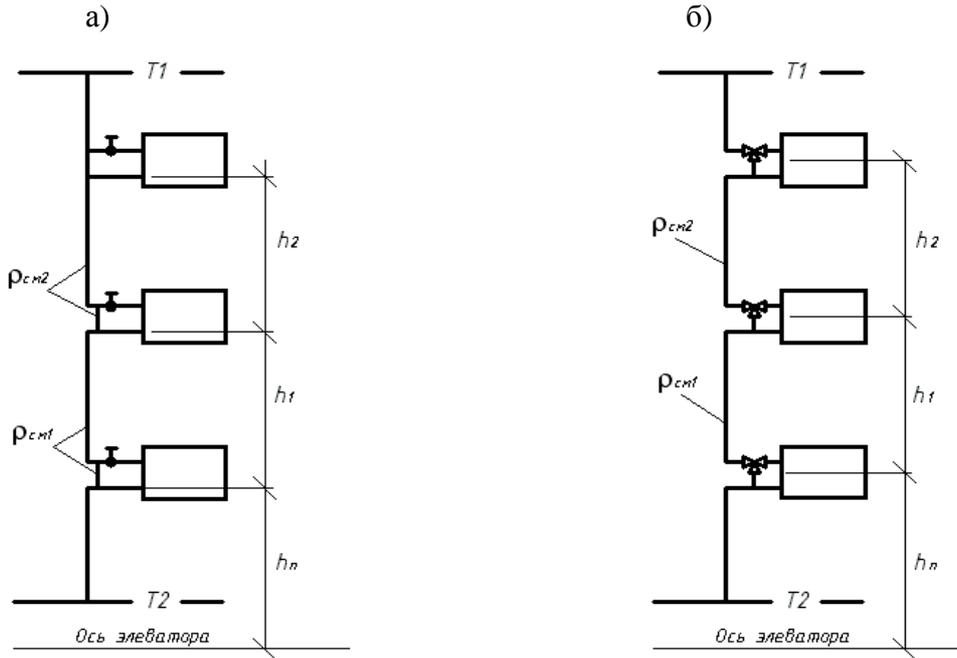


Рис. 3.2. Расчетная схема вертикального однотрубного стояка при верхней разводке с рабочими замыкающими участками (а) и проточного регулируемого (б)

– для системы однотрубной с нижней разводкой:

$$\Delta p_{e.np} = h_1 g (\rho_{cm1(o)} - \rho_{cm1(n)}) + h_2 g (\rho_{cm2(o)} - \rho_{cm2(n)}) + \dots + h_n g (\rho_o - \rho_z), \quad (3.15)$$

где  $h_1, h_2$  – вертикальные расстояния для систем отопления с рабочими осевыми и смещенными замыкающими участками от низа приборов одного этажа до низа приборов следующего этажа (рис. 3.3, а), для систем отопления проточных от центра приборов одного этажа до центра приборов следующего этажа, м (рис. 3.3, б);

$h_n$  – вертикальное расстояние от середины водонагревателя (элеватора) до низа или центра (для проточных систем) прибора нижнего этажа, м (рис. 3.3 а, б);

$\rho_{cm1(n)}, \rho_{cm2(n)}, \dots$  – плотность смеси воды на соответствующем участке подъемной части стояка, кг/м<sup>3</sup> (рис. 3.3 а, б);

$\rho_{cm1(o)}, \rho_{cm2(o)}, \dots$  – плотность смеси воды на соответствующем участке опускной части стояка, кг/м<sup>3</sup> (рис. 3.3 а, б);

– для системы однотрубной горизонтальной по формуле (3.13), причем величина  $h_i$ , м, принимается в соответствии с рис. 3.4 в зависимости от типа приборного узла (схемы соединения нагревательных приборов);

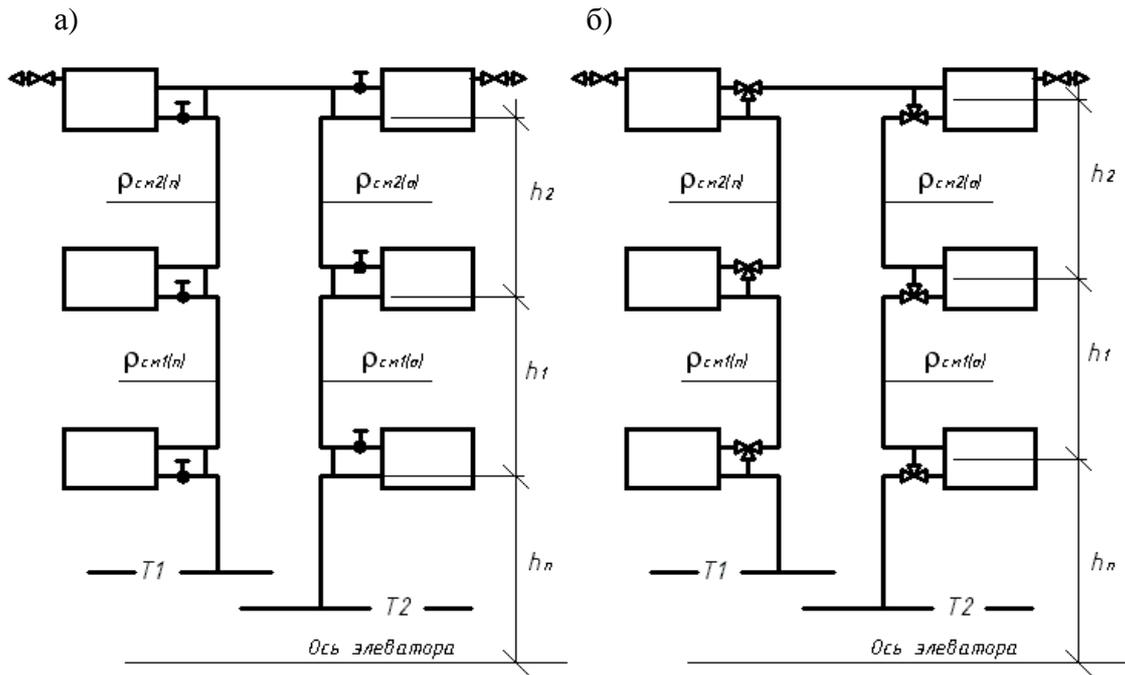


Рис. 3.3. Расчетная схема стояка вертикального однотрубного при нижней разводке с рабочими замыкающими участками (а) и проточного регулируемого (б)

– для системы однотрубной с «опрокинутой» циркуляцией

$$\Delta p_{e,np} = h_1 g (\rho_o - \rho_{cm1}) + h_2 g (\rho_o - \rho_{cm2}) + \dots + h_n g (\rho_o - \rho_e) \quad (3.16)$$

где  $h_1, h_2$  – вертикальные расстояния для систем отопления проточных от центра приборов одного этажа до центра приборов следующего этажа, м (рис. 3.5);

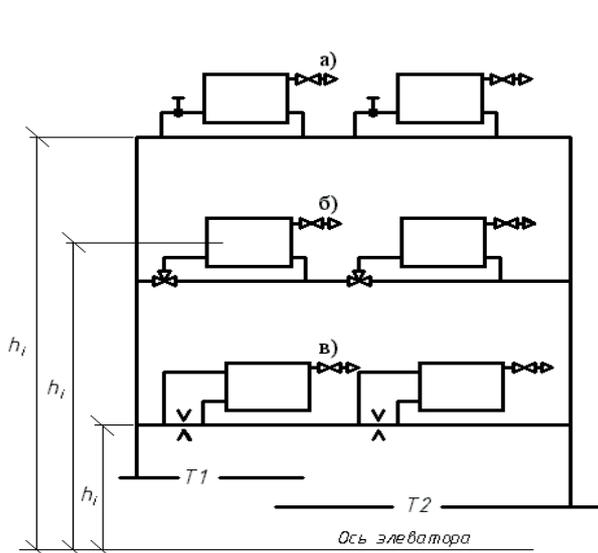


Рис. 3.4. Расчетная схема горизонтальной однотрубной системы отопления: а – с замыкающими участками; б – проточная регулируемая; в – с редукционной вставкой

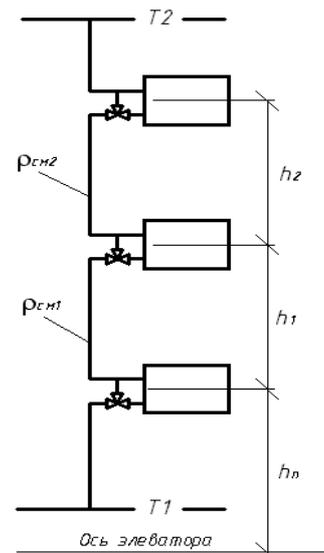


Рис. 3.5. Расчетная схема вертикального однотрубного проточного регулируемого стояка при «опрокинутой» циркуляции

$h_n$  – вертикальное расстояние от середины водонагревателя (элеватора) до центра (для проточных систем) прибора нижнего этажа, м (рис. 3.5).

Для определения плотности воды необходимо знать ее температуру на участках стояка после смешивания потоков. Температура воды после отопительного прибора определяется по формуле

$$t_{i+1} = t_i - \frac{0,86 \cdot Q_{np(i+1)}}{G_{cm}}, \quad (3.17)$$

где  $t_i$  – температура воды на предыдущем участке, °С;

$Q_{np(i+1)}$  – тепловая нагрузка отопительного прибора, присоединенного до расчетного участка ( $i + 1$ ), Вт;

$G_{cm}$  – расход воды через отопительный стояк, кг/ч, определяемый по формуле

$$G_{cm} = \frac{0,86 \cdot Q_{cm}}{t_z - t_o}; \quad (3.18)$$

где  $Q_{cm}$  – тепловая нагрузка стояка, Вт.

Плотность воды в зависимости от ее температуры определяется по формуле

$$\rho = 1000,3 - 0,06 \cdot t - 0,0036 \cdot t^2, \quad (3.19)$$

где  $t$  – температура воды, °С.

Гидравлический расчет системы отопления выполняется методом удельных потерь давления. При расчете по данному методу вначале определяют ориентировочное значение удельной потери давления на трение при движении теплоносителя по трубам  $R_{cp}$ , Па/м, по формуле

$$R_{cp} = \frac{0,9 \cdot \Delta p_p \cdot K}{\sum l} \quad (3.20)$$

где  $K$  – доля потерь давления на трение, принимаемая для систем с естественной циркуляцией равной 0,5; для систем с искусственной циркуляцией равной 0,65;

$\sum l$  – сумма длин участков расчетного кольца, м.

По полученному значению  $R_{cp}$  по таблице [24, прил. 6] или прил. В принимаются диаметры участков  $d$ , мм, и по значению расходов воды определяются действительные скорости движения воды  $v$ , м/с, и удельные потери давления на трение  $R$ , Па/м. Эти данные заносятся в табл. 3.4. Диа-

метры участков необходимо подбирать так, чтобы скорости движения воды возрастали по мере увеличения тепловых нагрузок без резких скачков.

Расход воды на участке  $G_{yч}$ , кг/ч, определяется по формуле

$$G_{yч} = \frac{0,86 \cdot Q_{yч}}{t_2 - t_0}, \quad (3.21)$$

где  $Q_{yч}$  – тепловая нагрузка участка, Вт;

$t_2, t_0$  – температура горячей и обратной воды, °С.

Потери давления на трение на участке определяются путем умножения удельной потери давления на трение  $R$  на длину участка  $l$ .

Потери давления в местных сопротивлениях  $Z$ , Па, определяются по формуле

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}, \quad (3.22)$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке, определяемая в зависимости от видов местных сопротивлений по таблице [24, прил. 5] или по прил. Г.

Суммируя потери давления на трение и в местных сопротивлениях, определяются потери давления на участке, а затем, суммируя потери давления на расчетных участках, получают потери давления в кольце, которые должны быть в пределах 90 % располагаемого давления:

$$\frac{\Delta p_p - \sum (Rl_i + Z_i)}{\Delta p_p} \cdot 100\% \leq 10\%. \quad (3.23)$$

Если данное равенство не выполняется, необходимо изменить диаметры отдельных участков.

Результаты гидравлического расчета сводятся в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Гидравлический расчет трубопроводов

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Номер участка	Тепловая нагрузка участка $Q_{yч}$ , Вт	Расход воды на участке $G_{yч}$ , кг/ч	Длина участка $l$ , м	Диаметр трубопровода $d$ , мм	Скорость движения воды $v$ , м/с	Потери давления на трение на 1 м длины $R$ , Па/м	Потери давления на трение на участке $R \cdot l$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке $\sum \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	Сумма потерь давления на участке $R \cdot l_{yч} + Z_{yч}$ , Па

### 3.7. Расчет отопительных приборов

Наиболее распространенными отопительными приборами, устанавливаемыми в жилых зданиях, являются чугунные и стальные радиаторы и конвекторы.

Необходимая теплопередача отопительного прибора в рассматриваемое помещение определяется по формуле

$$Q_{np} = Q_n - 0,9 \cdot Q_{mp}, \quad (3.24)$$

где  $Q_n$  – теплонедостатки в помещении, Вт (табл. 3.1, 3.2);

$Q_{mp}$  – теплоотдача открыто проложенных в пределах помещения труб стояка (ветви) и подводок, к которым непосредственно присоединен прибор, Вт, определяемая по формуле

$$Q_{mp} = q_6 l_6 + q_2 l_2, \quad (3.25)$$

$q_6, q_2$  – теплоотдача 1 м вертикально и горизонтально проложенных труб, Вт/м, принимаемые равными  $q_6 = 90$  Вт/м;  $q_2 = 110$  Вт/м;

$l_6, l_2$  – длина вертикальных и горизонтальных трубопроводов, проложенных в помещении, м.

Количество секций отопительного прибора определяется по формуле

$$N = \frac{Q_{np} \cdot \beta_4}{q_{np} \cdot \beta_3}, \quad (3.26)$$

где  $Q_{np}$  – теплопередача отопительного прибора, Вт;

$\beta_4$  – поправочный коэффициент, учитывающий способ установки радиатора в помещении, при открытой установке  $\beta_4 = 1$  [16];

$\beta_3$  – поправочный коэффициент, учитывающий число секций в одном радиаторе, принимаемый при числе секций до 15 шт.  $\beta_3 = 1$ ; при числе секций от 16 до 20 –  $\beta_3 = 0,98$ ; при числе секций от 21 до 25 –  $\beta_3 = 0,96$  [16];

$q_{np}$  – расчетная плотность теплового потока, Вт, определяемая для одной секции чугунного радиатора по формуле

$$q_{np} = q_{ном} \cdot (\Delta t_{cp} / 70)^{1,3}; \quad (3.27)$$

$q_{ном}$  – номинальная плотность теплового потока секции чугунного радиатора, Вт, принимаемая для чугунных радиаторов 2К-60П-500 равной  $q_{ном} = 125$  Вт, для 2К-60П-300 –  $q_{ном} = 81$  Вт;

$\Delta t_{cp}$  – температурный напор, °С, определяемый по формуле

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_g; \quad (3.28)$$

$t_g$  – температура воздуха в помещении, °С;

$t_{cp}$  – средняя температура воды в приборе, °С, определяемая:

– для двухтрубной системы:

$$t_{cp} = 0,5 \cdot (t_2 + t_o), \quad (3.29)$$

где  $t_2, t_o$  – температура соответственно горячей и обратной воды, °С;

– для однотрубной системы:

$$t_{cp} = t_{ex} - \frac{1,8 \cdot Q_{np} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{c \cdot G_{cm}}, \quad (3.30)$$

где  $t_{ex}$  – температура воды, °С, входящей в прибор, определяемая по формуле (3.17);

$\beta_1$  – поправочный коэффициент, учитывающий теплопередачу через дополнительную площадь приборов (сверх расчетной), для радиаторов  $\beta_1 = 1,03 \div 1,06$ ;

$\beta_2$  – поправочный коэффициент, учитывающий дополнительные тепловые потери вследствие размещения отопительных приборов у наружных ограждений, при установке у наружной стены секционного радиатора  $\beta_2 = 1,02$  [16];

$c$  – теплоемкость воды,  $c = 4,187$  кДж/(кг·°С);

$G_{cm}$  – расход воды на стояке, определяемый по формуле (3.18).

Расчет отопительных приборов производится для расчетного стояка, и результаты расчета сводятся в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Расчет отопительных приборов

Номер помещения	Теплопостатки в помещении $Q_n$ , Вт	Теплоотдача труб $Q_{np}$ , Вт	Температурный напор $\Delta t_{cp}$ , °С	Расчетная плотность теплового потока $q_{np}$ , Вт	Расчетное число секций $N$	Принятое число секций
1	2	3	4	5	6	7

## 4. ВЕНТИЛЯЦИЯ ЗДАНИЯ

### 4.1. Определение воздухообменов в помещениях

Устройство систем вентиляции в жилых зданиях необходимо для возможности удаления избытков теплоты, влаги и вредных газов, выделяемых в помещении. Для кухонь, ванных комнат и санузлов количество вентиляционного воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч, принимается по таблице В.1 [8, прил. В].

Количество вентиляционного воздуха для квартир, не связанных коридором с кухней или санузлом, определяется по формуле

$$L = 3 \cdot F_{пл}, \quad (4.1)$$

где  $3$  – удельный расход воздуха на 1 м<sup>2</sup> площади пола, м<sup>3</sup>/(ч·м<sup>2</sup>);  
 $F_{пл}$  – площадь пола, м<sup>2</sup>.

### 4.2. Выбор систем вентиляции и их конструирование

В жилых зданиях устраивают естественную вентиляцию: организованную вытяжку в каждой квартире из кухонь, ванных комнат, туалетов и санузлов и неорганизованный приток в каждое помещение через окна, форточки, балконные двери, щели в оконных переплетах.

При наличии жилых помещений, не сообщающихся через коридор с кухнями или санузлами, естественную вытяжку делают непосредственно из таких помещений.

В кирпичных внутренних стенах размеры каналов принимаются кратными размерам кирпича (140×140 мм, 140×270 мм). В панельных зданиях для вентиляции устраивают вентблоки. Минимальный диаметр канала вентблока 150 мм.

Вытяжные отверстия в жилых зданиях располагают на расстоянии 0,5-0,7 м от потолка. Вытяжные отверстия закрываются решетками с подвижными и неподвижными жалюзями.

Протяженность сборных каналов на чердаках от места присоединения вертикального вытяжного канала до выбросной шахты не должна превышать 8 м. Ближайшими по ходу воздуха к вытяжной шахте должны быть вытяжные каналы верхних этажей.

Минимальная высота выброса воздуха над кровлей должна составлять: при скатных кровлях – 0,7 м, но не более чем на 0,5 м выше конька; при плоских кровлях – 0,5 м.

### 4.3. Аэродинамический расчет систем вентиляции

Перед выполнением аэродинамического расчета вычерчивается схема системы вентиляции в аксонометрической проекции. Схема разбивается на участки, начиная от канала верхнего этажа до выхода воздуха из вытяжной шахты (для системы вентиляции со сборным коробом). Для системы вентиляции с выпуском воздуха через каналы непосредственно в атмосферу каждый канал рассматривается как отдельный участок.

При расчете каналов выполняется ориентировочный подбор сечений по формуле

$$f_k^{op} = \frac{L}{3600 \cdot v_{don}}, \quad (4.2)$$

где  $L$  – расход воздуха, удаляемого через канал, м<sup>3</sup>/ч;

$v_{don}$  – допустимая скорость воздуха в канале, м/с, для систем естественной вентиляции рекомендуется принимать в следующих пределах:

- вытяжные решетки  $v_{don} = 0,5 \div 1,0$  м/с;
- вертикальные каналы  $v_{don} = 0,5 \div 1,0$  м/с;
- вытяжные шахты  $v_{don} = 1,0 \div 1,5$  м/с.

По рассчитанному ориентировочному сечению подбирается канал стандартных размеров.

Потери давления на участке вентиляционной сети определяются по формуле

$$\Delta p = R \cdot l \cdot \beta + Z, \quad (4.3)$$

где  $R$  – потери давления на 1 м длины круглого воздуховода, Па/м, принимается по [24, рис. 14.9] или по прил. Д;

$l$  – длина участка, м;

$\beta$  – поправочный коэффициент на шероховатость стенок канала, принимаемый для кирпичных каналов равным 1,3; для каналов вентиляционных блоков 1,5;

$Z$  – потери давления в местных сопротивлениях, определяемые как

$$Z = \sum \xi \cdot p_{\partial}, \quad (4.4)$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке, определяемая в зависимости от видов местных сопротивлений по таблице [24, прил. 9] или по прил. Г;

$p_{\partial}$  – динамическое давление на участке, Па, принимается по [24, рис. 14.9] или по прил. Д.

Расчетное располагаемое давление, Па, в системе естественной вентиляции определяется по формуле

$$\Delta p_e = g \cdot h \cdot (\rho_n - \rho_e), \quad (4.5)$$

где  $h$  – вертикальное расстояние от центра вытяжной решетки до устья вытяжной шахты, м;

$\rho_n$  – плотность наружного воздуха при температуре  $+5$  °С,  $\rho_n = 1,27$  кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_e$  – плотность внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>, определяемая для температуры  $t$  по формуле

$$\rho_e = 353 / (273 + t). \quad (4.6)$$

Для нормальной работы системы вентиляции необходимо, чтобы выполнялось условие

$$\frac{\Delta p - \sum (Rl\beta + Z)}{\Delta p} \cdot 100\% \leq 10\%. \quad (4.7)$$

Для системы со сборным коробом потери давления в вентиляционной сети  $\sum (Rl\beta + Z)$  складываются из потерь давления на каждом участке.

Для системы с удалением воздуха через каналы непосредственно в атмосферу условие (4.7) проверяется для каналов с каждого этажа. При этом располагаемое циркуляционное давление  $\Delta p_e$  также рассчитывается для канала каждого этажа. Если условие (4.7) не выполняется, необходимо изменить площади сечения каналов. Результаты аэродинамического расчета системы вентиляции заносятся в табл. 4.1.

Число жалюзийных решеток принимается равным числу каналов в помещении. Площадь живого сечения решеток определяется по формуле (4.2) и по табл. 4.2 выбирается тип и размеры решеток.

Таблица 4.1

## Аэродинамический расчет системы вентиляции

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Номер участка	Расход воздуха на участке $L$ , м <sup>3</sup> /ч	Длина участка $l$ , м	Размеры канала $a \times b$ , м	Эквивалентный диаметр $d_{экв}$ , м	Действительная скорость воздуха в канале $v$ , м/с	Потери на 1 м канала $R$ , Па/м	Поправочный коэффициент на шероховатость $\beta$	Потери давления от трения на участке $R \cdot l \cdot \beta$ , Па	Динамическое давление на участке $p_0$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	Общие потери давления на участке $(R \cdot l \cdot \beta + Z)$ , Па

Таблица 4.2

## Технические данные решеток

Обозначение	Габаритные размеры	Площадь живого сечения $f_{реш}$ , м <sup>2</sup>	Обозначение	Габаритные размеры	Площадь живого сечения $f_{реш}$ , м <sup>2</sup>
РР-1	100×200	0,016	РР-3	200×200	0,032
РР-2	100×400	0,032	РР-4	200×400	0,064

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ  
И ОБОРУДОВАНИЕ ЗДАНИЙ»

При выполнении расчетно-графической работы студенты могут пользоваться методическими указаниями к проведению практических занятий и для выполнения курсовой работы. Задание к расчетно-графической работе выдается преподавателем. Расчетно-пояснительная записка и графическая часть работы выполняется на листах формата А4 в соответствии с требованиями к оформлению строительной документации [2, 3].

**Цель выполнения расчетно-графической работы:** научиться выполнять теплотехнический расчет ограждающих конструкций, выбирать и проектировать систему водяного отопления и систему естественной вентиляции жилого дома, производить расчет элементов этих систем.

**Задача 1.** Определить требуемую толщину изоляционного материала для наружных ограждающих конструкций жилого дома и действительное сопротивление теплопередаче этих конструкций.

**Исходные данные:** состав наружных ограждающих конструкций; место строительства.

**Задача 2.** Выполнить проверку наружной стены на возможность конденсации влаги на внутренней ее поверхности

**Исходные данные:** состав наружных ограждающих конструкций; место строительства.

**Задача 4.** Составить тепловой баланс для жилого дома. Сопротивление теплопередаче наружных ограждений принять из условий задачи 1.

**Исходные данные:** место строительства; этажность здания; высота этажа  $h$ , м; высота здания от поверхности земли до верха карниза  $H$ , м; ориентация ограждений помещения.

**Задача 5.** Запроектировать в жилом доме систему водяного отопления, разместить ее основные элементы на этажах (стояки, магистрали, тепловой узел, отопительные приборы, запорную арматуру) и выполнить гидравлический расчет трубопроводов системы отопления.

**Исходные данные:** вид системы отопления; параметры теплоносителя в системе отопления; тепловые нагрузки стояков (ветвей) системы отопления  $Q$ , Вт.

**Задача 6.** Произвести расчет и подбор отопительных приборов системы отопления. Теплотери помещения принять из условий задачи 2.

**Исходные данные:** тип отопительного прибора, вид системы отопления, параметры теплоносителя в системе отопления.

**Задача 7.** Запроектировать систему естественной вентиляции в жилом доме. Выполнить расчет элементов запроектированных систем вентиляции (каналы, воздуховоды, решетки).

**Исходные данные:** этажность здания; высота этажа  $h$ , м; высота здания от поверхности земли до верха карниза  $H$ , м.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ ЗДАНИЙ»

При выполнении контрольной работы студенты могут пользоваться методическими указаниями к проведению практических занятий и для выполнения курсовой работы. Задание к контрольной работе выдается преподавателем. Контрольная работа выполняется на листах формата А4 в соответствии с требованиями к оформлению строительной документации [2, 3].

**Цель выполнения контрольной работы:** научиться выполнять теплотехнический расчет ограждающих конструкций, выбирать и проектировать систему водяного отопления и систему естественной вентиляции жилого дома, производить расчет элементов этих систем.

**Задача 1.** Определить требуемую толщину изоляционного материала для наружной ограждающей конструкции и действительное сопротивление теплопередаче этой конструкции.

**Исходные данные:** вид и состав наружной ограждающей конструкции; место строительства.

**Задача 2.** Составить тепловой баланс для жилой комнаты в трехэтажном чердачном жилом доме. Сопротивление теплопередаче наружных ограждений принять из условий задачи 1.

**Исходные данные:** место строительства; этажность здания; высота этажа  $h$ , м; высота здания от поверхности земли до верха карниза  $H$ , м; ориентация ограждений помещения.

**Задача 3.** Разместить в здании элементы системы отопления (стояки, магистрали, тепловой узел, отопительные приборы, запорную арматуру) и выполнить гидравлический расчет трубопроводов системы отопления.

**Исходные данные:** вид системы отопления; параметры теплоносителя в системе отопления; тепловые нагрузки стояков (ветвей) системы отопления  $Q$ , Вт.

**Задача 4.** Произвести расчет и подбор отопительных приборов в помещении. Теплотери помещения принять из условий задачи 2.

**Исходные данные:** тип отопительного прибора, вид системы отопления, параметры теплоносителя в системе отопления.

**Задача 5.** Запроектировать систему вентиляции в трехкомнатной квартире жилого дома. Выполнить расчет элементов запроектированных систем вентиляции (каналы, воздуховоды, решетки).

**Исходные данные:** этажность здания; высота этажа  $h$ , м; высота здания от поверхности земли до верха карниза  $H$ , м.

# ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

## ТЕМА 1

### 1. Термодинамика – это

– наука, изучающая процессы и закономерности передачи от одного тела к другому;

– наука о свойствах энергии в различных ее видах, а также закономерностях перехода энергии от одних тел к другим и из одного вида в другой;

– наука о свойствах тел их физических и механических состояниях.

### 2. Работа – это

– сила, передаваемая от одного тела к другому в процессе изменения внешней энергии хотя бы одного из двух тел;

– энергия, передаваемая от одного тела к другому в процессе изменения внешней энергии хотя бы одного из двух тел;

– энергия, передаваемая от одного тела к другому в процессе изменения внутренней энергии хотя бы одного из двух тел.

### 3. Газообразные тела совершают большую работу, чем жидкие и твердые тела, т.к. обладают

– большим коэффициентом теплового расширения;

– меньшей удельной теплоемкостью;

– большим коэффициентом теплопроводности.

### 4. Газы, молекулы которых представлены как материальные точки и не взаимодействуют друг с другом, называются

– реальными;

– идеальными;

– инертными.

### 5. К термодинамическим параметрам состояния тела относятся

– абсолютная температура, удельный вес, плотность;

– давление, удельный объем, плотность;

– давление, удельный объем, абсолютная температура.

### 6. Полным давлением, под которым находится газ в закрытом сосуде, называется

– избыточное давление;

– барометрическое давление;

– абсолютное давление.

7. Параметр, характеризующий тепловое состояние тела – это
- давление;
  - теплота;
  - температура.
8. Уравнение состояния идеального газа записывается в виде
- $p \cdot \nu = R \cdot T$ ;
  - $p \cdot V = R \cdot T$ ;
  - $p \cdot M = R \cdot T$ .
9. Абсолютная температура измеряется в градусах
- Цельсия;
  - Кельвина;
  - Фаренгейта.
10. Удельным объемом называется
- объем, который занимает 1 моль газа;
  - объем, занимаемый 1 кг газа;
  - масса, занимаемая 1 м<sup>3</sup> газа.
11. Состояние газа, при котором все параметры состояния газа, имеют одинаковое значение во всех точках занимаемого объема, называется
- равномерным;
  - стационарным;
  - равновесным.
12. Запас в теле энергии, обусловленной тепловым движением молекул – это
- внутренняя энергия;
  - температура;
  - теплота.
13. Энтальпия численно равна количеству теплоты, которое подведено к газу в процессе нагревания его
- от 0 °С до температуры  $t$  при постоянном давлении;
  - от 0 °С до температуры  $t$  при постоянном объеме;
  - на 1 °С при постоянном давлении.
14. Изобарная теплоемкость больше изохорной
- на величину работы, совершаемой 1 кг газа при нагревании его на 1°С при постоянном объеме;

- на величину работы, совершаемой 1 кг газа при нагревании его до температуры  $t$  при постоянном давлении;
- на величину работы, совершаемой 1 кг газа при нагревании его на  $1^\circ\text{C}$  при постоянном давлении.

15. Первый закон термодинамики гласит: подводимая к рабочему телу теплота расходуется

- на изменение энтальпии и совершение работы;
- на изменение внутренней энергии и совершение работы;
- на его нагрев и изменение внутренней энергии.

16. Смесью идеальных газов называется смесь различных газов

- при условии отсутствия в них химических реакций;
- при условии протекания в них химических реакций;
- равномерного их распределения по объему.

17. Состав газовой смеси может быть задан

- удельными объемами;
- объемными долями;
- мольным составом.

18. Сумма парциальных давлений компонентов смеси равна

- абсолютному давлению смеси;
- избыточному давлению смеси;
- удельному давлению смеси.

19. Тепловой поток – это

- количество теплоты, переносимой в единицу времени от одного тела к другому;
- температура, передаваемая в единицу времени от одного тела к другому;
- работа, совершаемая в единицу времени одним телом над другим.

20. Плотность теплового потока  $q$  измеряется

- в  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;
- в  $\text{Вт}/\text{м}^3$ ;
- в  $\text{Вт}/\text{кг}$ .

21. Если тело в течение времени не изменяет свою температуру, то его состояние называется

- стационарным;
- изотермическим;
- изобарным.

22. Аналитически закон Фурье запишется в виде

- $q = \lambda / \delta (t_1 - t_2)$ ;
- $q = \delta / \lambda (t_1 - t_2)$ ;
- $q = \lambda / \delta (t_1 - t_2) \cdot F$ .

23. Теплоизоляционные материалы это материалы

- с малой плотностью;
- с малым теплоусвоением;
- с малой теплопроводностью.

24. Перенос теплоты в результате перемещения и перемешивания частиц жидкости или газа называется

- теплопроводностью;
- тепловым излучением;
- конвекцией.

25. Величина коэффициента теплоотдачи измеряется

- в  $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ ;
- в  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;
- в  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ .

26. Абсолютно черным телом называется

- тело, с коэффициентом отражения равным единице
- тело, с коэффициентом поглощения равным единице
- тело, с коэффициентом пропускания равным единице

27. Количество теплоты, проходящей от более нагретой среды к менее нагретой через  $1 \text{ м}^2$  поверхности стенки за 1 ч при разнице температур между средами  $1^\circ\text{C}$ , называется

- коэффициентом теплопередачи
- коэффициентом теплопроводности
- коэффициентом теплоотдачи

28. Теплопередача – это сложный процесс обмена теплотой между телами, состоящий из следующих элементарных процессов:

- тепловое излучение, теплопроводность, тепловое излучение;
- теплоотдача, тепловое излучение, теплоотдача;
- теплоотдача, теплопроводность, теплоотдача.

29. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции определяется как

$$- R = \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\lambda_i}{\delta_i} + \frac{1}{\alpha_e};$$

$$- R = \frac{1}{\alpha_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e};$$

$$- R = \frac{1}{\lambda_n} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\lambda_e}.$$

30. Теплообменный аппарат – это устройство

- для накапливания теплоты от разных тел;
- для передачи теплоты от одного теплоносителя к другому;
- для переноса теплоты от источника к потребителю.

32. Цель проектного теплового расчета теплообменника определить

- количество теплоносителя, проходящего через теплообменник;
- площадь поверхности теплообменника;
- температуру теплоносителя на выходе из теплообменника.

## ТЕМА 2

1. Сочетание параметров, при которых сохраняется тепловое равновесие в организме человека и отсутствует напряжение в его системе терморегуляции, называются

- комфортными;
- допустимыми;
- благоприятными.

2. Микроклимат помещения характеризуется

- температурой внутреннего воздуха, радиационной температурой, относительной влажностью, подвижностью;

- температурой внутреннего воздуха, температурой наружного воздуха, относительной влажностью, подвижностью;

- температурой внутреннего воздуха, радиационной температурой, абсолютной влажностью, подвижностью.

3. Первое условие комфортности определяет

- первоначальные параметры воздуха, до установления оптимального температурно-влажностного режима помещения;

- сочетание температуры внутреннего воздуха и радиационной температуры в помещении;

- допустимые температуры нагретых и охлажденных поверхностей при нахождении человека в непосредственной близости от них.

4. Переходный период года это период года со среднесуточной температурой наружного воздуха равной

- $t_n = +8 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- $t_n = +5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

- $t_n = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

5. Микроклимат в помещении создается системами

- отопления, вентиляции, горячего водоснабжения;

- отопления, вентиляции, газоснабжения;

- отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха.

6. Теплозащитные качества ограждения определяются

- теплопроводностью;

- тепловой инерцией;

- сопротивлением теплопередаче.

7. Единицы измерения сопротивления теплопередаче

- $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ ;

- $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;

- $(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ .

8. Инфильтрацией называется

- переток внутреннего воздуха из помещения наружу вследствие разности гравитационных давлений;

- проникновение наружного воздуха во внутрь помещения вследствие разности гравитационных давлений;

- проникновение наружного воздуха во внутрь помещения вследствие разности абсолютных давлений.

9. Тепловая мощность системы отопления равна

- теплоизбыткам в помещении;
- теплонедостатками в помещении;
- разницей между избытками и недостатками теплоты в помещении.

10. Конденсация влаги из воздуха происходит на внутренней поверхности стены, когда

- температура поверхности стены меньше или равна температуре мокрого термометра;
- температура поверхности стены меньше или равна температуре точки росы;
- температура поверхности стены больше температуры точки росы.

11. Переменный тепловой режим характерен

- для производственных помещений;
- для жилых помещений;
- для помещений лечебных учреждений.

12. Дежурное отопление должно поддерживать в помещении температуру

- $t_g = + 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- $t_g = + 10 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- $t_g = + 8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

13. Потери теплоты через ограждения разделяются

- на основные и добавочные;
- на главные и дополнительные;
- на основные и промежуточные.

14. Удельным расходом тепловой энергии называется

- расход теплоты на нагрев  $1 \text{ м}^3$  здания при разнице температур  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  за одни сутки;
- количество теплоты, теряемое  $1 \text{ м}^3$  здания при разнице температур  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  за одни сутки;
- количество теплоты, необходимое сообщить  $1 \text{ м}^3$  помещения для повышения его температуры на  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

15. Особенностью летнего теплового режима помещений является

- его нестационарность из-за переменного характера теплопоступлений от солнечной радиации

- его стационарность из-за неустойчивого характера тепlopоступлений от солнечной радиации
- его нестационарность из-за большой амплитуды колебаний температуры наружного воздуха

### ТЕМА 3

1. Жидкая или газообразная среда, передающая отопительным приборам теплоту, называется
  - теплоисточником;
  - теплоносителем;
  - теплопроводником.
  
2. Необходимость обеспечения требуемых температур во всех точках помещения и поддержание температур внутренних поверхностей наружных ограждений и отопительных приборов на определенном уровне является
  - архитектурно-строительными требованиями;
  - санитарно-строительными требованиями;
  - санитарно-гигиеническими требованиями.
  
3. Системы отопления подразделяются на группы по взаимному расположению элементов. Какая система отопления не существует в данной классификации?
  - местная;
  - локальная;
  - центральная.
  
4. Значительная тепловая инерция системы, высокое гидравлическое сопротивление, большой расход металла – это недостатки системы отопления с таким теплоносителем, как
  - вода;
  - пар;
  - воздух.
  
5. Если в системе отопления не установлен насос или элеватор для перемещения теплоносителя, то такую систему называют
  - системой с искусственной циркуляцией;
  - системой с естественной циркуляцией;
  - системой с опрокинутой циркуляцией.

6. При повышении температуры теплоносителя в системе отопления, избыточный объем теплоносителя удаляется

- в элеватор;
- в расширительный бак;
- в воздухооборник.

7. Системой с нижней разводкой называется система, в которой

- подающая и обратная магистрали расположены ниже отопительных приборов;
- теплоноситель в отопительных приборах движется по схеме «снизу-вниз»;
- подающая магистраль расположена выше, обратная магистраль – ниже отопительных приборов.

8. Пофасадное регулирование производится

- для увязки гидравлических потерь в кольцах системы отопления;
- для оптимального теплового режима здания;
- для эксплуатационного регулирования теплоотдачи отдельно для каждой стороны здания.

9. Подводкой называется отрезок трубопровода, соединяющий

- стояк и магистраль системы;
- магистраль и тепловой пункт системы;
- стояк и отопительный прибор.

10. Вертикальный трубопровод, соединяющий стоящие друг под другом отопительные приборы, называется

- стояком;
- магистралью;
- ветвью.

11. В двухтрубных системах отопления при взгляде из помещения подающий стояк располагается

- слева от обратного стояка;
- справа от обратного стояка;
- не имеет значения.

12. Удаление воздуха из системы отопления производится при помощи

- трехходовых кранов;
- кранов двойной регулировки;
- кранов конструкции Маевского.

13. Тепловая нагрузка отопительного прибора определяется
- теплопонедастками помещения, в котором расположен прибор;
  - теплонедостатками помещения за вычетом тепловыделений открыто проложенных в помещении трубопроводов;
  - теплопоизбытками помещения, в котором расположен прибор.
14. Конвективно-радиационными приборами называются
- передающие конвекцией от 50 до 75 % общего теплового потока;
  - передающие конвекцией свыше 75 % общего теплового потока;
  - передающие конвекцией до 50 % общего теплового потока.
15. Радиатор – это
- конвективно-радиационный прибор;
  - конвективный прибор;
  - радиационный прибор.
16. Конвектор – это
- конвективно-радиационный прибор;
  - конвективный прибор;
  - радиационный прибор.
17. Литыми радиаторами являются
- стальные;
  - биметаллические;
  - медные.
18. При выборе отопительных приборов для помещений с кратковременным пребыванием людей отдают предпочтение
- приборам с высокими эстетическими показателями;
  - наиболее компактными приборам;
  - приборам с высокими технико-экономическими показателями.
19. Интенсивность теплопередачи отопительного прибора характеризуется
- коэффициентом теплопередачи;
  - температурным напором;
  - тепловым напряжением прибора.
20. Наиболее высокий коэффициент теплопередачи отопительных приборов
- радиаторы чугунные;
  - гладкотрубные приборы;
  - конвекторы.

21. Основными факторами, влияющими на коэффициент теплопередачи, являются

- конструктивные особенности прибора и расход теплоносителя;
- конструктивные особенности прибора и скорость движения теплоносителя;
- конструктивные особенности прибора и температурный напор.

22. При расчете отопительных приборов за величину температурного напора принимают разницу между температурами

- внутреннего и наружного воздуха;
- теплоносителя на входе и выходе из отопительного прибора;
- теплоносителя в отопительном приборе и внутреннего воздуха.

23. Тепловой расчет отопительного прибора выполняется с целью определения

- температурного напора;
- расхода теплоносителя через прибор;
- площади теплоотдающей поверхности прибора.

24. Качественное регулирование теплового потока отопительного прибора подразумевает

- изменение температуры теплоносителя;
- изменение вида теплоносителя;
- изменение расхода теплоносителя.

25. Цель гидравлического расчета

- определение расчетных расходов при заданных диаметрах и расчетном циркуляционном давлении в системе отопления;
- определение тепловых нагрузок на участках при располагаемом давлении в системе отопления;
- определение диаметров трубопроводов системы при заданной тепловой нагрузке и расчетном циркуляционном давлении;

26. По формуле  $\Delta p_{yч} = SG_{yч}^2$  определяют потери давления на участке при гидравлическом расчете по методу

- характеристик сопротивления;
- приведенных длин;
- удельных потерь давления.

27. При начальном давлении пара  $p_{изб} < 0,07$  МПа систему парового отопления относят к системе
- высокого давления;
  - низкого давления;
  - вакуум-паровые.
28. Какой вид воздушного отопления не входит в классификацию
- паровоздушные;
  - газовоздушные;
  - конденсатовоздушные.
29. Какой вид воздушного отопления не входит в классификацию
- прямоточные;
  - рециркуляционные;
  - частично прямоточные;
  - частично рециркуляционные.
30. Центральная система воздушного отопления чаще всего является
- канальной;
  - бесканальной;
  - вытяжной.
31. В системах воздушного отопления нагрев помещения производится воздухом с температурой
- выше температуры воздуха в рабочей зоне;
  - выше температуры наружного воздуха;
  - равной температуре воздуха в рабочей зоне.
32. Воздушное отопление обычно объединяется с системой
- естественной приточной вентиляцией;
  - механической приточной вентиляцией;
  - механической вытяжной вентиляцией.
33. Воздушные завесы обычно устанавливаются
- у оконных проемов;
  - у входных дверей общественных зданий;
  - у наружных стен производственных зданий.

34. При печном отоплении наблюдается
- стационарный температурный режим;
  - нестационарный температурный режим;
  - постоянный тепловлажностный режим.
35. При газовом отоплении в качестве теплоносителя используют
- продукты сгорания твердого топлива;
  - продукты сгорания жидкого топлива;
  - продукты сгорания газообразного топлива.
36. Принцип действия электрических отопительных приборов основан
- на законе Бойля – Мариотта;
  - на законе Менделеева – Клапейрона;
  - на законе Джоуля – Ленца.

#### ТЕМА 4

1. Дайте наиболее точное определение назначения вентиляции. Назначением вентиляции является обеспечить
- допустимые условия параметров в помещении;
  - ассимиляцию избытков теплоты в помещении;
  - санитарно-гигиенические условия в помещении;
  - оптимальные условия в помещении.
2. Пространство высотой 2 м (1,5 м) над уровнем пола или площадки, на которых находятся места постоянного или временного пребывания людей, называется
- рабочей зоной;
  - служебной зоной;
  - функциональной зоной.
3. Количество теплоты, выделяемой человеком, зависит
- от вида деятельности человека;
  - от расположения человека относительно отопительного прибора;
  - от положения тела человека.
4. Различают теплоту, выделяемую человеком,
- полную и явную;
  - основную и явную;
  - полную и скрытую.

5. Влага, поступающая в помещение от людей, открытых поверхностей жидкостей, называется

- полной;
- явной;
- избыточной.

6. Величина ПДК определяет максимально допустимое значение

- вредных веществ;
- избыточной влаги;
- явной теплоты.

7. Абсолютная влажность – это

- масса влаги, содержащейся в объеме помещения;
- масса влаги, содержащейся в 1 м<sup>3</sup> влажного воздуха;
- объем водяных паров, находящегося в 1 кг влажного воздуха.

8. Количество теплоты, содержащейся во влажном воздухе и отнесенной к 1 кг заключенного в нем сухого воздуха, называется

- удельной теплотой воздуха;
- энтальпией воздуха;
- теплоемкостью воздуха.

9. Температура, которую принимает воздух при достижении насыщенного состояния и сохранении постоянной энтальпии воздуха, равной начальной, называется

- температурой мокрого термометра;
- температурой сухого термометра;
- температурой точки росы.

10. Количество чистого воздуха, необходимого для частичной или полной замены воздуха помещения, содержащего вредные выделения, называют

- кратностью воздухообмена;
- воздухообменом;
- воздушной нагрузкой.

11. Воздухообмен в помещениях, происходящий под влиянием разности давлений наружного и внутреннего воздуха и действия ветра через неплотности ограждающих конструкций, называется

- неорганизованной механической вентиляцией;
- неорганизованной естественной вентиляцией;
- аэрацией.

12. Для создания одинаковых условий воздушной среды (температуры, влажности, чистоты воздуха и его подвижности) в рабочей зоне всего помещения проектируют

- местную вентиляцию;
- общеобменную вентиляцию;
- аварийную вентиляцию.

13. Дефлектор используется

- для удаления воздуха из системы отопления;
- для подачи воздуха в помещение;
- для усиления тяги в вытяжных воздуховодах.

14. Каналы систем вентиляции запрещено устраивать

- во внутренних стенах;
- в несущих стенах;
- в наружных стенах.

15. Теплым чердаком называется

- чердак, по которому проложены магистрали системы отопления;
- чердак, в помещение которого поступает вытяжной воздух;
- чердак, перекрытие которого содержит теплоизоляционный слой.

16. Вентиляция, предназначенная для удаления вредных веществ от мест их выделения, называется

- аварийной;
- местной;
- общеобменной.

17. Устройство, создающее давление для перемещения воздуха, в системах вентиляции – это

- элеватор;
- конвектор;
- вентилятор.

18. Цель аэродинамического расчета системы вентиляции

- определение размеров воздуховодов и потерь давления в системе;
- подбор решеток и потерь давления в системе;
- определение размеров воздуховодов и подбор оборудования.

19. Очистка и нагрев воздуха в системах механической вентиляции производится

- в тепловом пункте;
- в приточном центре;
- в вытяжном центре.

20. Целью подбора калориферов является определение

- необходимо площади поверхности нагрева;
- количества теплоносителя, проходящего через калорифер;
- гидравлического сопротивления калорифера.

21. Обводной клапан в калориферной установке предусматривают для регулирования

- количества теплоносителя, проходящего через устройство;
- количества наружного воздуха, проходящего через устройство;
- количества теплоты, передаваемого приточному воздуху.

22. От вибрации лопастного колеса, кожуха и электродвигателя, а также от подшипников, передачи и других элементов вентиляторной установки создается

- аэродинамический шум;
- механический шум;
- вибрационный шум.

23. Шумоглушитель – это устройство

- для снижения механического шума;
- для снижения аэродинамического шума;
- для снижения уличного шума.

24. Системы кондиционирования воздуха проектируют для поддержания в помещении

- допустимых параметров воздуха;
- оптимальных параметров воздуха;
- удовлетворительных параметров воздуха.

25. Автономными кондиционерами называются кондиционеры,

- работающие без подмешивания наружного воздуха;
- работающие только на наружном воздухе;
- имеющие собственные системы холодо- и теплоснабжения .

26. Кондиционер отличается от приточной камеры

- встроенной вентиляторной секцией;
- встроенной секцией фильтра;
- встроенной системой автоматики;

## ТЕМА 5

1. Основной теплотехнической характеристикой топлива является

- состав топлива;
- тепловой эквивалент;
- теплота сгорания.

2. Количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании топлива с учетом теплоты выделившейся при конденсации водяных паров, называется

- низшей теплотой сгорания;
- высшей теплотой сгорания;
- неполной теплотой сгорания.

3. Наибольшими потерями теплоты, теряемые котлоагрегатом при его работе, являются

- потери теплоты от химической неполноты сгорания;
- потери теплоты с уходящими газами;
- потери теплоты в окружающую среду.

4. Для сжигания какого вида топлива применяются слоевые топki?

- твердого;
- жидкого;
- газообразного.

5. Тепловой мощностью топki называют

- количество теплоты, выделяемого в топке за 1 с;
- количество выделяемой теплоты за 1 с, отнесенное к  $1 \text{ м}^3$  топki;
- количество теплоты, выделяющееся с  $1 \text{ м}^2$  зеркала горения за 1 с.

6. Котельные, теплота которых обеспечивает тепловой энергией технологические процессы и системы отопления и вентиляции, называются

- отопительно-бытовыми;

- отопительно-производственными;
- отопительно-технологическими.

7. Потребителями централизованной системы теплоснабжения являются

- здания и сооружения;
- тепловые и индивидуальные пункты;
- системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения.

8. Основным компонентом природного газа является

- пропан;
- этан;
- метан.

9. Газорегуляторные пункты предназначены

- для снижения расхода газа;
- для снижения давления газа;
- для снижения концентрации газа.

10. Газопроводы в здании запрещено прокладывать

- в коридорах;
- на лестничных клетках;
- в жилых комнатах.

11. Газопроводы природного газа окрашивают

- в коричневый цвет;
- в оранжевый цвет;
- в желтый цвет.

12. Атоматизированные котлы полной заводской готовности на различных видах топлива, работающие без постоянного обслуживающего персонала, называются

- индивидуальным теплогенератором;
- персональным теплогенератором;
- автономным теплогенератором.

13. Процесс выработки теплоты, сопровождаемый одновременным производством электрической энергии называется

- теплогенерацией;
- теплофикацией;
- теплоинтесификацией.

14. По виду теплоносителя системы теплоснабжения делятся на

- водяные и паровые
- паровые и газовые
- водяные и воздушные

15. Гелиосистемами называют системы, вырабатывающие тепловую энергию за счет

- движения воздуха;
- энергии солнца;
- горячих подземных вод.

16. Добавление к природному газу добавки для своевременного определения утечек называется

- ароматизацией;
- одоризацией;
- регазификацией.

17. По назначению тепловые сети подразделяются

- на головные, вспомогательные, ответвления;
- на магистральные, распределительные, ответвления;
- на основные, дополнительные, ответвления.

18. Газопроводы жилых домов подключают к газопроводам с давлением

- ниже 0,005 МПа;
- ниже 0,05 МПа;
- ниже 0,3 МПа.

## ВОПРОСЫ ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ

1. Термодинамика как наука. Основные параметры состояния газа. Уравнение состояния идеального газа.
2. Смесь идеальных газов. Теплоемкость газа.
3. Основные функции состояния газа (внутренняя энергия, энтальпия и энтропия газа).
4. Основные понятия и определения процесса обмена теплотой.
5. Процесс передачи теплоты теплопроводностью. Закон Фурье.
6. Процесс передачи теплоты конвекцией. Уравнение Ньютона – Рихмана.
7. Процесс теплового излучения. Закон Стефана – Больцмана.
8. Поглощательная, отражательная и пропускная способности тела.
9. Процесс теплопередачи.
10. Теплообменные аппараты.
11. Микроклимат помещения. Расчетные параметры внутреннего и наружного воздуха. Системы для обеспечения микроклимата.
12. Тепловой и воздушный режимы здания. Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций.
13. Фильтрация. Сопротивление воздухопроницанию конструкций.
14. Конденсация влаги. Сопротивление паропроницанию конструкций.
15. Тепловой баланс жилых зданий. Теплотери и теплопоступления в помещения.
16. Определение тепловой мощности системы отопления. Удельная тепловая характеристика здания.
17. Летний тепловой режим помещения.
18. Понятие о системах отопления. Требования, предъявляемые к ним.
19. Классификация систем отопления.
20. Система водяного отопления с естественной циркуляцией воды.
21. Размещение элементов системы отопления в зданиях.

22. Отопительные приборы. Классификация, виды, характеристики.
23. Тепловой расчет отопительных приборов.
24. Схемы присоединения приборов к теплопроводам. Регулирование теплоотдачи приборов.
25. Гидравлический расчет трубопроводов систем отопления с естественной циркуляцией.
26. Гидравлический расчет трубопроводов системы отопления с искусственной циркуляцией.
27. Системы парового отопления, их классификация.
28. Система парового отопления низкого давления.
29. Система парового отопления высокого давления.
30. Отопление многоэтажных зданий.
31. Системы воздушного отопления.
32. Панельно-лучистое отопление.
33. Печное отопление.
34. Газовое отопление.
35. Электрическое отопление.
36. Влажный воздух, основные характеристики,  $I-d$  диаграмма влажного воздуха.
37. Понятие вентиляции. Параметры микроклимата в вентилируемых помещениях. Воздухообмен в помещении.
38. Системы вентиляции, их классификация.
39. Схемы организации воздухообмена в помещении.
40. Вентиляция жилых зданий. Элементы систем вытяжной естественной вентиляции.
41. Аэродинамический расчет систем вентиляции.
42. Системы механической вентиляции, конструктивные элементы и их размещение.
43. Вентиляторы. Вытяжные центры.
44. Обработка приточного воздуха. Приточные центры.
45. Местная вентиляция.
46. Борьба с шумом и вибрацией в системах вентиляции.
47. Понятие о кондиционировании воздуха. Классификация систем кондиционирования воздуха (СКВ).

48. Установки кондиционирования воздуха (центральный кондиционер, местный кондиционер).
49. Топливо. Основные характеристики топлива.
50. Тепловой баланс котлоагрегата и его КПД. Потери теплоты в котельном агрегате.
51. Топочные устройства.
52. Централизованное теплоснабжение.
53. Тепловые сети.
54. Схемы присоединения потребителей к тепловым сетям. Тепловой пункт.
55. Вторичные энергетические ресурсы (ВЭР) и возобновляемые источники энергии.
56. Природный и сжиженный газы. Газовые распределительные сети. Газовый регуляторный пункт (ГРП).
57. Прокладка газопроводов в зданиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М. : Изд-во стандартов, 1988.
2. ГОСТ 21.101-93 Основные требования к рабочей документации. – Минск : Минстроиархитектуры Респ. Беларусь, 1995.
3. ГОСТ 21.205-93 Система проектной документации для строительства. Условные обозначения элементов санитарно-технических систем. – Минск : Минсктиппроект, 1994.
4. ГОСТ 21.602-79. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Рабочие чертежи. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 16 с.
5. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 1998.
6. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология.– Мн.: Минстройархитектуры, 2001.
7. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Минск : Минстройархитектуры, 2004.
8. СНБ 3.02.04-03 Жилые здания. – Минск : Минстройархитектуры, 2003.
9. СНБ 4.03.01-98 Газоснабжение. – Минск : Минстройархитектуры, 1999.
10. ТКП 45-1.03-40-2006 (02250) Безопасность труда в строительстве. Общие требования. – Минск : Минстройархитектуры, 2007.
11. ТКП 45-1.03-44-2006 (02250) Безопасность труда в строительстве. Строительное производство. – Минск : Минстройархитектуры, 2007.
12. ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника. – Минск : Минстройархитектуры, 2007.
13. Изменение № 1 ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника. – Минск : Минстройархитектуры, 2008.
14. Богословский, В. Н. Отопление : учеб. для вузов / В. Н. Богословский, А. Н. Сканави. – М. : Стройиздат, 1991. – 735 с.
15. Варфоломеев, Ю. М. Санитарно-техническое оборудование зданий / Ю. М. Варфоломеев, В. А. Орлов; под общ. ред. проф. Ю. М. Варфоломеева. – М. : ИНФРА-М, 2005. – 249 с.
16. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 1. Отопление. / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканави [и др.]; под ред. И. Г. Староверова, Ю. И. Шиллера. – М. : Стройиздат, 1990.– 344 с.

17. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 /В. Н. Богословский, А. И. Пирумов, В. Н. Посохин [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. – М. : Стройиздат, 1992. – 319 с.

18. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 /Б. В. Баркалов, Н. Н. Павлов, С. С. Амираджанов [и др.]; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. – М. : Стройиздат, 1992. – 416 с.

19. Мурзаков, В. В. Основы технической термодинамики / В. В. Мурзаков. – М. : Энергия, 1973. – 304 с.

20. Родивилина, Т. Ю. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция. Часть IV. Газоснабжение / Т. Ю. Родивилина, В. М. Иванов. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 1997.

21. Сазонов, Э. В. Вентиляция общественных зданий: учеб. пособие / Э. В. Сазонов. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – 188 с.

22. Самойлов, В. С. Инженерное оборудование дома и участка / В. С. Самойлов. – М. : ООО «Аделант», 2004. – 320 с.

23. Теплотехника : учеб. для вузов / под. ред. В. Н. Луканина – М. : Высш. шк., 1999 – 671 с.

24. Тихомиров, К. В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция / К. В. Тихомиров, Э. С. Сергеенко. – М. : Стройиздат, 1991 – 480 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

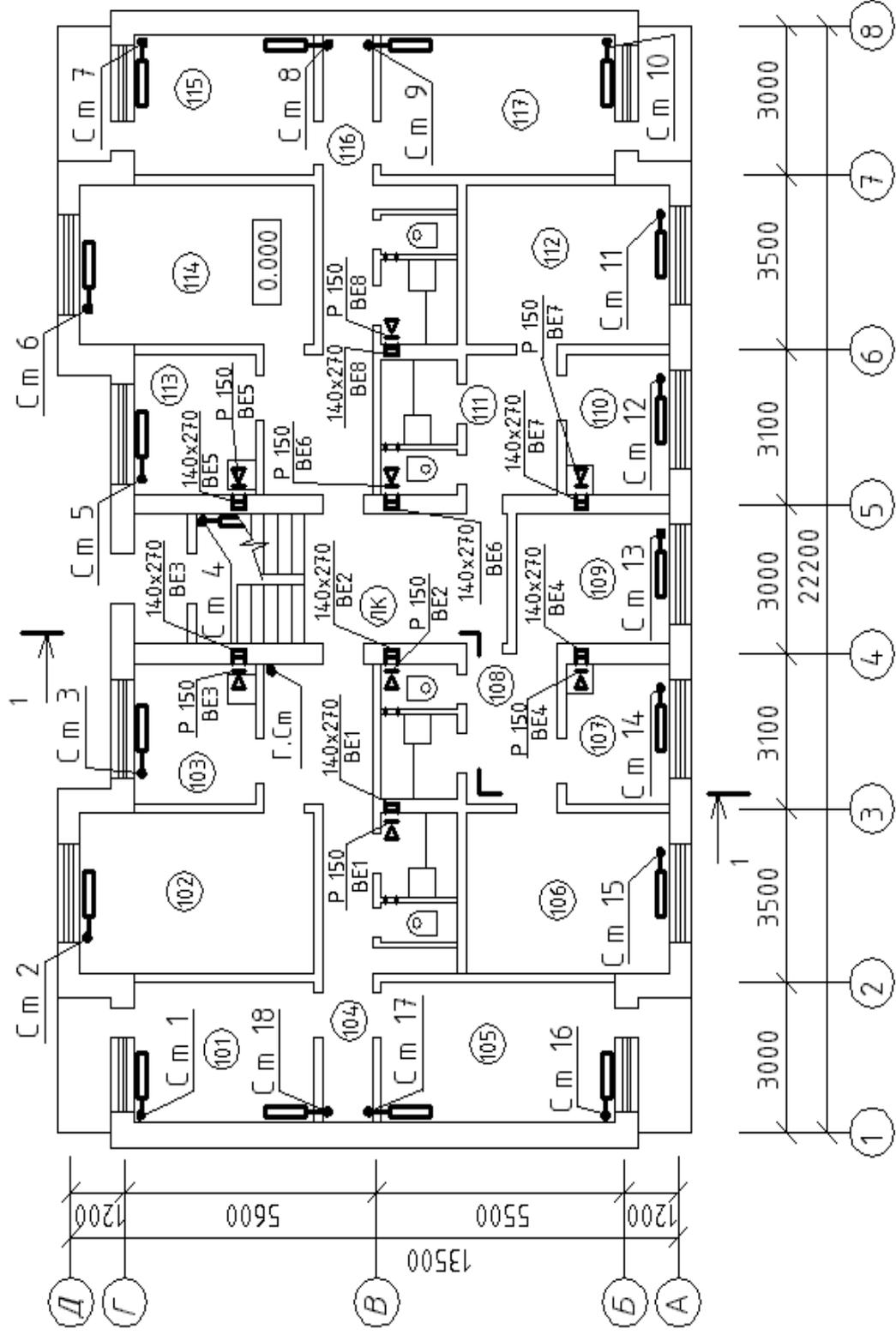


Рис. П.1. План типового этажа

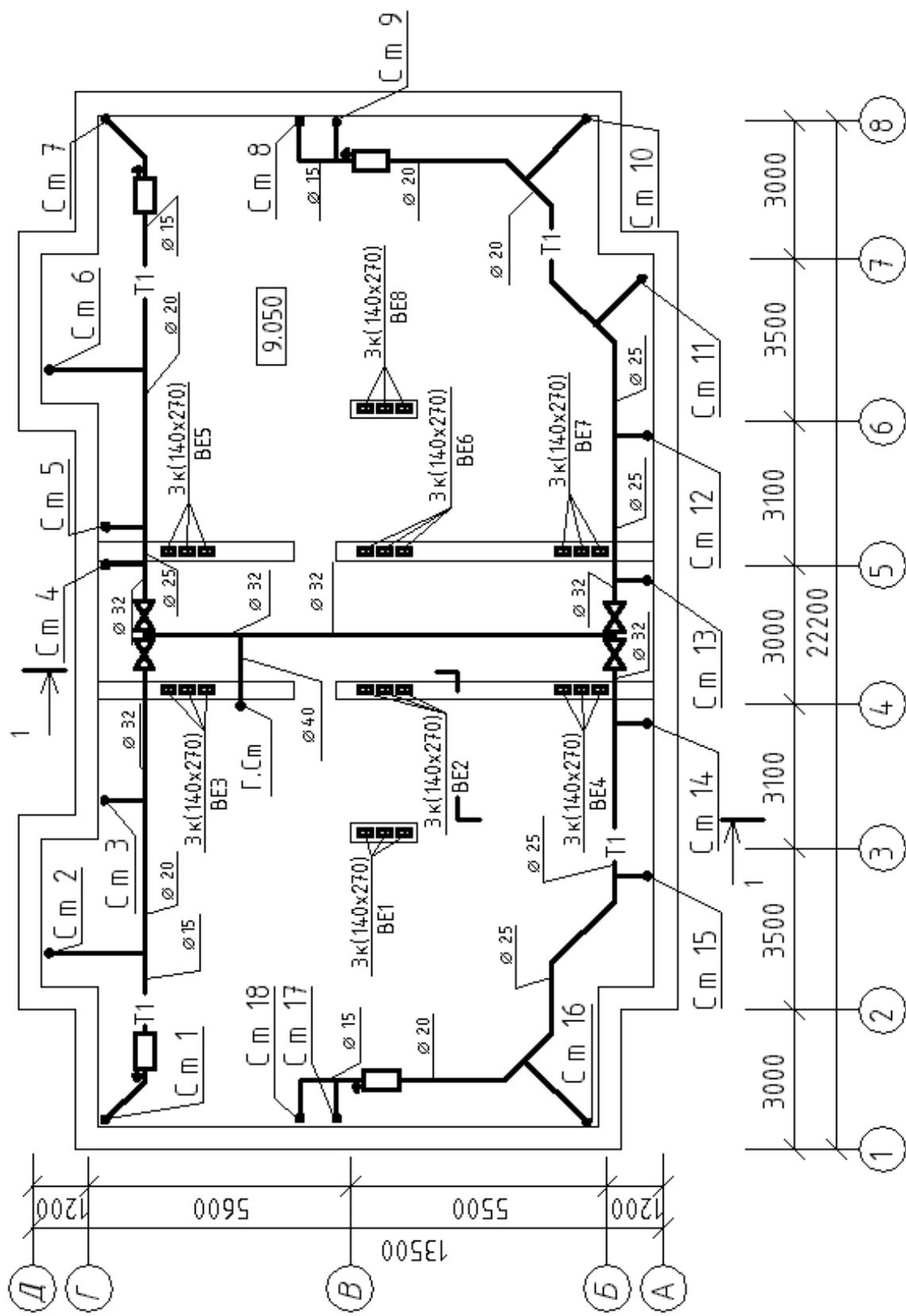


Рис. П.2. План чердака

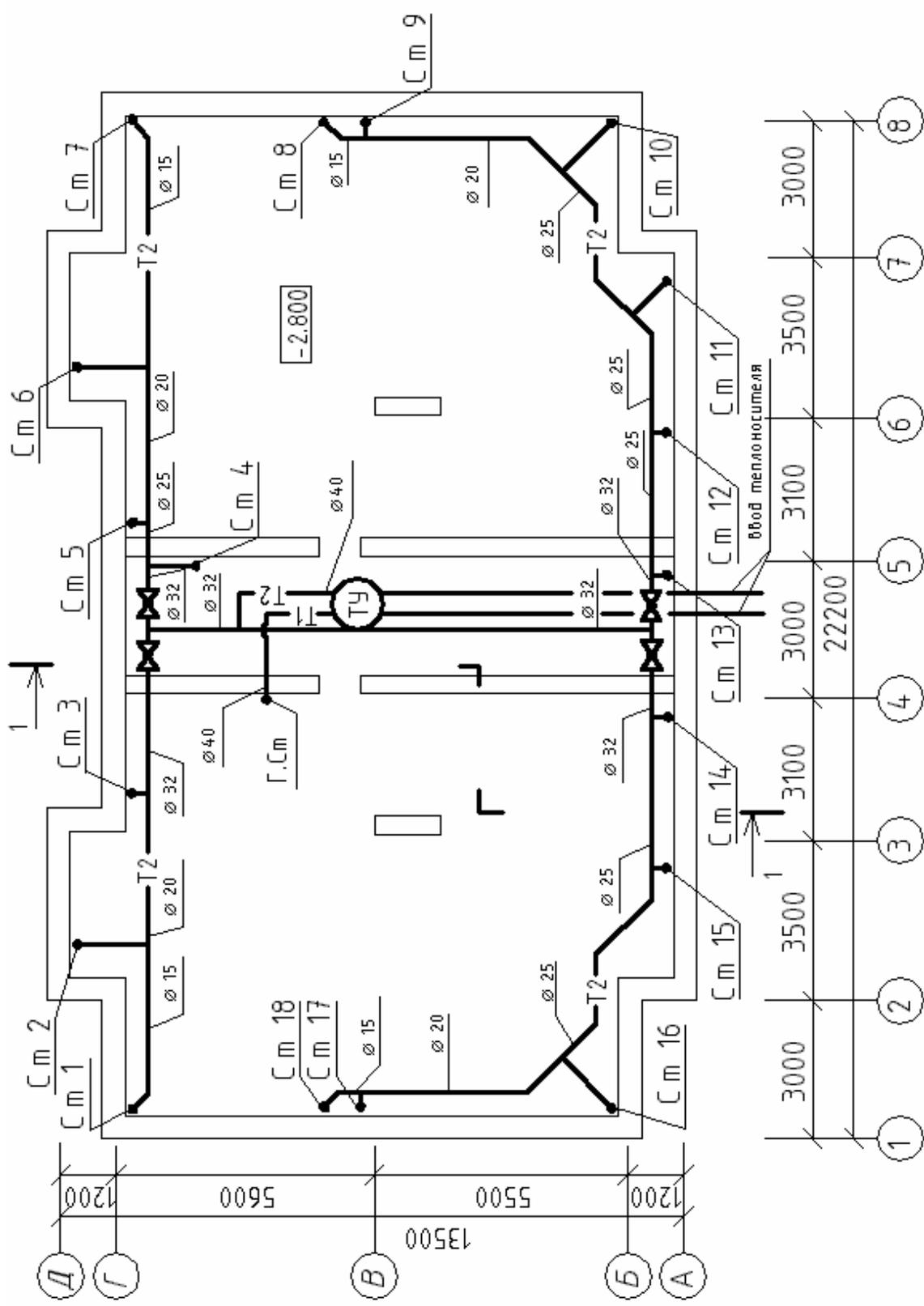


Рис. П.3. План подвала

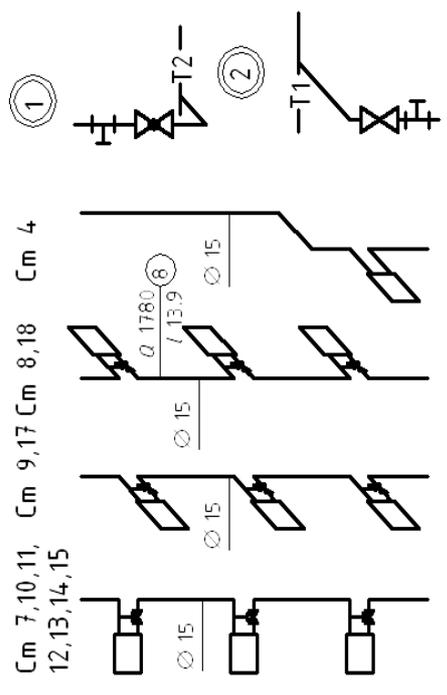


Рис. П.5. Схемы стояков и узлы системы отопления

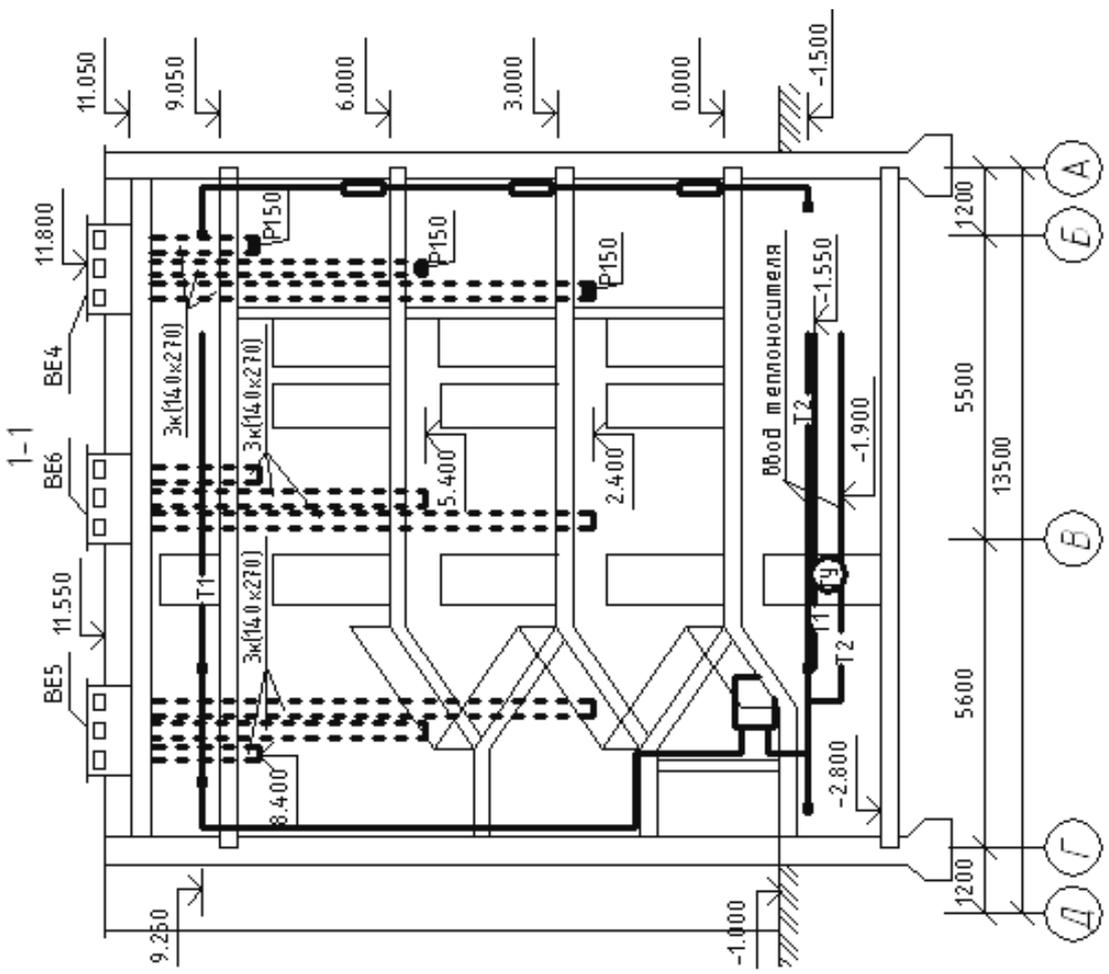


Рис. П.4. Разрез

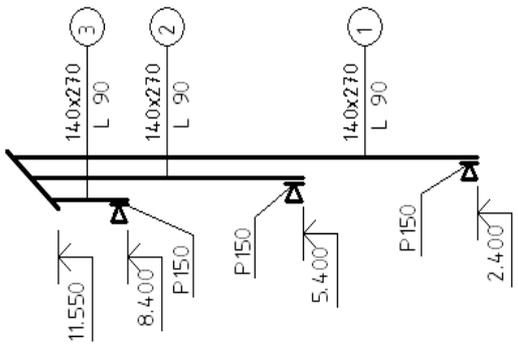


Рис. П.6. Схема системы вентиляции

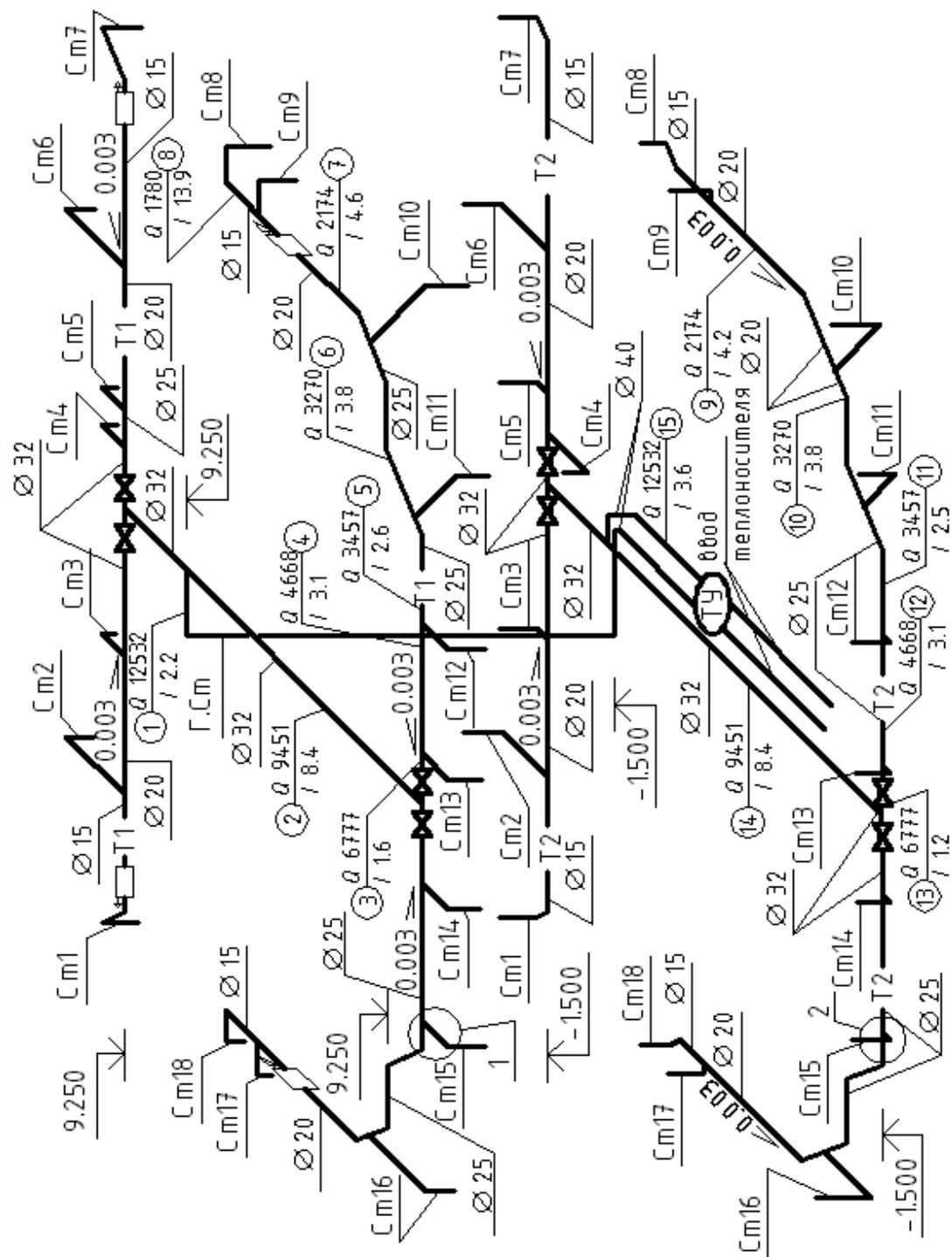
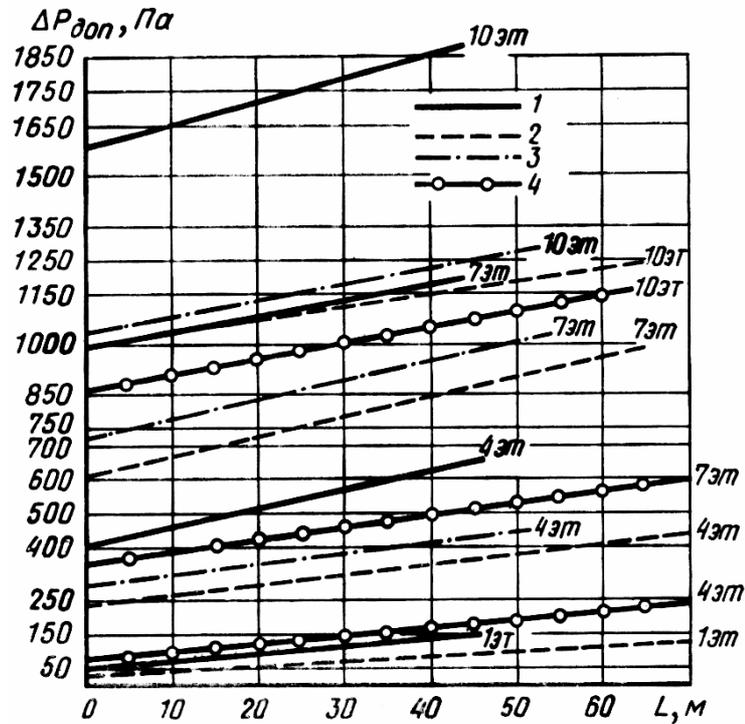


Рис. П.7. Схема системы отопления

График для определения дополнительных давлений  
за счет охлаждения воды в трубах



На рисунке: 1 и 2 – двухтрубная система с естественной и искусственной циркуляцией; 3 и 4 – однетрубная система с естественной и искусственной циркуляцией;  $L$  – горизонтальное расстояние от главного стояка до расчетного.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица для гидравлического расчета систем отопления трубопроводов водяного отопления при перепадах температуры воды в системе 95 – 70 °С, 105 – 70 °С и  $k_{и\text{л}} = 0,2$  мм

Потери давления на трение на 1 м, Па	Количество проходящей воды, кг/ч (верхняя строка) и скорость движения воды, м/с, (нижняя строка) по трубам стальным водогазопроводным легким (ГОСТ 3262-75*) условным проходом, мм						
	10	15	20	25	32	40	50
0,5	2,3 0,005	5,8 0,008	19 0,014	51,9 0,024	121 0,033	161 0,033	288 0,036
0,6	2,8 0,006	7 0,009	22,8 0,017	62,2 0,029	127 0,035	171 0,035	319 0,039
0,7	3,2 0,007	8,1 0,011	26,6 0,020	72,6 0,034	135 0,036	175 0,036	347 0,043
0,8	3,7 0,008	9,3 0,013	30,5 0,023	80,6 0,037	140 0,037	187 0,038	374 0,046
0,9	4,2 0,009	10,5 0,014	34,3 0,026	82,8 0,038	142 0,038	200 0,041	400 0,049
1,0	4,6 0,010	11,6 0,016	38,1 0,029	87,1 0,040	153 0,041	213 0,043	424 0,052
1,1	5,1 0,011	12,8 0,017	41,9 0,032	89,3 0,041	155 0,042	225 0,046	448 0,055
1,2	5,5 0,012	14 0,019	45,7 0,035	91,5 0,042	163 0,044	237 0,048	469 0,058
1,3	6 0,013	15,1 0,020	49,5 0,037	93,6 0,043	171 0,046	246 0,050	490 0,061
1,4	6,5 0,014	16,3 0,022	53,3 0,040	95,8 0,044	177 0,047	257 0,052	511 0,063
1,5	6,9 0,015	17,5 0,024	57,7 0,044	97,9 0,045	184 0,049	267 0,055	531 0,066
1,6	7,4 0,016	18,6 0,025	59 0,045	100 0,046	191 0,051	277 0,057	551 0,061
1,7	7,8 0,017	19,8 0,027	60,3 0,046	102 0,047	198 0,053	287 0,059	570 0,070
1,8	8,3 0,018	20,9 0,028	61,7 0,047	103 0,048	205 0,055	296 0,060	588 0,073
1,9	8,8 0,019	22,1 0,030	63 0,048	105 0,049	211 0,056	305 0,062	606 0,075
2,0	9,2 0,02	23,3 0,032	64,3 0,049	107 0,049	217 0,058	314 0,064	623 0,077
2,2	10,1 0,022	25,6 0,035	67,0 0,051	108 0,051	230 0,061	332 0,068	655 0,081
2,4	11,1 0,024	27,9 0,038	68,3 0,052	114 0,053	240 0,064	347 0,071	688 0,085
2,6	12 0,026	30,3 0,041	69,6 0,053	118 0,055	251 0,067	363 0,074	718 0,089

Потери давления на трение на 1 м, Па	Количество проходящей воды, кг/ч (верхняя строка) и скорость движения воды, м/с, (нижняя строка) по трубам стальным водогазопроводным легким (ГОСТ 3262-75*) условным проходом, мм						
	10	15	20	25	32	40	50
2,8	12,9 0,027	32,6 0,044	72,2 0,055	123 0,057	262 0,070	378 0,077	749 0,092
3,0	13,8 0,029	34,9 0,047	73,6 0,056	128 0,059	272 0,073	293 0,080	778 0,096
3,2	14,8 0,031	37,2 0,050	74,9 0,057	133 0,061	282 0,075	407 0,083	805 0,099
3,4	15,7 0,033	39,6 0,054	76,2 0,058	138 0,064	292 0,078	421 0,086	833 0,103
3,6	16,6 0,035	40,8 0,055	78,8 0,060	142 0,066	301 0,080	435 0,089	859 0,106
3,8	17,5 0,037	42,3 0,057	80,2 0,061	146 0,068	310 0,083	448 0,091	885 0,109
4,0	18,4 0,039	43 0,058	81,5 0,062	151 0,070	319 0,085	460 0,094	910 0,112
4,5	20,8 0,044	45,3 0,061	82,1 0,062	161 0,074	341 0,091	492 0,100	968 0,119
5,0	23,1 0,049	46,7 0,063	86,7 0,066	171 0,079	360 0,096	519 0,106	1025 0,126
5,5	25,4 0,054	48,2 0,064	91,6 0,069	179 0,083	379 0,101	546 0,112	1079 0,133
6,0	27,7 0,059	49,7 0,067	95,7 0,072	188 0,087	398 0,106	573 0,117	1131 0,14
6,5	30 0,064	51,2 0,069	100 0,076	197 0,091	416 0,111	599 0,122	1181 0,146
7,0	31,8 0,068	52,6 0,071	104 0,079	205 0,095	433 0,116	624 0,127	1230 0,152
7,5	32,7 0,070	54,1 0,073	108 0,082	213 0,099	449 0,120	648 0,132	1276 0,158
8,0	33,6 0,072	54,9 0,074	112 0,084	221 0,102	465 0,124	471 0,137	1321 0,163
8,5	34,1 0,073	56,3 0,076	116 0,088	228 0,106	481 0,129	693 0,141	1365 0,168
9,0	35,1 0,075	57,8 0,078	120 0,091	236 0,109	496 0,133	715 0,146	1407 0,174
9,5	36 0,077	59,3 0,080	124 0,094	243 0,112	511 0,136	736 0,150	1448 0,179
10,0	36,5 0,078	60 0,081	127 0,096	250 0,115	525 0,140	756 0,154	1489 0,184
11,0	37,9 0,081	60,4 0,082	134 0,101	262 0,121	552 0,147	795 0,162	1564 0,197
12,0	38,8 0,083	63,1 0,086	140 0,106	275 0,127	578 0,155	833 0,170	1638 0,202
13,0	40,2 0,086	66 0,089	147 0,111	287 0,133	604 0,161	869 0,177	1710 0,211

Потери давления на трение на 1 м, Па	Количество проходящей воды, кг/ч (верхняя строка) и скорость движения воды, м/с, (нижняя строка) по трубам стальным водогазопроводным легким (ГОСТ 3262-75*) условным проходом, мм						
	10	15	20	25	32	40	50
14,0	41,2 0,088	68,8 0,093	153 0,116	299 0,138	629 0,168	905 0,185	1778 0,219
15,0	42,1 0,090	71,5 0,097	159 0,120	310 0,144	652 0,174	939 0,192	1845 0,228
16,0	43 0,092	74,1 0,100	164 0,124	322 0,149	675 0,180	972 0,198	1909 0,236
17,0	44 0,094	76,6 0,104	170 0,129	332 0,154	698 0,186	1003 0,205	1971 0,243
18,0	44,9 0,096	79,1 0,107	175 0,133	343 0,158	719 0,192	1034 0,211	2031 0,25
19,0	46,3 0,099	81,5 0,110	180 0,137	353 0,163	740 0,198	1064 0,217	2090 0,258
20,0	46,8 0,100	83,8 0,114	186 0,140	363 0,168	761 0,203	1094 0,223	2147 0,265
22,0	47,3 0,101	88,1 0,119	195 0,148	381 0,176	799 0,214	1149 0,234	2255 0,278
24,0	49,6 0,106	92,4 0,125	204 0,155	399 0,185	837 0,224	1203 0,245	2361 0,291
26,0	51,9 0,110	96,5 0,131	213 0,162	417 0,193	873 0,233	1255 0,276	2462 0,304
28,0	54 0,115	100 0,136	222 0,168	434 0,200	908 0,243	1305 0,266	2560 0,316
30,0	56,2 0,120	104 0,141	230 0,175	450 0,208	942 0,252	1354 0,276	2654 0,328
32,0	58,1 0,124	108 0,146	239 0,181	466 0,215	975 0,260	1400 0,286	2745 0,339
34,0	60,1 0,128	112 0,151	246 0,187	481 0,222	1006 0,269	1446 0,295	2833 0,350
36,0	62 0,132	115 0,156	254 0,192	496 0,229	1037 0,277	1490 0,304	2919 0,360
38,0	63,9 0,136	119 0,161	262 0,198	510 0,236	1067 0,285	1532 0,313	3003 0,371
40,0	65,7 0,140	122 0,165	269 0,204	524 0,242	1096 0,293	1574 0,321	3084 0,381
45,0	69,8 0,149	130 0,176	286 0,216	557 0,257	1164 0,311	1672 0,341	3274 0,404
50,0	73,9 0,157	137 0,186	302 0,229	589 0,272	1230 0,329	1767 0,360	3459 0,427
55,0	77,9 0,166	144 0,196	317 0,241	619 0,286	1293 0,346	1856 0,376	3634 0,449
60,0	81,6 0,174	151 0,205	333 0,252	648 0,300	1353 0,362	1942 0,396	3802 0,469
65,0	85,2 0,181	157 0,214	347 0,263	675 0,312	1411 0,377	2025 0,413	3963 0,489

Потери давления на трение на 1 м, Па	Количество проходящей воды, кг/ч (верхняя строка) и скорость движения воды, м/с, (нижняя строка) по трубам стальным водогазопроводным легким (ГОСТ 3262-75*) условным проходом, мм						
	10	15	20	25	32	40	50
70,0	88,7 0,189	164 0,223	361 0,274	702 0,325	1467 0,392	2105 0,430	4118 0,508
75,0	92 0,196	170 0,231	374 0,284	728 0,337	1520 0,406	2181 0,445	4267 0,527
80,0	95,3 0,203	176 0,239	387 0,294	753 0,348	1572 0,420	2256 0,460	4411 0,545
85,0	98,4 0,210	182 0,247	400 0,303	777 0,360	1622 0,434	2328 0,475	4551 0,562
90,0	101 0,216	188 0,254	412 0,312	801 0,371	1672 0,447	2397 0,489	4688 0,579
95,0	104 0,222	193 0,262	424 0,321	824 0,381	1719 0,459	2465 0,503	4820 0,595
100	107 0,228	198 0,269	435 0,330	846 0,391	1765 0,472	2532 0,517	4949 0,611
110	113 0,240	208 0,282	457 0,346	889 0,411	1853 0,495	2658 0,542	5194 0,641
120	118 0,251	218 0,296	478 0,363	930 0,430	1938 0,518	2779 0,567	5431 0,670
130	123 0,262	227 0,308	499 0,378	969 0,447	2020 0,540	2897 0,591	5659 0,669
140	128 0,273	236 0,321	519 0,393	1007 0,466	2099 0,561	3009 0,611	5878 0,726
150	132 0,283	245 0,332	538 0,407	1044 0,483	2175 0,581	3118 0,636	6090 0,752
160	137 0,293	254 0,344	556 0,421	1079 0,499	2248 0,601	3223 0,658	6295 0,777
170	142 0,302	262 0,355	574 0,435	1113 0,515	2320 0,620	3325 0,678	6492 0,801
180	146 0,311	269 0,366	591 0,448	1147 0,530	2389 0,638	3424 0,699	6685 0,825
190	150 0,320	277 0,376	608 0,461	1179 0,545	2456 0,656	3520 0,718	6872 0,848
200	154 0,329	285 0,386	624 0,473	1211 0,560	2521 0,674	3614 0,737	7055 0,871
220	162 0,346	299 0,408	655 0,497	1271 0,588	2646 0,707	3792 0,774	7403 0,914
240	169 0,362	313 0,424	685 0,519	1329 0,615	2767 0,740	3965 0,809	7739 0,955
260	177 0,377	326 0,442	714 0,541	1385 0,641	2883 0,770	4131 0,8143	8061 0,995
280	184 0,392	339 0,460	742 0,562	1439 0,666	2994 0,800	4290 0,875	8371 1,033
300	190 0,406	351 0,477	769 0,583	1491 0,690	3102 0,829	4444 0,907	8671 1,070

Потери давления на трение на 1 м, Па	Количество проходящей воды, кг/ч (верхняя строка) и скорость движения воды, м/с, (нижняя строка) по трубам стальным водогазопроводным легким (ГОСТ 3262-75*) условным проходом, мм						
	10	15	20	25	32	40	50
320	197 0,420	363 0,491	795 0,603	1541 0,713	3206 0,857	4593 0,937	8960 1,106
340	203 0,434	375 0,508	820 0,622	1590 0,735	3307 0,884	4737 0,967	9240 1,141
360	209 0,447	386 0,524	845 0,640	1637 0,757	3405 0,910	4877 0,995	9513 1,174
380	215 0,460	397 0,539	869 0,658	1683 0,778	3500 0,935	5013 1,023	9936 1,226
400	221 0,472	408 0,553	892 0,676	1728 0,799	3593 0,960	5146 1,050	10194 1,258
450	235 0,501	433 0,587	947 0,717	1834 0,848	3812 1,019	5460 1,114	10813 1,335
500	248 0,529	457 0,620	999 0,757	1935 0,895	4023 1,075	5761 1,176	11397 1,407
550	261 0,556	480 0,651	1049 0,795	2032 0,940	4223 1,128	6145 1,254	11954 1,475
600	273 0,581	502 0,681	1097 0,831	2124 0,982	4414 1,180	6419 1,310	12485 1,541
650	284 0,606	523 0,709	1143 0,866	2212 1,023	4672 1,248	6681 1,363	12995 1,604
700	295 0,629	543 0,737	1187 0,899	2297 1,062	4848 1,296	6933 1,415	13486 1,665

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Коэффициенты местных сопротивлений $\xi$ для различных элементов систем отопления

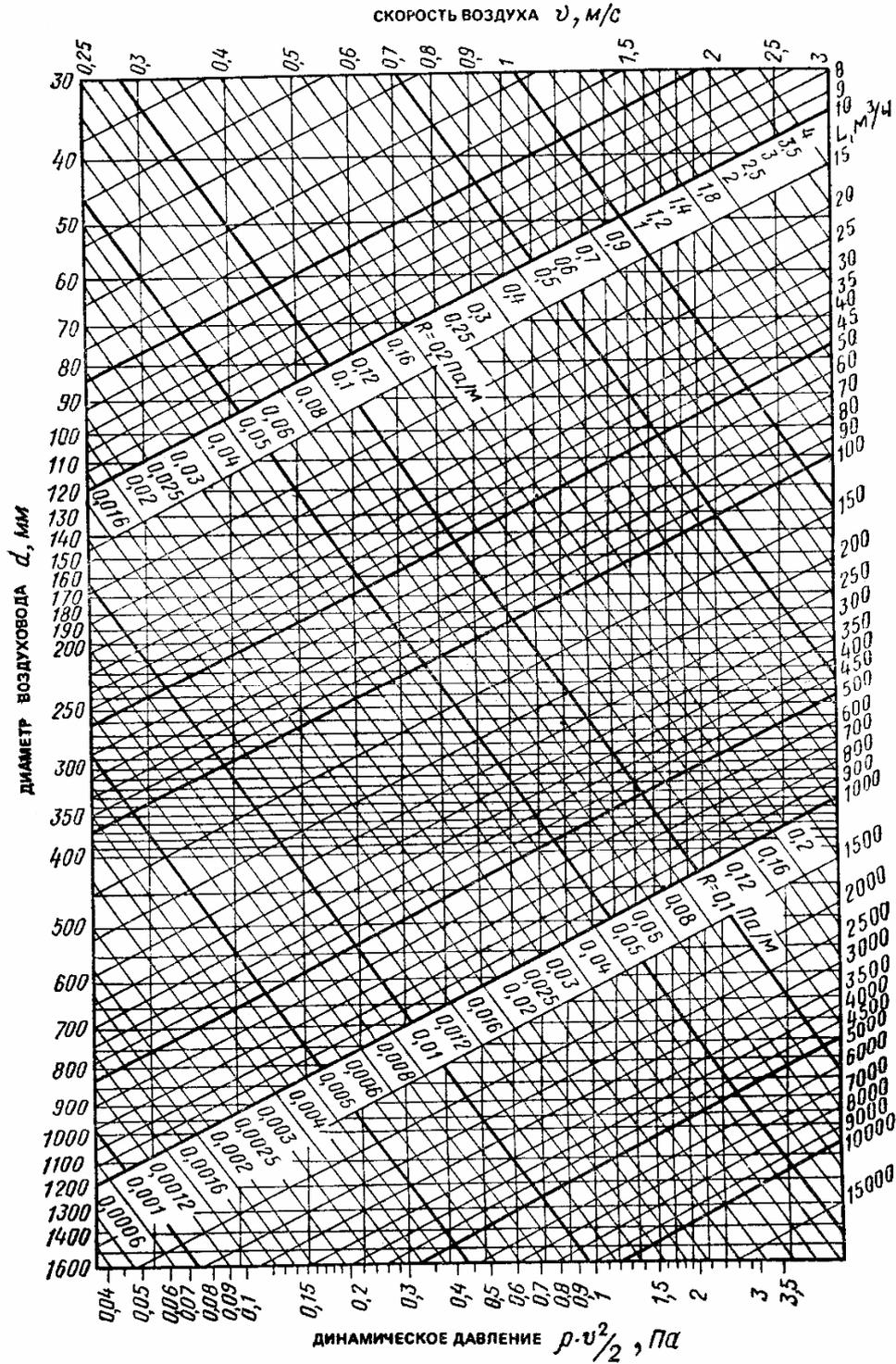
Элементы систем отопления	$\xi$ при условном проходе труб $d$ , мм					
	15	20	25	32	40	50
Радиаторы двухколонные	2	2	2	2	2	2
Отвод под углом 90°	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
Отвод под углом 45°	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Тройник на проходе	1	1	1	1	1	1
Тройник на ответвлении	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Тройник на противотоке	3	3	3	3	3	3
Крестовина на проходе	2	2	2	2	2	2
Крестовина на ответвлении	3	3	3	3	3	3
Вентиль обыкновенный	16	10	9	9	8	7
Вентиль прямооточный	3	3	3	2,5	2,5	2
Кран проходной пробковый	4	2	2	2	–	–
Кран двойной регулировки	4	2	2	–	–	–
Трехходовой кран при повороте потока	3	3	4,5	–	–	–
Трехходовой кран при прямом проходе	2	1,5	2	–	–	–
Внезапное расширение	1	1	1	1	1	1
Внезапное сужение	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

### Коэффициенты местных сопротивлений $\xi$ для различных элементов систем вентиляции

Местное сопротивление	Коэффициент местного сопротивления
Отвод круглый под углом 90 °	0,35
Отвод прямоугольный под углом 90 °	1,2
Вытяжная шахта с зонтом	1,3
Вход с поворотом потока воздуха (с учетом жалюзийной решетки)	2
Выход с поворотом потока воздуха	2,5
Решетка жалюзийная	1,5

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Номограмма для расчета круглых стальных воздуховодов



Примечание: Для прямоугольных воздуховодов определяется эквивалентный диаметр по формуле  $d_{\text{экв}} = 2ab / (a + b)$ .

*Учебное издание*

КАРТАВЦЕВА Ольга Владимировна  
КУНДРО Наталья Викторовна  
ШИРОКОВА Ольга Николаевна

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ТЕПЛОТЕХНИКА, ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ  
И ВЕНТИЛЯЦИЯ**

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальностей 1-70 02 01, 1-70 02 02, 1-70 04 03  
и слушателей ИПК УО «ПГУ» специальности 1-70 02 71

Редактор *Ю. В. Мацук*

Дизайн обложки *В. А. Виноградовой*

---

Подписано в печать 26.03.09. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 13,46. Уч.-изд. л. 12,72. Тираж 165 экз. Заказ 559.

---

Издатель и полиграфическое исполнение –  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30.04.04 ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440, г. Новополоцк, ул. Блохина, 29