

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**Институт энергетики, приборостроения и радиоэлектроники**

А.А. БАЛАШОВ, Н.Ю. ПОЛУНИНА, В.А. ИВАНОВСКИЙ, Д.С. КАЦУБА

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ**

Утверждено Методическим советом ТГТУ  
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению  
подготовки бакалавров 270800 «Строительство» и специальности  
270102 «Промышленное и гражданское строительство»

---

Тамбов  
2014

**УДК 697(075.8)**  
**ББК Н762.2я 73-5**  
**Б-202**

***Рецензенты:***

главный энергетик отдела главного энергетика  
ОАО «Газпром газораспределение Тамбов» ***А.Ю. Михалёв***;  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Электроснабжение, электротехника и информационное обеспечение  
энергетических систем» ФГБОУ ВПО «ТГТУ» ***В.В. Афонин***

**Б-202** Проектирование систем отопления и вентиляции зданий: учебное пособие / Сост.: А.А. Балашов, Н.Ю. Полунина, В.А. Ивановский, Д.С. Кацуба. – Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. – 132 с.

Рассмотрены основные теплотехнические расчёты наружных ограждений зданий, расчёт тепловой мощности системы отопления, гидравлический расчёт трубопроводов системы отопления и аэродинамический расчёт каналов системы вентиляции, применяемые при выполнении курсовой работы. Приведены варианты заданий для проектирования, а также справочные приложения.

Предназначено для студентов 3 курса дневной и заочной форм обучения направления подготовки бакалавров 270800 «Строительство» и специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство», изучающих дисциплины «Теплогазоснабжение с основами теплотехники» и «Теплогазоснабжение и вентиляция».

**УДК 697(075.8)**  
**ББК Н762.2я 73-5**  
**Б-202**

Утверждено Методическим советом ТГТУ  
(протокол № 2 от 14.02.2014 г.)

© А.А. Балашов, Н.Ю. Полунина,  
В.А. Ивановский, Д.С. Кацуба, 2014

## **ВВЕДЕНИЕ**

Повышение качества строительства, требует создания условий для высокопроизводительного труда и культуры производства, что неразрывно связано с состоянием воздушной среды на рабочих местах. Основной задачей специалистов в области теплоснабжения является создание в помещениях разного назначения такого микроклимата, при котором обеспечиваются благоприятные условия для технологических процессов и нормальной деятельности человека [2]. Именно эти условия внутренней среды на производстве, в промышленных и гражданских зданиях обеспечиваются с помощью систем отопления, теплоснабжения и вентиляции. Эффективность систем, их технико-экономические характеристики во многом зависят не только от принятых схем, от правильного монтажа, наладки и эксплуатации, но и от правильно выбранной методики расчёта и достоверности проведённых расчётов. Поэтому курсовая работа, включающая вопросы расчёта, проектирования, строительства и эксплуатации систем отопления, теплоснабжения и вентиляции воздуха играет важную роль в подготовке специалистов.

Основы рационального проектирования, методики инженерного расчёта и особенности принятия основных проектных решений в вопросах теплоснабжения, отопления и вентиляции являются важными знаниями для будущего специалиста, поскольку более одной трети всего вырабатываемого в стране тепла расходуется на отопление промышленных и гражданских зданий [2].

Предназначено для студентов 3 курса дневной и заочной форм обучения направления подготовки бакалавров 270800 «Строительство» и специальности 270102 «Промышленное и гражданское строительство», изучающих дисциплины «Теплогасоснабжение с основами теплотехники» и «Теплогасоснабжение и вентиляция».

Выполнение курсовой работы [2] позволит студенту на практическом примере освоить основные подходы к расчётам и проектированию систем отопления и вентиляции и их основных элементов, ознакомиться с требованиями Санитарных норм и правил (СНиП), нормативными методиками расчётов отдельных конструкций, правилами эксплуатации энергетического оборудования и обширной справочной литературой.

Целью курсовой работы является приобретение практических навыков проектирования систем отопления и вентиляции гражданских зданий.

## **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

Графическую часть работы выполняют параллельно с расчётом, для которого конструктивные размеры берут с чертежа.

На листе заданного формата в масштабе 1:100 вычерчивают план здания [2], где наносят нумерацию всех помещений в соответствии с ГОСТ 21.602-2003. На план наносят строительные размеры согласно варианту задания. На основе этого чертежа выполняют расчёт теплопотерь отапливаемыми помещениями.

После расчёта теплопотерь приступают к подбору нагревательных приборов и гидравлическому расчёту системы отопления. В результате вычерчивают аксонометрическую схему системы отопления согласно ГОСТ 21.602-2003, где указы-

вают расположение отопительных приборов, узла ввода, запорно-регулирующей арматуры и воздухоборников. На плане типового этажа указывают места установки нагревательных приборов, как правило, под оконными проёмами [2]. Точками обозначают места прохождения отопительных стояков, которые располагают на расстоянии 0,35 м от края окна.

Подбирают теплотехническое оборудование, соответствующее заданной схеме системы отопления. После согласования с преподавателем студент должен начертить схему подключения или конструкцию одного из элементов узла теплоснабжения.

Проектирование системы вентиляции начинают с размещения каналов на плане этажа. На разрезе пунктиром следует показать вентиляционные каналы и вытяжную шахту. Нанести уровни отметок центров окон и устья шахты. На основе плана и разреза в масштабе 1:100 вычертить аксонометрическую схему системы вентиляции. Условные графические изображения и обозначения элементов системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплоснабжения должны быть выполнены по требованиям.

В пояснительной записке необходимо дать расчётные соотношения и результаты расчётов для одного помещения в развёрнутом виде, а для остальных помещений – в виде таблиц. Единицы физических величин обязаны соответствовать системе СИ.

Пояснительная записка должна содержать задание и расчётные соотношения [2].

Задание студенту выдаёт преподаватель в виде двух цифр (например, 3–8). Первая цифра указывает на вариант задания. Вторая – исходные данные к варианту задания. Варианты заданий представлены в приложении А. В исходные данные входят: строительные размеры; высота этажа; конструкции наружных ограждающих конструкций здания, указанные в таблицах (конструкции наружных стен – в табл. А6, конструкции полов – в табл. А7, конструкции перекрытий и крыш – в табл. А8, окон – в табл. А9, наружных дверей – в табл. А10); район строительства указан в табл. А11; система теплоснабжения выбирается согласно табл. А12; система отопления здания выбирается согласно табл. А13; варианты нагревательных приборов выбираются из табл. А14, а элементы систем отопления для детального вычерчивания – из табл. А15.

# 1. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ И ВЛАЖНОСТНЫЙ РАСЧЁТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

## 1.1. Теплотехнический расчёт наружных ограждающих конструкций

Целью теплотехнического расчёта является определение коэффициента теплопередачи отдельных ограждающих конструкций здания (наружных стен, чердачного и цокольного перекрытий, окон, дверей и т.д.).

В результате теплотехнического расчёта, зная приведённое сопротивление теплопередаче наружных ограждений, определяют общее термическое сопротивление теплопередаче и необходимую толщину теплоизоляционного слоя наружных ограждений и их окончательное сопротивление [2].

Общее термическое сопротивление теплопередаче однородного наружного ограждения (или неоднородного в характерном сечении, без теплопроводных включений)  $R_o$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , и термическое сопротивление слоя конструкции  $R_i$  определяют, пользуясь формулами [15]:

$$R_o = R_B + \sum_{i=1}^n R_i + R_H, \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (1.2)$$

где  $R_B = 1/\alpha_B$  – сопротивление теплопередаче внутренней поверхности,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_H = 1/\alpha_H$  – сопротивление теплопередаче наружной поверхности,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $R_i$  – термическое сопротивление теплопередаче отдельного слоя,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\delta_i$  и  $\lambda_i$  – соответственно толщина, м, и теплопроводность слоёв конструкции, кроме утеплителя,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;  $\alpha_B$  и  $\alpha_H$  – нормированные значения коэффициентов теплоотдачи от внутреннего воздуха к ограждающей конструкции и от ограждающей конструкции к наружному воздуху,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ , принимаются по табл. 1.1, 1.2.

Таблица 1.1 – Значения коэффициента  $\alpha_B$ ,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  [15]

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_B$ , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$
1. Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими рёбрами при отношении высоты $h$ рёбер к расстоянию $a$ между гранями соседних рёбер $h/a \leq 0,3$	8,7
2. Потолков с выступающими рёбрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3. Окон	8,0
4. Зенитных фонарей	9,9

Примечание. Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_B$  внутренней поверхности ограждающих конструкций животноводческих и птицеводческих зданий следует принимать по СНиП 2.10.03

В настоящее время требуемое сопротивление теплопередаче может определяться по санитарно-гигиеническим требованиям или по условиям энергосбережения [1].

Таблица 1.2 – Значения коэффициента  $\alpha_n$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С), для условий холодного периода [15]

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи, $\alpha_n$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)
1. Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23
2. Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	17
3. Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проёмами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4. Перекрытий над неотапливаемыми подвалами без световых проёмов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими, подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Чтобы удовлетворить санитарно-гигиеническим требованиям, величину  $R_o^{тр}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, рассчитывают по формуле [2]

$$R_o^{тр} = \frac{t_v - t_n}{\Delta t^n \cdot \alpha_v} \cdot n, \quad (1.3)$$

где  $t_v$  – расчётная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая для расчёта ограждающих конструкций группы зданий по поз. 1 табл. 1.5 по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по [5] (в интервале 20...22 °С), для группы зданий по поз. 2 табл. 1.5 – согласно классификации помещений и минимальных значений оптимальной температуры по [5] (в интервале 16...21 °С), для зданий по поз. 3 табл. 1.5 – по нормам проектирования соответствующих зданий;  $t_n$  – расчётная зимняя температура наружного воздуха, °С, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 (табл. А11);  $\Delta t^n$  – нормативный температурный перепад, °С, между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимается по табл. 1.3;  $n$  – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимается по табл. 1.4.

Таблица 1.3 – Значения нормируемого температурного перепада  $\Delta t^H$ , °С [15]

Здания и помещения	Нормируемый температурный перепад $\Delta t^H$ , °С, для			
	наружных стен	покрытий и чердачных перекрытий	перекрытий над проездами, подвалами и подпольями	зенитных фонарей
1. Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4,0	3,0	2,0	$t_B - t_p$
2. Общественные, кроме указанных в поз. 1, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4,5	4,0	2,5	$t_B - t_p$
3. Производственные с сухим и нормальным режимами	$t_B - t_p$ , но не более 7	$0,8(t_B - t_p)$ , но не более 6	2,5	$t_B - t_p$
4. Производственные и другие помещения с влажным или мокрым режимом	$t_B - t_p$	$0,8(t_B - t_p)$	2,5	–
5. Производственные здания со значительными избытками явной теплоты (более 23 Вт/м <sup>3</sup> ) и расчётной относительной влажностью внутреннего воздуха более 50%	12	12	2,5	$t_B - t_p$

$t_p$  – температура точки росы, °С, при расчётной температуре  $t_B$  и относительной влажности внутреннего воздуха.  
Примечание.  
Для зданий картофеле- и овощехранилищ нормируемый температурный перепад для наружных стен, покрытий и чердачных перекрытий следует принимать по СНиП 2.11.02.

Таблица 1.4 – Значения коэффициента  $n$ , учитывающего положения наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху [15]

Ограждающие конструкции	Коэффициент $n$
1. Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом), зенитные фонари, перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	1
2. Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	0,9
3. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проёмами в стенах	0,75
4. Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проёмов в стенах, расположенные выше уровня земли	0,6
5. Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	0,4

Примечание.  
Для чердачных перекрытий тёплых чердаков и цокольных перекрытий над подвалами с температурой воздуха в них  $t_c$  большей  $t_n$ , но меньшей  $t_B$  коэффициент  $n$  следует определять по формуле  $n = (t_B - t_c) / (t_B - t_n)$ .

Чтобы удовлетворить **условиям энергосбережения**, величину требуемого термического сопротивления  $R_0^{TP}$ , меньше которого  $R_0$  не может быть принята, т.е.  $R_0 \geq R_0^{TP}$ , определяют по нормам (табл. 1.5) в зависимости от величины расчётного значения градусо-суток отопительного периода (ГСОП), °С·сут, определяемой по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_B - t_{\text{оп}}) \cdot z_{\text{оп}}, \quad (1.4)$$

где  $t_{\text{оп}}$  – средняя температура наружного воздуха отопительного периода, °С, принимаемая по [12] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10 °С – при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых, и не более 8 °С – в остальных случаях;  $z_{\text{оп}}$  – продолжительность периода, сут, со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С (табл. А11).

По табл. 1.5 определяется требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций  $R_0^{TP}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, в зависимости от полученного значения ГСОП и типа здания или помещения [2].

Если  $R_0^{TP} > R_0^{TP}(\text{ГСОП})$ , то для дальнейших расчётов принимают  $R_0^{TP}$ ; если  $R_0^{TP} < R_0^{TP}(\text{ГСОП})$ , то для расчётов принимают  $R_0^{TP}(\text{ГСОП})$ .

Таблица 1.5 – Нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций [15]

Здания и помещения, коэффициенты $a$ и $b$	ГСОП, °С·сут	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций $R_0^{TP}$ , м <sup>2</sup> ·°С/Вт				
		Стен	Покрытий и перекрытий над проездами	Перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей	Фонарей с вертикальным остеклением
1	2	3	4	5	6	7
1 Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
$a$	–	0,00035	0,0005	0,00045	–	0,000025
$b$	–	1,4	2,2	1,9	–	0,25
2 Общественные, кроме указанных выше, административные и бытовые, производственные и другие здания и помещения с влажным или мокрым режимами	2000	1,8	2,4	2,0	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
$a$	–	0,0003	0,0004	0,00035	0,00005	0,000025
$b$	–	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25

### Окончание таблицы 1.5

3 Производственные с сухим и нормальным режимами	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,5	2,6	0,4	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45
<i>a</i>	–	0,0002	0,00025	0,0002	0,000025	0,000025
<i>b</i>	–	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Примечания.

1. Значения  $R_o^{TP}$  для величин ГСОП, отличающихся от табличных, следует определять по формуле

$$R_o^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b, \quad (1)$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода, °С·сут, для конкретного пункта;

*a*, *b* – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий, за исключением графы 6 для группы зданий в поз. 1, где для интервала до 6000 °С·сут: *a* = 0,000075, *b* = 0,15; для интервала 6000...8000 °С·сут: *a* = 0,00005, *b* = 0,3; для интервала 8000 °С·сут и более: *a* = 0,000025; *b* = 0,5.

2. Нормируемое приведённое сопротивление теплопередаче глухой части балконных дверей должно быть не менее чем в 1,5 раза выше нормируемого сопротивления теплопередаче светопрозрачной части этих конструкций.

3. Нормируемые значения сопротивления теплопередаче чердачных и цокольных перекрытий, отделяющих помещения здания от неотапливаемых пространств с температурой  $t_c$  ( $t_n < t_c < t_b$ ), следует уменьшать умножением величин, указанных в графе 5, на коэффициент *n*, определяемый по примечанию к таблице 1.4. При этом расчётную температуру воздуха в тёплом чердаке, тёплом подвале и остеклённой лоджии и балконе следует определять на основе расчёта теплового баланса.

4. Допускается в отдельных случаях, связанных с конкретными конструктивными решениями заполнения оконных и других проёмов, применять конструкции окон, балконных дверей и фонарей с приведённым сопротивлением теплопередаче на 5% ниже установленного в таблице.

5. Для группы зданий в поз. 1 нормируемые значения сопротивления теплопередаче перекрытий над лестничной клеткой и тёплым чердаком, а также над проездами, если перекрытия являются полом технического этажа, следует принимать как для группы зданий в поз. 2.

Определяется невязка  $\Delta R = R_o^{TP} - R_o$  (или  $\Delta R = R_o^{TP}(\text{ГСОП}) - R_o$ ) и выбирается материал утеплителя [2].

Заданная конструкция ограждения соответствует теплотехническим требованиям, если выполняется условие

$$R_o(R_o^\phi) > R_o^{TP}(R_o^{TP}(\text{ГСОП})). \quad (1.5)$$

Если же условие не выполняется, то необходимо определить толщину утепляющего слоя  $\delta_{yt}$ , м,

$$\delta_{yt} = \lambda_{yt} \cdot \Delta R, \quad (1.6)$$

где  $\lambda_{yt}$  – теплопроводность утепляющего слоя материала, Вт/(м·°С) [15].

После необходимо уточнить фактическое общее термическое сопротивление теплопередаче  $R_o^\phi$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, утеплённого наружного ограждения [2]

$$R_o^\phi = R_o + \delta_{yt} / \lambda_{yt}. \quad (1.7)$$

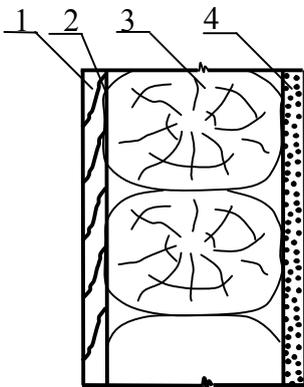
и, подбирая толщину утеплителя, добиться выполнения неравенства (1.5).

Если условие (1.5) не выполняется, то необходимо выбрать строительный материал с меньшей теплопроводностью  $\lambda_{yt}$ , Вт/(м·°С).

### Пример 1.1.

Исходные данные [2]:

- конструкция наружной стены: стены деревянные из тесанных брёвен с обшивкой досками;
- район строительства – г. Липецк;
- влажностный режим помещения – нормальный;
- расчётная температура внутреннего воздуха  $t_{в} = 18^{\circ}\text{C}$  [5];
- расчётная зимняя температура наружного воздуха в Липецке, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92,  $t_{н} = -27^{\circ}\text{C}$ ;  $z_{\text{оп}} = 202$  сут.;  $t_{\text{оп}} = -3,4^{\circ}\text{C}$  (табл. А11);
- коэффициент  $n = 1$  (табл. 1.4);
- $\Delta t^{\text{н}} = 4^{\circ}\text{C}$  (табл. 1.3);
- $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ,  $\alpha_{н} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$  (табл. 1.1, 1.2).



Поз.	Конструкция стены	Толщина слоя $\delta$ , м	Теплопроводность материала $\lambda$ , Вт/(м $\cdot$ °C) [15]
1	Доски строганные	0,015	0,15
2	Бумага строительная	0,002	0,14
3	Брёвна тесанные	0,260	0,36
4	Сухая штукатурка	0,012	0,21

### Порядок расчёта.

1. Общее термическое сопротивление теплопередаче наружной стены определим по формуле (1.1)

$$R_0 = 1/8,7 + \frac{0,015}{0,15} + \frac{0,002}{0,14} + \frac{0,260}{0,36} + \frac{0,012}{0,21} + 1/23 = 1,05 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

2. По формуле (1.3) сопротивление теплопередаче, отвечающее условиям санитарно-гигиенических норм

$$R_0^{\text{тп}} = \frac{18 + 27}{4 \cdot 8,7} \cdot 1 = 1,3 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

3. Градусо-сутки отопительного периода определяем по формуле (1.4)

$$\text{ГСОП} = (18 + 3,4) \cdot 202 = 4322,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}.$$

4. Величину сопротивления теплопередаче наружной стены с учётом энергосбережения определяем по табл. 1.5

$$R_0^{\text{тп}} (\text{ГСОП}) = 0,00035 \cdot 4322,8 + 1,4 = 2,9 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

5. Сравниваем  $R_0^{\text{тп}} = 1,3 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  и  $R_0^{\text{тп}} (\text{ГСОП}) = 2,9 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  и принимаем для дальнейших расчётов большее, т.е.  $R_0^{\text{тп}} (\text{ГСОП}) = 2,9 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

6. Определяем невязку  $\Delta R = R_0^{\text{тп}} (\text{ГСОП}) - R_0 = 2,9 - 1,05 = 1,85 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

7. Выбираем в качестве утепляющего слоя плиты из пенополистирола с теплопроводностью  $\lambda_{\text{ут}} = 0,052 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$  [15, прил. Т] и рассчитываем толщину утеплителя по формуле (1.6)

$$\delta_{\text{ут}} = 0,052 \cdot 1,85 = 0,096 \text{ м.}$$

Принимаем  $\delta_{\text{ут}} = 0,2 \text{ м}$  [3].

8. Уточняем фактическое общее сопротивление теплопередаче по формуле (1.7)

$$R_0^\phi = 1,05 + 0,2/0,052 = 4,89 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт.}$$

Сравниваем по условию (1.5)  $R_0^\phi = 4,89 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт} \geq R_0^{\text{тр}} (\text{ГСОП}) = 2,9 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт.}$

Таким образом, полученное значение фактического общего сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции удовлетворяет условиям энергосбережения, и данное значение используется в дальнейших расчётах.

## 1.2. Проверка отсутствия конденсации водяных паров на внутренней поверхности наружного ограждения

Конденсация влаги из внутреннего воздуха на внутренней поверхности наружного ограждения является основной причиной увлажнения наружных ограждений [2]. Для устранения конденсации влаги необходимо, чтобы температура на внутренней поверхности  $t_{\text{вп}}$ , °С, и в толще ограждения превышала температуру точки росы  $t_p$ , °С, на 2...3 °С, т.е. должно соблюдаться условие:  $t_{\text{вп}} > t_p$  [6].

Температура внутренней поверхности наружного ограждения определяется по формуле

$$t_{\text{вп}} = t_{\text{в}} - (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \frac{R_{\text{в}}}{R_0^\phi}, \quad (1.8)$$

и её сравнивают с температурой точки росы  $t_p$ , которую определяют по  $h - d$  диаграмме влажного воздуха или по формуле

$$t_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e)^2, \quad (1.9)$$

где  $R_{\text{в}} = 1/\alpha_{\text{в}}$  – сопротивление теплопередаче внутренней поверхности ограждения, м<sup>2</sup>·°С/Вт;  $R_0^\phi$  – общее фактическое термическое сопротивление ограждения, м<sup>2</sup>·°С/Вт, определяемое по формуле (1.7);  $e$  – действительная упругость водяных паров, Па, которая определяется при заданной температуре внутри помещения  $t_{\text{в}}$  и относительной влажности внутреннего воздуха  $\phi_{\text{в}}$ , %,

$$e = \frac{\phi_{\text{в}}}{100} \cdot E_{\text{в}}, \quad (1.10)$$

где  $E_{\text{в}}$  – максимальная упругость водяных паров, Па, при заданной температуре внутри помещения  $t_{\text{в}}$  [5, прил. С];  $\phi_{\text{в}}$  – относительная влажность внутреннего воздуха, % (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Влажностный режим помещений зданий [15]

Режим	Влажность внутреннего воздуха, %, при температуре, °С		
	до 12	свыше 12 до 24	свыше 24
Сухой	до 60	до 50	до 40
Нормальный	св. 60 до 75	св. 50 до 60	св. 40 до 50
Влажный	св. 75	«60» 75	«50» 60
Мокрый	–	св. 75	св. 60

**Пример 1.2.**

Исходные данные (см. пример 1.1) [2]:

– район строительства – г. Липецк;

– расчётная температура внутреннего воздуха  $t_{в} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

– влажностный режим помещения – нормальный;

– сопротивление теплоотдаче у внутренней поверхности наружной стены  $R_{в} = 1/\alpha_{в} = 1/8,7 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ;

–  $\phi_{в} = 50 \text{ \%}$  (табл. 1.6);  $E_{в} = 2064 \text{ Па}$  при  $t_{в} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$  [14, прил. С];

– из примера 1.1  $R_{0}^{\phi} = 4,89 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

**Порядок расчёта.**

1. Температуру внутренней поверхности наружной стены определяем по формуле (1.8)

$$t_{вп} = 18 - (18 + 27) \frac{0,115}{4,89} = 16,94 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

2. Вычисляем действительную упругость водяных паров по выражению (1.10)

$$e = \frac{50}{100} \cdot 2064 = 1032 \text{ Па}.$$

3. Рассчитываем температуру точки росы по формуле (1.9)

$$t_{р} = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot 1032)^2 = 6,98 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Таким образом, конденсация влаги на внутренней поверхности стены происходить не будет, т.к. выполняется условие  $t_{вп} > t_{р}$ , т.е.  $16,94 \text{ }^{\circ}\text{C} > 6,98 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 2. РАСЧЁТ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

### 2.1. Расчёт основных тепловых потерь через ограждающие конструкции здания

В отапливаемых зданиях при наличии разности значений температуры между внутренним и наружным воздухом постоянно происходят потери тепла через ограждающие конструкции: наружные стены (НС), полы (ПЛ), окна (О), наружные двери (НД), балконные двери (БД), чердачное перекрытие (ЧП). Системы отопления должны восполнять эти потери, поддерживая в помещениях внутреннюю температуру, установленную санитарными нормами [2].

Основные тепловые потери через наружные ограждения, Вт, определяются по формуле [6]

$$Q_{\text{осн}} = \frac{F}{R_0^{\phi}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \Sigma\beta) \cdot n, \quad (2.1)$$

где  $R_0^{\phi}$  – фактическое общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ;  $F$  – расчётная площадь ограждающей конструкции,  $\text{м}^2$ ;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий добавочные потери тепла.

#### 2.1.1. Расчёт теплотерь через наружные стены

Для расчёта потерь тепла через наружные стены предварительно определяют фактическое термическое сопротивление теплопередаче, а затем рассчитывают сами теплотери по формуле (2.1).

##### Пример 2.1.

Исходные данные [2]:

- район строительства – г. Липецк;
- расчётная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 18 \text{ °C}$ ;
- $t_{\text{н}} = -27 \text{ °C}$ ,  $z_{\text{оп}} = 202 \text{ сут.}$ ,  $t_{\text{оп}} = -3,4 \text{ °C}$  [1];  $n = 1$ ;  $\Delta t^{\text{н}} = 4 \text{ °C}$ ;
- $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;  $\alpha_{\text{н}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  [14];
- размер стены –  $2,5 \times 3,0 \text{ м}$ ;
- конструкция наружной стены: стены деревянные из тёсаных брёвен с обшивкой досками (см. пример 1.1);
- $\Sigma\beta = 0$ ;
- из примера 1.1  $R_0^{\phi} = 4,89 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ .

##### Порядок расчёта.

Предварительно рассчитываем пункты 1...8 из примера 1.1.

9. Вычисляем площадь стены

$$F = 2,5 \cdot 3,0 = 7,5 \text{ м}^2.$$

10. По формуле (2.1) определяем теплотери через наружную стену

$$Q_{\text{нс}} = \frac{18 + 27}{4,89} \cdot 1 \cdot 7,5 \cdot 1 = 69 \text{ Вт}.$$

## 2.1.2. Расчёт теплотерь через полы

Полы этажа здания, расположенные на грунте или лагах, разграничиваются на четыре зоны-полосы шириной 2 м параллельно наружным стенам (рис. 2.1). Если проводится расчёт теплотерь заглубленного в грунт помещения, отсчёт зон ведётся от уровня земли по внутренней поверхности наружной стены и далее по полу [2]. Поверхность пола в зоне, примыкающей к наружному углу помещения, имеет повышенные теплотери, поэтому её площадь в месте примыкания при определении общей площади в I зоне-полосе учитывается дважды (квадрат 2×2 м).

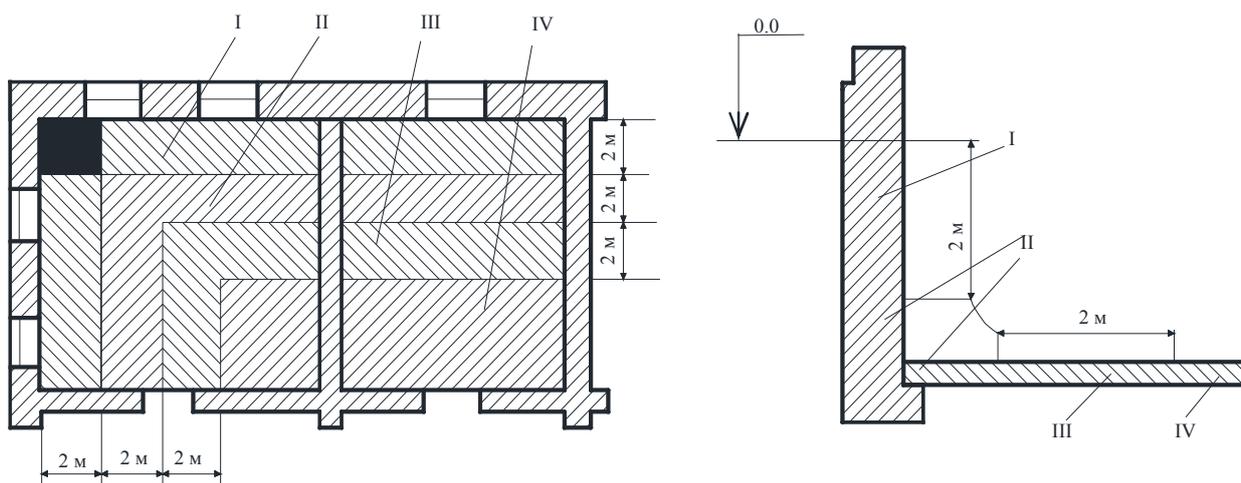


Рис. 2.1. Схема расположения зон полов на грунте или лагах и стен, расположенных ниже уровня земли

Сопротивление теплопередаче следует определять, исходя из следующих положений:

а) для неутеплённых полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с теплопроводностью  $\lambda \geq 1,2$  Вт/(м·°С) сопротивление теплопередаче рассчитывается по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам, принимая  $R_{н.п.}$  равным [2]:

$$R_{н.п.}^I = 2,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \text{ — для I зоны};$$

$$R_{н.п.}^{II} = 4,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \text{ — для II зоны};$$

$$R_{н.п.}^{III} = 8,6 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \text{ — для III зоны};$$

$$R_{н.п.}^{IV} = 14,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \text{ — для IV зоны (для оставшейся площади пола)};$$

б) для утеплённых полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с теплопроводностью утепляющего слоя  $\lambda_{у.с.} < 1,2$  Вт/(м·°С) и толщиной  $\delta_{у.с.}$ , м, определяется сопротивление теплопередаче  $R_{у.п.}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, по формуле

$$R_{у.п.} = R_{н.п.} + \delta_{у.с.} / \lambda_{у.с.}; \quad (2.2)$$

в) для полов на лагах сопротивление теплопередаче  $R_{л.}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, определяется по формулам:

$$\text{I зона — } R_{л.}^I = 1,18(R_{н.п.}^I + \delta_{у.с.} / \lambda_{у.с.});$$

$$\text{II зона — } R_{л.}^{II} = 1,18(R_{н.п.}^{II} + \delta_{у.с.} / \lambda_{у.с.});$$

$$\begin{aligned} \text{III зона} - R_{\text{л}}^{\text{III}} &= 1,18(R_{\text{н.п.}}^{\text{III}} + \delta_{\text{y.c.}} / \lambda_{\text{y.c.}}); \\ \text{IV зона} - R_{\text{л}}^{\text{IV}} &= 1,18(R_{\text{н.п.}}^{\text{IV}} + \delta_{\text{y.c.}} / \lambda_{\text{y.c.}}). \end{aligned} \quad (2.3)$$

Потери тепла через пол, расположенный на грунте, Вт, вычисляются по формуле

$$Q_{\text{пл}} = \left( \frac{F^{\text{I}}}{R_{\text{н.п.}}^{\text{I}}} + \frac{F^{\text{II}}}{R_{\text{н.п.}}^{\text{II}}} + \frac{F^{\text{III}}}{R_{\text{н.п.}}^{\text{III}}} + \frac{F^{\text{IV}}}{R_{\text{н.п.}}^{\text{IV}}} \right) (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (2.4)$$

где  $F^{\text{I}}, F^{\text{II}}, F^{\text{III}}, F^{\text{IV}}$  – площади соответственно I, II, III, IV зон-полос, м<sup>2</sup>.

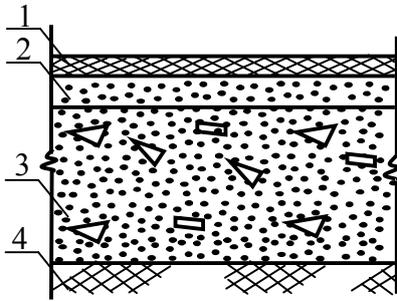
Потери тепла через пол, расположенный на лагах, Вт,

$$Q_{\text{пл}} = \left( \frac{F^{\text{I}}}{R_{\text{л}}^{\text{I}}} + \frac{F^{\text{II}}}{R_{\text{л}}^{\text{II}}} + \frac{F^{\text{III}}}{R_{\text{л}}^{\text{III}}} + \frac{F^{\text{IV}}}{R_{\text{л}}^{\text{IV}}} \right) (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}). \quad (2.5)$$

### Пример 2.2.

Исходные данные [2]:

– конструкция полов: полы бетонные, покрытые линолеумом;



Поз.	Конструкция пола	Толщина слоя $\delta$ , м	Теплопроводность материала $\lambda$ , Вт/(м·°С) [15]
1	Линолеум на мастике	0,008	0,33
2	Цементная стяжка	0,022	0,18
3	Бетон В 7,5	0,120	1,2
4	Уплотнённый грунт	–	–

– этаж первый;

– количество наружных стен – две;

– район строительства – г. Липецк;

– расчётная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

–  $t_{\text{н}} = -27 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Порядок расчёта.

1. Вычерчиваем план первого этажа в масштабе с указанием основных размеров и делим пол на четыре зоны-полосы шириной 2 м параллельно наружным стенам (рис. 2.2).

2. В жилой комнате № 1 размещаются только I-ая зона и часть II-ой зоны.

Определяем размеры каждой зоны-полосы:

I-ая зона: 2,0×5,0 м и 2,0×3,0 м;

II-ая зона: 1,0×3,0 м.

3. Площадь каждой зоны:

$$F^{\text{I}} = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 3 = 16 \text{ м}^2; \quad F^{\text{II}} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ м}^2.$$

4. Определяем сопротивление теплопередаче каждой зоны по формуле (2.2):

$$R_{\text{y.п.}}^{\text{I}} = R_{\text{н.п.}}^{\text{I}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{\text{y.c.}i}}{\lambda_{\text{y.c.}i}} = 2,1 + \frac{0,008}{0,33} + \frac{0,022}{0,18} + \frac{0,12}{1,2} = 2,34 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт},$$

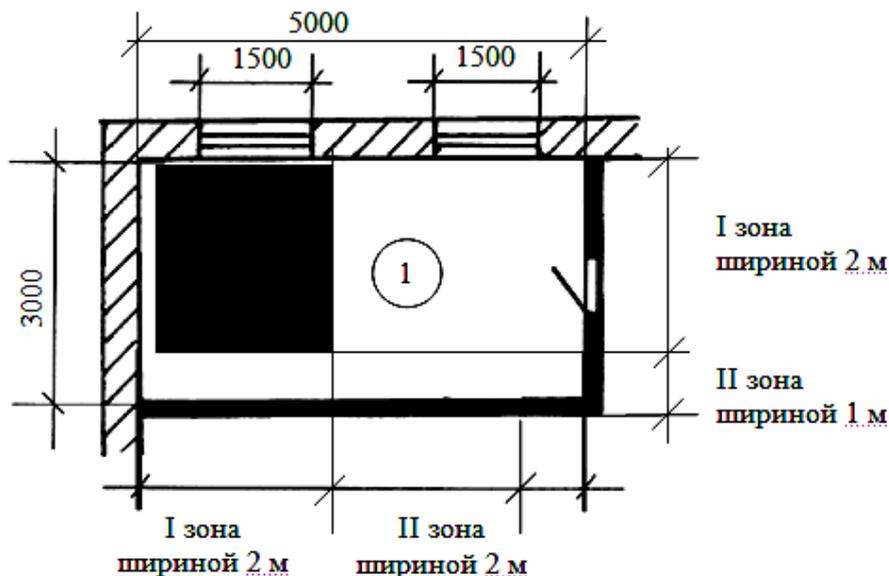


Рис. 2.2. Фрагмент плана и расположение зон полов в жилой комнате №1 (к примерам 2.2 и 2.3)

$$R_{у.п.}^{II} = R_{н.п.}^{II} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_{у.с.и}}{\lambda_{у.с.и}} = 4,3 + \frac{0,008}{0,33} + \frac{0,022}{0,18} + \frac{0,12}{1,2} = 4,54 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

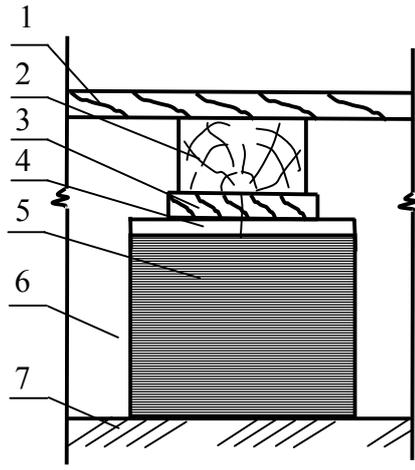
5. По формуле (2.4) определяем потери тепла через пол, расположенный на грунте,

$$Q_{пл} = \left( \frac{F^I}{R_{у.п.}^I} + \frac{F^{II}}{R_{у.п.}^{II}} \right) (t_{в} - t_{н}) = \left( \frac{16}{2,34} + \frac{3}{4,54} \right) (18 + 27) = 337,4 \text{ Вт.}$$

**Пример 2.3.**

Исходные данные [2]:

– конструкция полов: полы деревянные на лагах;



Поз.	Конструкция пола	Толщина слоя $\delta$ , м	Теплопроводность материала $\lambda$ , Вт/(м·°C) [15]
1	Доски	0,030	0,15
2	Лага	0,060	0,40
3	Прокладка	0,032	0,15
4	Два слоя толя	0,005	0,23
5	Кирпичный столбик на цементном растворе 250×120	0,250	0,45
6	Воздушная прослойка	0,350	–
7	Уплотнённый грунт	–	–

- этаж первый;
- количество наружных стен – две (рис. 2.2);
- район строительства – г. Липецк;
- расчётная температура внутреннего воздуха  $t_{в} = 18 \text{ °C}$ ;
- $t_{н} = -27 \text{ °C}$ .

### Порядок расчёта.

1. Вычерчиваем план первого этажа в масштабе с указанием основных размеров и делим пол на четыре зоны-полосы шириной 2 м параллельно наружным стенам.

2. В жилой комнате №1 размещаются только I-ая зона и часть II-ой зоны.

Определяем размеры каждой зоны-полосы:

I-ая зона: 2,0×5,0 м и 2,0×3,0 м;

II-ая зона: 1,0×3,0 м.

3. Площадь каждой зоны:

$$F^I = 2 \cdot 5 + 2 \cdot 3 = 16 \text{ м}^2; F^{II} = 1 \cdot 3 = 3 \text{ м}^2.$$

4. Т.к. толщина воздушной прослойки  $\delta_{в.п.} = 0,35 \text{ м}$ , то по табл. 2.1 величина  $R_{в.п.} = 0,19 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$ .

5. Определяем термическое сопротивление теплопередаче каждой зоны по формулам (2.3):

$$R_{л}^I = 1,18 \cdot \left( 2,1 + 0,19 + \frac{0,03}{0,15} + \frac{0,06}{0,4} + \frac{0,032}{0,15} \right) = 3,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$R_{л}^{II} = 1,18 \cdot \left( 4,3 + 0,19 + \frac{0,03}{0,15} + \frac{0,06}{0,4} + \frac{0,032}{0,15} \right) = 6,0 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

6. Потери тепла через пол, расположенный на лагах, определяем по формуле (2.5)

$$Q_{пл} = \left( \frac{F^I}{R_{л}^I} + \frac{F^{II}}{R_{л}^{II}} \right) (t_{в} - t_{н}) = \left( \frac{16}{3,4} + \frac{3}{6,0} \right) (18 + 27) = 234 \text{ Вт}.$$

Таблица 2.1 – Термическое сопротивление замкнутых воздушных прослоек [15]

Толщина воздушной прослойки, м	Термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки $R_{в.п.}$ , $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$			
	горизонтальной при потоке тепла снизу вверх и вертикальной		горизонтальной при потоке тепла сверху вниз	
	при температуре воздуха в прослойке			
	положительной	отрицательной	положительной	отрицательной
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2...0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Примечание. При оклейке одной или обеих поверхностей воздушной прослойки алюминиевой фольгой термическое сопротивление следует увеличивать в 2 раза.

### 2.1.3. Расчёт теплопотерь через окна

В практике строительства жилых и общественных зданий применяется одинарное, двойное и тройное остекление в деревянных, пластмассовых и металлических переплётах, спаренное или раздельное [2].

Требуемое нормативное общее сопротивление теплопередаче  $R_o^{TP}$  для световых проёмов определяют по табл. 1.5 в зависимости от величины ГСОП.

Затем по табл. 2.2 в соответствии с конструкцией окна определяют значение приведённого сопротивления  $R_o$ . Необходимо, чтобы выполнялось условие  $R_o > R_o^{TP}$  (ГСОП). В противном случае необходимо выбрать другую конструкцию окна, сопротивление теплопередаче которой будет удовлетворять требованиям.

Таблица 2.2 – Приведённое сопротивление окон, балконных дверей и фонарей [13, прил. 6]

Заполнение светового проёма	Приведённое сопротивление теплопередаче $R_o, \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	
	в деревянных или ПВХ переплётах	в алюминиевых переплётах
1	2	3
1. Двойное остекление в спаренных переплётах	0,4	–
2. Двойное остекление в раздельных переплётах	0,44	0,34*
3. Блоки стеклянные пустотные с шириной швов между ними 6 мм, размером, мм: 194×194×98	0,31 (без переплёта)	
244×244×98	0,33 (без переплёта)	
4. Профильное стекло коробчатого сечения	0,31 (без переплёта)	
5. Двойное из органического стекла зенитных фонарей	0,36	–
6. Тройное из органического стекла зенитных фонарей	0,52	–
7. Тройное остекление в раздельно-спаренных переплётах	0,55	0,46
8. Однокамерный стеклопакет из стекла: обычного	0,38	0,34
с твёрдым селективным покрытием	0,51	0,43
с мягким селективным покрытием	0,56	0,47
9. Двухкамерный стеклопакет из стекла: обычного (с межстекольным расстоянием 6 мм)	0,51	0,43
обычного (с межстекольным расстоянием 12 мм)	0,54	0,45
с твёрдым селективным покрытием	0,58	0,48
с мягким селективным покрытием	0,68	0,52
с твёрдым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,65	0,53
10. Обычное стекло и однокамерный стеклопакет в раздельных переплётах из стекла: обычного	0,56	–
с твёрдым селективным покрытием	0,65	–
с мягким селективным покрытием	0,72	–
с твёрдым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,69	–

## Окончание таблицы 2.2

1	2	3
11. Обычное стекло и двухкамерный стеклопакет в отдельных переплётах из стекла: обычного	0,68	—
с твёрдым селективным покрытием	0,74	—
с мягким селективным покрытием	0,81	—
с твёрдым селективным покрытием и заполнением аргоном	0,82	—
12. Два одинаковых стеклопакета в спаренных переплётах	0,70	—
13. Два одинаковых стеклопакета в отдельных переплётах	0,74	—
14. Четырёхслойное остекление в двух спаренных переплётах	0,80	—

\* В стальных переплётах.

Примечания.

1. К мягким селективным покрытиям стекла относят покрытия с тепловой эмиссией менее 0,15, к твёрдым – более 0,15.

Значения приведённых сопротивлений теплопередаче заполнений световых проёмов даны для случаев, когда отношение площади остекления к площади заполнения светового проёма равно 0,75.

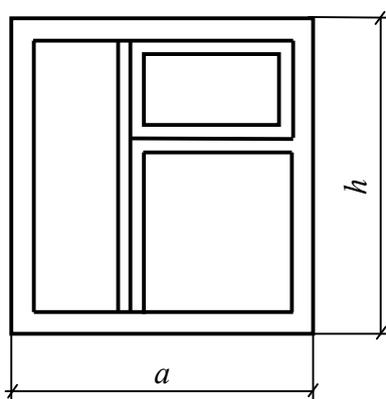
2. Значения приведённых сопротивлений теплопередаче, указанных в таблице, допускается применять в качестве расчётных при отсутствии этих значений в стандартах или технических условиях на конструкции или не подтверждённых результатами испытаний.

3. Температура внутренней поверхности конструктивных элементов окон зданий (кроме производственных) должна быть не ниже 3 °С при расчётной температуре наружного воздуха.

### Пример 2.4.

Исходные данные [2]:

- здание жилое;
- район строительства – г. Липецк;
- расчётная температура внутреннего воздуха  $t_{в} = 18 \text{ °C}$ ;
- $t_{н} = -27 \text{ °C}$ ;  $z_{оп} = 202 \text{ сут.}$ ;  $t_{оп} = -3,4 \text{ °C}$ ;  $n = 1$ ;
- окна с двойным остеклением в спаренных переплётах из ПВХ.



$a, \text{ м}$	1,68
$h, \text{ м}$	1,80

### Порядок расчёта.

1. По формуле (1.4) определяем ГСОП

$$\text{ГСОП} = (18 + 3,4) \cdot 202 = 4322,8 \text{ °C} \cdot \text{сут.}$$

2. По табл. 1.5 в зависимости от ГСОП определяем для окон

$$R_0^{\text{TP}} = 0,47 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт.}$$

3. По табл. 2.2  $R_0 = 0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

4. Т.к.  $R_0^{\text{TP}} > R_0$  ( $0,47 > 0,4$ ), то принимаем к установке однокамерный стеклопакет из стекла с твёрдым селективным покрытием в деревянных переплётах с  $R_0^{\Phi} = 0,51 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

5. Площадь окна  $F = 1,68 \cdot 1,8 = 3,024 \text{ м}^2$ .

6. Определяем теплопотери через окно по формуле (2.1)

$$Q_{\text{осн(окно)}} = \frac{18 + 27}{0,51} \cdot 1 \cdot 3,024 \cdot 1 = 266,82 \text{ Вт.}$$

#### 2.1.4. Расчёт теплопотерь через наружные двери

Фактическое общее сопротивление теплопередаче наружных дверей  $R_0^{\Phi}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяется из выражения

$$R_0^{\Phi} = 0,6 \frac{n(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t^{\text{н}} \cdot \alpha_{\text{в}}} \quad (2.6)$$

Теплопотери через наружные двери определяются по формуле (2.1).

##### Пример 2.5.

Исходные данные [2]:

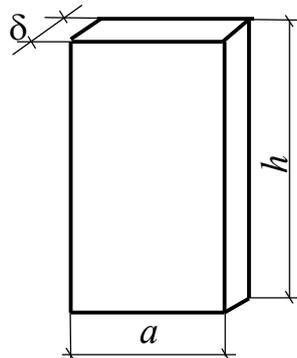
– здание жилое;

– район строительства – г. Липецк;

– расчётная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 18 \text{ °C}$ ;  $t_{\text{н}} = -27 \text{ °C}$ ;

$n = 1$ ;  $\Delta t^{\text{н}} = 4 \text{ °C}$ ;  $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;

– двери деревянные однопольные.



$a, \text{ м}$	0,8
$h, \text{ м}$	2,5
$\delta, \text{ м}$	0,04

##### Порядок расчёта.

1. По формуле (2.6) определим фактическое общее сопротивление теплопередаче наружных дверей

$$R_0^{\Phi} = 0,6 \frac{1 \cdot (18 + 27)}{4 \cdot 8,7} = 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт.}$$

2. Площадь двери  $F = 0,8 \cdot 2,5 = 2 \text{ м}^2$ .

3. Определяем теплопотери через наружную дверь по формуле (2.1)

$$Q_{\text{осн(дверь)}} = \frac{18 + 27}{0,8} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 = 112,5 \text{ Вт.}$$

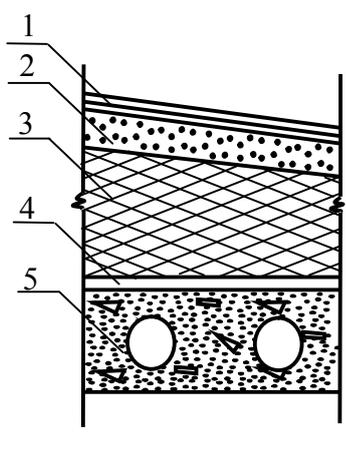
## 2.1.5. Расчёт теплотерь через чердачное перекрытие

Расчёт потерь тепла через чердачное перекрытие проводится аналогично расчёту потерь тепла через наружные стены.

### Пример 2.6.

Исходные данные [2]:

- район строительства – г. Липецк;
- $t_{в} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{н} = -27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $z_{оп} = 202 \text{ сут.}$ ;  $t_{оп} = -3,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $n = 1$ ;  $\Delta t^H = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C})$ ,  $\alpha_{н} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C})$ ;
- размер чердачного перекрытия –  $2,46 \times 3,56 \text{ м}$ ;
- конструкция чердачного перекрытия – бесчердачная конструкция.



Поз.	Конструкция чердачного перекрытия	Толщина слоя $\delta$ , м	Теплопроводность материала $\lambda$ , Вт/(м $\cdot$ °C) [15]
1	Три слоя рубероида на битумной мастике	0,004	0,17
2	Цементно-песчаная стяжка	0,040	0,18
3	Керамзит	0,240	0,10
4	Пароизоляция из двух слоёв рубероида	0,004	0,17
5	Панель железобетонная пустотелая	0,220	1,92

### Порядок расчёта.

1. Общее термическое сопротивление теплопередаче чердачного перекрытия определим по формуле (1.1)

$$R_0 = 1/8,7 + \frac{3 \cdot 0,004}{0,17} + \frac{0,04}{0,18} + \frac{0,24}{0,10} + \frac{2 \cdot 0,004}{0,17} + \frac{0,22}{1,92} + 1/12 = 3,05 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

2. Градусо-сутки отопительного периода определяем по формуле (1.4)

$$\text{ГСОП} = (18 + 3,4) \cdot 202 = 4322,8 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут.}$$

3. По формуле (1.3) требуемое сопротивление теплопередаче

$$R_0^{\text{тp}} = \frac{18 + 27}{4 \cdot 8,7} \cdot 1 = 1,3 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

4. Величину сопротивления теплопередаче чердачного перекрытия с учётом энергосбережения определяем по табл. 1.5

$$R_0^{\text{тp}} (\text{ГСОП}) = 0,00045 \cdot 4322,8 + 1,9 = 3,85 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

5. Сравниваем  $R_0^{\text{тp}} = 1,3 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  и  $R_0^{\text{тp}} (\text{ГСОП}) = 3,85 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$  и принимаем для дальнейших расчётов большее значение, т.е.  $R_0^{\text{тp}} (\text{ГСОП})$ .

6. Определяем невязку  $\Delta R = R_{0,эH}^{\text{тp}} - R_0 = 3,85 - 3,05 = 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ .

7. Выбираем в качестве утепляющего слоя плиты минераловатные прошивные марки 100 с теплопроводностью  $\lambda_{ут} = 0,059 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^{\circ}\text{C})$  [15, прил. Т] и рассчитываем толщину утеплителя по формуле (1.6)

$$\delta_{\text{ут}} = 0,8 \cdot 0,059 = 0,047 \text{ м.}$$

Принимаем  $\delta_{\text{ут}} = 0,05 \text{ м.}$

8. Уточняем фактическое общее сопротивление теплопередаче по формуле (1.7)

$$R_0^{\phi} = 3,05 + 0,05/0,059 = 3,9 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$$

Сравниваем по условию (1.5)  $R_0^{\phi} = 3,9 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт} > R_0^{\text{тп}} (\text{ГСОП}) = 3,85 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт.}$

9. Площадь чердачного перекрытия  $F = 2,46 \cdot 3,56 = 8,8 \text{ м}^2.$

10. Определяем теплотери через чердачное перекрытие по формуле (2.1)

$$Q_{\text{осн(чердачное перекрытие)}} = \frac{18 + 27}{3,9} \cdot 1 \cdot 8,8 = 101,5 \text{ Вт.}$$

## 2.2. Расчёт дополнительных потерь тепла

Основные теплотери через наружные ограждения, обусловленные разностью температуры внутреннего и наружного воздуха, оказываются меньше фактических теплотерь, т.к. не учитывается ряд факторов, вызывающих дополнительные потери теплоты, исчисляемые в долях от основных теплотерь. К ним относят: ориентацию помещений по отношению к сторонам света; поступление в помещение наружного воздуха через наружные двери; наличие двух и более наружных стен; высоту помещений; инфильтрацию в помещения наружного воздуха через неплотности строительных конструкций [2, 6].

### 2.2.1. Добавочные потери тепла на ориентацию сторон света

В помещениях любого назначения поправка на ориентацию по отношению к сторонам света принимается в соответствии со схемой (рис. 2.3) [2, 7].

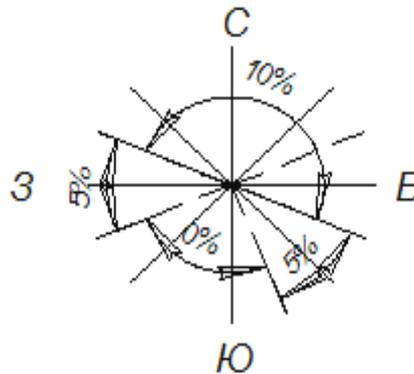


Рис. 2.3. Поправка на ориентацию по отношению к сторонам света

При этом добавочные теплотери, определяемые ориентацией ограждений по сторонам света (в долях от основных теплотерь), рассчитываются по формуле [6]

$$Q_{\text{д.ор}} = Q_0 \cdot \beta_{\text{ор}}, \quad (2.7)$$

где  $Q_0$  – основные теплотери через данное ограждение, Вт;  $\beta_{\text{ор}}$  – коэффициент добавки на ориентацию в относительных величинах (рис. 2.3).

### 2.2.2. Добавочные потери тепла на открывание наружных дверей

Через наружные двери, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте зданий  $H$ , м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты добавочные потери определяются [6, 18]:

– для тройных дверей с двумя тамбурами между ними

$$Q_{\text{д.нд}} = Q_{\text{о.лк}} \cdot (0,2H); \quad (2.8)$$

– для двойных дверей с тамбурами между ними

$$Q_{\text{д.нд}} = Q_{\text{о.лк}} \cdot (0,27H); \quad (2.9)$$

– для двойных дверей без тамбура

$$Q_{\text{д.нд}} = Q_{\text{о.лк}} \cdot (0,34H); \quad (2.10)$$

– для одинарных дверей

$$Q_{\text{д.нд}} = Q_{\text{о.лк}} \cdot (0,22H), \quad (2.11)$$

где  $Q_{\text{о.лк}}$  – основные теплотери через двери в помещении лестничной клетки, Вт;  $0,2H$ ,  $0,27H$ ,  $0,34H$ ,  $0,22H$  – значения коэффициентов добавок, учитывающих тип дверей и высоту здания.

### 2.2.3. Добавочные потери тепла на наличие двух и более наружных стен

Дополнительные потери тепла через ограждения при наличии в помещении двух и более наружных стен учитываются по общественным зданиям и вспомогательным помещениям производственных зданий в размере 5% основных теплотерь (в угловых помещениях жилых зданий повышают расчётную температуру внутреннего воздуха на  $2^\circ$  и добавку не вводят) [2, 7, 18].

### 2.2.4. Добавочные потери на высоту помещений

При высоте помещений более 4 м расчётная величина теплотерь через все ограждения с включением добавок увеличивается на 2% на каждый метр высотой сверх 4 м, но не более 15%. Эта добавка необходима в связи с некоторым перегревом воздуха верхней зоны помещения [2, 7, 18].

### 2.2.5. Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещений

Причинами инфильтрации воздуха через ограждения являются тепловое давление, возникающее вследствие разности плотности холодного наружного и тёплого внутреннего воздуха, и ветровое давление, создающееся в результате перехода у стен здания динамического давления ветра в статическое давление.

В жилых и общественных зданиях инфильтрация происходит через окна, балконные двери, световые фонари, наружные и внутренние двери, ворота, открытые проёмы, щели, стыки стеновых панелей [2, 7, 18].

Добавочные потери тепла на нагревание инфильтрующегося наружного воздуха  $Q_{и}$ , Вт, для помещений, не оборудованных естественной вентиляцией, определяются по формуле [2, 6].

$$Q_{и} = 0,28 \cdot \sum G_{и} \cdot c \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot k_{н}, \quad (2.12)$$

где  $\sum G_{и}$  – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения, определяемый по формуле (2.14);  $c$  – удельная теплоёмкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);  $t_{в}$ ,  $t_{н}$  – расчётные температуры воздуха в помещении и наружного воздуха в холодный период, °С;  $k_{н}$  – коэффициент учёта влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный 0,7 для стыков панелей стен и окон с тройными переплётами, 0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплётами и 1,0 – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплётами и открытых проёмов.

Сначала определяют расход теплоты  $Q_{и}$ , Вт, на нагревание инфильтрующегося воздуха в помещениях жилых и общественных зданий при естественной вытяжной вентиляции, не компенсируемого подогретым приточным воздухом

$$Q_{и} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_{н} \cdot c \cdot (t_{в} - t_{н}), \quad (2.13)$$

где  $\rho_{н}$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $L$  – расход удаляемого воздуха, м<sup>3</sup>/ч, не компенсируемый подогретым приточным воздухом; для жилых зданий с расчётной заселённостью квартиры не более 20 м<sup>2</sup> общей площади на человека – 3 м<sup>3</sup>/ч; для жилых зданий без ограничения заселённости – (0,35×3 м<sup>3</sup>/ч) на 1 м<sup>2</sup> площади жилых помещений, но не менее 30 м<sup>3</sup>/ч на одного жителя или суммарного количества воздуха, удаляемого из кухни, ванной, туалета и других вспомогательных помещений; для общественных и административных зданий (офисов и объектов сервисного обслуживания) – 4 м<sup>3</sup>/ч; для учреждений здравоохранения и образования – 5 м<sup>3</sup>/ч; для спортивных, зрелищных и детских дошкольных учреждений – 6 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади рабочих помещений [2].

Суммарный расход инфильтрующегося воздуха через окна и балконные двери определяется по формуле

$$\sum G_{и} = \frac{0,21 \cdot (\Delta p^{2/3} \cdot F_{о})}{R_{и}} + \frac{0,21 \cdot (\Delta p^{2/3} \cdot F_{б})}{R_{и}}, \quad (2.14)$$

где  $\Delta p$  – расчётная разность между давлениями на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па;  $F_{о}$  – площадь окна, м<sup>2</sup>;  $F_{б}$  – площадь балконной двери, м<sup>2</sup>;  $R_{и}$  – сопротивление воздухопроницанию, м<sup>2</sup>·ч·Па/кг, принимаемое по [2], равное для уплотнения оконных и балконных заполнителей из прокладки из губчатой резины или полушерстяного шнура  $R_{и} = 0,42$  м<sup>2</sup>·ч·Па/кг [2, 16].

Расчётная разность давлений  $\Delta p$ , Па, определяется величиной гравитационно-ветрового давления и работой вентиляции по формуле

$$\Delta p = (H - h) \cdot 9,8 \cdot (\rho_{н} - \rho_{в}) + 0,5 \cdot v_{н}^2 \cdot \rho_{н} \cdot (C_{н} - C_{з}) \cdot k_{v}, \quad (2.15)$$

где  $H$  – высота здания до верха карниза или вытяжных отверстий шахт, м;  $h$  – расстояние от поверхности земли до верха окон, дверей, м;  $\rho_{в}$ ,  $\rho_{н}$  – плотность возду-

ха при температуре внутреннего  $t_{в}$  и наружного  $t_{н}$  воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ,  $\left(\rho = \frac{353}{273+t}\right)$ ;  
 $v_{н}$  – скорость ветра, м/с, принимаемая по [1];  $C_{н}$ ,  $C_{з}$  – аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания, принимаются 0,8 и 0,6 соответственно [2, 11];  $k_v$  – коэффициент учёта изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимается равным 0,7 [11].

Таблица 2.3 – Расчётные параметры наружного воздуха [7]

Наименование пункта	Расчётная географическая широта, °с.ш.	Барометрическое давление, ГПа	Период года	Параметры А			Параметры Б			Средняя суточная амплитуда температуры воздуха, °С
				температура воздуха, °С	удельная энтальпия, кДж/кг	скорость ветра, м/с	температура воздуха, °С	удельная энтальпия, кДж/кг	скорость ветра, м/с	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Архангельск	64	1010	Тёплый Холодный	18,6 -19	48,6 -17,6	4 5,8	24,5 -31	55,3 -30,8	4 6,2	9,8 -
Астрахань	48	1010	Тёплый Холодный	29,5 -8	61,1 -4,2	3,6 9	33 -23	64,5 -21,9	3,6 8	10,7 -
Брянск	52	990	Тёплый Холодный	22,5 -3	49,8 -10,5	1 5,2	27,3 -26	53,2 -25	1 6	12,6 -
Владивосток	44	990	Тёплый Холодный	23,6 -16	57,8 -14,2	4,7 14,8	23,4 -24	61,5 -25,3	4,7 13,5	5,5 -
Казань	56	990	Тёплый Холодный	22,8 -18	51,1 -16,3	3,8 4	27,3 -32	54,8 -31,7	3,8 4	11,1 -
Кострома	56	990	Тёплый Холодный	21,1 -16	49,8 -14,2	4,2 4,8	25,8 -31	53,6 -30,7	4,2 4	10 -
Липецк	52	990	Тёплый Холодный	24,4 -15	50,2 -13	4,1 6,5	28,7 -27	54,8 -26,5	4,1 5,4	11,6 -
Москва	56	990	Тёплый Холодный	22,3 -15	49,4 -11,7	1 4,7	28,5 -26	54 -25,3	1 4	10,4 -
Мурманск	68	1010	Тёплый Холодный	16,6 -18	41,4 -16,3	3,8 8,7	22 -27	42,7 -26,6	3,8 8,4	8,9 -
Пенза	52	990	Тёплый Холодный	23,8 -17	51,1 -15,5	1 4,4	28,4 -29	54 -28,8	1 3,8	10,9 -

Окончание таблицы 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Петрозаводск	60	1010	Тёплый Холодный	18,6 -15	46,1 -11,7	3,2 5	23,1 -29	50,2 -28,5	3,2 3,7	9,5 -
Самара	52	990	Тёплый Холодный	24,3 -18	52,8 -16,3	3,2 4,6	29,7 -30	55,3 -29,8	3,2 5	10,7 -
Тамбов	52	990	Тёплый Холодный	24,5 -15	52,3 -13	2,8 4,5	28,9 -28	54,4 -27,8	2,8 3	11,9 -
Тула	56	990	Тёплый Холодный	22,2 -14	50,2 -11,7	3,4 4,5	27 -27	53,6 -26,6	3,4 3	11,4 -
Ульяновск	56	990	Тёплый Холодный	23,8 -18	51,1 -16,3	3,7 4,5	28,5 -31	54,4 -30,6	3,7 5	11,8 -
Хабаровск	48	990	Тёплый Холодный	24,1 -23	60,7 -22,2	4,6 8,4	28,4 -31	65 -30,8	4,6 6,8	8,5 -

За расчётное принимают большее из полученных значений по формулам (2.12) и (2.13).

Для одного помещения расчёты теплотерь на инфильтрацию представляют в развёрнутом виде, т.е. с записью формул и цифр. Для здания в целом расчёты удобнее представлять в табл. 2.4.

Таблица 2.4 – Расчёт тепла на нагревание инфильтрующегося воздуха [2]

№ этажа	$H$ и $h$ , м	$H-h$ , м	$(H-h) \cdot 9,8 \times$ $\times (\rho_n - \rho_e)$	$0,5 \cdot v_n^2 \cdot \rho_n \times$ $\times (C_n - C_3) \cdot k$	$\Delta p$ , Па	$G_{\text{и(окно)}}$ , кг/ч	$G_{\text{и(б.дверь)}}$ , кг/ч	$Q_{\text{и(окно)}}$ , Вт	$Q_{\text{и(б.дверь)}}$ , Вт	$\sum Q_{\text{и}}$ , Вт
---------	------------------------	--------------	--	---	--------------------	--------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	---------------------------------	-----------------------------

**Пример 2.7.**

Исходные данные [2].

Рассчитать расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха в жилой комнате здания, расположенного в городе Липецке. Жилое помещение оборудовано естественной вытяжной вентиляцией с нормативным воздухообменом 3 м<sup>3</sup>/ч на 1 м<sup>2</sup> площади пола.

Высота здания от уровня земли до верха вытяжной шахты естественной вентиляции  $H = 7,2$  м.

Размеры однокамерного стеклопакета из стекла с твёрдым селективным покрытием в деревянных переплётах 1,68×1,8 м. Для данного типа окна  $R_0^{\text{TP}} = 0,51$  м<sup>2</sup>·°C/Вт (см. пример 2.4). Расстояние от пола до подоконника окна  $h = 1$  м.

Плотность наружного и внутреннего воздуха при  $t_n = -27$  °C и  $t_b = 18$  °C соответственно

$$\rho_{\text{н}} = \frac{353}{273 + t_{\text{н}}} = \frac{353}{273 - 27} = 1,435 \text{ кг/м}^3; \rho_{\text{в}} = \frac{353}{273 + t_{\text{в}}} = \frac{353}{273 + 18} = 1,213 \text{ кг/м}^3.$$

Коэффициент учёта влияния встречного теплового потока в конструкции окна  $k_{\text{н}} = 1$ .

Коэффициент учёта изменения скоростного давления ветра  $k_{\text{в}} = 0,7$ .

Аэродинамические коэффициенты  $C_{\text{н}} = 0,8$ ,  $C_{\text{з}} = 0,6$ .

По табл. 2.3 скорость ветра в городе Липецке в холодный период года равна  $v_{\text{н}} = 6,5 \text{ м/с}$ .

Площадь пола жилой комнаты  $F = 3,82 \cdot 6,54 = 24,98 \text{ м}^2$ .

### Порядок расчёта.

1. Определяем разность давлений воздуха на наружную и внутреннюю поверхность ограждения (окна) жилой комнаты по формуле (2.15)

$$\Delta p = (7,2 - 1) \cdot 9,8 \cdot (1,435 - 1,213) + 0,5 \cdot 6,5^2 \cdot 1,435 \cdot (0,8 - 0,6) \cdot 0,7 = 17,7 \text{ Па}.$$

2. Вычисляем расход инфильтрующегося воздуха через окно по формуле (2.14)

$$\sum G_{\text{и}} = \frac{0,21 \cdot (\Delta p^{2/3} \cdot F_{\text{о}})}{R_{\text{и}}} = \frac{0,21 \cdot (17,7^{2/3} \cdot 1,68 \cdot 1,8)}{0,42} = 10,3 \text{ кг/ч}.$$

3. По формуле (2.12) рассчитываем расход теплоты для нагревания инфильтрующегося воздуха через окно вследствие действия теплового и ветрового давления

$$Q_{\text{и}} = 0,28 \cdot 10,3 \cdot 1 \cdot (18 + 27) \cdot 1 = 129,8 \text{ Вт}.$$

4. По формуле (2.13) вычисляем расход теплоты для нагревания инфильтрующегося воздуха при естественной вентиляции, не компенсируемый притоком подогретого воздуха,

$$Q_{\text{и}} = 0,28 \cdot 3 \cdot 24,98 \cdot 1,435 \cdot 1 \cdot (18 + 27) = 1355 \text{ Вт}.$$

5. За расчётную величину следует принять большее из полученных значений  $Q_{\text{и}} = 1355 \text{ Вт}$ .

## 2.3. Расчёт теплопоступлений

Согласно [2] величина удельных бытовых тепловыделений на  $1 \text{ м}^2$  площади жилых помещений  $q_{\text{в}}$ , Вт/м<sup>2</sup>, принимается для жилых зданий:

а) предназначенных гражданам с учётом социальной нормы (с расчётной заселённостью квартиры не более  $20 \text{ м}^2$  общей площади на человека),  $q_{\text{в}} = 17 \text{ Вт/м}^2$ ;

б) без ограничения социальной нормы (с расчётной заселённостью квартиры не менее  $45 \text{ м}^2$  общей площади на человека)  $q_{\text{в}} = 10 \text{ Вт/м}^2$ ;

в) в зависимости от расчётной заселённости квартиры по интерполяции величины  $q_{\text{в}}$  между 17 и 10 Вт/м<sup>2</sup>;

г) для общественных и административных зданий бытовые тепловыделения учитываются по расчётному числу людей (90 Вт/чел), находящихся в здании, освещению (по установочной мощности) и оргтехнике (10 Вт/м<sup>2</sup>) с учётом рабочих часов в неделю.

При расчёте тепловой мощности системы отопления необходимо учитывать регулярные бытовые теплопоступления в помещение от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций и других источников. Бытовые теплопоступления, Вт, определяются по формуле

$$Q_{\text{пост}} = q_{\text{в}} \cdot F, \quad (2.16)$$

где  $F$  – для жилых зданий – площадь жилых помещений, для общественных зданий – расчётная площадь, определяемая как сумма площадей всех помещений, за исключением коридоров, тамбуров, переходов, лестничных клеток, лифтовых шахт, внутренних открытых лестниц и пандусов, а также помещений, предназначенных для размещения инженерного оборудования и сетей,  $\text{м}^2$ .

### Пример 2.8.

Исходные данные [2].

Вычислить бытовые тепловыделения в жилую комнату, площадь которой равна  $F = 35,8 \text{ м}^2$ .

### Порядок расчёта.

По формуле (2.16) определяем бытовые теплопоступления в жилую комнату

$$Q_{\text{пост}} = 10 \cdot 35,8 = 358 \text{ Вт.}$$

## 2.4. Уравнение теплового баланса здания

Для компенсации теплопотерь через наружные ограждения устраивают системы отопления [2].

Тепловая мощность системы отопления  $Q_{\text{с.о.}}$ , Вт, помещения определяется по формуле

$$Q_{\text{с.о.}} = \Sigma Q_{\text{пот.}} - \Sigma Q_{\text{пост.}}, \quad (2.17)$$

где  $\Sigma Q_{\text{пот.}}$  – суммарные тепловые потери помещением, Вт;  $\Sigma Q_{\text{пост.}}$  – суммарные теплопоступления в помещение, Вт.

Вычисление теплопотерь и теплопоступлений производят для каждого помещения отдельно, а затем для всего здания в целом.

С другой стороны, выражение (2.17) можно записать как

$$Q_{\text{с.о.}} = \Sigma Q_{\text{осн}} + \Sigma Q_{\text{и}} - \Sigma Q_{\text{пост}}, \quad (2.18)$$

где  $\Sigma Q_{\text{осн}}$  – сумма основных потерь теплоты через ограждающие конструкции здания (наружные стены, окна, балконные двери, полы, перекрытие и крышу, наружные двери), Вт;  $\Sigma Q_{\text{и}}$  – сумма добавочных потерь теплоты на инфильтрацию, Вт.

Основные потери теплоты с учётом добавочных через ограждающие конструкции с округлением до 10 Вт определяются по формуле (2.1).

Расчёты теплопотерь помещений здания сводятся в табл. 2.5 [2], где подводятся итоги расчёта потерь тепла по отдельным помещениям, по этажам и по всему зданию в целом. Здесь ограждающие конструкции обозначаются сокращённо начальными буквами (колонка 4 табл. 2.5): НС – наружные стены; О – окна; БД – балконные двери; Пл – полы; Кр – крыша; Пр – перекрытие.

Таблица 2.5 – Расчёт теплотерь зданием

№ помещения	Назначение помещения	Внутренняя температура воздуха $t_b, ^\circ\text{C}$	Характеристика ограждения				Расчётная температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$	Расчётная разность температур $(t_b - t_n), ^\circ\text{C}$	Поправочный коэффициент $n$	Теплотери через ограждающие конструкции $Q_{огр}, \text{Вт}$	Добавочные теплотери $\beta$				Сумма добавочных теплотерь $\sum\beta$	Общие теплотери через наружные ограждения (с учётом добавочных теплотерь) $Q_{с.о.}, \text{Вт}$	Потери теплоты на инфильтрацию $Q_{и}, \text{Вт}$
			Обозначение	Ориентация по сторонам света	Размеры $a \times b, \text{м}^2$	Площадь $F, \text{м}^2$					На ориентацию по отношению к сторонам света	На наличие двух и более наружных стен	На открывание наружных дверей	На высоту помещения			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Таблица 2.6 – Тепловой баланс отапливаемых помещений и здания в целом

№ помещения	I этаж				II этаж				III этаж				$\sum Q_{здания}, \text{Вт}$
	$Q_{осн}, \text{Вт}$	$Q_{и}, \text{Вт}$	$Q_{пост}, \text{Вт}$	$Q_{с.о.}, \text{Вт}$	$Q_{осн}, \text{Вт}$	$Q_{и}, \text{Вт}$	$Q_{пост}, \text{Вт}$	$Q_{с.о.}, \text{Вт}$	$Q_{осн}, \text{Вт}$	$Q_{и}, \text{Вт}$	$Q_{пост}, \text{Вт}$	$Q_{с.о.}, \text{Вт}$	$\sum Q_{с.о.}, \text{Вт}$

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ И ЧИСЛА ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Отопительные приборы по преобладающему способу теплоотдачи подразделяются на радиационные, конвективно-радиационные и конвективные [2, 13].

К *радиационным приборам*, передающим излучением более 50% общего теплового потока, следует отнести отопительные панели металлические или бетонные, расположенные в подпотолочной зоне или в плоскости наружных и внутренних стен.

К *конвективно-радиационным приборам*, передающим конвекцией не менее 50% общего теплового потока, относят радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы.

К *конвективным приборам*, передающим конвекцией не менее 75% общего теплового потока, относят конвекторы, ребристые трубы и воздухонагреватели.

В эти группы входят отопительные приборы пяти основных видов (рис. 3.1): радиаторы секционные и панельные, гладкотрубные приборы (эти три вида приборов имеют *гладкую* внешнюю поверхность), конвекторы, ребристые трубы (имеют *ребристую* поверхность). К приборам с ребристой внешней поверхностью относят также калориферы, применяемые для нагревания воздуха в системах воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования [10].

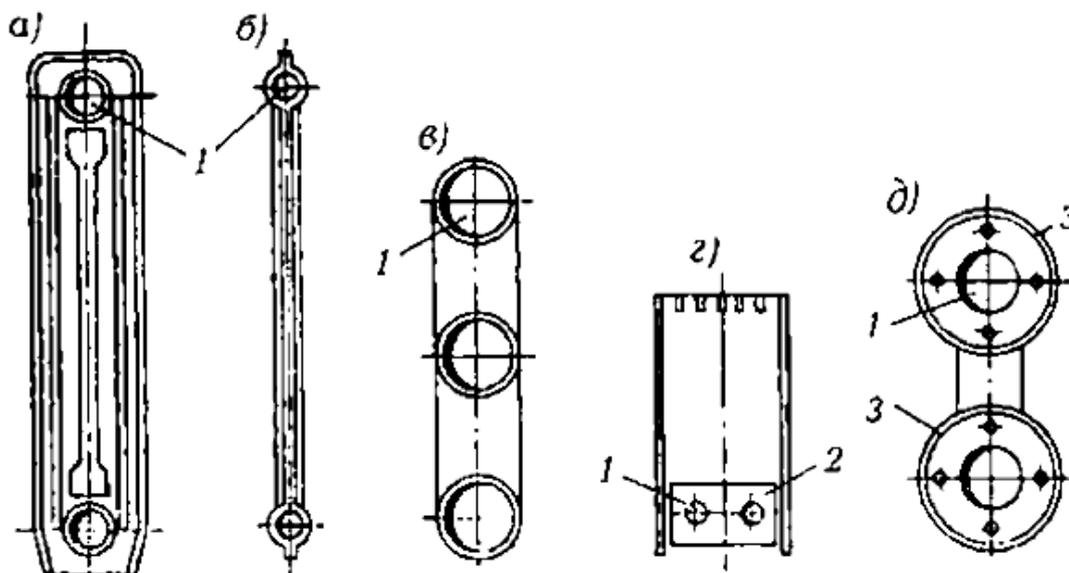
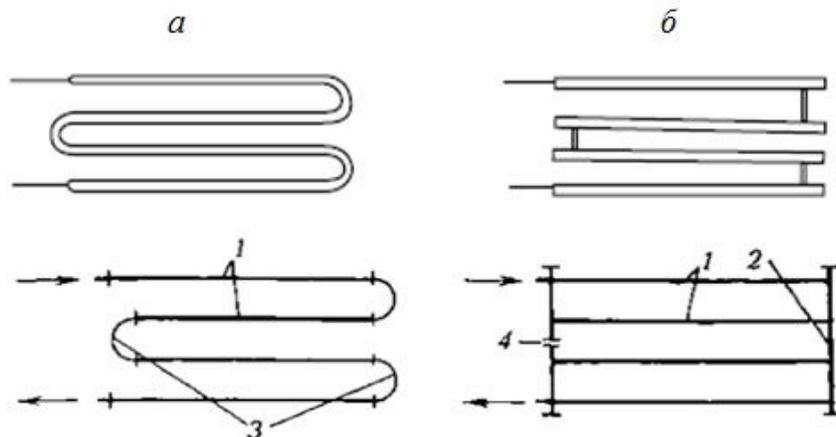


Рис. 3.1. Конструкции отопительных приборов различных видов (поперечные разрезы):

- a* – радиатор секционный; *б* – радиатор стальной панельный; *в* – гладкотрубный прибор (из трёх горизонтальных стальных труб); *з* – конвектор с кожухом; *д* – ребристая труба (из двух горизонтальных чугунных труб);  
*1* – канал для теплоносителя; *2* – оребрение из стальных пластин; *3* – чугунный фланец

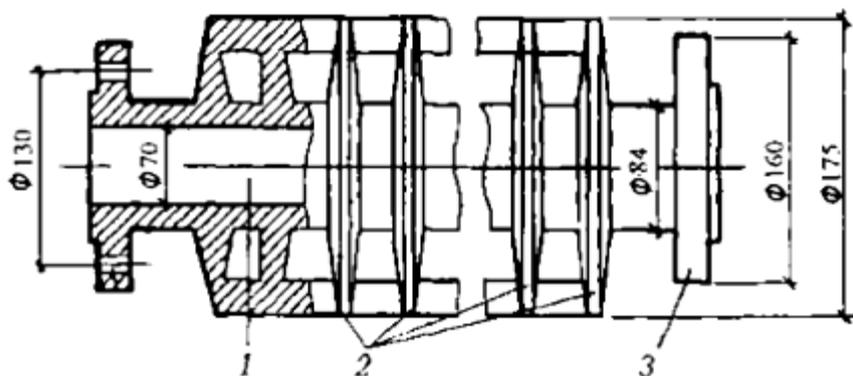
Отопительные приборы из гладких труб выполняются в виде регистров или змеевиков (рис. 3.2). Общая длина прибора и число труб по вертикали зависит от тепловой мощности отопительного прибора.



**Рис. 3.2. Формы соединения труб в гладкотрубных отопительных приборах:**

*a* – змеевиковая форма; *б* – регистровая форма;  
*1* – нитки; *2* – колонка; *3* – калачи; *4* – заглушка

Ребристой трубой называют конвективный прибор, представляющий собой фланцевую чугунную трубу, наружная поверхность которой покрыта совместно отлитыми тонкими рёбрами (рис. 3.3) [2, 10].

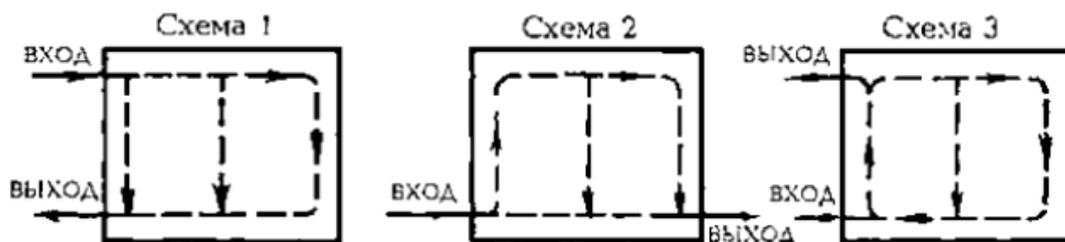


**Рис. 3.3. Ребристая чугунная труба:**

*1* – канал для теплоносителя; *2* – рёбра; *3* – соединительный фланец

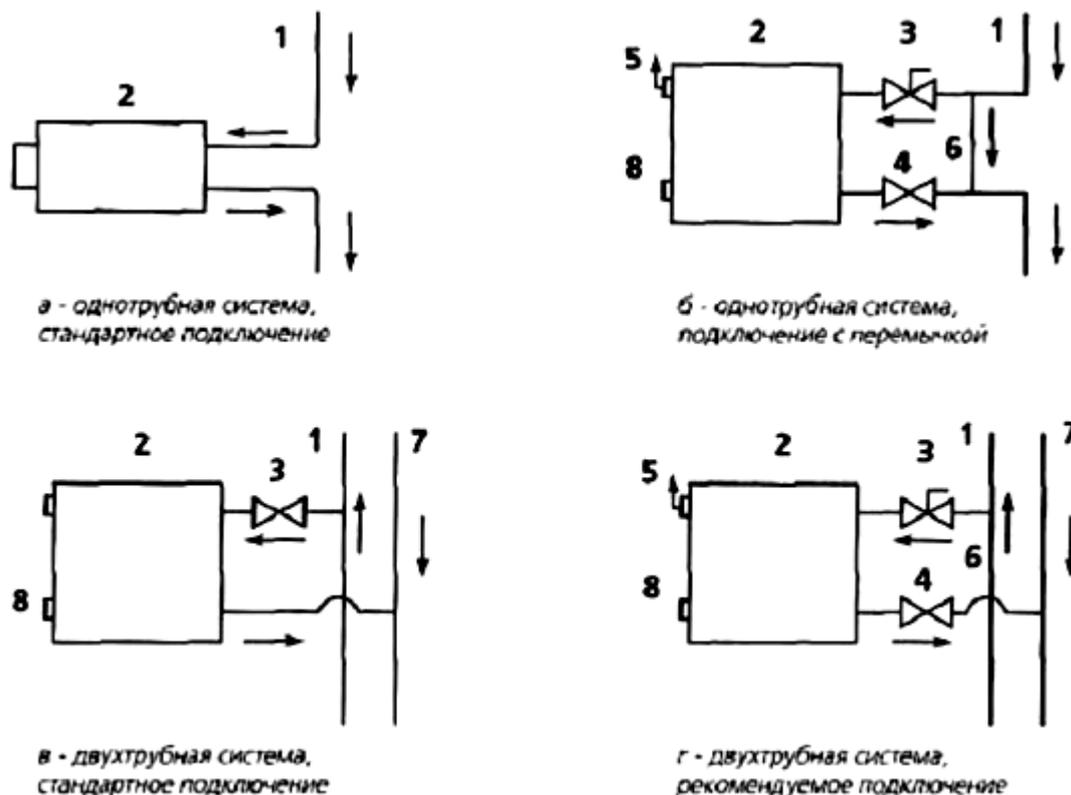
На равномерность температурного поля на внешней поверхности отопительных приборов влияет направление движения теплоносителя (воды) внутри прибора, связанное с местами его подвода и отведения, т.е. способ соединения приборов с теплопроводами.

На рис. 3.4 представлены три основные схемы присоединения секционных и панельных радиаторов. Наиболее равномерной и высокой температура поверхности радиаторов получается при схеме присоединения «сверху-вниз» (схема 1). При других типа присоединения «снизу-вниз» (схема 2) и «снизу-вверх» (схема 3) коэффициент теплопередачи будет ниже [2, 10].



**Рис. 3.4. Основные схемы присоединения радиаторов к теплопроводам систем водяного отопления**

После того, как выбраны класс, вид и модель отопительных приборов необходимо определить, как эти приборы будут подключаться к отопительной сети здания. Существуют две основные системы отопления: однотрубная и двухтрубная (рис. 3.5) [2].



**Рис. 3.5. Схемы подключения радиаторов:**

- 1 – подающий трубопровод; 2 – радиатор; 3 – терморегулятор (ручной или автоматический);  
 4 – вентиль нижний; 5 – воздухоотводчик; 6 – перемычка (байпас);  
 7 – обратный трубопровод; 8 – заглушка

### **Однотрубная система (рис. 3.5 а, б).**

Теплоноситель (вода) по одному трубопроводу (стояку) подаётся наверх здания, а по другому опускается вниз, последовательно проходя через все отопительные приборы, установленные на этажах. Чем ниже этаж, тем холоднее становится вода, поступающая в прибор. Какая-либо регулировка прибора при этом невозможна, т.к. всякое изменение сечения прохода воды приводит к уменьшению её потока во всём стояке.

### **Двухтрубная система (рис. 3.5 в, г).**

В этой системе теплоноситель подаётся по одному трубопроводу (подающему), а отводится по другому (обратному). Отопительные приборы подключаются к стоякам параллельно. Поэтому температура теплоносителя, входящего в приборы, на всех этажах здания одинакова.

Если устанавливается новый отопительный прибор, то необходимо управление его теплоотдачей. В однотрубной системе это достигается с помощью установки перемычки (байпаса) и запорно-регулирующей арматуры (рис. 3.6). В двухтрубной системе для управления теплоотдачей байпас не требуется, достаточно на подводящей трубе (верхней подводке) установить терморегулятор.

Перемычка (байпас) – это отрезок трубы, установленный между прямой и обратной подводками прибора, диаметр которой меньше диаметра подводки на один калибр (обычно это труба диаметром полдюйма). Когда терморегулятор (рис. 3.5 б и рис. 3.6) [2], ручной или автоматический, изменяет количество теплоносителя, поступающего в прибор, его избыточная часть через перемычку возвращается в стояк, не влияя на работу других приборов на стояке. При этом изменяется температура поверхности радиатора и, следовательно, температура воздуха в помещении.

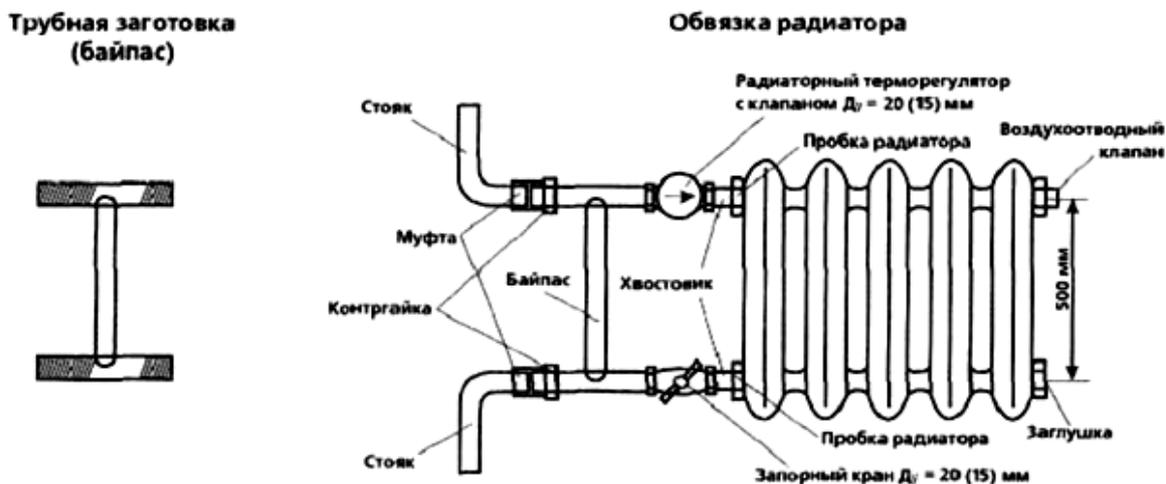


Рис. 3.6. Обвязка радиатора в однотрубной системе отопления

Тепловой расчёт отопительного прибора заключается в определении числа секций (элементов) разборного радиатора или типа неразборного радиатора и конвектора, внешняя нагревательная поверхность которых должна обеспечить передачу не менее требуемого теплового потока в помещение (рис. 3.7) [2, 10].

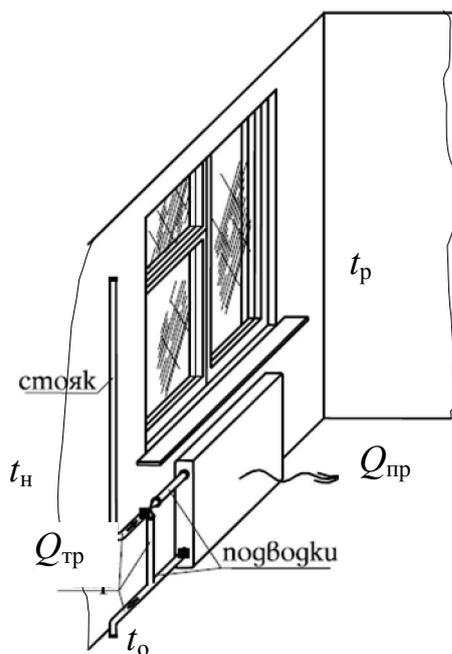


Рис. 3.7. Схема теплоотдачи отопительного прибора  $Q_{пр}$  и труб  $Q_{тр}$  для компенсации теплотребления

Исходными данными для расчёта отопительного прибора являются потери тепла в помещении (дефицит теплоты), расчётные температуры теплоносителя: на входе и выходе из системы, температура внутреннего воздуха в помещении и температура наружного воздуха [2].

Тепловая мощность прибора, т.е. его расчётная теплоотдача  $Q_{\text{пр}}$ , Вт, определяется теплотребностью помещения за вычетом теплоотдачи теплопроводов, проложенных в этом помещении  $Q_{\text{тр}}$ .

Теплоотдача отопительного прибора  $Q_{\text{пр}}$ , Вт, определяется по формуле

$$Q_{\text{пр}} = q_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}}, \quad (3.1)$$

где  $q_{\text{пр}}$  – поверхностная плотность теплового потока прибора, Вт/м<sup>2</sup>;  $F_{\text{пр}}$  – расчётная площадь отопительного прибора, м<sup>2</sup>.

Отсюда площадь поверхности отопительного прибора

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

где требуемая теплоотдача прибора в помещении  $Q_{\text{пр}}$  определяется по формуле

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{п}} - \beta_{\text{тр}} Q_{\text{тр}}, \quad (3.3)$$

где  $Q_{\text{п}}$  – расчётные потери тепла помещением, Вт;  $Q_{\text{тр}}$  – суммарная теплоотдача проложенных в пределах помещения нагретых труб стояка (ветвей) и подводок, к которым непосредственно присоединён прибор, Вт;  $\beta_{\text{тр}}$  – поправочный коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи теплопроводов, полезную для поддержания заданной температуры воздуха в помещении ( $\beta_{\text{тр}}$  составляет при прокладке труб: открытой – 0,9; скрытой в глухой борозде стены – 0,5; замоноличенной в тяжёлый бетон – 1,8).

Суммарная теплоотдача открыто проложенных в помещении труб

$$Q_{\text{тр}} = q_{\text{в}} \cdot l_{\text{в}} + q_{\text{г}} \cdot l_{\text{г}}, \quad (3.4)$$

где  $q_{\text{в}}$ ,  $q_{\text{г}}$  – теплоотдача 1 м вертикальных и горизонтальных труб в помещении, Вт/м, принимается по [16, табл. II.22];  $l_{\text{в}}$ ,  $l_{\text{г}}$  – длина вертикальных и горизонтальных труб в пределах помещения, м.

Расчётную плотность теплового потока определяют для теплоносителя (воды) по формуле

$$q_{\text{пр}} = \left( \frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left( \frac{G_{\text{пр}}}{360} \right)^p \cdot c \cdot q_{\text{ном}}, \quad (3.5)$$

где  $\Delta t_{\text{ср}}$  – средний температурный напор в отопительном приборе с учётом понижения температуры воды в подающей магистрали и стояке, °С;  $G_{\text{пр}}$  – действительный расход воды в отопительном приборе, кг/ч;  $q_{\text{ном}}$  – номинальная плотность прибора, принятого к установке, при стандартных условиях работы, Вт/м<sup>2</sup> (табл. 3.1);  $n$ ,  $p$ ,  $c$  – коэффициенты (табл. 3.2).

Таблица 3.1 – Номинальная плотность теплового потока отопительных приборов при движении воды «сверху-вниз» [16]

Наименование и обозначение отопительного прибора	Номинальная плотность теплового потока, Вт/м <sup>2</sup>
Радиаторы чугунные секционные	
МС-140-108	758
МС-140-98	725
МС-140-АО	595
МС-140-А	646
М-90	700
МС-90-108	802
Радиаторы стальные панельные типа РСВ1	
Однорядные	712
Двухрядные	618
Радиаторы стальные панельные типа РСГ2	
Однорядные	712
Двухрядные	618
Конвектор настенный с кожухом типа	
«Универсал»	357
«Универсал-С»	345
«Комфорт-20»	462
«Ритм» и «Ритм-1500»	429
«КВ»	517
Конвектор настенный без кожуха типа «Аккорд»	
Однорядные	343
Двухрядные	317
Конвектор настенный без кожуха типа «Прогресс-15»	
Однорядные	290
Двухрядные	274
Конвектор настенный с кожухом типа «Прогресс-20»	
Двухрядные	255
Однорядные	280
Биметаллический отопительный прибор типа «Коралл»	
Однорядные	510
Двухрядные	469
Трубы отопительные чугунные ребристые	388

Таблица 3.2 – Значения показателей  $n$ ,  $p$ ,  $c$  для определения теплового потока приборов [16]

Тип отопительного прибора	Направление движения теплоносителя	Расход теплоносителя $G$ , кг/ч	$n$	$p$	$c$
1	2	3	4	5	6
Радиатор чугунный секционный и стальной панельный однорядный и двухрядный типа РСВ1	«сверху-вниз»	18...50	0,3	0,02	1,039
		54...536		0	1,0
		536...900		0,01	0,996
	«снизу-вниз»	18...115	0,15	0,08	1,092
		119...900		0	1,0
	«снизу-вверх»	18...61	0,25	0,12	1,113
65...900		0,04		0,97	

### Окончание таблицы 3.2

1	2	3	4	5	6
Конвектор с кожухом типа «Комфорт-20» и конвектор настенный типа «Ритм» и «Ритм-1500»	–	36...86	0,35	0,18	1
		90...900		0,07	
Конвектор напольный высокий типа «КВ»	–	36...900	0,25	0,1	1
Конвектор настенный с кожухом типа «Универсал» и «Универсал-С»	любое	36...86	0,3	0,18	1
		90...900		0,07	
Конвектор настенный без кожуха типа «Аккорд» однорядный и двухрядный	любое	36...900	0,2	0,03	1
Радиатор стальной панельный типа РСГ2 однорядный	«сверху-вниз»	22...288	0,3	0,025	1
		324...900		0	
	«снизу-вверх»	22...288	0,25	0,08	1
		324...900		0	
Радиатор стальной панельный типа РСГ2 двухрядный	«сверху-вниз»	22...288	0,3	0,01	1
		324...900		0	
	«снизу-вверх»	22...288	0,25	0,08	1
		324...900		0	
Конвектор отопительный типа «Прогресс 15к»	любое	36...900	0,2	0,06	1
Конвектор отопительный типа «Прогресс 20к»	–	36...900	0,14	0,07	1
Прибор отопительный биметаллический литой типа «Коралл»	–	96...900	0,3	0,04	1
Труба отопительная стальная $D_v = 40...100$ мм	любое	30...900	0,32	0	1

Для **двухтрубных систем** водяного отопления, когда каждый нагревательный прибор подключается к подающей магистрали независимо, средний температурный напор в отопительном приборе определяется по формуле [2]

$$\Delta t_{cp} = 0,5(t_T + t_o), \quad (3.6)$$

где  $t_T$  – температура теплоносителя в подающем трубопроводе, °С;  $t_o$  – температура теплоносителя в обратном трубопроводе, °С.

В **однотрубных системах** водяного отопления нагревательные приборы соединены последовательно, поэтому температура теплоносителя, поступающего в последующий прибор, должна рассчитываться с учётом охлаждения воды в предыдущем приборе и с учётом охлаждения теплоносителя в трубах подающей магистрали на 2 °С. Температура воды, входящей в первый нагревательный прибор принимается  $t_{вх} = t_T - 2$ . Температура вода на выходе из прибора рассчитывается по формуле [19]

$$t_{вых} = t_{вх} - 0,5Q_{пр} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \frac{3,6}{c_B G_{пр}}, \quad (3.7)$$

где  $\beta_1$  – поправочный коэффициент, учитывающий теплопередачу через дополнительную площадь отопительных приборов (для радиаторов и конвекторов  $\beta_1 = 1,03...1,08$ , для ребристых труб  $\beta_1 = 1,13$ );  $\beta_2$  – поправочный коэффициент,

учитывающий дополнительные теплотери вследствие размещения отопительных приборов у наружных ограждений ( $\beta_2 = 1,02 \dots 1,04$ ).

Средний температурный напор в отопительном приборе при однотрубной системе отопления

$$\Delta t_{\text{ср}} = t_{\text{вых}} - t_{\text{в}}, \quad (3.8)$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура окружающего воздуха, °С.

Действительный расход воды в отопительном приборе рассчитывается по формуле, кг/ч,

$$G_{\text{пр}} = \frac{3,6Q_{\text{п}}}{c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{о}})}, \quad (3.9)$$

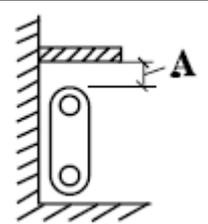
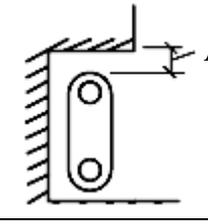
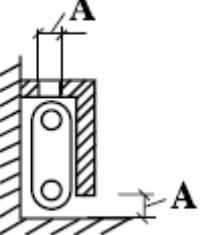
где  $Q_{\text{п}}$  – теплотери в рассматриваемом помещении, Вт;  $c_{\text{в}}$  – удельная массовая теплоёмкость воды, равная 4,19 кДж/(кг·°С).

**Число секций радиаторов** определяют по формуле [2]

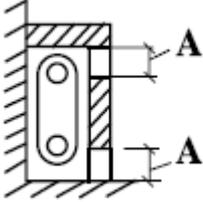
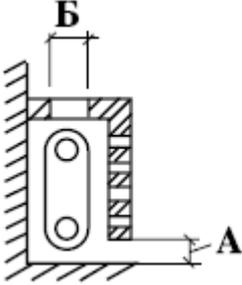
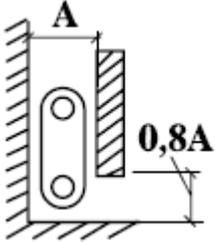
$$N = \frac{F_{\text{пр}}}{f_1} \cdot \frac{\beta_4}{\beta_3}, \quad (3.10)$$

где  $f_1$  – площадь поверхности нагрева одной секции, м<sup>2</sup>, принимается по [16, приложение X];  $\beta_4$  – коэффициент, учитывающий способ установки отопительных приборов (табл. 3.3);  $\beta_3$  – поправочный коэффициент, учитывающий число секций в одном радиаторе, рассчитывается по формуле  $\beta_3 = 0,92 + (0,16/F_{\text{пр}})$ .

Таблица 3.3 – Значения коэффициента  $\beta_4$ , учитывающего способ установки отопительного прибора [19]

Эскиз установки прибора	Способ установки прибора	A, мм	$\beta_4$
1	2	3	4
	У стены без ниши и перекрыт доской в виде полки	40 80 100	1,05 1,03 1,02
	В стенной нише	40 80 100	1,11 1,07 1,06
	У стены без ниши и закрыт деревянным шкафом со щелями в его передней стенке у пола и в верхней доске	260 220 180 150	1,12 1,13 1,19 1,25

Окончание таблицы 3.3

1	2	3	4
	<p>То же, но со щелями в верхней части передней доски: открытыми закрытыми сетками</p>	<p>130 130</p>	<p>1,2 1,4</p>
	<p>У стены без ниши и закрыт шкафом: в верхней доске шкафа прорезана щель Б, ширина которой не менее глубины прибора. Спереди шкаф закрыт деревянной решёткой, не доходящей до пола на расстояние А (не менее 100 мм)</p>	<p>100</p>	<p>1,15</p>
	<p>У стены без ниши и закрыт экраном, не доходящим до пола на расстояние 0,8А</p>		<p>0,9</p>

Число панельных радиаторов типа РСВ1 и РСВ2 рассчитывается по формуле

$$N = F_{\text{пр}} / f_1, \quad (3.11)$$

где  $f_1$  – площадь одной панели,  $\text{м}^2$ , принимается по [16, приложение X].

**Число элементов конвекторов без кожуха или ребристых труб** в ярусе по вертикали или в ряду по горизонтали определяется по формуле

$$N = F_{\text{пр}} / (n \cdot f_1), \quad (3.12)$$

где  $n$  – число ярусов или рядов элементов, составляющих приборы;  $f_1$  – площадь одного элемента конвектора или одной ребристой трубы принятой длины,  $\text{м}^2$ , выбираемая по [16, приложение X].

**Длина греющей трубы**  $l$ , м, в ярусе или в ряду гладкотрубного прибора составляет

$$l = \frac{F_{\text{пр}} \cdot \beta_4}{n \cdot f_1}, \quad (3.13)$$

где  $n$  – число ярусов или рядов греющих труб, составляющих прибор;  $f_1$  – площадь 1 м открытой горизонтальной трубы принятого диаметра,  $\text{м}^2/\text{м}$ .

Подбор нагревательных элементов для одного стояка проводится подробно с формулами и вычислениями.

Подбор площади поверхности нагревательных приборов для остальных стояков представляется в виде сводной табл. 3.4.

### Пример 3.1.

Исходные данные [2]:

- наименование объекта – жилое здание;
- район строительства – город Липецк;
- расчётная температура внутреннего воздуха  $t_b = 18$  °С;
- вид теплоносителя в системе отопления – вода; температура воды в подающем трубопроводе  $t_r = 95$  °С, температура воды в обратном трубопроводе  $t_o = 70$  °С;
- система отопления – однотрубная с нижней разводкой, проточная, нерегулируемая;
- тип отопительного прибора – чугунный радиатор М-90;
- диаметр стояка и подводок  $D_y = 20$  мм;
- высота помещения 2,5 м;
- радиатор расположен у стены без ниши под подоконником на расстоянии от него  $A = 40$  мм;
- теплопотребность помещения составляет  $Q_{\text{п}} = 1580$  Вт.

#### Порядок расчёта.

1. Рассчитаем действительный расход воды в отопительном приборе по формуле (3.9)

$$G_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot 1580}{4,19 \cdot (95 - 70)} = 54,3 \text{ кг/ч.}$$

2. Теплоотдачу вертикальных ( $l_b = 2,5 - 0,5 = 2,0$  м) и горизонтальных ( $l_r = 0,8$  м) труб диаметром  $D_y = 20$  мм находим по формуле (3.4). При этом теплоотдачу 1 м вертикальных и горизонтальных труб в помещении  $q_b = 84$  Вт/м,  $q_r = 105$  Вт/м определяем по [16, табл. II.22] в зависимости от разности значений температуры  $t_r - t_b = 95 - 18 = 77$  °С.

$$Q_{\text{тр}} = 84 \cdot 2 + 105 \cdot 0,8 = 252 \text{ Вт.}$$

3. Требуемую теплоотдачу прибора определяем по формуле (3.3). При этом поправочный коэффициент для открытой прокладки труб  $\beta_{\text{тр}} = 0,9$ .

$$Q_{\text{пр}} = 1580 - 0,9 \cdot 252 = 1353,2 \text{ Вт.}$$

4. Температура воды, входящей в отопительный прибор,

$$t_{\text{вх}} = t_r - 2 = 95 - 2 = 93 \text{ °С.}$$

5. Температуру воды на выходе из прибора определим по формуле (3.7). Поправочные коэффициенты принимаем  $\beta_1 = 1,05$ ,  $\beta_2 = 1,03$ .

$$t_{\text{вых}} = 93 - 0,5 \cdot 1353,2 \cdot 1,05 \cdot 1,03 \cdot 3,6 / (4,19 \cdot 54,3) = 81,4 \text{ °С.}$$

6. Средний температурный напор в отопительном приборе при однотрубной системе отопления определяем по формуле (3.8)

$$\Delta t_{\text{ср}} = 81,4 - 18 = 63,4 \text{ °С.}$$

7. Расчётную плотность теплового потока определяем по формуле (3.5). Для чугунного радиатора марки М-90 номинальная плотность теплового потока равна

$q_{\text{ном}} = 700 \text{ Вт/м}^2$  (табл. 3.1). Согласно табл. 3.2 коэффициенты  $n = 0,3$ ,  $p = 0$ ,  $c = 1$ .

$$q_{\text{пр}} = \left(\frac{63,4}{70}\right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{54,3}{360}\right)^0 \cdot 1 \cdot 700 = 615,4 \text{ Вт/м}^2.$$

8. Площадь поверхности отопительного прибора определим по формуле (3.2)

$$F_{\text{пр}} = 1353,2 / 615,4 = 2,2 \text{ м}^2.$$

9. Число секций чугунного радиатора М-90 рассчитываем по формуле (3.10). Поправочные коэффициенты равны  $\beta_4 = 1,05$  [2] (табл. 3.3),  $\beta_3 = 0,92 + 0,16 / F_{\text{пр}} = 0,92 + 0,16 / 2,2 = 0,99$ . Площадь поверхности нагрева одной секции принимается по [16, приложение X]  $f_1 = 0,2 \text{ м}^2$ .

$$N = \frac{2,2}{0,2} \cdot \frac{1,05}{0,99} = 11,7.$$

Принимаем к установке 12 секций.

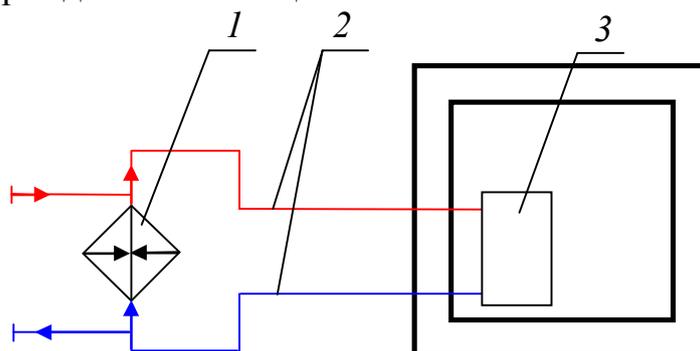
Таблица 3.4 – Расчёт площади поверхности отопительных приборов

1	№ помещения	2	Температура воздуха внутри помещения $t_{в}, ^\circ\text{C}$	3	Теплопотребность помещения (теплопотери) $Q_{п}, \text{Вт}$	4	Температура теплоносителя на входе $t_{вх}, ^\circ\text{C}$	5	Температура теплоносителя на выходе $t_{вых}, ^\circ\text{C}$	6	Средний температурный напор $\Delta t_{ср}, ^\circ\text{C}$	7	Способ подачи теплоносителя	8	Расход теплоносителя $G_{пр}, \text{кг/ч}$	9	Расчётная плотность теплового потока $q_{пр}, \text{Вт/м}^2$	10	Поправочные коэффициенты	11	Теплоотдача подводящих трубопроводов $Q_{тр}, \text{Вт}$	12	Тепловая мощность прибора $Q_{пр}, \text{Вт}$	13	Расчётная площадь поверхности нагрева отопительного прибора $F_{пр}, \text{м}^2$	14	Число секций $N$		

## 4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

### 4.1. Классификация систем отопления

*Система отопления* – это комплекс элементов, предназначенных для получения, переноса и передачи необходимого количества теплоты в обогреваемые помещения [2, 19]. Каждая система отопления, в соответствии с рис. 4.1, включает в себя три основных элемента: теплогенератор 1, служащий для получения теплоты и передачи её теплоносителю, систему теплопроводов 2 для транспортировки по ним теплоносителя и отопительный прибор 3, передающий теплоту от теплоносителя воздуху и ограждениям помещения.



**Рис. 4.1. Принципиальная схема системы отопления:**  
1 – теплогенератор; 2 – теплопровод; 3 – отопительный прибор

В качестве теплогенератора для системы отопления может служить отопительный котельный агрегат или любой другой теплообменный аппарат, использующий иной, чем в системе отопления, теплоноситель.

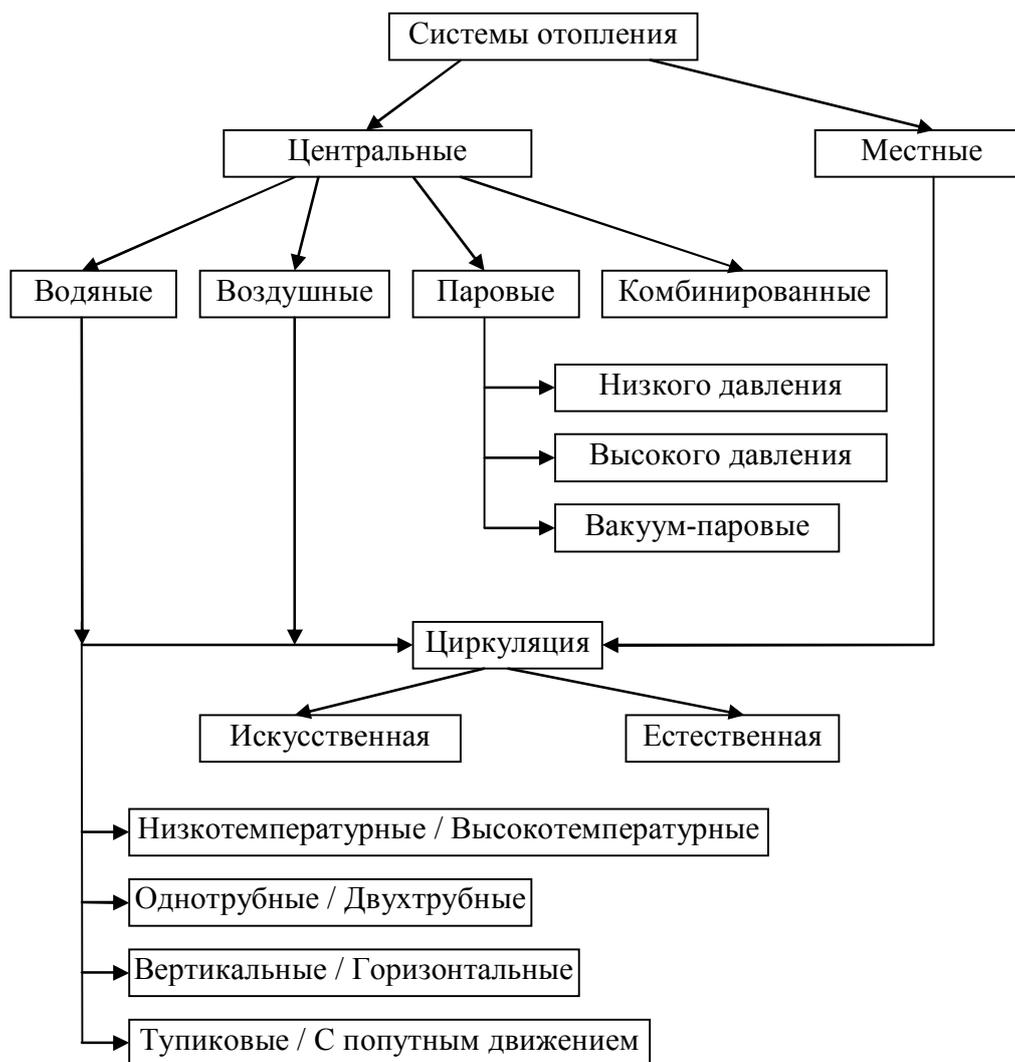
Классификацию систем отопления проводят по ряду признаков в соответствии с рис. 4.2 [2, 19].

1. По взаимному расположению основных элементов системы отопления подразделяются на центральные и местные.

*Центральные* системы отопления – это системы отопления, предназначенные для отопления нескольких помещений из одного теплового пункта, где находится теплогенератор (котельная или ТЭЦ). Примером центральной системы отопления может служить система водяного отопления здания с местной котельной.

*Местные* системы отопления – это системы отопления, при которых все три основных элемента (теплогенератор, теплопровод и отопительный прибор) конструктивно объединены в одном устройстве, установленном в обогреваемом помещении. Примером местной системы отопления является отопительная печь, имеющая теплогенератор, теплопроводы (газоходы внутри печи) и отопительные приборы (стенки печи).

2. По способу циркуляции теплоносителя местные и центральные системы водяного и воздушного отопления подразделяются на системы с *естественной циркуляцией* за счёт разности плотностей холодного и горячего теплоносителей (при  $t = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\rho = 977,8\text{ кг/м}^3$  и при  $t = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\rho = 961,86\text{ кг/м}^3$ ) и системы с *искусственной циркуляцией* за счёт работы насоса.



**Рис. 4.2. Классификация систем отопления**

3. По виду теплоносителя, передающего теплоту отопительными приборами в помещения, центральные системы отопления подразделяются на *водяные, паровые, воздушные и комбинированные*.

4. По параметрам теплоносителя паровые системы подразделяются на системы *низкого* ( $p = 0,1 \dots 0,17$  МПа), *высокого* ( $p = 0,17 \dots 0,3$  МПа) давления и *вакуум-паровые* с давлением  $p < 0,1$  МПа.

Классификация систем водяного отопления проводится по следующим основным признакам [2, 18].

1. По параметрам теплоносителя центральные водяные системы подразделяются на *низкотемпературные* с водой, нагретой до  $100$  °С и *высокотемпературные* с температурой воды более  $100$  °С.

2. По способу создания циркуляции водяные системы отопления подразделяются на системы с *естественной циркуляцией* (*гравитационные*) и с *искусственной циркуляцией* (*насосные*). В системах с естественной циркуляцией движение воды осуществляется под действием разности плотностей охлажденной воды после отопительных приборов и горячей воды, поступающей в систему отопления. В системах с искусственной циркуляцией движение воды происходит под действием насоса.

3. По схеме включения отопительных приборов в стояк или ветвь системы водяного отопления подразделяются на *двухтрубные* (приборы присоединены по теплоносителю параллельно) и *однотрубные* (приборы присоединены по теплоносителю последовательно).

4. По направлению объединения отопительных приборов как двухтрубные, так и однотрубные системы отопления могут быть *вертикальными* (последовательно присоединяются к общему вертикальному стояку отопительные приборы на разных этажах) и *горизонтальными* (последовательно присоединяются к общей горизонтальной ветви отопительные приборы на одном этаже).

5. По месту расположения подающих и обратных магистралей системы водяного отопления подразделяются на системы *с верхним расположением подающих магистралей* (по чердаку или под потолком верхнего этажа, а обратных магистралей – по подвалу) и *с нижним расположением обеих магистралей* (по подвалу или над полом первого этажа).

6. По направлению движения воды в подающих и обратных магистралях системы водяного отопления подразделяются на *тупиковые* (горячая и охлаждённая вода в магистралях движется в противоположных направлениях) и *с попутным движением* (горячая и охлаждённая вода в магистралях движется в одном направлении).

## 4.2. Характеристики систем отопления

Сравнительные достоинства и недостатки различных систем отопления приведены в табл. 4.1[2, 19].

Таблица 4.1 – Характеристики систем отопления

Система отопления	Преимущества	Недостатки
1	2	3
Водяная	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обеспечивает равномерность температуры помещения.</li> <li>2. Ограничивает верхний предел температуры поверхности отопительных приборов.</li> <li>3. Простота центрального регулирования отопительных приборов.</li> <li>4. Бесшумно действует.</li> <li>5. Долговечна.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Значительное гидростатическое давление в системе.</li> <li>2. Значительный расход металла.</li> <li>3. Тепловая инерционность.</li> <li>4. Опасность замораживания воды.</li> </ol>
Паровая	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая теплоотдача отопительных приборов.</li> <li>2. Уменьшается расход металла.</li> <li>3. Незначительное гидростатическое давление.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая температура на поверхности труб.</li> <li>2. Невозможность центрального качественного регулирования теплоотдачи приборов.</li> </ol>

Окончание таблицы 4.1

1	2	3
	4. Меньшая опасность замораживания. 5. Быстрый прогрев помещения. 6. Возможность перемещения пара на большие расстояния.	3. Сложная и дорогостоящая эксплуатация. 4. Меньшая долговечность. 5. Шум и удары в системе.
Воздушная	1. Возможность совмещения с системой вентиляции. 2. Отсутствие в помещении отопительных приборов. 3. Отсутствие тепловой инерции. 4. Возможность центрального качественного регулирования.	1. Большие сечения каналов. 2. Большие теплопотери при прокладке магистральных воздуховодов. 3. Малая теплоаккумулирующая способность.

Системы водяного отопления благодаря высоким санитарно-гигиеническим качествам, надёжности и долговечности получили в нашей стране наиболее широкое применение в гражданских и производственных зданиях.

Паровые системы отопления допускаются в промышленных и ряде общественных зданий (при наличии пара для технологических нужд) при кратковременном пребывании в них людей.

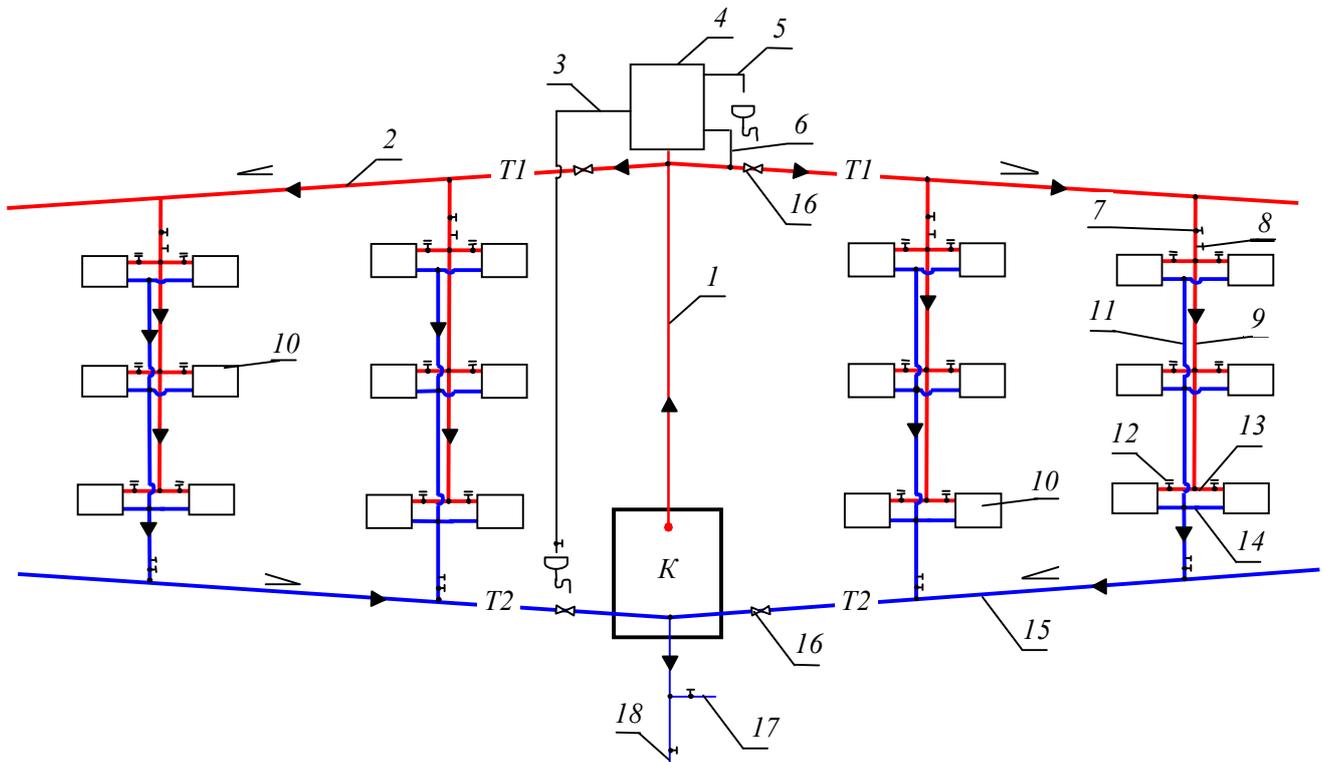
Воздушное отопление получило широкое распространение в производственных зданиях с выделением вредностей и влаги.

### 4.3. Системы водяного отопления

Для уяснения устройства и принципа действия системы водяного отопления рассмотрим схему [2, 18], представленную на рис. 4.3.

Вода, нагретая в теплогенераторе (котле)  $K$  до температуры  $t_r$ , поступает через теплопровод, главный стояк  $1$ , в подающие магистральные теплопроводы  $2$ . По подающим магистральным теплопроводам горячая вода поступает в подающие стояки  $9$ . Затем по подающим подводкам  $13$  горячая вода поступает в отопительные приборы  $10$ , через стенки которых теплота передаётся воздуху помещения. Из отопительных приборов охлаждённая вода с температурой  $t_0$  по обратным подводкам  $14$ , обратным стоякам  $11$  и обратным магистральным теплопроводам  $15$  возвращается в теплогенератор  $K$ , где она снова подогревается до температуры  $t_r$ , и далее циркуляция происходит по замкнутому кольцу.

В системе водяного отопления имеется расширительный бак  $4$ , предназначенный для вмещения прироста объёма воды при её нагревании, а также для удаления через него воздуха в атмосферу как при заполнении системы водой, так и в период её эксплуатации (в случае открытого расширительного бака). Для регулирования теплоотдачи отопительных приборов на подводках к ним устанавливают регулировочные краны  $12$ .



**Рис. 4.3. Схема двухтрубной системы водяного отопления с верхней разводкой и естественной циркуляцией:**

*K* – котёл; *1* – главный стояк; *2* – подающий магистральный теплопровод (горячей воды); *3* – сигнальная трубка; *4* – расширительный бак; *5* – переливная труба; *6* – циркуляционная труба; *7* – вентили; *8* – тройники с пробкой, верхние – для впуска воздуха в отключённый стояк, нижние – для спуска воды; *9* – подающие стояки (горячей воды); *10* – отопительные приборы; *11* – обратные стояки (охлаждённой воды); *12* – регулировочные краны у отопительных приборов; *13* – подающие подводки; *14* – обратные подводки; *15* – обратный магистральный теплопровод (охлаждённой воды); *16* – запорные вентили для регулирования и отключения отдельных веток системы; *17* – труба для заполнения системы водой из водопровода; *18* – спускная труба

Перед пуском в действие каждая система заполняется водой из водопровода *17* через обратную линию до сигнальной трубы *3* в расширительном баке *4*. Когда уровень воды в системе повысится до сигнальной трубы, и вода будет вытекать из трубы в раковину, находящуюся в котельной, кран на сигнальной трубе закрывают и прекращают заполнение системы водой.

При недостаточном прогреве приборов вследствие засорения трубопровода или арматуры, а также в случае появления утечки вода из отдельных стояков может быть спущена без опорожнения и прекращения работы других участков системы. Для этого закрывают вентили *7* на стояках. Из тройника *8*, установленного в нижней части стояка, вывёртывают пробку и к штуцеру тройника присоединяют гибкий шланг, по которому вода из теплопровода и отопительных приборов стекает в канализацию. Чтобы вода быстрее стекала, из верхнего тройника *8* вывёртывают пробку.

Область применения и преимущества различных систем водяного отопления представлены в табл. 4.2 [2, 19].

Таблица 4.2 – Область применения и преимущества различных систем водяного отопления

Системы водяного отопления	Преимущества	Область применения
1	2	3
Вертикальные двухтрубные системы с верхним расположением подающей магистрали с естественной циркуляцией воды.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Большое естественное циркуляционное давление.</li> <li>2. Проще удалять воздух из системы.</li> <li>3. Выше теплоотдача отопительных приборов.</li> <li>4. Поступление воды с наивысшей температурой к каждому отопительному прибору.</li> <li>5. Минимальная площадь отопительных приборов.</li> </ol>	В зданиях с числом этажей до 3-х включительно.
Вертикальные двухтрубные системы с нижним расположением обеих магистралей с естественной циркуляцией воды.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Меньше теплопотери.</li> <li>2. Монтаж и пуск системы могут производиться поэтажно.</li> <li>3. Удобнее эксплуатация системы.</li> <li>4. Большая гидравлическая и тепловая надёжность системы.</li> <li>5. Поступление воды с наивысшей температурой к каждому отопительному прибору.</li> <li>6. Минимальная площадь отопительных приборов.</li> </ol>	В малоэтажных зданиях с кранами двойной регулировки у отопительных приборов.
Вертикальные однотрубные системы с замыкающими участками на стояках и естественной циркуляцией воды.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Меньшая стоимость.</li> <li>2. Простой монтаж и меньшая длина теплопроводов.</li> <li>3. Красивый внешний вид.</li> </ol>	В многоэтажных производственных зданиях.
Однотрубные горизонтальные системы с естественной циркуляцией воды.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Меньший расход труб.</li> <li>2. Возможность поэтажного включения системы.</li> <li>3. Стандартность узлов.</li> <li>4. Проще осуществляется монтаж.</li> </ol>	В производственных помещениях.
Вертикальная двухтрубная система отопления с искусственной циркуляцией и тупиковой системой.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Большая разница в потере давления в отдельных циркуляционных кольцах.</li> <li>2. Равномерный прогрев всех отопительных приборов.</li> </ol>	В производственных помещениях.

#### Окончание таблицы 4.2

1	2	3
Однотрубная система с нижней прокладкой магистралей с искусственной циркуляцией.	1. Меньший диаметр труб. 2. Большой радиус действия. 3. Простой монтаж. 4. Устойчивый тепловой и гидравлический режимы работы.	В производственных помещениях.

#### 4.4. Основные принципы гидравлического расчёта теплопроводов систем водяного отопления

Целью гидравлического расчёта является определение диаметров теплопроводов при заданной тепловой нагрузке и расчётном циркуляционном давлении, установленном для данной системы [2, 19].

Гидравлический расчёт теплопроводов систем водяного отопления выполняют различными методами. Наибольшее распространение получили методы расчёта теплопровода *по удельным потерям давления и по характеристикам гидравлических сопротивлений*.

Первый метод заключается в раздельном определении потерь давления на трение и на преодоление местных сопротивлений. При этом диаметры теплопроводов определяют при постоянных перепадах температуры воды во всех стояках и ветвях, равных расчётному перепаду температуры воды во всей системе.

Во втором методе устанавливают распределение потоков воды в циркуляционных кольцах системы и получают неравные перепады температуры воды в стояках и ветвях. Предварительно выбирают диаметр теплопровода на каждом расчётном участке с учётом допустимых скоростей движения воды. *Расчётным участком* называют участок теплопровода с неизменным расходом теплоносителя.

При расчёте *главного циркуляционного кольца* (наиболее неблагоприятного в гидравлическом отношении циркуляционного контура) рекомендуется предусматривать запас давления на неучтённые сопротивления, но не более 10% расчётного давления.

Методика гидравлического расчёта теплопровода систем водяного отопления [2, 18].

1. До гидравлического расчёта теплопроводов выполняют аксонометрическую схему системы отопления со всей запорно-регулирующей арматурой. К составлению такой схемы приступают после того как: посчитана тепловая мощность системы отопления 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; показано на плане чердака или верхнего этажа (при совмещённой крыше) размещение расширительного бака и приборов воздухоудаления. На планах этажей, чердака и подвала горячие и обратные стояки системы отопления должны быть пронумерованы, а на аксонометрической схеме кроме стояков нумеруют все расчётные участки циркуляционных колец (участки труб), а также указывают теп-

ловую нагрузку и длину каждого участка. Сумма длин всех расчётных участков составляет величину расчётного циркуляционного кольца.

2. Выбирают главное циркуляционное кольцо. В тупиковых схемах однотрубных систем за главное принимается кольцо, проходящее через дальний стояк, а в двухтрубных системах – кольцо, проходящее через нижний прибор дальнего стояка. В последнем случае общая длина расчётного циркуляционного кольца  $\Sigma l$  – наибольшая, а расчётное циркуляционное давление  $\Sigma p_p$  – наименьшее, тогда и отношение  $\Sigma p_p / \Sigma l$ , определяющее давление на 1 м длины, здесь будет наименьшим. При попутном движении воды наиболее неблагоприятным в гидравлическом отношении является кольцо, проходящее через один из средних наиболее нагруженных стояков.

3. Определяют расчётное циркуляционное давление  $\Delta p_p$  по формуле

$$\Delta p_p = \Delta p_{\text{нас}} + \Delta p_e = \Delta p_{\text{нас}} + E(\Delta p_{e.\text{пр}} + \Delta p_{e.\text{тр}}), \quad (4.1)$$

где  $\Delta p_{\text{нас}}$  – циркуляционное давление, создаваемое насосом или элеватором, Па;  $E$  – коэффициент, определяющий долю максимального естественного давления, которую целесообразно учитывать в расчётных условиях;  $\Delta p_{e.\text{пр}}$  – естественное циркуляционное давление, возникающее за счёт охлаждения воды в отопительных приборах, Па;  $\Delta p_{e.\text{тр}}$  – естественное циркуляционное давление, вызываемое охлаждением воды в теплопроводах, Па;  $\Delta p_e$  – расчётное циркуляционное давление, Па.

При типовом проектировании  $\Delta p_{\text{нас}}$  принимают равным 10...12 кПа, а при подключении системы отопления к тепловым сетям  $\Delta p_{\text{нас}}$  рассчитывают по формуле

$$\Delta p_{\text{нас}} = \frac{p_3}{1,4(1+u)^2}, \quad (4.2)$$

где  $p_3$  – давление, которое необходимо иметь перед элеватором для обеспечения его нормальной работы, Па;  $u$  – коэффициент смещения, определяемый по формуле

$$u = \frac{t_1 - t_r}{t_r - t_o}, \quad (4.3)$$

где  $t_1$  – температура воды в подающей линии тепловой сети, °С;  $t_r$  – температура воды, поступающей в систему, °С;  $t_o$  – температура воды на выходе из системы, °С.

При наличии циркуляционных насосов  $\Delta p_{\text{нас}}$  принимают по их характеристикам, а диаметры теплопроводов – по допустимым скоростям движения воды. Рекомендуется для двухтрубных систем принимать  $E = 0,4...0,5$ , для однотрубных систем  $E = 1$ . Естественное давление  $\Delta p_{e.\text{пр}}$  и  $\Delta p_{e.\text{тр}}$  можно не учитывать, если оно составляет не более 10% давления, создаваемого механическим побуждением. В системах отопления многоэтажных зданий  $\Delta p_{e.\text{пр}}$  в большинстве случаев является основным по величине, а  $\Delta p_{e.\text{тр}}$  – дополнительным. Только в одноэтажных зда-

ниях основным является  $\Delta p_{e,тр}$ . В системах с естественной циркуляцией величина  $\Delta p_e$  является расчётным циркуляционным давлением.

4. При расчёте по методу удельных потерь давления для предварительного выбора диаметров теплопроводов определяют среднее значение удельных потерь давления по главному циркуляционному кольцу

$$R_{cp} = \frac{(1-k)\Delta p_p}{\Sigma l}, \quad (4.4)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий долю потери давления на местные сопротивления от общей величины расчётного циркуляционного давления ( $k = 0,35$  – для систем отопления с искусственной циркуляцией,  $k = 0,5$  – для систем отопления с естественной циркуляцией);  $\Delta p_p$  – расчётное циркуляционное давление, Па;  $\Sigma l$  – общая длина расчётного циркуляционного кольца, м.

5. Определяют расходы воды на расчётных участках

$$G_{уч} = \frac{3,6 \cdot Q_{уч}}{c \cdot (t_r - t_o)} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2, \quad (4.5)$$

где  $Q_{уч}$  – тепловая нагрузка участка, составленная из тепловых нагрузок отопительных приборов, обслуживаемых протекающей по участку водой, Вт;  $c$  – теплоёмкость воды, кДж/(кг·К);  $(t_r - t_o)$  – перепад температур воды в системе, °С;  $\beta_1$  – коэффициент учёта дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счёт округления сверх расчётной величины [6] (принимается по табл. 4.3);  $\beta_2$  – коэффициент учёта дополнительных потерь теплоты отопительными приборами у наружных ограждений [6] (принимается по табл. 4.4).

Таблица 4.3 – Значения коэффициента  $\beta_1$

Шаг номенклатурного ряда отопительных приборов, кВт	$\beta_1$
0,12	1,02
0,15	1,03
0,18	1,04
0,21	1,06
0,24	1,08
0,3	1,13

Примечание. Для отопительных приборов помещения с номинальным тепловым потоком более 2,3 кВт следует принимать вместо  $\beta_1$  коэффициент  $\beta_1 = 0,5(1 + \beta_1)$ .

Ориентируясь на полученное значение  $R_{cp}$  и определив количество воды  $G_{уч}$ , кг/ч, можно с помощью расчётной таблицы (см. табл. Б1 приложения Б) подобрать ближайшие диаметры труб расчётного кольца.

Все данные, получаемые при расчёте теплопровода, заносят в табл. 4.5.

При расчёте отдельных участков теплопровода необходимо иметь в виду следующее: местное сопротивление тройников и крестовин относят лишь к расчётным участкам с наименьшим расходом воды; местные сопротивления отопи-

тельных приборов, котлов и подогревателей учитывают поровну в каждом примыкающем к ним теплопроводе.

Если по произведённому расчёту с учётом запаса до 10% расходуемое давление в системе будет больше или меньше расчётного давления  $\Sigma p_p$ , то на отдельных участках кольца следует изменить диаметр труб.

Таблица 4.4 – Значения коэффициента  $\beta_2$

Отопительный прибор	Значение $\beta_2$ при установке прибора	
	у наружной стены, в том числе под световым проёмом	у остекления светового проёма
Радиатор чугунный секционный стальной панельный	1,02	1,07
	1,04	1,10
Конвектор с кожухом без кожуха	1,02	1,05
	1,03	1,07

После расчёта главного циркуляционного кольца рассчитывают параллельные циркуляционные кольца, которые состоят из участков главного кольца (уже рассчитанных) и дополнительных (не общих) участков, ещё не рассчитанных. Проводится «увязка» потерь давления, т.е. получение равенства потерь давления на параллельно соединённых дополнительных участках других колец и не общих участках главного циркуляционного кольца.

Согласно СНиП 41-01-2003, невязка потерь давления в циркуляционных кольцах (без учёта потерь давления в общих участках) не должна превышать 5% при попутной и 15% при тупиковой разводке теплопроводов систем водяного отопления в расчёте с постоянными разностями температур в подающей и обратной магистралях.

Для однетрубной системы с замыкающими участками расход в приборах определяется с учётом коэффициента затекания воды в приборы, представляющего собой отношение массы воды, затекающей в прибор, к общей массе воды, проходящей по стояку

$$\alpha = \frac{G_{\text{пр}}}{G_{\text{ст}}}, \quad (4.6)$$

где  $G_{\text{пр}}$  – масса воды, поступающей в прибор, кг/ч;  $G_{\text{ст}}$  – масса воды, проходящей по стояку, кг/ч.

Таблица 4.5 – Результаты гидравлического расчёта трубопроводов системы водяного отопления

По схеме трубопроводов						Предварительный расчёт					Окончательный расчёт						
№ участка	Тепловая нагрузка $Q$ , Вт	Длина участка $l$ , м	Расход теплоносителя $G_{уч}$ , кг/ч	Диаметр $d$ , мм	Скорость движения теплоносителя $w$ , м/с	Удельные потери давления $R$ , Па/м	Потери давления на трение $Rl$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma\xi$	Потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	Суммарные потери давления на участке $Rl+Z$ , Па	$d$ , мм	$w$ , м/с	$R$ , Па/м	$Rl$ , Па	$\Sigma\xi$	$Z$ , Па	$Rl+Z$ , Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

**Пример 4.1.** Провести гидравлический расчёт двухтрубной системы водяного отопления с верхней разводкой и попутным движением воды (рис. 4.4) [2, 19]. Система присоединена к тепловой сети через элеватор. Располагаемое давление в тепловой сети на вводе в здание  $p_3 = 130000$  Па. Температура воды в подающей линии тепловой сети  $t_1 = 150$  °С, в обратной  $t_2 = 70$  °С. Температура воды, поступающей в систему  $t_r = 95$  °С, на выходе из системы  $t_o = 70$  °С. Тепловые нагрузки, длина расчётных участков и другие данные показаны на рис. 4.4.

**Порядок расчёта.** Главное циркуляционное кольцо проходит через нижний отопительный прибор наиболее нагруженного среднего стояка 3, поскольку система отопления – с попутным движением воды.

Расчётное циркуляционное давление  $\Delta p_p$  для главного циркуляционного кольца определяем по формуле (4.1) с учётом формулы (4.2).

В данном примере

$$\Delta p_p = \Delta p_{\text{нас}} + E(\Delta p_{\text{е.пр}} + \Delta p_{\text{е.тр}}) = \frac{P_3}{1,4(1+u)^2} + E(\Delta p_{\text{е.пр}} + \Delta p_{\text{е.тр}}).$$

Коэффициент смешения  $u$  определяем по формуле (4.3)

$$u = \frac{150 - 95}{95 - 70} = 2,2.$$

Подставим численные значения всех величин в выражение для  $\Delta p_p$ , тогда

$$\Delta p_p = \frac{130000}{1,4 \cdot (1 + 2,2)^2} + 0,4 \cdot (9,81 \cdot 2 \cdot 15,89 + 125) = 9068,1 + 174,70 = 9243 \text{ Па},$$

где  $E = 0,4$  – коэффициент соответствующий для двухтрубной системы. Расстояние от центра расчётного прибора до центра элеватора теплового пункта  $h = 2$  м; разность  $\rho_o - \rho_r = 977,81 - 961,92 = 15,89$  кг/м<sup>3</sup> (приложение В). Естественное давление  $\Delta p_{\text{е.тр}}$  для главного циркуляционного кольца по приложению Г равно 125 Па.

Определяем ориентировочные удельные потери давления на трение по формуле (4.4)

$$R_{\text{ср}} = \frac{(1 - 0,35) \cdot 9243}{79,5} = 75,6 \text{ Па/м},$$

где  $k = 0,35$  – предполагаемая доля потерь на трение в общих потерях давления в теплопроводах системы с искусственной циркуляцией.

Для расчёта теплопроводов используем приложение Б. Количество воды  $G_{\text{уч}}$ , кг/ч, протекающей по каждому участку циркуляционного кольца, определяем по формуле (4.5).

Результаты расчёта по всем участкам записываем в бланк специальной формы (табл. 4.5) [2]. По найденным расходам на участках и величине  $R_{\text{ср}}$  по приложению Б устанавливаем фактические удельные потери давления на трение  $R$ , диаметры трубопроводов и скорости движения воды  $w$ , заносим их значения в графы 7, 5, 6 табл. 4.6 [2]. При этом возможны большие расхождения между  $R_{\text{ср}}$  и  $R$ , особенно на расчётных участках с малыми расходами.

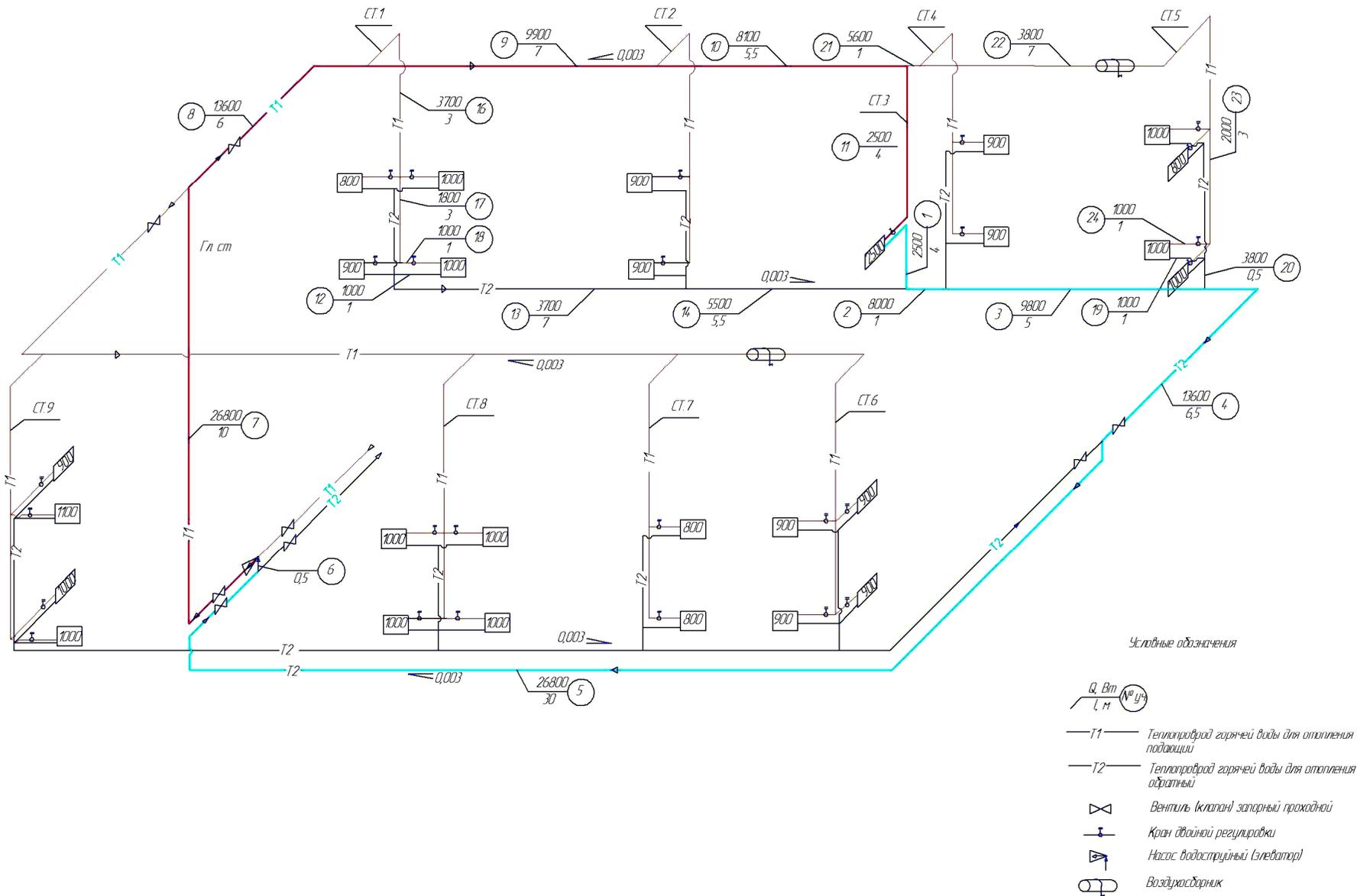


Рис. 4.4. Расчётная аксонометрическая схема двухтрубной водяной системы

Таблица 4.6 – Результаты гидравлического расчёта трубопроводов системы водяного отопления для примера 4.1

По схеме трубопроводов			Предварительный расчёт								Окончательный расчёт						
№ участка	Тепловая нагрузка $Q$ , Вт	Длина участка $l$ , м	Расход теплоносителя $G_{\text{уп}}$ , кг/ч	Диаметр $d$ , мм	Скорость движения теплоносителя $w$ , м/с	Удельные потери давления $R$ , Па/м	Потери давления на трение $Rl$ , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях $Z$ , Па	Суммарные потери давления на участке $Rl+Z$ , Па	$d$ , мм	$w$ , м/с	$R$ , Па/м	$Rl$ , Па	$\Sigma \xi$	$Z$ , Па	$Rl+Z$ , Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Главное циркуляционное кольцо (через прибор первого этажа стояка 3) Расчётное циркуляционное давление $\Delta p_p = 9243$ Па																	
1	2500	4	90,9	15	0,135	28	112	3,25	31,2	143,2	–	–	–	–	–	–	–
2	8000	1	290,9623	15	0,417	240	240	1	86,3	326,3	–	–	–	–	–	–	–
3	9800	5	356,4288	20	0,271	70	350	1	36,29	386,29	–	–	–	–	–	–	–
4	13600	6,5	494,6359	20	0,392	140	910	13	968,89	1108,89	–	–	–	–	–	–	–
5	26800	30	974,7237	32	0,379	70	2100	4	282,44	2382,44	–	–	–	–	–	–	–
6	18400	0,5	669,2130	25	0,328	80	40	2,5	142,2	182,2	–	–	–	–	–	–	–
7	26800	10	974,7237	32	0,267	36	360	1,5	54,4	414,4	–	–	–	–	–	–	–
8	13600	6	494,6359	20	0,392	140	840	13	968,89	1808,89	–	–	–	–	–	–	–
9	9900	7	360,0658	20	0,271	70	490	1	36,29	526,29	–	–	–	–	–	–	–
10	8100	5,5	294,5993	15	0,436	260	1430	1	95,13	1525,13	–	–	–	–	–	–	–
11	2500	4	90,92571	15	0,135	28	112	3,25	31,2	143,2	–	–	–	–	–	–	–
										$\Sigma(Rl + Z) = 8947,23$							

Заниженные потери на этих участках должны быть компенсированы некоторым завышением потерь давления на других участках. Определяют потери давления на трение по всей длине участка  $Rl$  и заносят их величину в графу 8 табл. 4.6.

Коэффициенты местных сопротивлений на каждом участке определяем по приложению Д, значения  $\Sigma\xi$  заносят в графу 9 табл. 4.6. Перечень местных сопротивлений по участкам главного циркуляционного кольца приведён в табл. 4.7. По скорости  $w$ , используя приложение Е, определяем значение динамического давления  $p_d$  и по формуле (4.7) [2] находим потери давления на преодоление местных сопротивлений  $Z$  (результат заносят в графу 17 табл. 4.6).

Потери давления на преодоление местных сопротивлений, Па,

$$Z = \Sigma\xi \cdot p_d, \quad (4.7)$$

где  $\Sigma\xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на данном участке теплопровода (приведены в приложении Д), величина безразмерная;  $p_d = \frac{w^2}{2} \rho$  – динамическое давление воды на данном участке теплопровода, Па.

Имея значения  $Rl$  и  $Z$ , определяем суммарные потери давления на всех участках главного циркуляционного кольца  $\Sigma(Rl + Z)_{г.ц.к.}$  и сравниваем со значением  $\Delta p_p$ . Как видно из табл. 4.6, невязка по предварительному расчёту оказалась недопустимо большой: 21,2%, поэтому следует изменить диаметры участков, на которых фактические удельные потери давления на трение намного завышены относительно  $R_{cp}$ . Как видно из табл. 4.6, таким является участок 5. Изменив диаметр теплопровода на этом участке на 25 мм, выполняем перерасчёт. В результате запас давления составил 9,7% (табл. 4.6), что допустимо,  $\Sigma(Rl + Z)_{г.ц.к.} = 0,9\Delta p_p$ .

Для 1 участка записываем во 2 и 3 графы табл. 4.6 значение тепловой нагрузки и длину участка из рис. 4.4. Далее делаем предварительный расчёт. Расход теплоносителя для 1 участка находим по формуле (4.5)

$$G_{уч} = \frac{3,6 \cdot 2500}{4,2(95 - 70)} 1,04 \cdot 1,02 = 90,9 \text{ кг/ч},$$

где  $Q_{уч}$  – тепловая нагрузка 1 участка, берём из рис. 4.4, Вт;  $c$  – теплоёмкость воды, равная 4,2 кДж/(кг·°С);  $(t_r - t_o)$  – перепад температур воды в системе, °С;  $\beta_1$  – коэффициент учёта дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счёт округления сверх расчётной величины (принимается по табл. 4.3)  $\beta_1 = 0,5(1 + \beta_1) = 0,5(1 + 1,08) = 1,04$ ;  $\beta_2$  – коэффициент учёта дополнительных потерь теплоты отопительными приборами у наружных ограждений (принимается по табл. 4.4).

Записываем полученные значения расхода в графу 4 табл. 4.6.

По значениям  $R_{cp}$  и  $G_{уч}$  из таблиц, приведённых в приложении Б, следует подобрать диаметры труб участков, обеспечивающих заданный расход воды, и занести их в графу 5 табл. 4.6. В графы 6 и 7 из той же таблицы заносят действительные значения скорости движения воды и удельных потерь на трение на расчётном участке. В графу 8 – потери на трение в гладких трубах на расчётном участке. В графу 9 – сумму коэффициентов местных сопротивлений, которые подсчитаны в табл. 4.7 с использованием приложения Д [2].

Таблица 4.7 – Коэффициенты местных сопротивлений на участках главного циркуляционного кольца (через стояк 3)

№ участка	Местные сопротивления	Предварительный расчёт		Окончательный расчёт	
		$d$ , мм	Коэффициент местных сопротивлений	$d$ , мм	Коэффициент местных сопротивлений
1	½ отопительного прибора РСВ1 Отвод под 90° Тройник на ответвлении	15	0,25	–	–
			1,5 1,5		
			$\Sigma\xi = 3,25$		
2	Тройник проходной	15	1	–	–
3	Тройник проходной	20	1	–	–
4	Отвод под 90° Вентиль Тройник на ответвлении	20	1,5	–	–
			10 1,5		
			$\Sigma\xi = 13$		
5	4 отвода под 90°	32	$1 \cdot 4 = 4$	25	4
6	Тройник на ответвлении Внезапное расширение	25	1,5	–	–
			1		
			$\Sigma\xi = 2,5$		
7	Отвод под 90° Внезапное сужение	32	1	–	–
			0,5		
			$\Sigma\xi = 1,5$		
8	Тройник на ответвлении Вентиль Отвод под 90°	20	1,5	25	1,5
			10 1,5		
			$\Sigma\xi = 13$		$\Sigma\xi = 11,5$
9	Тройник проходной	20	1	–	–
10	Тройник проходной	15	1	–	–
11	Тройник на ответвлении Отвод под 90° ½ отопительного прибора РСВ1	15	1,5	–	–
			1,5 0,25		
			$\Sigma\xi = 3,25$		

Из таблицы, приведённой в приложении Е, по скорости воды  $w$  на расчётном участке определяем динамическое давление  $p_d$ , Па, а затем рассчитываем потери давления на преодоление местных сопротивлений по формуле (4.7); результат заносим в графу 10 табл. 4.6.

Для 1 участка  $w = 0,135$  м/с, по приложению Е находим динамическое давление  $p_d = 9,61$  Па, потери давления в местных сопротивлениях

$$Z = 3,25 \cdot 9,61 = 31,2 \text{ Па.}$$

Суммируя величины графы 8, находим потери на трение в трубах расчётного кольца  $\Sigma Rl$ , Па; суммируя значения графы 10 – потери давления в местных сопротивлениях того же кольца  $\Sigma Z$ , Па. Общие потери давления в расчётном кольце будут равны сумме  $\Sigma(Rl + Z)$ , полученное значение заносим в графу 11.

Проверяем запас давления в процентах

$$\Delta_{\text{зап}} = \frac{9243 - 8947,23}{9243} \cdot 100\% = 3,2\%,$$

что допустимо.

#### 4.5. Гидравлический расчёт системы водяного отопления методом сложения характеристик сопротивления

Метод сложения характеристик сопротивления применяют при проектировании насосных вертикальных и горизонтальных однетрубных систем, а также вертикальных двухтрубных систем с кранами повышенного сопротивления [6]. Гидравлический расчёт может производиться для постоянного или переменного перепада температуры в стояках с учётом заданной проводимости труб.

При гидравлическом расчёте по указанной методике потери давления на каждом расчётном участке от трения и в местных сопротивлениях определяют по формуле, Па,

$$\Delta p_{\text{уч}} = S_{\text{уч}} \cdot G_{\text{уч}}^2, \quad (4.8)$$

где  $G_{\text{уч}}$  – расход воды на участке, кг/ч, определяемый по формуле (4.5);  $S_{\text{уч}}$  – характеристика сопротивления участка, Па/(кг/ч)<sup>2</sup>,

$$S_{\text{уч}} = A_{\text{д}} \cdot \left( \frac{\lambda}{d_{\text{в}}} \cdot l_{\text{уч}} + \Sigma \xi_{\text{уч}} \right), \quad (4.9)$$

здесь  $A_{\text{д}}$  – удельное динамическое давление в трубе на участке, Па/(кг/ч)<sup>2</sup>, при внутреннем диаметре  $d_{\text{в}}$  и расходе 1 кг/ч, выбираемое по табл. 4.8;  $\frac{\lambda}{d_{\text{в}}}$  – приведённый коэффициент гидравлического трения, м<sup>-1</sup>, принимаемый по табл. 4.8;  $l_{\text{уч}}$  – длина участка, м;  $\Sigma \xi_{\text{уч}}$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке.

Таблица 4.8 – Таблица для расчёта по формуле 4.9

Диаметр условного прохода $D_{\text{в}}$ , мм	Расход воды $G$ , кг/ч, при скорости $w = 1$ м/с	$A_{\text{д}} \cdot 10^4$ , Па/(кг/ч) <sup>2</sup>	$\frac{\lambda}{d_{\text{в}}}$ , м <sup>-1</sup>	$S_{\text{уд}} \cdot 10^4$ , Па/м(кг/ч) <sup>2</sup>
ГОСТ 3262-75*				
10	425	26,50	3,60	95,40
15	690	10,60	2,70	28,62
20	1250	3,19	1,80	5,74
25	2000	1,23	1,40	1,72
32	3500	0,39	1,00	0,39
40	4650	0,23	0,80	0,18
50	7800	0,082	0,55	0,045
ГОСТ 10704-91				
50	6600	0,113	0,60	0,068
65	13400	0,0269	0,40	0,0108
80	18400	0,0142	0,30	0,0043
100	27600	0,00642	0,23	0,00148
125	43000	0,00265	0,18	0,00048
150	61000	0,00135	0,15	0,00020

Рассмотрим последовательность выполнения гидравлического расчёта методом сложения характеристик при равном перепаде температуры теплоносителя в стояках [6].

1. Перед выполнением гидравлического расчёта проектируется однетрубная система водяного отопления из унифицированных узлов и на построенной схеме выбирается главное циркуляционное кольцо, которое делится на расчётные участки с указанием расхода теплоносителя на участке  $G_{уч}$ , кг/ч, длины участка  $l_{уч}$ , м, диаметра труб  $d_{уч}$ , мм.

При выполнении гидравлического расчёта используется табличная форма записи (табл. 4.9).

Таблица 4.9 – Ведомость гидравлического расчёта системы водяного отопления методом сложения характеристик сопротивления при равном перепаде температуры теплоносителя в стояках

Исходные данные						Расчётные данные					
Номер расчётного участка	Типовая нагрузка на участке $Q_{уч}$ , Вт	Длина участка $l_{уч}$ , м	Расход воды на участке $G_{уч}$ , кг/ч	Диаметр трубопровода на участке $d_{уч}$ , мм	Приведённый коэффициент гидравлического трения $\lambda/d_{в}$ , м <sup>-1</sup>	$l_{уч} \cdot \lambda / d_{в}$	Удельное динамическое давление $A_{д} \cdot 10^4$ , Па/(кг/ч) <sup>2</sup>	Характеристика сопротивления участка $S_{уд}$ , Па/м(кг/ч) <sup>2</sup>	Сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке $\Sigma \xi_{уч}$ , Па	Потери давления на участке $\Delta p_{уч}$ , Па	Суммарные потери давления в главном циркуляционном кольце $\Delta p_{ст}$ , Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

2. Выбирается располагаемый перепад давления  $\Delta p_p$ , Па, в однетрубной системе отопления.

3. При предварительном выборе диаметра трубы (табл. 4.8) для участка вычисляется удельная характеристика сопротивления  $S_{уд}$ , Па/м(кг/ч)<sup>2</sup>,

$$S_{уд} = \frac{R_{ср}}{G_{уч}^2}, \quad (4.10)$$

где  $G_{уч}$  – ориентировочный расход воды на участке, кг/ч, определяемый по формуле (4.5);  $R_{ср}$  – среднее значение удельных потерь давления от трения в расчётном кольце, определяемое по формуле (4.4).

4. Выполнение гидравлического расчёта начинается с самого удалённого и нагруженного стояка в тупиковой системе и с самого нагруженного стояка в системе водяного отопления с попутным движением теплоносителя.

Диаметры труб стояка назначают, сопоставляя полученное по формуле (4.10) значение  $S_{уд}$  со значением  $S_{уд}$  для стандартных диаметров труб (см. табл. 4.8). Для обеспечения тепловой устойчивости системы отопления принимается для стояков меньший ближайший диаметр, с последующей проверкой скорости движения воды в трубопроводах стояка (см. п. 9). Возможна конструкция стояков из труб двух различных смежных диаметров. Принятый диаметр труб записывается в графу 5 табл. 4.9.

5. По выбранному диаметру стояка принимаются по табл. 4.10 диаметры подводки и замыкающего участка узла отопительного прибора.

Таблица 4.10 – Рекомендуемые диаметры трубопроводов узла нагревательного прибора

Наименование узла стояка	Диаметр труб $D_v$ , мм		
	стояка	замыкающего участка	подводки
Этажестояк с осевым обходным участком и трёхходовым краном	15	15	15
	20	20	20
	25	20	20
Этажестояк со смещённым обходным участком	15	15	15
	20	20	20
	25	20	25/20
	25	25	25
Этажестояк с осевым замыкающим участком и краном типа КРП	15	15	15
	20	15	20
	25	20	20
Этажестояк со смещённым замыкающим участком и краном типа КРП	15	15	15
	20	15	20
	25	20	25
Этажестояк проточный	15	–	15
	20	–	20
	25	–	25
Узел верхнего этажа при нижней разводке и трёхходовом кране	15	15	15
	20	20	20
	25	20	25/20
	25	25	25
То же	15	15	15
	20	20	20
	25	20	25/20
	25	25	25
Узел верхнего этажа при нижней разводке и кране типа КРП	15	15	15
	20	15	20
	25	20	25
То же	15	15	15
	20	20	20
	25	25	20

6. После выбора диаметра труб и типа отопительного прибора определяется характеристика сопротивления стояка  $S_{ст}$ , Па/(кг/ч)<sup>2</sup>, по формуле

$$S_{ст} = \sum S_{т.у} + \sum S_{п.у}, \quad (4.11)$$

где  $\sum S_{т.у}$  – характеристика сопротивления трубных узлов стояка однотрубной системы отопления, Па/(кг/ч)<sup>2</sup>;  $\sum S_{п.у}$  – характеристика сопротивления приборных узлов стояка однотрубной системы отопления, Па/(кг/ч)<sup>2</sup>, определяемая по формуле

$$\sum S_{п.у} = \sum S_{п} + \sum S_{пр} \cdot l, \quad (4.12)$$

где  $\sum S_{п}$  – характеристика сопротивления подводок к отопительному прибору, Па/(кг/ч)<sup>2</sup>;  $\sum S_{пр}$  – характеристика сопротивления отопительного прибора длиной 1 м, Па/(кг/ч)<sup>2</sup>;  $l$  – длина прибора, м.

7. По характеристике сопротивления стояка  $S_{ст}$  и расходу теплоносителя в стояке  $G_{ст}$  (см. формулу (4.5)) вычисляют потери давления в стояке  $\Delta p_{ст}$ , Па, по формуле

$$\Delta p_{ст} = S_{ст} \cdot G_{ст}^2. \quad (4.13)$$

8. Затем производится гидравлический расчёт магистральных участков главного циркуляционного кольца. Предварительный выбор диаметра производится путём сопоставления значения  $S_{уд}$ , полученного по формуле (4.10), со значением  $S_{уд}$  для стандартных диаметров труб (см. табл. 4.8). С целью повышения тепловой устойчивости системы отопления для магистралей принимается ближайший больший диаметр труб (значение заносится в графу 5 табл. 4.9).

9. Затем проверяется по табл. 4.11 скорость движения воды при выборе диаметра труб по табл. 4.8, в которой приведены расходы воды при скорости 1 м/с. Например, расход воды в трубе  $D_y = 15$  мм составляет 560 кг/ч, тогда скорость движения воды  $w = 560 : 690 = 0,79$  м/с.

Таблица 4.11 – Допустимая скорость движения воды в трубах систем водяного отопления

Допустимый уровень звука $Z_A$ , дБ(А)	Скорость движения теплоносителя $w$ , м/с, при большем из коэффициентов местного сопротивления арматуры на трубах, примыкающих к помещению при коэффициентах местного сопротивления				
	до 5	10	15	20	30
25	1,5/–	1,1/0,7	0,9/0,55	0,75/0,5	0,6/0,4
30	1,5/–	1,5/1,2	1,2/1,0	1,05	0,85/0,65
35	1,5/–	1,5/1,5	1,5/1,1	0,8	1,0/0,8
40	1,5/–	1,5/1,5	1,5/1,5	1,2/0,95	1,3/1,2
45 и более	1,5/–	1,5/1,5	1,5/1,5	1,5/1,5	1,5/1,4

Примечание: В числителе даны значения скоростей воды при всех видах арматуры, кроме прямых вентилях; в знаменателе – при прямых вентилях.

10. В соответствии с предварительно выбранным диаметром труб на магистральных участках (см. табл. 4.8) принимаются значения  $A_D$  и  $\lambda/D_y$  на 1 м трубы (запись – в графы 6 и 8 табл. 4.9).

11. Определяются на расчётных участках магистральных труб сопротивления от трения  $l_{уч} \cdot \lambda/D_y$  и значения коэффициентов местных сопротивлений  $\Sigma \xi_{уч}$  (запись в графы 7 и 10 табл. 4.9).

12. Далее определяются значения  $S_{уч}$  по формуле (4.9), (результаты записываются в графу 9 табл. 4.9) и  $G_{уч}$  по формуле (4.5) (данные заносятся в графу 3 табл. 4.9). После вычисления значения  $S_{уч}$  и  $G_{уч}$  по формуле (4.13) рассчитываются потери давления на участках магистральных труб главного циркуляционного кольца (запись в графу 11 табл. 4.9).

13. Суммарные потери давления на участках магистральных труб главного циркуляционного кольца и второстепенных участков  $\Delta p_m$ , Па, определяются по формуле

$$\Delta p_m = S_{уч(1)} \cdot G_{уч(1)}^2 + S_{уч(2)} \cdot G_{уч(2)}^2 + \dots + S_{уч(n)} \cdot G_{уч(n)}^2, \quad (4.14)$$

где  $S_{уч(1)}, \dots, S_{уч(n)}$  – значения характеристик сопротивления участков магистральных труб главного циркуляционного кольца и второстепенных участков, Па/(кг/ч)<sup>2</sup>;  $G_{уч(1)}, \dots, G_{уч(n)}$  – расход воды на участках магистральных труб главного циркуляционного кольца и второстепенных участков, кг/ч.

14. Определяются общие потери давления в системе отопления  $\Delta p_{c.o.}$ , Па, по значениям  $S_{ст}$  и  $S_{уч}$ ,  $G_{ст}$  и  $G_{уч}$  на каждом расчётном участке, дальнем тупиковом стояке и главном циркуляционном кольце

$$\Delta p_{c.o.} = \Delta p_{ст} + \Delta p_m. \quad (4.15)$$

15. После предварительного выбора диаметров труб стояка и на участках магистралей главного циркуляционного кольца выполняется гидравлическая увязка, при этом должно выполняться условие

$$0,9 \Delta p_p \geq \Delta p_{c.o.} \quad (4.16)$$

Величина невязки  $A$ , %, в расходуемых давлениях определяется по уравнению

$$A = \frac{\Delta p_p - \Delta p_{c.o.}}{\Delta p_p} \cdot 100 \%. \quad (4.17)$$

16. При обеспечении запаса располагаемого перепада давления 5...10% приступают к увязке расходуемых давлений в циркуляционных кольцах через промежуточные стояки главного циркуляционного кольца.

17. Рассчитывается располагаемое циркуляционное давление для предпоследнего стояка, которое складывается из потерь давления в последнем стояке и на двух параллельных участках магистралей до рассчитываемого стояка. При этом различием в значениях естественного циркуляционного давления в однотипных стояках можно пренебречь.

Исходя из располагаемого давления, по характеристикам сопротивления выполняют гидравлический расчёт предпоследнего стояка (см. пп. 4, 5, 6, 7).

Расчётная невязка между располагаемым давлением и потерями давления в предпоследнем стояке не должны отличаться более чем на  $\pm 15\%$  при тупиковой схеме и  $\pm 5\%$  при попутной схеме движения теплоносителя.

18. Сумма потерь давления в одном из двух рассчитанных стояков и на двух (четырёх) параллельных участках магистралей принимается за располагаемое циркуляционное давление для третьего от конца системы стояка. Порядок гидравлического расчёта третьего стояка выполняется аналогично (см. пп. 4, 5, 6, 7, 16). Таким образом, производится гидравлический расчёт остальных стояков.

При невязках потерь давления в увязываемых кольцах предусматривается установка на стояках дроссельных шайб.

#### Пример 4.2.

Исходные данные [6]:

1. Выполнить гидравлический расчёт главного циркуляционного кольца через стояк 1 вертикальной однотрубной системы водяного отопления с нижней разводкой, тупиковым движением теплоносителя и проточно-регулируемой схемой присоединения нагревательных приборов.

2. Принятые трубы водогазопроводные по ГОСТ 3262-75\*.

3. Здание четырёхэтажное, присоединение системы отопления – через водоструйный элеватор. Высота этажа 2,8 м.

4. Параметры теплоносителя в тепловой сети:  $t_1 = 150\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 70\text{ }^\circ\text{C}$ , в системе отопления  $t_r = 105\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_o = 70\text{ }^\circ\text{C}$ .

5. Установлены чугунные радиаторы М-140АО высотой  $h_{\text{пр}} = 0,5\text{ м}$ , присоединённые прямой подводкой длиной 600 мм с обходными замыкающими участками и кранами КРТ. Отопительные приборы установлены у наружной стены под остеклением световых проёмов.

6. Основное циркуляционное кольцо выбирается через удалённый стояк 1 (левая часть системы отопления длиннее правой). Кольца разделяются на участки, показанные на рис. 4.5.

7. Давление на вводе в здание принимается равным  $\Delta p_{\text{в}} = 100\text{ кПа}$ .

8. Тепловые нагрузки  $Q$ , Вт, и расходы воды  $G$ , кг/ч, приборов, стояков и участков, а также длины участков  $l$ , м, показаны на расчётной схеме (рис. 4.5).

9. Коэффициент  $\beta = 0,64\text{ кг}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$  (см. табл. 4.12).

Таблица 4.12 – Среднее приращение плотности воды  $\rho$  в зависимости от расчётной разности температуры в системе

$\beta$ , кг/(м <sup>3</sup> ·°C)	$t_r - t_o$ , °C	$\beta$ , кг/(м <sup>3</sup> ·°C)	$t_r - t_o$ , °C
0,60	85 – 65	0,68	115 – 70
0,64	95 – 70	0,72	130 – 70
0,66	105 – 70	0,76	150 – 70

10. Поправочный коэффициент  $b = 0,65$ .

11. Коэффициенты  $\beta_1 = 1,04$  (см. табл. 4.3)  $\beta_2 = 1,02$  (см. табл. 4.4).

12. Удельная теплоёмкость воды  $c = 4,187\text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

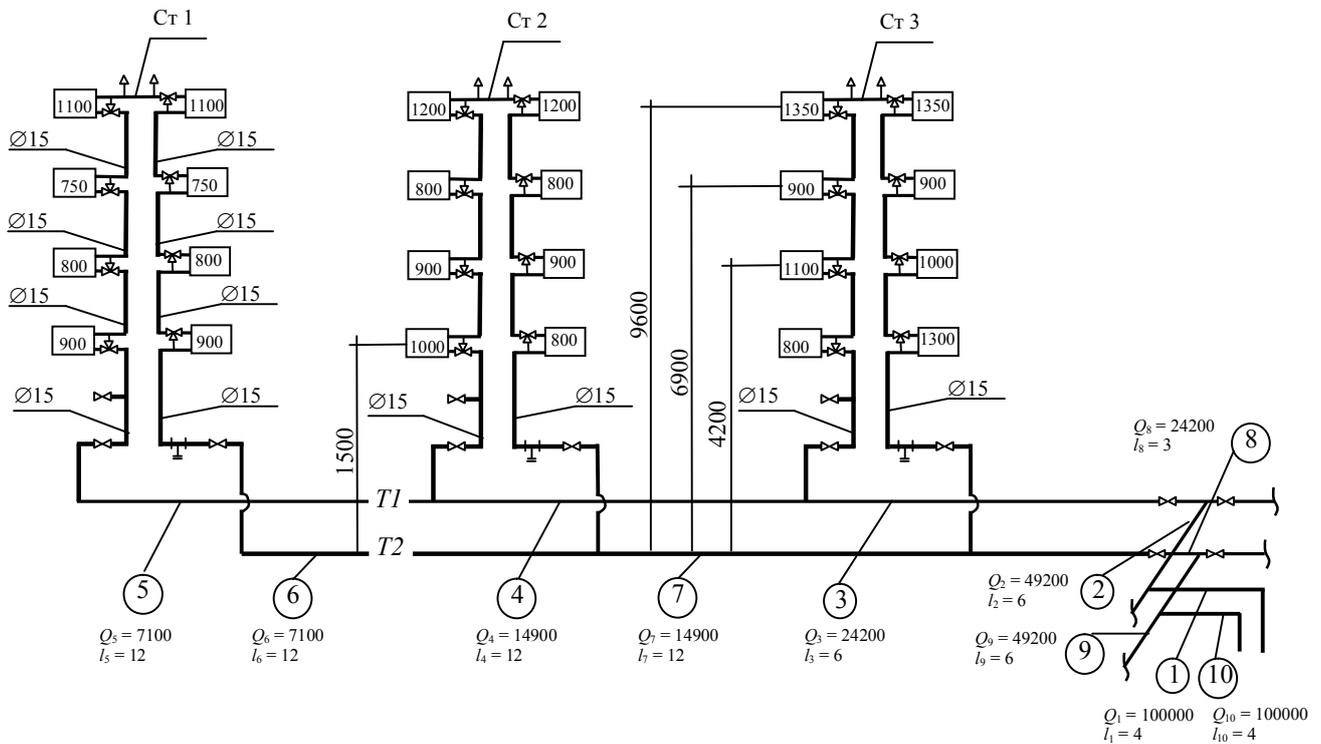


Рис. 4.5. Расчётная схема главного циркуляционного кольца

### Порядок расчёта.

1. Определяем естественное циркуляционное давление за счёт остывания воды в отопительных приборах стояка 1 по формуле для вертикальной однотрубной проточной системы отопления с нижней разводкой

$$\Delta p_{\text{е.пр.}} = \frac{\beta \cdot g \cdot 3,6}{c \cdot G_{\text{ст}}} \cdot [(Q_1 + Q_8) \cdot h_1^* + (Q_2 + Q_7) \cdot h_{II}^* + (Q_3 + Q_6) \cdot h_{III}^* + (Q_4 + Q_5) \cdot h_{IV}^*] \times$$

$$\times \beta_1 \cdot \beta_2 = \frac{0,64 \cdot 9,81 \cdot 3,6}{4,187 \cdot 185} \cdot [(900 + 900) \cdot 1,5 + (800 + 800) \cdot 4,2 + (750 + 750) \cdot 6,9 +$$

$$+ (1100 + 1100) \cdot 9,6] \cdot 1,04 \cdot 1,02 = 1265,7 \text{ Па.}$$

2. Рассчитываем расход воды в стояке 1 по формуле (4.5)

$$G_{\text{ст1}} = \frac{\sum_1^n Q_{\text{ст}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot 3,6}{c \cdot (t_r - t_o)} = \frac{7100 \cdot 1,04 \cdot 1,02 \cdot 3,6}{4,187 \cdot (105 - 70)} = 185 \text{ кг/ч.}$$

Записываем полученные значения в графу 3 табл. 4.12.

3. Определяем коэффициент смешения по формуле (4.3)

$$u = \frac{150 - 105}{105 - 70} = 1,29.$$

4. Подставляем численные значения всех величин в выражение для  $\Delta p_{\text{нас}}$  (4.2), тогда

$$\Delta p_{\text{нас}} = \frac{100000}{1,4(1 + 1,29)^2} = 13620,7 \text{ Па.}$$

5. Рассчитываем располагаемый перепад давления по формуле (4.1)

$$\Delta p_p = \Delta p_{\text{нас}} + \Delta p_{\text{е.пр.}} = 13620,7 + 1265,7 = 14886,4 \text{ Па.}$$

6. Определяем среднее значение удельной потери давления от трения в расчётном кольце по формуле (4.4)

$$R_{cp} = \frac{(1 - 0,5)14886,4}{77} = 96,66 \text{ Па/м.}$$

7. Вычисляем удельную характеристику сопротивления для стояка 1 по формуле (4.10)

$$S_{уд} = \frac{96,66}{185^2} = 28,24 \cdot 10^{-4} \text{ Па/м(кг/ч)}^2.$$

8. Принимаем в зависимости от значения  $S_{уд(ст)}$  (табл. 4.8) ближайший меньший диаметр стояка 1, равный  $D_y = 15$  мм. Принятый диаметр труб записываем в графу 5 табл. 4.12.

9. В соответствии с табл. 4.10 по диаметру стояка  $D_y = 15$  мм выбираем диаметры подводок и замыкающего контура:  $D_{y(п)} = 15$  мм;  $D_{y(з)} = 15$  мм.

10. Определяем по табл. Е2 характеристику сопротивления трубных узлов стояка:

– узел присоединения к подающей магистрали  $D_y = 15$  мм,

$$S_{т.у.} \cdot 10^4 = 133 \text{ Па/(кг/ч)}^2;$$

– узел присоединения к обратной магистрали  $D_y = 15$  мм,

$$S_{т.у.} \cdot 10^4 = 96 \text{ Па/(кг/ч)}^2;$$

– шесть этажестояков  $D_y = 15$  мм,  $S_{т.у.} \cdot 10^4 = 113 \cdot 6 = 678 \text{ Па/(кг/ч)}^2$ ;

– подводки в верхнем этаже  $D_y = 15$  мм,  $S_{т.у.} \cdot 10^4 = 56 \text{ Па/(кг/ч)}^2$ .

Итого  $S_{т.у.} \cdot 10^4 = 133 + 96 + 678 + 56 = 963 \text{ Па/(кг/ч)}^2$ .

11. Находим по табл. Е3 в зависимости от схемы присоединения отопительного прибора (табл. Е4) характеристику сопротивления восьми однотипных приборных узлов с применением формулы (4.12)

$$\sum S_{п.у} = 87 \cdot 8 \cdot 1 = 696 \cdot 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2,$$

где  $l$  – длина прибора, предварительно принимаемая равной 1 м.

12. Определяем общую характеристику сопротивления стояка по формуле (4.11) и записываем в графу 9 табл. 4.12

$$S_{ст} = (963 + 696) \cdot 10^{-4} = 1659 \cdot 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2.$$

13. Рассчитываем по характеристике сопротивления стояка и расходу теплоносителя в стояке  $G_{ст}$  потери давления в стояке 1 по формуле (4.13) и заносим полученное значение в графу 11 табл. 4.12

$$\Delta p_{ст} = 1659 \cdot 10^{-4} \cdot 185^2 = 5677,9 \text{ Па.}$$

14. Приступаем к гидравлическому расчёту магистрального участка 1 главного циркуляционного кольца.

Вычисляем расход теплоносителя на участке 1 по формуле (4.5)

$$G_{уч1} = \frac{3,6 \cdot 100000}{4,187(105 - 70)} \cdot 1,04 \cdot 1,02 = 2605,9 \text{ кг/ч.}$$

Аналогично рассчитываем расход теплоносителя и на других участках и записываем в графу 4 табл. 4.12

Таблица 4.12 – Ведомость гидравлического расчёта главного циркуляционного кольца через стояк 1

Исходные данные						Расчётные данные					
Номер расчётного участка	Типовая нагрузка на участке $Q_{уч}, Вт$	Длина участка $l_{уч}, м$	Расход воды на участке $G_{уч}, кг/ч$	Диаметр трубопровода на участке $d_{уч}, мм$	Приведённый коэффициент гидравлического трения $\lambda/d_b, м^{-1}$	$l_{уч} \cdot \lambda / d_b$	Удельное динамическое давление $A_d \cdot 10^4, Па/(кг/ч)^2$	Сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке $\sum \xi_{уч}, Па$	Характеристика сопротивления участка $S_{уд}, Па/(кг/ч)^2$	Потери давления на участке $\Delta P_{уч}, Па$	Суммарные потери давления в главном циркуляционном кольце $\Delta P_{с.о.}, Па$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ст1	7100	–	185	15	–	–	–	–	1659	5677,9	5677,9
1	100000	4,0	2605,9	40	0,8	3,2	0,23	1	0,97	658,7	6336,6
2	49200	6,0	1282,1	32	1,0	6,0	0,39	6,3	4,8	789,0	7125,6
3	24200	6,0	630,6	25	1,4	8,4	1,23	8,3	20,54	816,8	7942,4
4	14900	12,0	388,3	20	1,8	21,6	3,19	4,75	84,06	1267,4	9209,8
5	7100	12,0	185	15	2,7	32,4	10,60	1,5	359,34	1229,8	10439,6
6	7100	12,0	185	15	2,7	32,4	10,60	1,5	359,34	1229,8	11669,4
7	14900	12,0	388,3	20	1,8	21,6	3,19	1,6	74,01	1115,9	12785,3
8	24200	3,0	630,6	25	1,4	4,2	1,23	3,1	8,98	357,1	13142,4
9	49200	6,0	1282,1	32	1,0	6,0	0,39	6,3	4,8	789,0	13931,4
10	100000	4,0	2605,9	40	0,8	3,2	0,23	1	0,97	658,7	14590,1

15. Определяем удельную характеристику сопротивления для участка 1 по формуле (4.10)

$$S_{уд} = \frac{96,66}{2605,9^2} = 0,14 \cdot 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

Аналогично рассчитываем  $S_{уд}$  и для других участков в зависимости от  $G_{уч}$ .

16. Принимаем в зависимости от  $S_{уд(1)}$  по табл. 4.8 ближайший общий диаметр участка 1  $d_y = 40$  мм и соответствующие ему значения:

$$\lambda / d_b = 0,8 \text{ м}^{-1}; A_d = 0,23 \cdot 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

Аналогично принимаем значения  $d_y$ ,  $\lambda / d_b$ ,  $A_d$  для других участков и записываем их в графы 5, 6 и 8 табл. 4.12.

17. Рассчитываем коэффициенты местных сопротивлений на участке 1 по табл. Д1, Д2, Д3 и записываем в графу 9 табл. 4.12. На границе двух участков местное сопротивление относим к участку с меньшим расходом воды.

Участок 1 – задвижка $D_y = 40$ мм	0,5
– отвод $D_y = 40$ мм	0,5
по табл. Д1	$\sum \xi_{уч(1)} = 1$

Участок 2 – тройник на проходе при $G_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 1282,1 / 2605,9 = 0,49$ по [16, табл. II.13, схема 4]	<u>6,3</u> $\Sigma \xi_{\text{уч}(2)} = 6,3$
Участок 3 – тройник на проходе при $G_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 630,6 / 1282,1 = 0,49$ по [16, табл. II.13, схема 4] – кран пробковый проходной $D_y = 25$ мм по табл. Д1	6,3 <u>2,0</u> $\Sigma \xi_{\text{уч}(3)} = 8,3$
Участок 4 – тройник на проходе при $G_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 388,3 / 630,6 = 0,62$ по [16, табл. II.13, схема 4]	<u>4,75</u> $\Sigma \xi_{\text{уч}(4)} = 4,75$
Участок 5 – отвод $D_y = 15$ мм по табл. Д1	<u>1,5</u> $\Sigma \xi_{\text{уч}(5)} = 1,5$
Участок 6 – отвод $D_y = 15$ мм по табл. Д1	<u>1,5</u> $\Sigma \xi_{\text{уч}(5)} = 1,5$
Участок 7 – тройник на проходе при $G_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 388,3 / 630,6 = 0,62$ по [16, табл. II.13, схема 2]	<u>1,6</u> $\Sigma \xi_{\text{уч}(7)} = 1,6$
Участок 8 – тройник на проходе при $G_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 630,6 / 1282,1 = 0,49$ по [16, табл. II.13, схема 4] – кран пробковый проходной $D_y = 25$ мм по табл. Д1	1,1 <u>2,0</u> $\Sigma \xi_{\text{уч}(8)} = 3,1$
Участок 9 – тройник на растекание при $G_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 1282,1 / 2605,9 = 0,49$ по [16, табл. II.13, схема 4]	<u>6,3</u> $\Sigma \xi_{\text{уч}(9)} = 6,3$
Участок 10 – задвижка $D_y = 40$ мм – отвод $D_y = 40$ мм по табл. Д1	0,5 <u>0,5</u> $\Sigma \xi_{\text{уч}(10)} = 1,0$

18. Определяем характеристику сопротивления участка 1 по формуле (4.9)

$$S_{\text{уч}} = 0,23 \cdot 10^{-4} \cdot (3,2 + 1) = 0,97 \cdot 10^{-4} \text{ Па}/(\text{кг}/\text{ч})^2.$$

Аналогично рассчитываем значение  $\Delta p_{\text{уч}}$  для следующих участков и записываем в графу 10 табл. 4.12.

19. Рассчитываем потери давления на участке 1 по формуле (4.8)

$$\Delta p_{\text{уч}} = 0,97 \cdot 10^{-4} \cdot 2605,9^2 = 658,7 \text{ Па.}$$

Аналогично рассчитываем значение  $\Delta p_{\text{уч}}$  для следующих участков и записываем в графу 11 табл. 4.12.

Затем заполняем графу 12 табл. 4.12.

20. Выполняем гидравлическую увязку и определяем запас располагаемого перепада давления в главном циркуляционном кольце по формуле (4.17)

$$A = \frac{\Delta p_p - \Delta p_{\text{с.о}}}{\Delta p_p} \cdot 100 \% = \frac{14886,4 - 14590,1}{14886,4} \cdot 100 \% = 2 \%.$$

Запас давления достаточный при норме 5...10%.

### Гидравлический расчёт второстепенного циркуляционного кольца через стояк 2 системы водяного отопления

Исходные данные.

1. Выполнить гидравлический расчёт второстепенного циркуляционного кольца по рис. 4.5 (см. пример 4.2) через стояк 2 однотрубной системы водяного отопления. Исходные данные те же, что и в примере 4.2.

**Порядок расчёта.**

1. Рассчитываем располагаемое циркуляционное кольцо для стояка 2

$$\Delta p_{p(\text{ст}2)} = \Delta p_{\text{см}} + \Delta p_{m(5)} + \Delta p_{m(6)} = 5677,9 + 1288,5 + 1288,5 = 8254,9 \text{ Па.}$$

2. Определяем расход воды в стояке 2 по формуле (4.5)

$$G_{\text{ст}2} = \frac{3,6 \cdot 7800}{4,187 \cdot (105 - 70)} \cdot 1,04 \cdot 1,02 = 203,3 \text{ кг/ч.}$$

3. Вычисляем удельную характеристику сопротивления для стояка 2 по формуле (4.10)

$$S_{\text{уд}(\text{ст}2)} = \frac{96,66}{203,3^2} = 23,39 \cdot 10^{-4} \text{ Па/м(кг/ч)}^2.$$

4. Принимаем в зависимости от значения  $S_{\text{уд}(\text{ст}2)}$  по табл. 4.8 ближайший меньший диаметр стояка 2  $D_y = 15$  мм.

5. В соответствии с табл. 4.10 по диаметру стояка 2  $D_y = 15$  мм принимаем диаметр подводок  $D_{y(\text{п})} = 15$  мм и замыкающего участка  $D_{y(з)} = 15$  мм.

6. Определяем по табл. Д2 характеристику сопротивления трубных узлов стояка 2:

– узел присоединения к подающей магистрали  $D_y = 15$  мм,

$$S_{\text{т.у.}} \cdot 10^4 = 133 \text{ Па/(кг/ч)}^2;$$

– узел присоединения к обратной магистрали  $D_y = 15$  мм,

$$S_{\text{т.у.}} \cdot 10^4 = 96 \text{ Па/(кг/ч)}^2;$$

– шесть этажестояков  $D_y = 15$  мм,  $S_{\text{т.у.}} \cdot 10^4 = 133 \cdot 6 = 678 \text{ Па/(кг/ч)}^2;$

– подводки в верхнем этаже  $D_y = 15$  мм,  $S_{т.у.} \cdot 10^4 = 56$  Па/(кг/ч)<sup>2</sup>;

Итого  $S_{т.у.} \cdot 10^4 = 963$  Па/(кг/ч)<sup>2</sup>.

7. Рассчитываем по табл. Д1 и в зависимости от схемы присоединения отопительного прибора (табл. Д2) характеристику сопротивления восьми однотипных приборных узлов с использованием формулы (4.12)

$$\sum S_{п.у} = 87 \cdot 8 \cdot 1 = 696 \cdot 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2.$$

8. Определяем общую характеристику сопротивления стояка по формуле (4.11)

$$S_{ст} = (963 + 696) \cdot 10^{-4} = 1659 \cdot 10^{-4} \text{ Па/(кг/ч)}^2.$$

9. Находим по характеристике сопротивления стояка 2 значения  $S_{ст2}$  и расход теплоносителя в стояке 2  $G_{ст2}$ , а также потери давления в стояке 2 по формуле (4.13)

$$\Delta p_{ст2} = 1659 \cdot 10^{-4} \cdot 203,3^2 = 6856,8 \text{ Па}.$$

10. Выполняем проверку гидравлической увязки между располагаемым давлением  $\Delta p_{р(ст2)}$  потерями давления в стояке 2 по формуле (4.17)

$$A = \frac{\Delta p_p - \Delta p_{с.о}}{\Delta p_p} \cdot 100 \% = \frac{8137,5 - 6856,8}{8137,5} \cdot 100 \% = 15,7 \%.$$

С некоторым допущением можно считать гидравлическую невязку 15,7% допустимой при норме не более 15%.

## 5. ПОДБОР ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Водоструйные элеваторы предназначены для снижения температуры воды, поступающей из тепловой сети в систему отопления, до необходимой температуры путём её смешивания с водой, прошедшей систему отопления [6].

### 5.1. Подбор нерегулируемого водоструйного элеватора типа ВТИ Мосэнерго

Наиболее совершенным является элеватор типа ВТИ Мосэнерго (КПД-0,24) со сменным соплом (рис. 5.1) [2, 6].

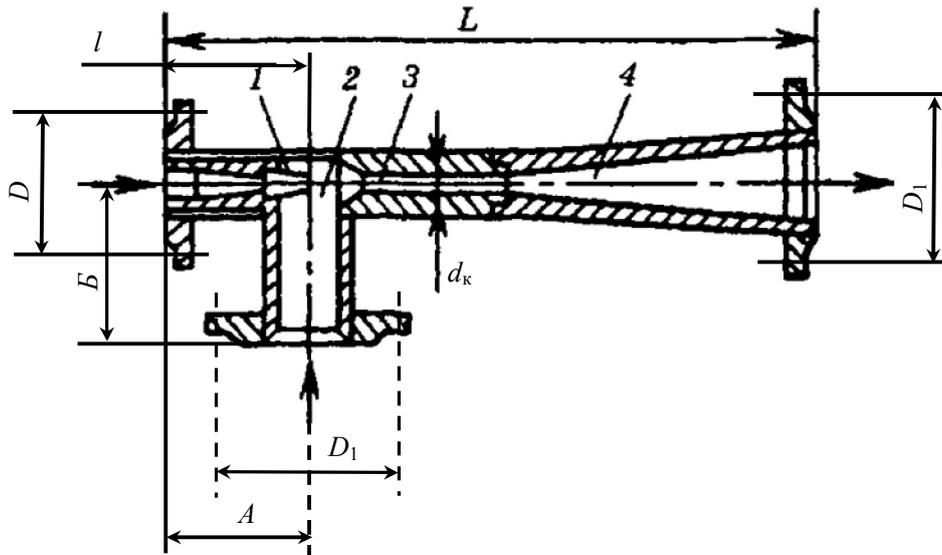


Рис. 5.1. Элеватор с нерегулируемым соплом типа ВТИ Мосэнерго:  
1 – сопло; 2 – приёмная камера; 3 – камера смешения; 4 – диффузор

Основные размеры элеватора типа ВТИ Мосэнерго приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Основные размеры элеваторов типа ВТИ теплосети Мосэнерго

Номер элеватора	Размер, мм						
	$L$	$A$	$B$	$l$	$d_k$	$D$	$D_1$
1	425	90	110	110	15	110	125
2	425	90	110	100	20	110	125
3	625	135	155	145	25	125	160
4	625	135	155	135	30	125	160
5	625	135	155	125	35	125	160
6	720	180	175	175	47	160	180
7	720	180	175	155	59	160	180

Рассмотрим методику подбора и расчёта элеватора [2, 6].

Основной расчётной характеристикой для элеватора является коэффициент смешения, определяемый по формуле 4.3.

При подборе элеватора коэффициент смешения принимается на 15% выше его расчётного значения с учётом возможности наладки присоединённой системы, т.е.  $u' = 1,15u$ .

Диаметр горловины элеватора рассчитывается по формуле

$$d_r = 0,874\sqrt{G_{пр}}, \quad (5.1)$$

где  $G_{пр}$  – приведённый расход теплоносителя в системе отопления, кг/ч, рассчитывается по формуле

$$G_{пр} = \frac{3600 \sum Q_{т.п.}}{c(t_1 - t_0)}, \quad (5.2)$$

где  $\sum Q_{т.п.}$  – полные теплотери зданием, Вт;  $c$  – теплоёмкость воды, равная 4190 Дж/(кг·°С).

Диаметр выходного сечения сопла, м, находится по выражению

$$d_c = \frac{10d_r}{\sqrt{\frac{0,78}{G_{пр}^2}(1+u)^2 d_r^4 + 0,6(1+u)^2 - 0,4u^2}}. \quad (5.3)$$

Основные размеры элеватора (номер элеватора,  $d_r$ ,  $d_c$ ) предлагается определять по номограмме, представленной на рис. 5.2. Выбор номера элеватора,  $d_r$  и  $d_c$  производится по известным значениям  $u$  и  $G_{пр}$ .

Для использования одного и того же корпуса элеватора при различных расходах воды и давлениях сопло делают сменным.

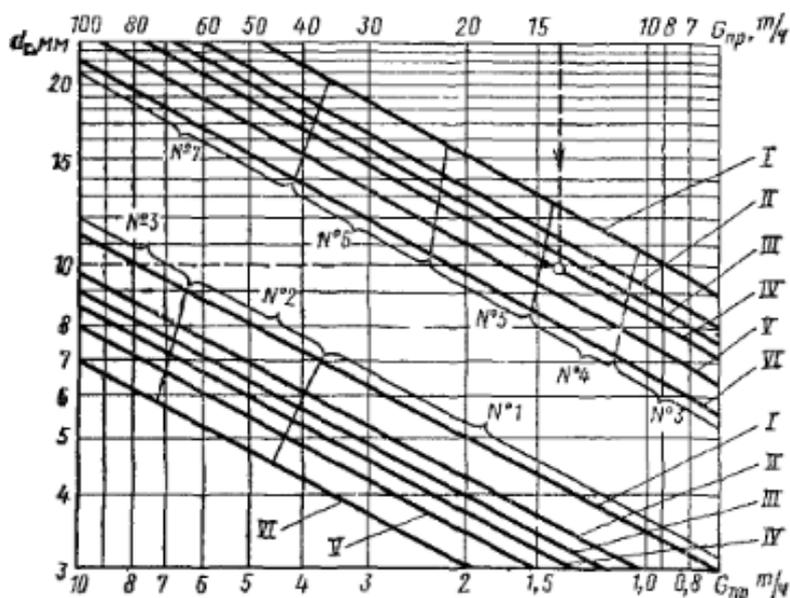


Рис. 5.2. Номограмма для выбора водоструйного элеватора конструкции

ВТИ – теплосеть Мосэнерго:

№ 1 – 7 – номера элеваторов; диаметры горловины для: № 1 –  $d_r = 15$  мм; № 2 –  $d_r = 20$  мм;

№ 3 –  $d_r = 25$  мм; № 4 –  $d_r = 30$  мм; № 5 –  $d_r = 35$  мм; № 6 –  $d_r = 47$  мм; № 7 –  $d_r = 59$  мм;

I – для  $u = 1,61$ ; II – для  $u = 2,07$ ; III – для  $u = 2,3$ ; IV – для  $u = 2,53$ ;

V – для  $u = 2,875$ ; VI – для  $u = 3,45$

## 5.2. Подбор нерегулируемого водоструйного элеватора марки 40С10бк

В практике проектирования применяется водоструйный элеватор марки 40С10бк ТУ26-07-1255-82 (рис. 5.3), выполненный из углеродистой стали с температурой теплоносителя до 150 °С [2, 6].

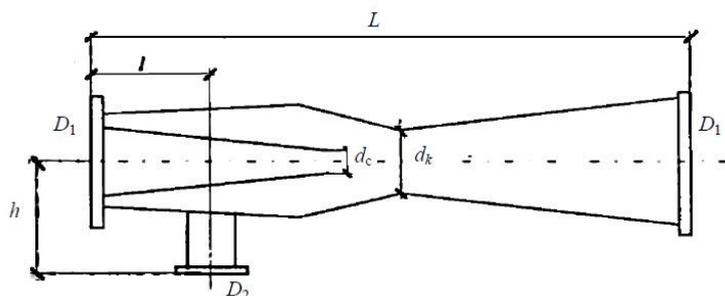


Рис. 5.3. Водоструйный элеватор марки 40С10бк

Конструктивные характеристики различных типоразмеров элеватора 40С10бк приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Конструктивные характеристики элеватора марки 40С10бк [2, 6]

Номер элеватора	Диаметр камеры смешения $d_k$ , мм	Размеры, мм					Диаметр сопла $d_c$ , мм	Масса, кг
		$L$	$l$	$D_1$	$D_2$	$h$		
1	15	360	70	145	145	130	3...8	8,3
2	20	440	93	160	145	135	4...8	11,3
3	25	570	104	180	160	145	6...10	15,5
4	30	620	125	195	180	170	7...12	18,7

Определение номера элеватора, диаметра сопла  $d_c$  и диаметра камеры смешения  $d_k$  осуществляется расчётом в следующем порядке.

1. Определяется расход воды в системе отопления по формуле, т/ч,

$$G_{\text{т.с.}} = \frac{\sum Q_{\text{т.п.}} \cdot 3,6}{c(t_{\text{г}} - t_{\text{о}}) \cdot 1000}, \quad (5.4)$$

где  $\sum Q_{\text{т.п.}}$  – полные теплотери здания, Вт;

$c$  – удельная теплоёмкость воды, равная  $c = 4,187$  кДж/(кг·°С);

$(t_{\text{г}} - t_{\text{о}})$  – разность значений температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах системы отопления, °С.

2. Вычисляется коэффициент смешения по формуле (4.3).

3. Определяется расчётный диаметр камеры смешения элеватора  $d_k$ , мм, по формуле

$$d_k = 8,5 \sqrt{\frac{G_{\text{с.о.}}}{\sqrt{\Delta p_{\text{с.о}}}}}, \quad (5.5)$$

где  $\Delta p_{c.o}$  – требуемое давление, развиваемое элеватором, кПа, принимаемое равным потерям давления в главном циркуляционном кольце.

4. Вычисляется расчётный диаметр сопла  $d_c$ , мм, по формуле

$$d_c = \frac{d_k}{1+u}. \quad (5.6)$$

5. Определяется давление, необходимое для работы элеватора  $\Delta p_3$ , 10·кПа, по формуле

$$\Delta p_3 = 1,4 \cdot \Delta p_{c.o} (1+u)^2. \quad (5.7)$$

6. Находится давление перед элеваторным узлом  $\Delta p_{э.у}$ , 10·кПа, с учётом гидравлических потерь в регуляторе давления по формуле

$$\Delta p_{э.у} = \Delta p_3 + (2...3). \quad (5.8)$$

7. После определения расчётного диаметра камеры смешивания  $d_k$ , мм, по табл. 5.2 выбирается номер элеватора с ближайшим наибольшим диаметром.

### 5.3. Подбор насоса в системе водяного отопления

В зависимости от гидравлического режима тепловой сети и места присоединения насоса в местном тепловом пункте системы водяного отопления насосы подразделяют на: циркуляционные, смесительные, циркуляционно-смесительные и циркуляционно-повысительные [2, 6].

Смесительные насосы для системы отопления устанавливаются:

а) на перемычке между подающим и обратным трубопроводами при располагаемом напоре перед узлом смешения, достаточном для преодоления гидравлического сопротивления системы отопления и тепловых сетей после центрального теплового пункта, и при давлении в обратном трубопроводе тепловой сети после теплового пункта не менее чем на 0,05 МПа выше статического давления в системе отопления;

б) на обратном трубопроводе перед узлом смешения или на подающем трубопроводе после узла смешения при располагаемом напоре перед узлом смешения, недостаточном для преодоления гидравлического сопротивления. При этом в качестве смесительных насосов могут быть использованы подкачивающие насосы.

В системе отопления жилых и общественных зданий рекомендуется применять различные бесшумные бесфундаментные диагональные центробежные насосы. Например, центробежные насосы типа ЦВЦ (табл. 5.3) с производительностью 2,5...25 т/ч и развиваемым давлением 0,02...0,092 МПа применяют для перемещения воды с температурой до 105 °С. Насосы устанавливаются непосредственно на трубопроводах и соединяются с ними с помощью ниппелей или фланцев (рис. 5.4) [2]. Допустимое давление на всасывании для насоса ЦВЦ составляет 2,5-2,0-0,6 МПа, для остальных насосов – 1,0 МПа [6].

Насосы типа ЦВЦ подбирают в зависимости от расхода теплоносителя насосом  $G_n$ , м<sup>3</sup>/ч, и создаваемого давления  $\Delta p_n$ , МПа, или мм. вод. ст., и по характеристикам насоса (табл. 5.3 и рис. 5.5) [2].

Таблица 5.3 – Технические характеристики насосов типа ЦВЦ [6]

Марка насоса	Производительность $G_n, \text{ м}^3/\text{ч}$	Полное давление $\Delta p_n, \text{ МПа}$	КПД $\eta, \%$	Потребляемая мощность $N_n, \text{ Вт}$	Частота вращения $n, \text{ об/мин}$	Напряжение $U, \text{ В}$	Диаметр $D_y, \text{ мм}$	Присоединение
ЦВЦ 2,5-2	2,5	0,02	17	110	3000	220	25	Ниппельное
ЦВЦ 4-2,8	4,0	0,028	20	180	3000	380/220	32	Ниппельное
ЦВЦ 6,3-3,5	6,3	0,035	25	240	3000	380/220	40	Ниппельное
ЦВЦ 10-4,7	10	0,047	36	425	3000	380/220	40	Ниппельное
ЦВЦ 16-6,7	16	0,067	41	845	3000	380/220	50	Фланцевое
ЦВЦ 25-9,2	25	0,092	45	1620	3000	380/220	70	Фланцевое

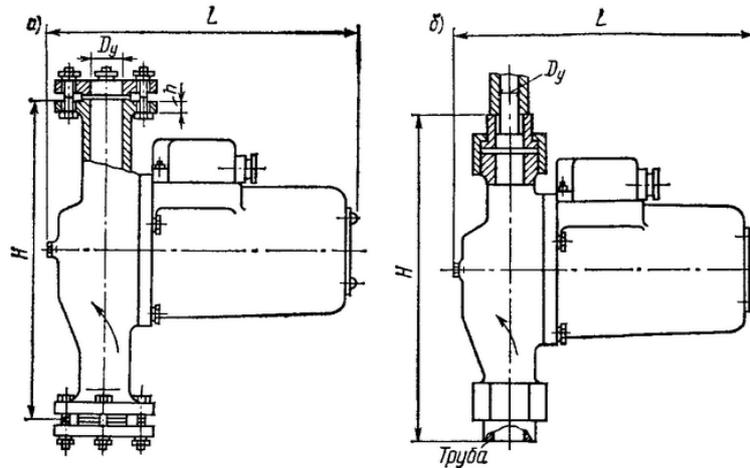


Рис.5.4. Общий вид насосов типа ЦВЦ:

а – с фланцевым соединением; б – с ниппельным соединением

В отдельных случаях при практических расчётах принимают  $\Delta p_n = \Delta p_{c.o}$  или используют упрощённую формулу для  $\Delta p_n, \text{ Па}$ ,

$$\Delta p_n = 100 \cdot \sum l, \quad (5.9)$$

где  $\sum l$  – длина главного циркуляционного кольца системы отопления, м; 100 – потери давления (100 Па на 1 метр длины главного циркуляционного кольца).

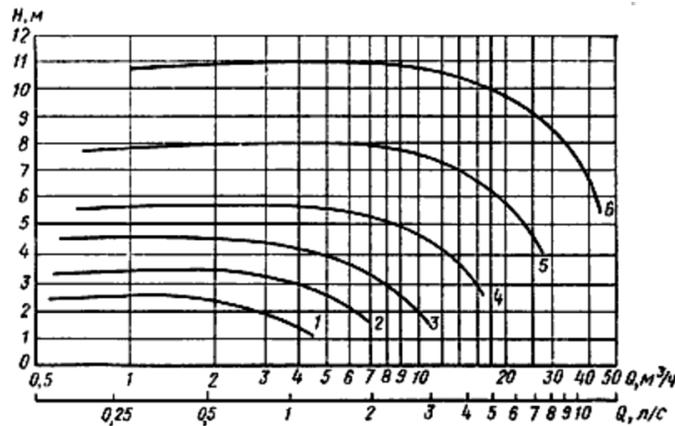


Рис. 5.5. Характеристики насосов типа ЦВЦ:

1 – для ЦВЦ 2,5-2; 2 – для ЦВЦ 4-2,8; 3 – для ЦВЦ 6,3-3,5; 4 – для ЦВЦ 10-4,7; 5 – для ЦВЦ 16-6,7; 6 – для ЦВЦ 25-9,2

В технике отопления допускают объёмную подачу насоса  $Z_n$ , м<sup>3</sup>/ч, заменять массовым расходом  $G_n$ , т/ч, не зависящим от температуры.

**Пример 5.1.** Подобрать насос типа ЦВЦ.

Исходные данные [2].

1. Полные теплотери здания  $\sum Q_{т.п} = 610575$  Вт.
2. Параметры теплоносителя:  $t_1 = 150$  °С;  $t_2 = 70$  °С;  $t_r = 105$  °С;  $t_o = 70$  °С.
3. Потери давления в главном циркуляционном кольце системы отопления по данным гидравлического расчёта  $\Delta p_{с.о} = 0,031$  МПа.

**Порядок расчёта.**

1. Определяем расход воды, поступающей из тепловой сети, по формуле (5.4)

$$G_{т.с.} = \frac{610575 \cdot 3,6}{4,187 \cdot (150 - 70) \cdot 1000} = 6,5 \text{ т/ч.}$$

2. Определяем коэффициент смешения по формуле (4.3)

$$u = \frac{150 - 105}{105 - 70} = 1,3.$$

3. Рассчитываем подачу насоса, равную расходу из системы отопления подмешиваемой воды, по формуле

$$G_n = 1,1uG_{т.с.} = 1,1 \cdot 1,3 \cdot 6,5 = 9,3 \text{ т/ч.}$$

4. Определяем давление, развиваемое насосом по формуле

$$\Delta p_n = 1,15\Delta p_{с.о} = 1,15 \cdot 0,031 = 0,036 \text{ МПа.}$$

Используя характеристики насоса (рис. 5.5), по значениям  $\Delta p_n = 0,036$  МПа и  $G_n = 9,3$  т/ч принимаем ближайший больший насос типа ЦВЦ 10-4,7. Затем в соответствии с табл. 5.3 для данного типа насоса определяем: потребляемую мощность 425 Вт, диаметр 40 мм, вид присоединения ниппельный и КПД 36%.

## 6. АЭРОДИНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ КАНАЛОВ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

### 6.1. Принципиальная схема и конструктивные элементы канальной системы естественной вентиляции

По способу перемещения воздуха системы вентиляции делят на системы с *естественным* и *искусственным* побуждением движения воздуха.

В системах с *естественным* побуждением воздух поступает и удаляется из помещений за счёт гравитационных сил и ветрового давления.

В системах с *искусственным* (механическим) побуждением воздух перемещается с помощью вентиляторов [2, 7].

По назначению системы вентиляции подразделяют на *приточные*, *прямоточные*, *рециркуляционные* и *вытяжные*.

*Приточные* *прямоточные* системы служат для подачи в помещения наружного воздуха, обрабатываемого в зависимости от параметров наружного и внутреннего воздуха, если это экономически целесообразно или вредные вещества относятся к 1 и 2 классу опасности.

*Рециркуляционные* системы позволяют в разных соотношениях смешивать наружный воздух с воздухом помещений или использовать полностью внутренний воздух с последующей обработкой его для создания в помещениях требуемых условий с наименьшими энергозатратами.

*Вытяжные* системы позволяют удалять из помещений загрязнённый воздух.

По способу организации подачи приточного воздуха и удаления вредных выделений системы делят на *общеобменные* и *местные*.

При *общеобменной* вентиляции приточный воздух подаётся непосредственно в помещение с постоянным пребыванием людей, а удаляется загрязнённый воздух из зон помещения с наибольшей концентрацией вредных выделений.

*Местные* приточные системы позволяют подать воздух в определённые зоны помещения, фиксированные рабочие места, а местные вытяжные системы – удалить загрязнённый воздух непосредственно от источника вредных выделений [7].

Системы *естественной вентиляции* позволяют обеспечить неорганизованный или организованный воздухообмен, проветривание в помещении под действием гравитационного и (или) ветрового давления.

Вытяжная естественная канальная вентиляция состоит из вертикальных внутристенных или приставных каналов с отверстиями, закрытыми жалюзийными решётками, сборных горизонтальных воздухопроводов и вытяжной шахты. Загрязнённый воздух из помещений поступает через жалюзийную решётку в канал, поднимается вверх, достигая сборных воздухопроводов, и оттуда выходит через шахту в атмосферу.

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

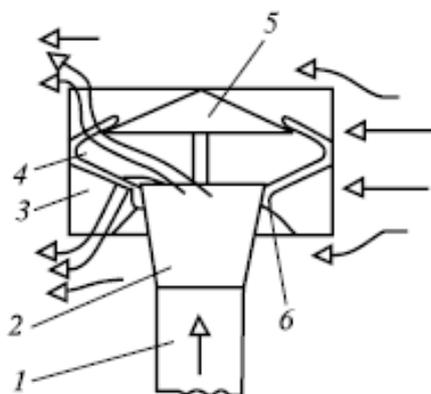
Вытяжная естественная канальная вентиляция осуществляется преимущественно в жилых и общественных зданиях для помещений, не требующих воздухообмена больше однократного. В производственных зданиях, согласно СНиП 41-01-2003, естественную вентиляцию следует проектировать, если она обеспечит нормируемые условия воздушной среды в помещениях и если она допустима по технологическим требованиям.

В жилых зданиях и в некоторых помещениях общественных и административно-бытовых зданий предусматривается вентиляция с естественным побуждением. В таких системах неорганизованное поступление наружного воздуха осуществляется через неплотности в ограждениях, открываемые периодически форточки, окна, наружные и балконные двери здания или специальные устройства, располагаемые в стенах, окнах.

Удаление воздуха из помещений, как правило, предусматривается через вытяжные шахты, каналы, воздухопроводы и воздухоприёмные устройства.

Организованный воздухообмен, при котором воздух поступает в помещение и удаляется из него через специально предусмотренные расчётом отверстия в наружных ограждениях (окна, фонари), называется аэрацией. Количество поступающего и удаляемого воздуха регулируется за счёт изменения в течение года площади открываемых отверстий. Аэрация может применяться, например, для вентиляции производственных помещений, в которых основной вредностью является значительная избыточная теплота.

При значительной скорости ветра используются специальные вентиляционные устройства – дефлекторы (рис. 6.1) [2].



**Рис. 6.1. Дефлектор ЦАГИ:**

1 – патрубок; 2 – диффузор; 3 – корпус; 4 – лапки; 5 – зонтик-колпак; 6 – конусный щиток

Естественная вентиляция отличается простотой устройства, незначительными капитальными затратами и эксплуатационными расходами, но давление, создаваемое естественными силами, невелико и зависит преимущественно от состояния наружного воздуха. Поэтому интенсивность воздухообмена в помещениях зависит от внешних факторов. Это, собственно, является существенным недостатком естественной вентиляции. В отдельные сутки тёплого периода года в связи с теплоустойчивостью здания возможно отсутствие воздухообмена (особенно в помещениях цокольного и подвального этажей) [7].

*Механическая вентиляция* позволяет обеспечить подачу расчётного количества приточного воздуха на значительные расстояния в пределах здания непосред-

ственно к рабочим местам или в определённые зоны помещений, в необходимом количестве и с определённой скоростью на выходе из воздухораспределителей, а также удаление загрязнённого воздуха из помещений в заданном объёме.

Необходимая производительность по воздуху, тип приточной и вытяжной механической вентиляции определяется количеством, классом опасности, видом выделяемых в помещении вредных веществ и их предельно допустимых концентраций, а также количеством выделяемой влаги и теплоты от людей, технологического оборудования и теплоступлений от солнечной радиации через окна и кровлю.

Приточная система вентиляции включает воздухозаборное устройство, приточную установку, сеть воздухопроводов, воздухораспределители, устройства для регулирования воздуха. Приточные установки (камеры), содержащие утеплённый клапан, устройство для очистки, нагревания и перемещения воздуха и при необходимости шумоглушитель, выполняют в строительном и в сборном заводском исполнении [7].

Вытяжная система вентиляции состоит (начиная от забора загрязнённого воздуха) из воздухоприёмных устройств в виде решёток, зонтов, укрытий, местных отсосов, воздухопроводов, устройства для перемещения, очистки, если требуется, удаляемого загрязнённого воздуха от вредных веществ перед выбросом в атмосферу и воздуховыбросного устройства [2].

Местные приточные системы обеспечивают подачу воздуха в определённую зону помещения. К ним можно отнести воздушные души, передвижные душирующие установки для создания в локальной зоне условий, благоприятных для человека. Находят применение также воздушные (без подогрева воздуха) и воздушно-тепловые завесы. Первые используют для предотвращения поступления воздуха через открытые проёмы, двери и ворота из одних помещений, где имеются вредные пары, газы и пр., в другие, в которых таких вредных выделений нет. Воздушно-тепловые завесы позволяют предотвратить поступление в здание холодного наружного воздуха через проходы, ворота и проёмы в ограждениях, постоянно или временно открытые [2].

В здании может быть запроектировано несколько приточных и вытяжных систем. При распределении помещений по системам нужно иметь в виду следующее. Отдельные системы предусматриваются в отдельных блоках, корпусах или других чётко выраженных с архитектурно-планировочной точки зрения частях здания. В крупных отдельных помещениях со специфическим назначением, режимом эксплуатации и характером вредных выделений, например, торговых и спортивных залах, конференц-залах, столовых, гаражах и т.д. также проектируются отдельные системы.

Производительность каждой приточной и вытяжной системы равна суммарному воздухообмену соответственно по притоку или по вытяжке для всех помещений, обслуживаемых данной системой. Вытяжные системы, как правило, должны обслуживать те же группы помещений, что и соответствующие приточные, за исключением отдельных загрязнённых помещений (кухни, санузлы, душевые и т.д.), из которых устраивается отдельная вытяжка.

## 6.2. Вытяжные шахты

Высота шахты естественной вытяжной вентиляции над кровлей определяется также, как и высота дымовой трубы отопительной печи. Вытяжные шахты систем вентиляции жилых зданий рекомендуется устраивать с обособленными и объединёнными каналами. Шахты с обособленными каналами могут быть выполнены из бетонных блоков с утеплителем фибролитом, с утолщёнными стенками из шлакобетона, керамзитобетона или другого малотеплопроводного и влагостойкого материала, а также каркасными с эффективным утеплителем [2].

Шахты с объединёнными каналами выполняют из лёгкого бетона, каркасные – с заполнением малотеплопроводным огнестойким и влагостойким материалом (пенопластом, пеностеклом, пенокерамзитом и др.); 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.

Воздуховоды, как правило, рекомендуются выполнять металлическими из оцинкованной стали круглого сечения с прокладкой в пространстве подвесного потолка. При малой высоте этого пространства допускаются воздуховоды прямоугольного сечения с шириной, превышающей высоту, но не более чем в 3 раза. Оценку имеющихся возможностей по прокладке следует проводить, исходя из минимальной высоты подвесного потолка над полом, равной 2,4 м. В подвале, технических и подсобных помещениях воздуховоды можно прокладывать открыто [17].

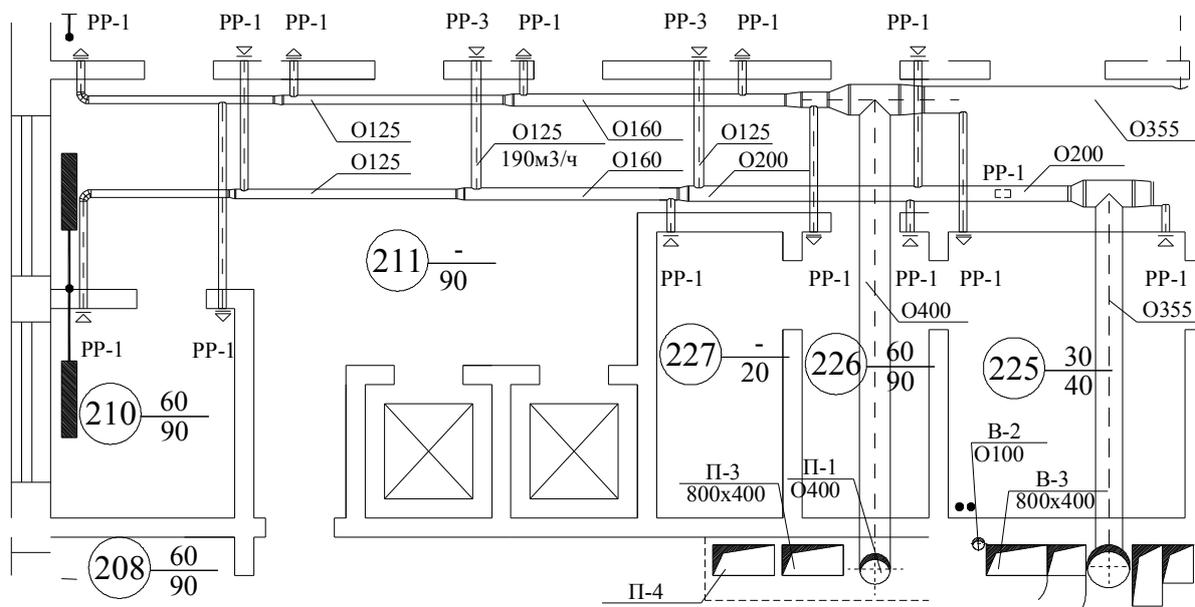
Вытяжка в таких помещениях обычно осуществляется через жалюзийные решётки типа РР, РС-Г и т.д. (с одинарными жалюзи), установленные в днище вытяжного воздуховода, совпадающего с подвесным потолком. Такой воздуховод прокладывается у внутренней стены помещения. После расчёта на плане указываются диаметры или сечения воздуховодов и типоразмеры воздухораспределителей. В кружки помещают номера помещений, а у кружков над и под дробной чертой – воздухообмен соответственно по притоку и по вытяжке, м<sup>3</sup>/ч. Полные правила оформления чертежей приведены в [4].

Пример схемы с расположением воздуховодов и решёток на плане приведён на рис. 6.2 [9].

Выбор типоразмеров решёток осуществляется через расход воздуха на одну решетку  $L_p$  и рекомендуемую скорость воздуха в проходном сечении решётки  $v_{ор}$ . Величина  $v_{ор}$  составляет около 1,5 м/с для приточных и 2 м/с для вытяжных устройств. Расход  $L_p = L/N$ , где  $L$  – воздухообмен помещения соответственно по притоку или по вытяжке, м<sup>3</sup>/ч;  $N$  – число приточных решёток или вытяжных решёток в помещении. После вычисляется ориентировочное живое сечение для прохода

воздуха  $f_{ор} = \frac{L_p}{3600 \cdot v_{ор}}$ , м<sup>2</sup>. Затем по каталогу подбирается ближайшее фактиче-

ское сечение  $f_{факт}$  для прохода воздуха. Для воздухораспределителей фирмы «ПГС» значения  $f_{факт}$  приведены в табл. 6.1.



**Рис. 6.2. Фрагмент плана здания с нанесёнными воздуховодами и жалюзийными решётками**

Таблица 6.1 – Живые сечения, м<sup>2</sup>, приточных и вытяжных жалюзийных решёток РС-Г и РС-ВГ [9]

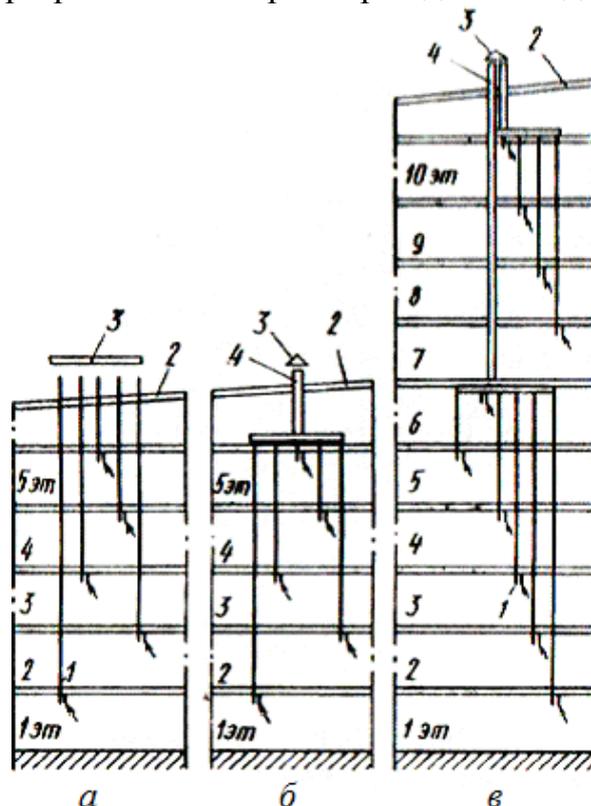
Длина, мм		Высота, мм			
РС-Г	75	125	225	325	425
225	0,0075	0,016	0,0328	0,0496	0,0665
325	0,0109	0,0231	0,0474	0,0717	0,0961
425	0,0145	0,0307	0,0630	0,0953	0,1277
525	0,0181	0,0383	0,0786	0,1189	0,1593
625	0,0217	0,0459	0,0942	0,1245	0,1909
825	0,0289	0,0611	0,1254	0,1897	0,2541
РС-ВГ					
225	0,007	0,0150	0,0294	0,0437	0,0581
325	0,01	0,0224	0,0393	0,0586	0,0778
425	0,0155	0,0268	0,0523	0,0778	0,1033
525	0,0175	0,0334	0,0652	0,0970	0,1288
625	0,0209	0,04	0,0781	0,1162	0,1544
825	0,0279	0,0532	0,1039	0,1547	0,2054

Скоростной коэффициент  $m = 6,3$ , температурный коэффициент  $n = 5,1$ .

Согласно правилам пожарной профилактики, в жилых, общественных и вспомогательных производственных зданиях высотой до пяти этажей запрещается присоединять к одному вытяжному каналу помещения, расположенные в различных этажах здания. В зданиях же с числом этажей более пяти допускается объединение отдельных вертикальных вытяжных каналов из каждых четырёх-пяти этажей в один сборный магистральный канал. Схемы объединения вытяжных каналов жилого дома показаны на рис. 6.3 [2].

Гравитационное давление систем естественной вентиляции для жилых, общественных и административно-бытовых зданий следует рассчитывать на раз-

ность удельных весов наружного воздуха с температурой 5 °С и температурой внутреннего воздуха при расчётных параметрах для холодного периода года [7].



**Рис. 6.3. Схема вытяжных каналов жилых зданий:**

*a* – отдельные каналы; *б* – каналы, объединённые на чердаке здания;

*в* – каналы, объединённые в этаже и на чердаке;

1 – жалюзийная решётка; 2 – крыша; 3 – зонт (или дефлектор); 4 – сборная вытяжная шахта

Естественное давление  $\Delta p_e$ , Па, определяют по формуле

$$\Delta p_e = h_i \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_v), \quad (6.1)$$

где  $h_i$  – высота воздушного столба, м, принимаемая от центра вытяжного отверстия до устья вытяжной шахты;  $\rho_n$ ,  $\rho_v$  – плотность соответственно наружного и внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

### 6.3. Определение естественного давления и расчёт воздуховодов

Для нормальной работы системы естественной вентиляции необходимо, чтобы было сохранено равенство [2]

$$\sum (Rl\beta + Z)\alpha = \Delta p_e, \quad (6.2)$$

где  $R$  – удельные потери на трение, Па/м;  $l$  – длина воздуховодов (каналов), м;  $Rl$  – потери давления на трение расчётной ветви, Па;  $Z$  – потери давления на местные сопротивления, Па;  $\Delta p_e$  – располагаемое давление, Па;  $\alpha$  – коэффициент запаса, равный 1,1...1,15;  $\beta$  – поправочный коэффициент на шероховатость поверхности.

Расчёту воздуховодов (каналов) должна предшествовать следующая расчётно-графическая работа [2].

1. Определение воздухообмена для каждого помещения по кратностям (согласно СНиП соответствующего здания).

2. Компоновка систем вентиляции. В одну систему объединяют только одноимённые или близкие по назначению помещения. Системы вентиляции квартир, общежитий и гостиниц не совмещают с системами вентиляции детских садов и яслей, торговых и других учреждений, находящихся в том же здании. Санитарные узлы во всех случаях обслуживаются самостоятельными системами и при пяти унитазах и более оборудуются механическими побудителями. В детских садах и яслях рекомендуется устраивать вытяжные системы естественной вентиляции, самостоятельные для каждой группы детей, объединяя помещения с учётом их назначения. В курительных комнатах, как правило, осуществляется механическая вентиляция. Вытяжку из комнат жилого дома с окнами, выходящими на одну сторону, рекомендуется объединять в одну систему.

3. Графическое изображение на планах этажей и чердака элементов системы (каналов и воздуховодов, вытяжных отверстий и жалюзийных решёток, вытяжных шахт). Против вытяжных отверстий помещений указывается количество воздуха, удаляемого по каналу. Транзитные каналы, обслуживающие помещения нижних этажей, рекомендуется обозначать римскими цифрами (I, II, III и т.д.). Все системы вентиляции должны быть пронумерованы.

4. Вычерчивание аксонометрических схем в линиях, или, что лучше, с изображением внешних очертаний всех элементов системы. На схемах в кружке у выносной черты проставляется номер участка, над чертой указывается нагрузка участка,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , а под чертой – длина участка, м. Аэродинамический расчёт воздуховодов (каналов) выполняют по таблицам или номограммам, составленным для стальных воздуховодов круглого сечения при  $\rho_{\text{в}} = 1,205 \text{ кг/м}^3$ ,  $t_{\text{в}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ . В них взаимосвязаны величины  $L$ ,  $R$ ,  $v$ ,  $h_v$  и  $d$ .

Аэродинамический расчёт воздуховодов системы вентиляции сводится к [2]:

– определению размеров воздуховодов, каналов отдельных участков сети, обеспечивающих перемещение требуемого количества воздуха;

– определению суммарного сопротивления, возникающего при движении воздуха в магистральной сети, для определения в дальнейшем расчётного давления, создаваемого вентилятором;

– возможной увязке потерь давления на отдельных участках сети воздуховодов.

Наименьшая скорость движения воздуха в системах с механическим побуждением, с учётом акустических требований, принимается на участках перед обслуживаемыми помещениями (3...5 м/с), наибольшая – в магистральных воздуховодах перед вентиляционными установками (до 7...9 м/с). В системах естественной вентиляции скорость движения воздуха, как правило, не превышает 0,9...1,1 м/с.

Аэродинамический расчёт ведётся преимущественно по методу удельных потерь. Расчётные потери давления в наиболее протяжённой и нагруженной магистральной сети воздуховодов  $\Delta p^p$ , Па ( $\text{кг/м}^2$ ), представляют сумму потерь давления на каждом расчётном участке магистрали

$$\Delta p^p = \Sigma (\Delta p_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{мс}}) = \Sigma [R_{\text{тр}} l \beta_{\text{ш}} + \Sigma \xi (v^2 \rho / 2)], \quad (6.3)$$

где  $\Delta p_{\text{тр}}$  и  $\Delta p_{\text{мс}}$  – потери давления, Па ( $\text{кг/м}^2$ ), на расчётном участке соответственно по длине  $l$ , м, и в местных сопротивлениях;  $R_{\text{тр}}$  – удельные потери на трение, Па/м ( $\text{кг/м}^2 \cdot \text{м}$ ), определяемые по таблицам, номограммам [7] или расчётным путём;  $\beta_{\text{ш}}$  – коэффициент, учитывающий шероховатость внутренней поверхности воздуховода, канала;  $\Sigma \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений в долях динамического давления, определяемых экспериментально и принимаемых по табл. Ж1 приложения Ж;  $v$  – скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с;  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ .

Таблицы и номограммы [7] для определения  $R_{\text{тр}}$  составлены для круглых воздуховодов. Поэтому при применении воздуховодов прямоугольной формы пользуются понятием «эквивалентный диаметр» прямоугольного воздуховода, при котором потери на трение  $R_{\text{тр}}$  в круглом и прямоугольном воздуховодах равны.

Номограмма для расчёта стальных воздуховодов круглого сечения системы естественной вентиляции показана на рис. 6.4.

Чтобы воспользоваться номограммой для расчёта воздуховода прямоугольного сечения, необходимо предварительно определить соответствующую величину эквивалентного диаметра, т. е. такого диаметра круглого воздуховода, при котором для той же скорости движения воздуха, как и в прямоугольном воздуховоде, удельные потери давления на трение были бы равны. Обычно эквивалентный диаметр  $d_3$ , м, определяют по формуле, исходя из равенства скоростей в воздуховодах

$$d_3 = \frac{2ab}{a+b}, \quad (6.4)$$

где  $a$ ,  $b$  – размеры сторон прямоугольного воздуховода, м.

Эквивалентные по трению диаметры для кирпичных каналов приведены в табл. 6.2 [2].

Таблица 6.2 – Эквивалентные по трению диаметры для кирпичных каналов [19]

Размер в кирпичах	Площадь, $\text{м}^2$	$d_3$ , мм
1/2×1/2	0,02	140
1/2×1	0,038	180
1×1	0,073	225
1×1 1/2	0,11	320
1×2	0,14	375
2×2	0,28	545

Примечание. Для каналов квадратного сечения эквивалентный по трению диаметр  $d_3$  равен стороне квадратного канала  $a$ .

Если воздуховоды имеют шероховатую поверхность, то коэффициент трения для них, а следовательно, и удельные потери давления на трение будут соответственно больше, чем указано в таблице или номограмме для стальных воздуховодов.

Поправочные коэффициенты на шероховатость поверхности воздуховода приведены в табл. 6.3 [2].

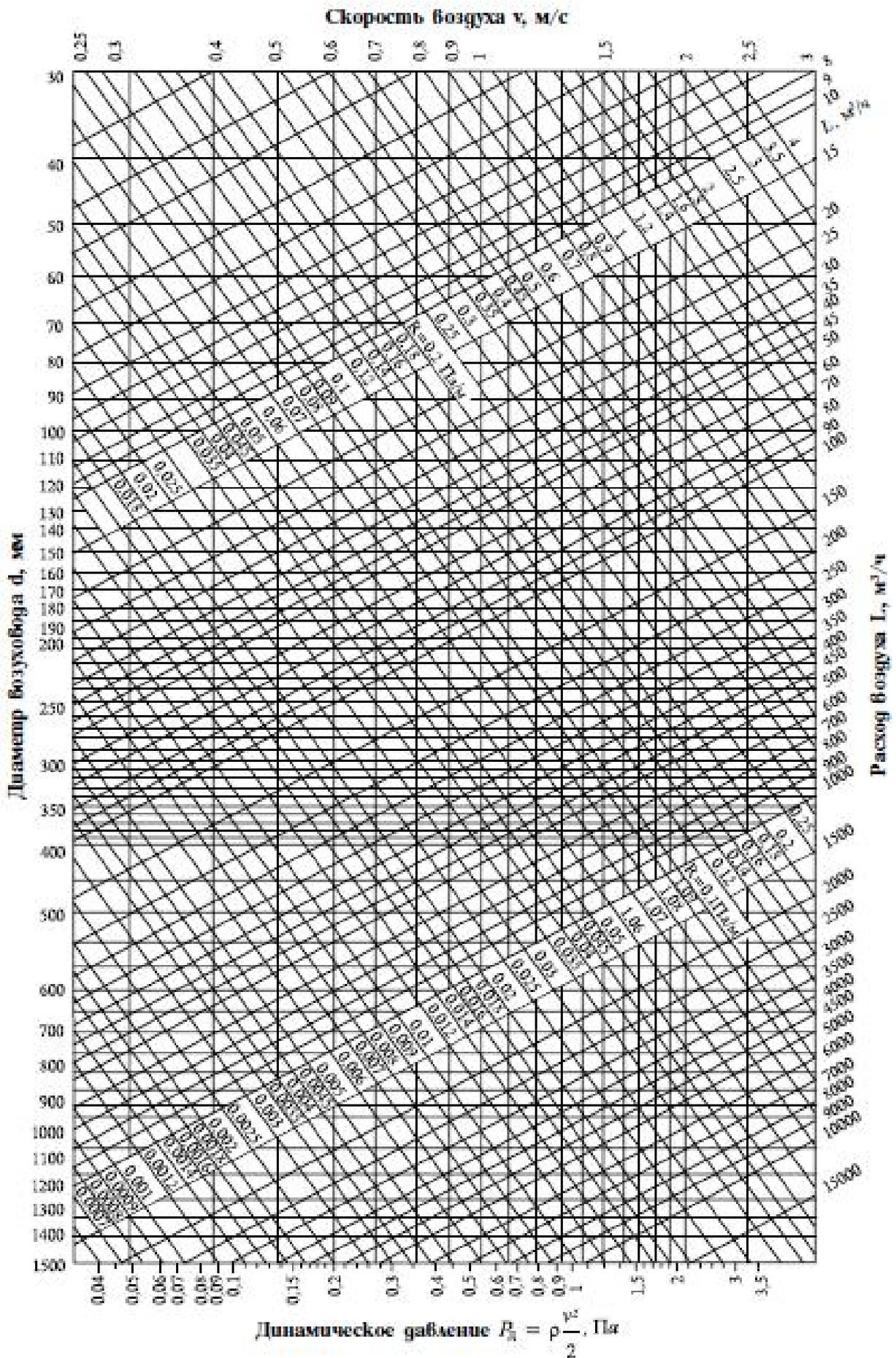


Рис. 6.5. Номограмма для расчёта круглых стальных воздуховодов [7]

Таблица 6.3 – Значение коэффициентов шероховатости  $\beta$  [19]

Скорость движения воздуха, м/с	Значение коэффициентов шероховатости $\beta$ материала трубопровода из:			
	гипсошлак	шлакобетона	кирпича	штукатурки по сетке
0,4	1,08	1,11	1,25	1,48
0,8	1,13	1,19	1,4	1,69
1,2	1,18	1,25	1,5	1,84
1,6	1,22	1,31	1,58	1,95
2	1,25	1,35	1,65	2,04
2,4	1,28	1,38	1,7	2,11
3	1,32	1,43	1,77	2,2
4	1,37	1,49	1,86	2,32
5	1,41	1,54	1,93	2,41
6	1,44	1,58	1,98	2,48
7	1,47	1,61	2,03	2,54
8	1,49	1,64	2,06	2,58

Методика расчёта воздухопроводов (каналов) систем естественной вентиляции может быть представлена в следующем виде [2, 19].

1. При заданных объёмах воздуха, подлежащего перемещению по каждому участку каналов, принимают скорость его движения.

2. По объёму воздуха и принятой скорости определяют предварительно площадь сечения каналов. Потери давления на трение и местные сопротивления для таких сечений каналов находят по таблицам или номограммам.

3. Сравнивают полученные суммарные сопротивления с располагаемым давлением. Если эти величины совпадают, то предварительно полученные площади сечения каналов могут быть приняты как окончательные. Если же потери давления оказались меньше или больше располагаемого давления, то площадь сечения каналов следует увеличить или, наоборот, уменьшить, т.е. поступать также, как при расчёте трубопроводов системы отопления.

При предварительном определении площади сечений каналов систем естественной вентиляции можно задаться следующими скоростями движения воздуха: в вертикальных каналах верхнего этажа  $v = 0,5 \dots 0,6$  м/с, из каждого нижерасположенного этажа на  $0,1$  м/с больше, чем из предыдущего, но не выше  $1$  м/с; в сборных воздухопроводах  $v \geq 1$  м/с и в вытяжной шахте  $v = 1 \dots 1,5$  м/с.

Если при расчёте воздухопроводов задана площадь сечения каналов и известен часовой расход воздуха, то скорость  $v$ , м/с, определяется по формуле

$$v = \frac{L}{3600 \cdot f}, \quad (6.5)$$

где  $L$  – объём вентиляционного воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  $f$  – площадь сечения канала или воздухопровода, м<sup>2</sup>.

Потери давления на местные сопротивления

$$Z = \sum \xi h_v, \quad (6.6)$$

где  $\sum \xi$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений;  $h_v$  – динамическое давление, Па.

Динамическое давление  $h_v$  определяется по дополнительной шкале номограммы для расчёта воздухопроводов (приведена с правой стороны номограммы на рис. 6.4).

Местные сопротивления в системе вентиляции во многих случаях существенно зависят от соотношений размеров фасонных частей и других вентиляционных элементов, а в тройниках-крестовинах – от соотношений соединяемых или делимых потоков.

**Пример 6.1.** Рассчитать воздуховоды системы естественной вытяжной вентиляции, обслуживающей кабинеты двухэтажного здания поликлиники [2, 19]. Аксонометрическая схема системы вентиляции с указанием объёма воздуха, проходящего по каждому участку, длин и номеров участков показана на рис. 6.5.

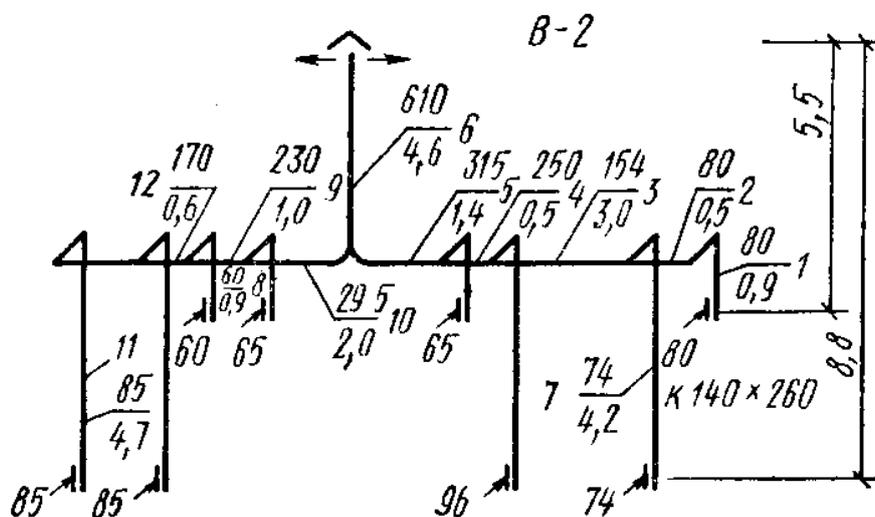


Рис. 6.5. Схема системы вытяжной вентиляции

Воздух удаляется из верхней зоны помещений на высоте 0,5 м от потолка. Высота этажей, включая толщину перекрытия, составляет 3,3 м. Высота чердака под коньком крыши равна 3,6 м.

**Порядок расчёта.** Температура наружного воздуха для расчёта вытяжной системы естественной вентиляции принимается равной 5 °С ( $\rho_5 = 1,27 \text{ кг/м}^3$ ). Внутренняя температура воздуха во врачебных кабинетах согласно СНиП должна быть равна 20 °С ( $\rho_{20} = 1,205 \text{ кг/м}^3$ ). При высоте чердака 3,6 м принимаем высоту вытяжной шахты, исчисляя её от оси горизонтального воздуховода до устья шахты, 4,6 м.

Располагаемое естественное давление в системе вентиляции для помещений второго этажа согласно формуле (6.1)

$$\Delta p_2 = 5,5 \cdot 9,8 \cdot (1,27 - 1,205) = 3,50 \text{ Па,}$$

а для помещений первого этажа

$$\Delta p_1 = 8,8 \cdot 9,8 \cdot (1,27 - 1,205) = 5,61 \text{ Па.}$$

Расчёт воздухопроводов начинаем с наиболее неблагоприятно расположенного канала, для которого возможные удельные потери давления имеют наименьшее значение.

Из схемы системы вентиляции видно, что таким будет канал второго этажа правой ветки, обозначенный № 1.

Действительно, возможные удельные потери давления для участков 1, 2, 3, 4, 5 и 6 при общей их длине

$$\sum l = 0,9 + 0,5 + 3 + 0,5 + 1,4 + 4,6 = 10,9 \text{ м}$$

будут

$$\Delta p_{\text{уд2}} = \frac{3,50}{10,9} = 0,32 \text{ Па,}$$

а для участков 7, 3, 4, 5 и 6 при общей их длине

$$\sum l = 4,2 + 3 + 0,5 + 1,4 + 4,6 = 13,7 \text{ м}$$

$$\Delta p_{\text{уд2}} = \frac{5,61}{13,7} = 0,41 \text{ Па.}$$

Приступаем к расчётам участков 1, 2, 3, 4, 5 и 6, для которых удельные потери давления получились меньше.

**Участок 1.** Для определения площади сечения канала участка 1 задаёмся скоростью движения воздуха в нём 0,6 м/с. При этой скорости и количестве удаляемого воздуха по каналу  $L = 80 \text{ м}^3/\text{ч}$  площадь сечения канала  $f, \text{ м}^2$ , из формулы (6.5) должна быть

$$f = \frac{80}{3600 \cdot 0,6} = 0,037 \text{ м}^2.$$

Принимаем по табл. 6.2 для участка 1 кирпичный канал  $\frac{1}{2} \times 1$  кирпич. Площадь сечения канала с учётом швов  $f = 0,038 \text{ м}^2$ . При этой площади сечения фактически скорость движения воздуха  $v, \text{ м/с}$ , по формуле (6.5)

$$v = \frac{80}{3600 \cdot 0,038} = 0,58 \text{ м/с.}$$

Так как этот канал прямоугольного сечения, для определения потерь давления на трение необходимо установить по табл. 6.1 эквивалентный диаметр. Он будет равен 180 мм.

Пользуясь приведённой номограммой (рис. 6.4), находим, что при скорости движения воздуха 0,58 м/с в воздуховоде диаметром 180 мм потери давления на трение на 1 м воздуховода равны 0,04 Па, а на всём участке 1 длиной 0,9 м с учётом коэффициента шероховатости (табл. 6.3)

$$Rl\beta = 0,04 \cdot 0,9 \cdot 1,32 = 0,047 \text{ Па.}$$

Далее по приложению Ж находим сумму коэффициентов местных сопротивлений участка:

- вход в жалюзийную решётку с поворотом потока  $\xi = 2$ ;
- два прямоугольных колена в верхней части канала  $\xi = 2 \cdot 1,26 = 2,52$ .

Сумма коэффициентов местных сопротивлений для участка 1

$$\sum \xi = 2 + 2,52 = 4,52.$$

Динамическое давление  $h_v$  находим по скорости движения воздуха 0,58 м/с по номограмме (рис. 6.4),  $h_v = 0,19 \text{ Па}$ .

Потери давления на местные сопротивления  $Z$  участка  $1$  определяем, умножая величину  $\sum \xi$  на  $h_v$ ,

$$Z = 4,52 \cdot 0,19 = 0,86 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке  $1$  составляют

$$R/\beta + Z = 0,047 + 0,86 = 0,91 \text{ Па.}$$

**Участок 2.** На участках  $1$  и  $2$  количество движущегося воздуха одинаково ( $80 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), но площади сечения кирпичного канала и горизонтального гипсошлакового короба разные.

Горизонтальный гипсошлаковый короб принимаем размером  $220 \times 220 \text{ мм}$  ( $f = 0,048 \text{ м}^2$ ). Эквивалентный диаметр  $d_3 = 220 \text{ мм}$ . Скорость движения воздуха на участке

$$v = \frac{L}{3600f} = \frac{80}{3600 \cdot 0,048} = 0,47 \text{ м/с,}$$

что при длине участка  $0,5 \text{ м}$  можно допустить, учитывая, что шлакогипсовые двойные короба не изготавливаются размером меньшим, чем  $220 \times 220 \text{ мм}$ .

При  $d_3 = 220 \text{ мм}$  и  $v = 0,47 \text{ м/с}$  потери давления на трение на этом участке с учётом коэффициента шероховатости

$$R/\beta = 0,046 \cdot 0,5 \cdot 1,09 = 0,014 \text{ Па.}$$

На участке  $2$  имеется лишь одно местное сопротивление через тройник. По приложению Ж находим, что сопротивление тройника на проход  $\zeta = 1,15$ .

Динамическое давление  $h_v$  при  $v = 0,47 \text{ м/с}$  равно  $0,13 \text{ Па}$ . Потери давления на местные сопротивления

$$Z = 1,15 \cdot 0,13 = 0,15 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке  $2$

$$R/\beta + Z = 0,014 + 0,15 = 0,16 \text{ Па.}$$

**Участок 3.** Согласно данным, приведённым выше, задаёмся скоростью движения воздуха на участке  $3$  в  $1 \text{ м/с}$ . Тогда при количестве удаляемого воздуха  $L = 154 \text{ м}^3/\text{ч}$  по участку  $3$  площадь сечения короба должна быть равна

$$f = \frac{154}{3600 \cdot 1} = 0,043 \text{ м}^2.$$

Принимаем короб из гипсошлаковых плит размером  $220 \times 220 \text{ мм}$ , эквивалентный диаметр  $d_3 = 220 \text{ мм}$ ; фактическая скорость движения воздуха в воздуховоде будет  $v = 0,89 \text{ м/с}$ . При этих условиях потери давления на трение на участке

$$R/\beta = 0,065 \cdot 3 \cdot 1,14 = 0,22 \text{ Па.}$$

На участке  $3$  имеется лишь одно местное сопротивление при проходе через тройник.

По приложению Ж интерполяцией находим, что коэффициент местного сопротивления тройника  $\zeta = 0,65$ ; динамическое давление при  $v = 0,89 \text{ м/с}$  равно  $0,49 \text{ Па}$ .

Потери давления на местные сопротивления участка  $3$

$$Z = 0,65 \cdot 0,49 = 0,32 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке  $3$  составляют

$$R/\beta + Z = 0,22 + 0,32 = 0,54 \text{ Па.}$$

**Участок 4.** На участке 4 размер воздуховода принимаем 300×300 мм. При количестве удаляемого воздуха  $L = 250 \text{ м}^3/\text{ч}$  и площади сечения воздуховода  $f = 0,09 \text{ м}^2$  скорость равна

$$v = \frac{L}{3600f} = \frac{250}{3600 \cdot 0,09} = 0,77 \text{ м/с.}$$

При  $d_3 = 300 \text{ мм}$  и  $v = 0,77 \text{ м/с}$  потери давления на трение на участке 4

$$Rl\beta = 0,034 \cdot 0,5 \cdot 1,12 = 0,02 \text{ Па.}$$

На участке 4 имеется тройник на проходе, коэффициент местного сопротивления  $\zeta = 0,4$ .

Динамическое давление при скорости удаляемого воздуха 0,77 м/с равно 0,37 Па. Потери давления на местное сопротивление участка 4 (в тройнике)

$$Z = 0,4 \cdot 0,37 = 0,15 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке 4

$$Rl\beta + Z = 0,02 + 0,15 = 0,17 \text{ Па.}$$

**Участок 5.** На участке 5 размеры короба не изменяем, и скорость воздуха на этом участке

$$v = \frac{L}{3600f} = \frac{315}{3600 \cdot 0,09} = 0,97 \text{ м/с.}$$

При  $v = 0,97 \text{ м/с}$  и  $d_3 = 300 \text{ мм}$  потери давления на трение составляют

$$Rl\beta = 0,052 \cdot 1,4 \cdot 1,15 = 0,084 \text{ Па.}$$

На участке 5 имеется тройник на всасывание с  $\zeta = 0,8$ . Динамическое давление при скорости движения воздуха 0,97 м/с равно 0,57 Па.

Потери давления на местное сопротивление на участке 5

$$Z = 0,8 \cdot 0,57 = 0,46 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке 5

$$Rl\beta + Z = 0,084 + 0,46 = 0,54 \text{ Па.}$$

**Участок 6.** На участке 6 размер короба увеличиваем до 400×400 мм, так как суммарное количество воздуха, удаляемого системой вентиляции, равно 610 м<sup>3</sup>/ч.

Фактическая скорость движения воздуха в шахте

$$v = \frac{L}{3600f} = \frac{610}{3600 \cdot 0,16} = 1,06 \text{ м/с.}$$

При  $v = 1,06 \text{ м/с}$  и  $d_3 = 400 \text{ мм}$  потери давления на участке составляют

$$Rl\beta = 0,043 \cdot 4,6 \cdot 1,16 = 0,23 \text{ Па.}$$

На участке 6 имеется два вида местного сопротивления – утеплённый клапан и деревянная утеплённая шахта с зонтом. Коэффициент местного сопротивления  $\zeta$  утеплённого клапана 0,1, а вытяжной шахты с зонтом – 1,3.

Динамическое давление при скорости движения воздуха 1,06 м/с равно  $h_v = 0,66 \text{ Па}$ .

Потери давления на преодоление местных сопротивлений

$$Z = 1,4 \cdot 0,66 = 0,92 \text{ Па.}$$

Общие потери давления на участке 6

$$Rl\beta + Z = 0,23 + 0,92 = 1,15 \text{ Па.}$$

Суммарные потери давления в ветке

$$\sum(R/\beta + Z) = 0,91 + 0,16 + 0,54 + 0,17 + 0,54 + 1,15 = 3,47 \text{ Па}$$

при располагаемом давлении в системе для второго этажа  $\Delta p_2 = 3,53 \text{ Па}$ .

Дальнейший подбор площади сечений каналов и короба должен быть произведён с увязкой потерь давления. Так, например, для участка 7 канала, обслуживающего кабинет первого этажа, необходимо из общего давления  $\Delta p_1 = 5,59 \text{ Па}$  вычесть потери давления на участках 3, 4, 5, 6, которые мы уже рассчитали.

В результате будем иметь

$$5,59 - (3,47 - 1,07) = 3,19 \text{ Па.}$$

Потери давления на участке 7 составляют 0,67 Па (табл. 6.4), т. е. избыточное давление на этом участке

$$3,20 - 0,67 = 2,53 \text{ Па.}$$

Потери давления на участках 8, 9 и 10 должны быть равны располагаемому давлению для каналов второго этажа за вычетом потерь давления в вытяжной шахте, которая уже определена (см. участок 6). Потери давления на участках 11 и 12 должны быть равны располагаемому давлению для каналов первого этажа, уменьшенному на суммарные потери давления участков 6, 9 и 10. Сечение канала 13 подбирается по располагаемому давлению для первого этажа за вычетом суммарной потери давления на участках 12, 10, 9 и 6. В процессе расчёта воздуховодов системы вентиляции заполняются специальные таблицы (табл. 6.4 и 6.5) [2].

Таблица 6.4 – Результаты расчёта воздуховодов системы естественной вытяжной вентиляции

№ участка	$L, \text{ м}^3/\text{ч}$	$l, \text{ м}$	$a \times b, \text{ мм}$	$d, \text{ м}$	$f, \text{ м}^2$	$v, \text{ м/с}$	$R, \text{ Па/м}$	$R/\beta, \text{ Па}$	$h_v, \text{ Па}$	$\Sigma \zeta$	$Z, \text{ Па}$	$R/\beta + Z, \text{ Па}$
1	80	0,9	140×270	180	0,038	0,58	0,04	0,047	0,19	4,52	0,86	0,91
2	80	0,5	220×220	220	0,048	0,47	0,026	0,014	0,13	1,15	0,15	0,16
3	154	3	220×220	220	0,048	0,89	0,065	0,22	0,49	0,65	0,32	0,54
4	250	0,5	300×300	300	0,09	0,77	0,034	0,020	0,37	0,4	0,15	0,17
5	315	1,4	300×300	300	0,09	0,97	0,52	0,084	0,57	0,8	0,46	0,54
6	610	4,6	400×400	400	0,16	1,06	0,043	0,023	0,66	1,4	$\Sigma = \frac{0,92}{2,86}$	$\Sigma = \frac{1,15}{3,48}$
7	74	4,2	140×270	180	0,038	0,54	0,035	0,15	0,18	2,88	0,52	0,67

Таблица 6.5 – Значение коэффициентов местного сопротивления  $\zeta$  [7]

№ участка	Местное сопротивление	$\zeta$	$\Sigma \zeta$
1	Вход в жалюзийную решётку с поворотом потока	2	4,52
	Колено прямоугольное 2×1,26	2,52	
2	Тройник на проход	1,15	1,15
3	То же	0,65	0,65
4	Тройник на проход	0,4	0,4
5	Тройник на всасывание	0,8	0,8
6	Клапан утеплённый	0,1	1,4
	Шахта с зонтом	1,3	

## 6.4. Оборудование системы вентиляции

*Вентиляторы*, приточные камеры, воздухонагреватели, фильтры, клапаны, шумоглушители и т.д. следует выбирать по расчётному расходу воздуха с учётом подсосов и потерь через неплотности в оборудовании и в воздуховодах вытяжных систем до вентилятора и приточных систем после вентилятора [2, 19].

Вентиляторы подразделяются:

- по конструктивному решению: на радиальные (центробежные) и осевые;
- по развиваемому давлению: низкого (до 1 кПа), среднего (до 3 кПа) и высокого (до 12 кПа) давления;
- по условиям эксплуатации: на вентиляторы общего назначения из углеродистой, оцинкованной стали, пластмассы – для перемещения чистого или мало запылённого воздуха (не более  $100 \text{ мг/м}^3$ ) и неагрессивных газоздушных смесей с температурой до  $80 \text{ }^\circ\text{C}$  и специальные (из разнородных материалов, сплавов) – для перемещения газопаровоздушных, взрывоопасных смесей с агрессивными примесями;
- по схеме соединения с электродвигателем: непосредственно с электродвигателем на одной оси, с помощью эластичной муфты и клиноременной передачи;
- по вращению: правого и левого (со стороны всасывания);
- по назначению, расположению в сети воздуховодов: на бытовые, каналные, крышные.

Бытовые вентиляторы предназначены для удаления воздуха непосредственно (без воздуховодов или по воздуховодам) из помещений жилых, офисных и административно-бытовых зданий, создания подвижности и перемешивания воздуха в помещениях или усиления тяги и удаления дыма с температурой до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Канальные вентиляторы (осевые, диагональные, в корпусе неизолированном и изолированном), устанавливаемые в круглых каналах, воздуховодах, выполняются из гальванизированной или оцинкованной стали, могут устанавливаться в любом положении.

В крупных системах общеобменной и технологической вентиляции и кондиционирования воздуха используются вентиляторы радиальные (центробежные) на одной оси с электродвигателем (или с прямым приводом) и с клиноременной передачей с односторонним или двухсторонним всасыванием воздуха.

Подбор вентилятора выполняется в соответствии со следующими исходными данными:

- количество перемещаемого воздуха, газопаровоздушной среды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;
- давление, необходимое для преодоления сопротивления на всём пути перемещения воздуха, среды, Па;
- температура удаляемого из помещения воздуха, среды,  $^\circ\text{C}$ ;
- химический и пылевой состав удаляемого из помещения воздуха, среды;
- класс опасности вредных веществ, содержащихся в удаляемом из помещения воздухе, среде [19].

## Приложение А – Варианты заданий для курсовой работы

### Задание 1

#### Магазин строительных товаров

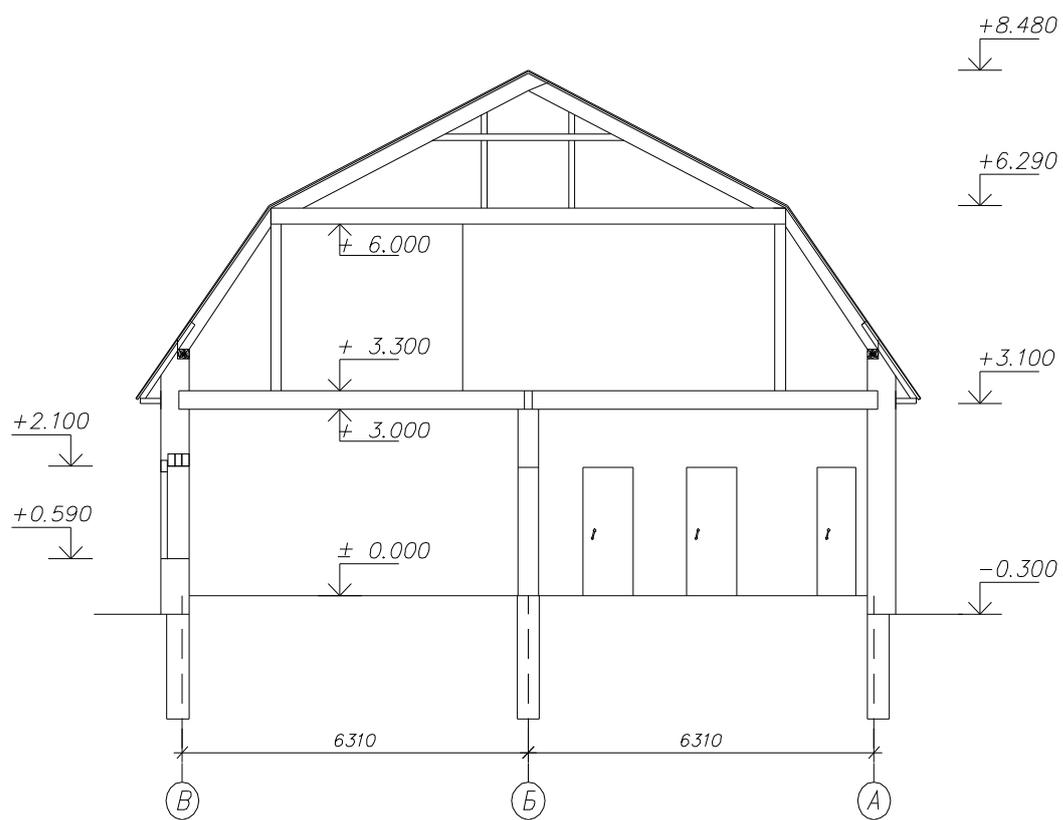
Экспликация помещений:

- 1 – торгово-выставочный зал;
- 2 – гардероб;
- 3 – санузел;
- 4 – коридор;
- 5 – склад стройматериалов;
- 6 – склад металлов;
- 7 – склад сантехнических товаров;
- 8 – топочная;
- 9 – бухгалтерия;
- 10 – бытовое помещение;
- 11 – склад хозяйственного инвентаря.

Исходные данные для проектирования принять из нижеследующей табл. А1 по заданному преподавателем номеру варианта. Основные особенности устройства и размеры наружных стен, полов, перекрытий, кровли, окон и дверей, типы систем теплоснабжения, отопления и вентиляции, а также другие сведения, необходимые для выполнения расчётов, приведены в табл. А1 вариантов задания.

Таблица А1 – Исходные данные для задания 1

№ п/п	Исходные данные для проектирования	1	2	3	4	5
1	Наружные стены (табл. А6)	А	Б	В	Г	Д
2	Полы (табл. А7)	А1	Д1	В2	Д2	Б1
3	Перекрытия и кровля (табл. А8)	Е1	Ж1	З1	Е2	Ж2
4	Окна (табл. А9)	Б3	А2	Б2	В1	А3
5	Наружные двери (табл. А10)	А1	Б1	В1	В3	Б3
6	Район строительства (табл. А11)	Б2	В4	Г5	П1	Д4
7	Система теплоснабжения (табл. А12)	А	Б	В	А	Б
8	Система отопления (табл. А13)	Б	Б	Б	Б	А
9	Нагревательные приборы (табл. А14)	Г3	Е2	В3	А2	А3
10	Элементы системы отопления для детального вычерчивания (табл. А15)	А	Б	В	Г	Д



**Рис. А1.1. Фасад магазина строительных товаров**

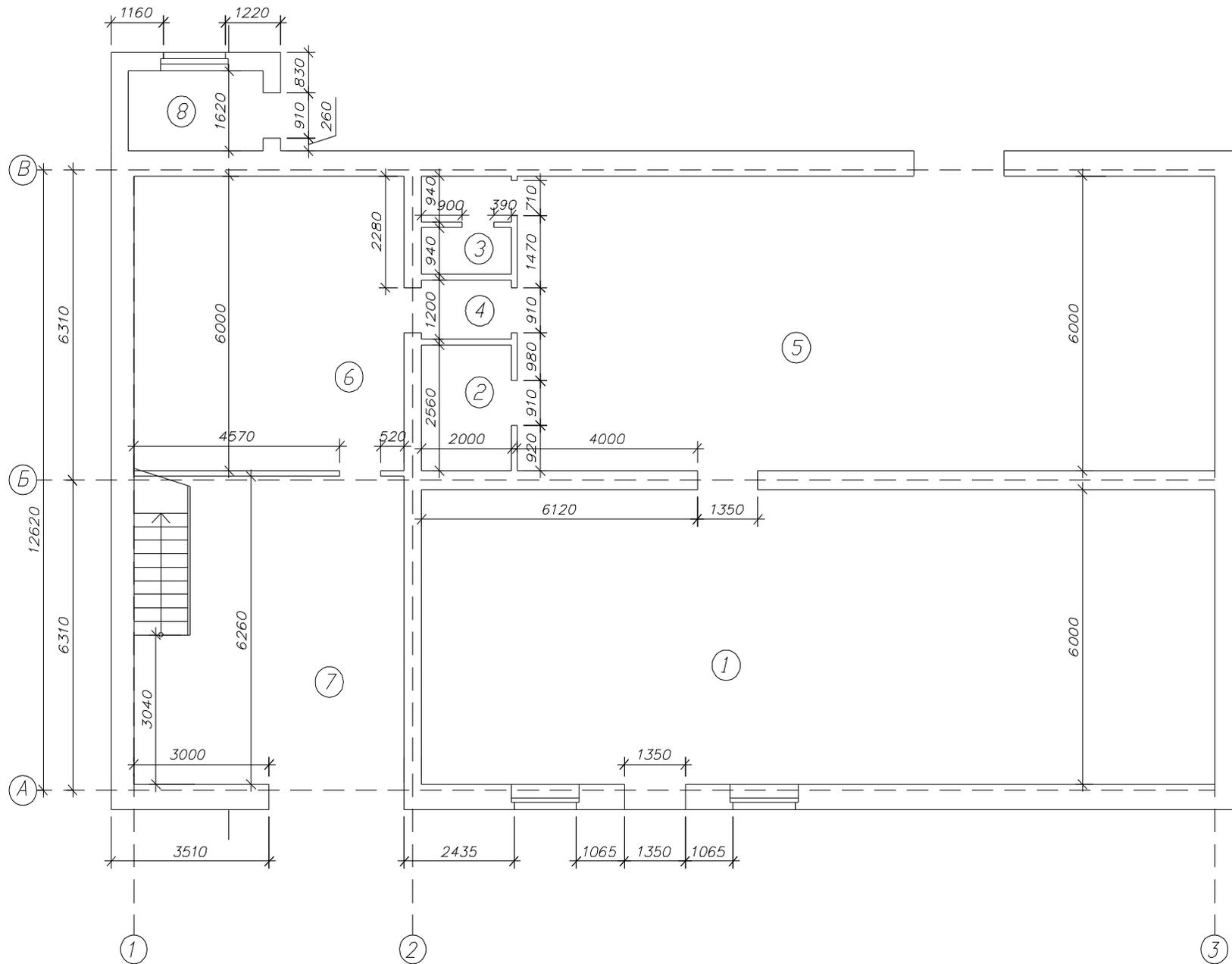
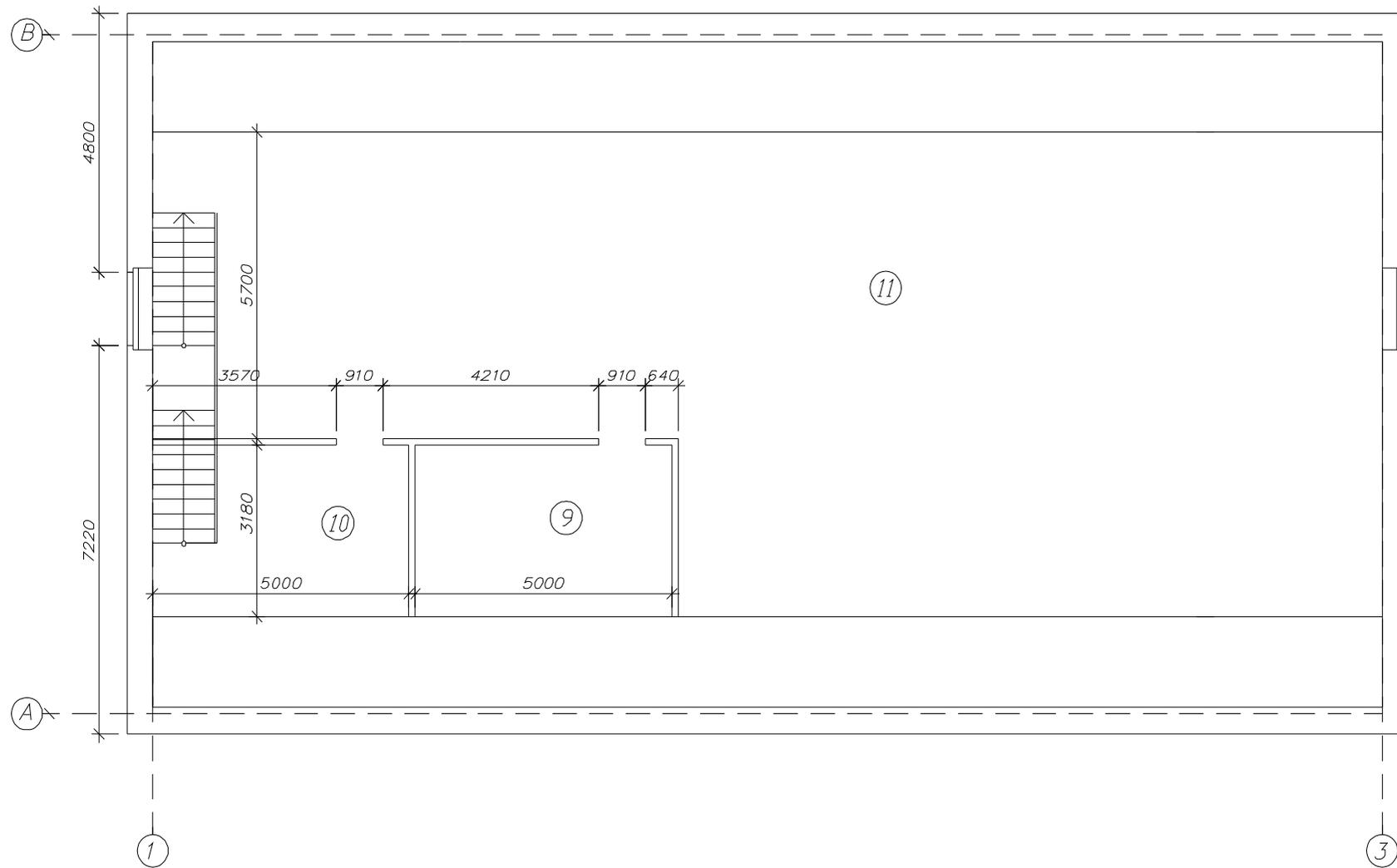


Рис. А1.2. План 1-го этажа



**Рис. А1.3. План 2-го этажа (мансарда)**

## Задание 2

### Магазин смешанных товаров

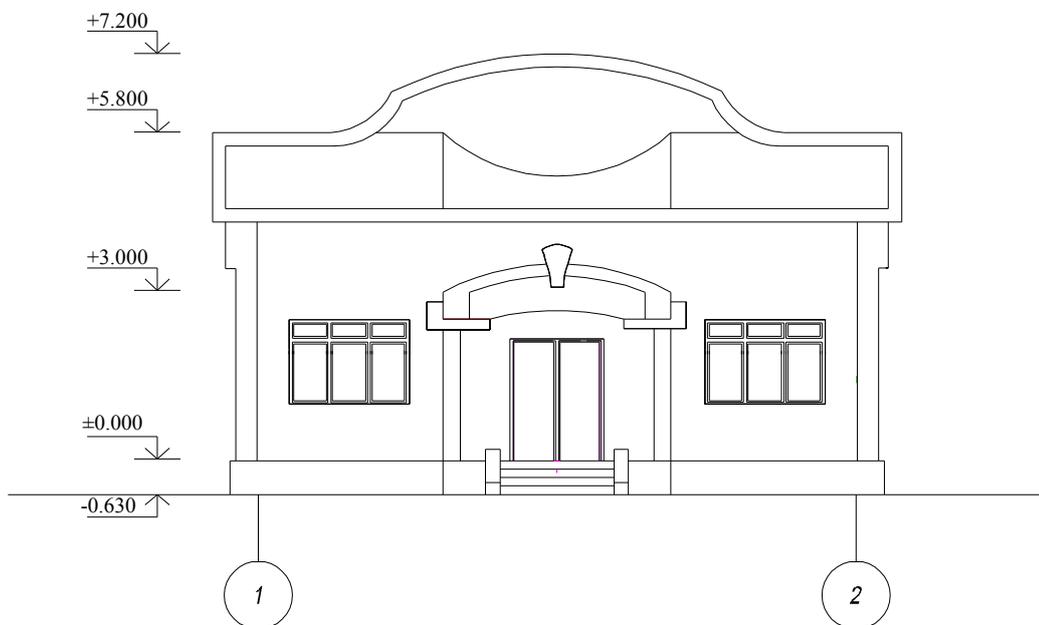
Экспликация помещений:

- 1 – торговый зал;
- 2 – кладовая промтоваров;
- 3 – бытовое помещение;
- 4 – моечная инвентаря;
- 5 – топочная;
- 6 – санузел;
- 7 – коридор;
- 8 – тамбур.

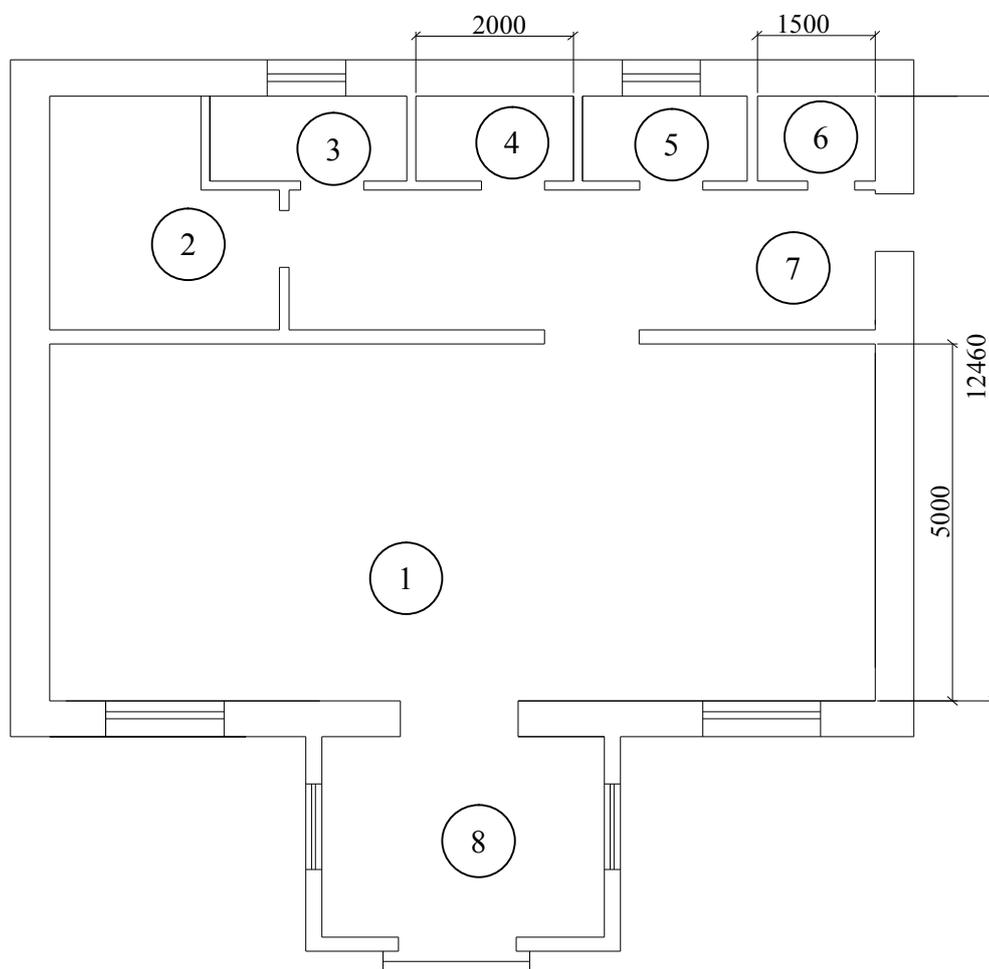
Исходные данные для проектирования принять из нижеследующей табл. А2 по заданному преподавателем номеру варианта. Основные особенности устройства и размеры наружных стен, полов, перекрытий, кровли, окон и дверей, типы систем теплоснабжения, отопления и вентиляции, а также другие сведения, необходимые для выполнения расчётов, приведены в табл. А2 вариантов задания.

Таблица А2 – Исходные данные для задания 2

№ п/п	Исходные данные для проектирования	1	2	3	4	5
1	Наружные стены (табл. А6)	А	Б	В	Г	Д
2	Полы (табл. А7)	Г3	А2	Д3	А3	В2
3	Перекрытия и кровля (табл. А8)	Е2	Ж2	З2	Е1	Ж4
4	Окна (табл. А9)	Б1	Б2	А2	В3	А1
5	Наружные двери (табл. А10)	В1	В3	А1	А3	Б1
6	Район строительства (табл. А11)	Р3	Н5	А2	М1	И4
7	Система теплоснабжения (табл. А12)	Б	В	А	А	А
8	Система отопления (табл. А13)	Б	В	А	В	В
9	Нагревательные приборы (табл. А14)	Б2	В1	А4	Б3	А3
10	Элементы системы отопления для детального вычерчивания (табл. А15)	А	Б	В	Г	Д



**Рис. А2.1. Фасад магазина смешанных товаров**



**Рис. А2.2. План здания**

### Задание 3

#### Двухэтажное жилое здание

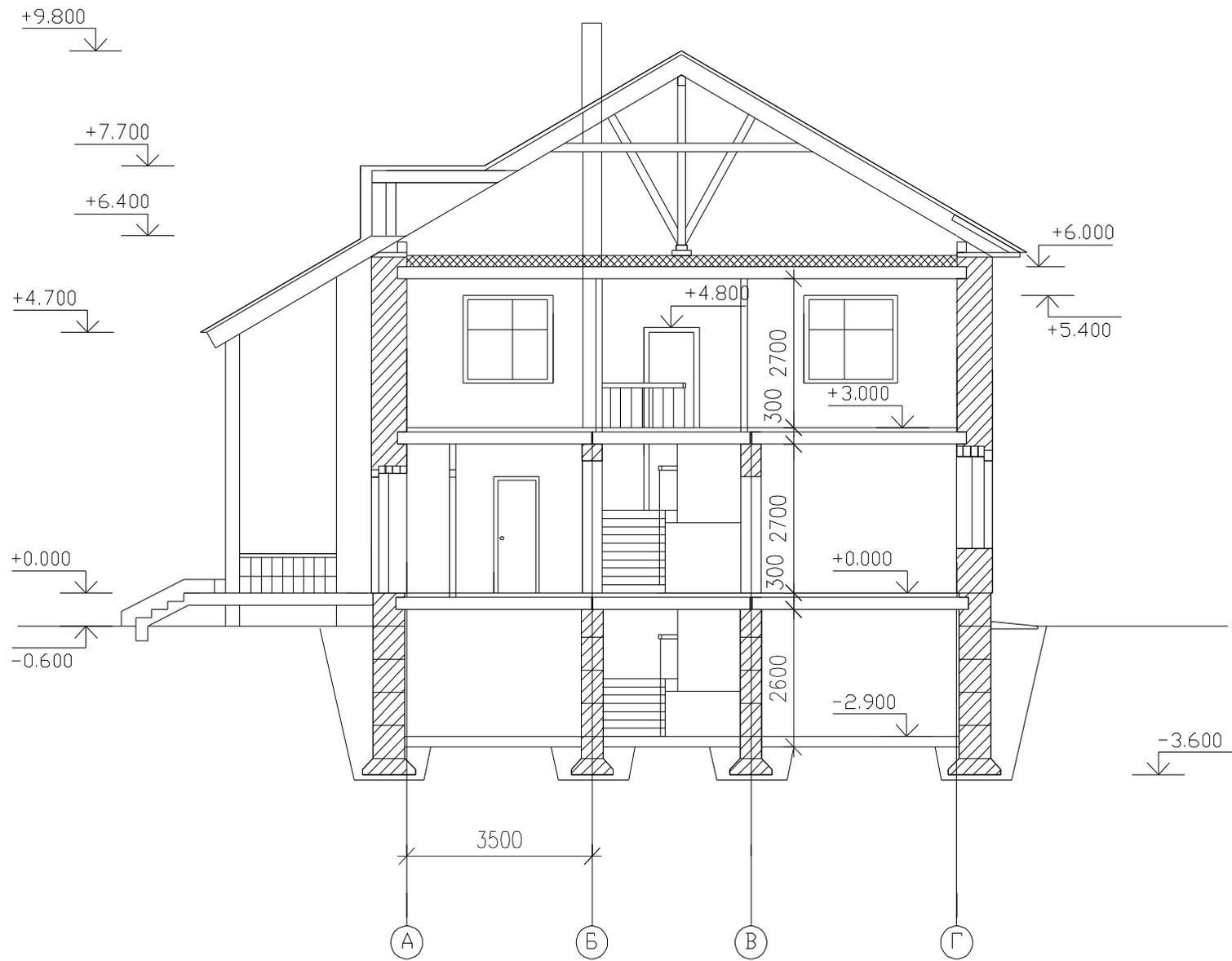
Экспликация помещений:

- 1 – гостевая;
- 2 – сауна;
- 3 – кухня-столовая;
- 4 – холл;
- 5 – санузел;
- 6 – топочная;
- 7 – холл;
- 8 – прихожая;
- 9 – гостиная;
- 10 – открытая терраса;
- 11 – терраса;
- 12 – оранжерея;
- 13 – спальня;
- 14 – холл;
- 15 – санузел;
- 16 – спальня;
- 17 – спальня;
- 18 – балкон.

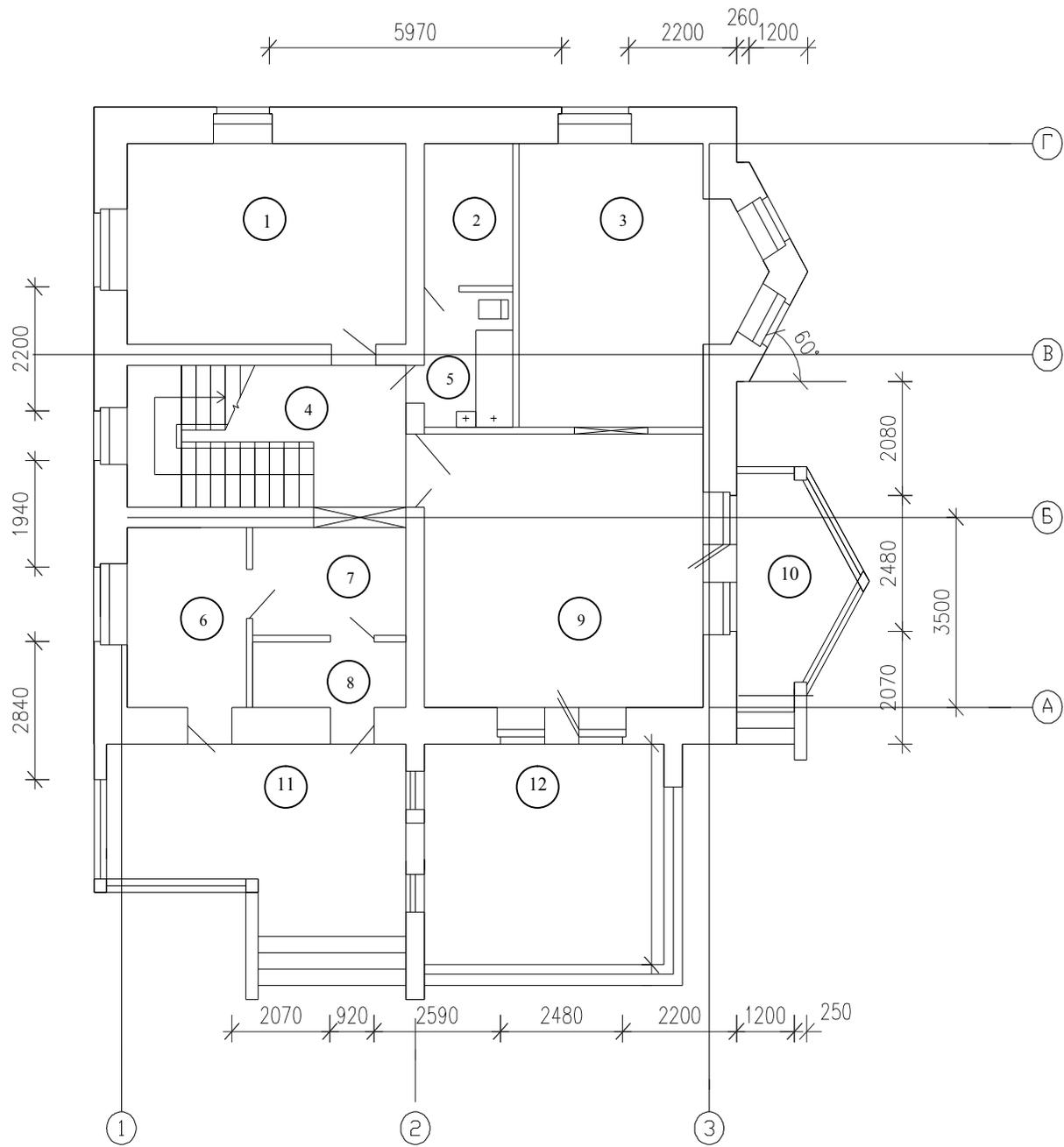
Исходные данные для проектирования принять из нижеследующей табл. А3 по заданному преподавателем номеру варианта. Основные особенности устройства и размеры наружных стен, полов, перекрытий, кровли, окон и дверей, типы систем теплоснабжения, отопления и вентиляции, а также другие сведения, необходимые для выполнения расчётов, приведены в табл. А3 вариантов задания.

Таблица А3 – Исходные данные для задания 3

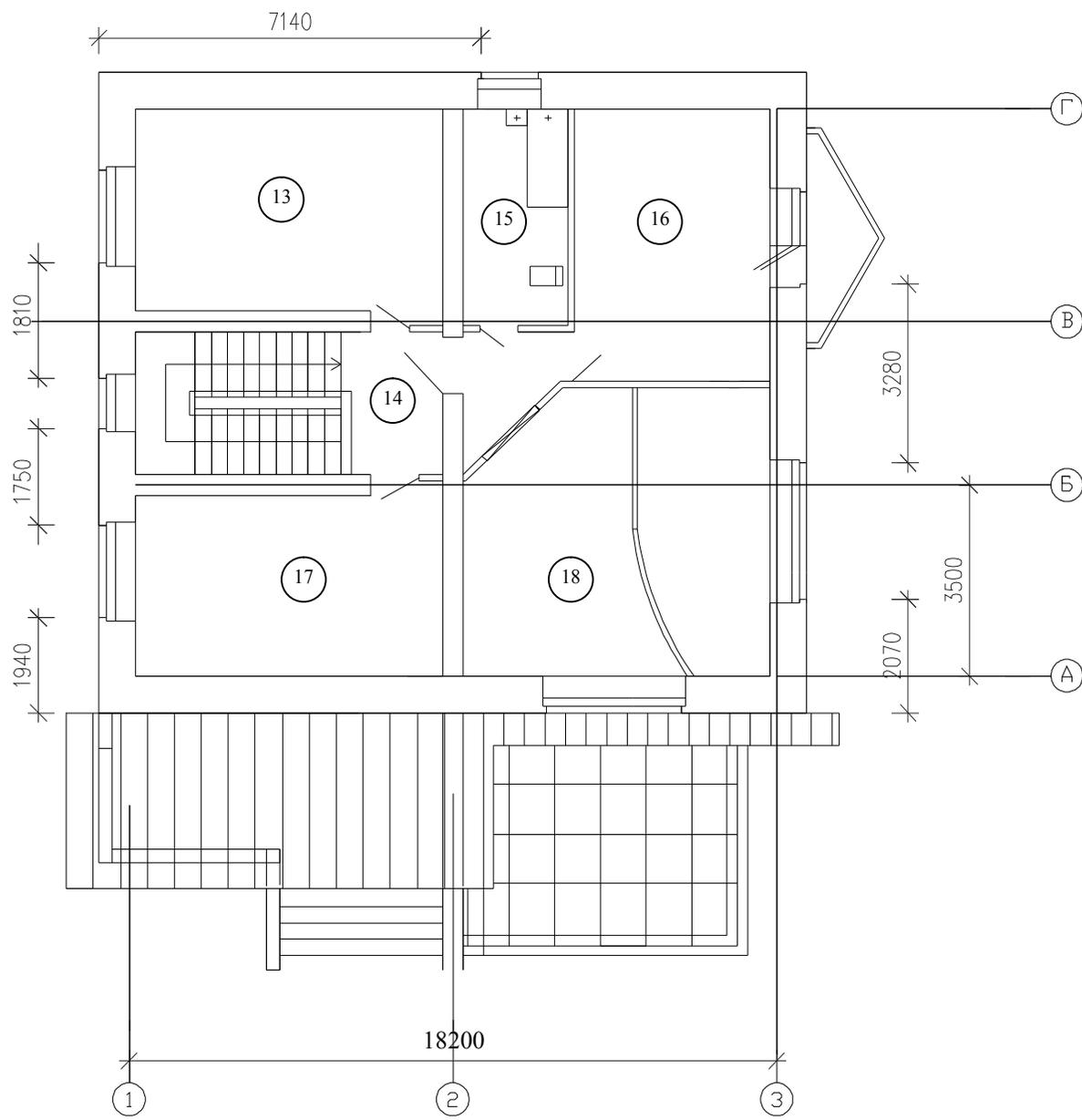
№ п/п	Исходные данные для проектирования	1	2	3	4	5
1	Наружные стены (табл. А6)	Д	А	Г	Б	В
2	Полы (табл. А7)	А1	Г1	Д3	А2	Д2
3	Перекрытия и кровля (табл. А8)	31	32	33	33	32
4	Окна (табл. А9)	Б1	Б2	А3	В3	А2
5	Наружные двери (табл. А10)	А2	А3	Б3	В2	Б1
6	Район строительства (табл. А11)	Б5	Ж1	Г3	К2	Е1
7	Система теплоснабжения (табл. А12)	Б	В	А	А	В
8	Система отопления (табл. А13)	Б	В	А	Б	А
9	Нагревательные приборы (табл. А14)	А3	Г3	Е4	Д2	А2
10	Элементы системы отопления для детального вычерчивания (табл. А15)	А	Б	В	Г	Д



**Рис. А3.1. Фасад двухэтажного жилого здания**



**Рис. А3.2. План 1-го этажа**



**Рис. А3.3. План 2-го этажа**

## Задание 4

### Одноквартирный трёхкомнатный жилой дом

Одноэтажный одноквартирный трёхкомнатный жилой дом из деталей заводского изготовления (утеплённые щиты из древесно-волоконистых плит) предназначен для строительства в сельской местности в районах с расчётной зимней температурой от минус 30 °С до минус 40 °С [8].

Экспликация помещений:

- 1 – жилые комнаты;
- 2 – кухня;
- 3 – санузел;
- 4 – прихожая;
- 5 – тамбур с кладовой;
- 6 – веранда.

Исходные данные для проектирования принять из нижеследующей табл. А4 по заданному преподавателем номеру варианта. Основные особенности устройства и размеры наружных стен, полов, перекрытий, кровли, окон и дверей, типы систем теплоснабжения, отопления и вентиляции, а также другие сведения, необходимые для выполнения расчётов, приведены в табл. А4 вариантов задания.

Таблица А4– Исходные данные для задания 4

№ п/п	Исходные данные для проектирования	1	2	3	4	5
1	Наружные стены (табл. А6)	В	Г	Д	А	Б
2	Полы (табл. А7)	В1	Г2	Д3	Б1	А2
3	Перекрытия и кровля (табл. А8)	Е1	Ж2	Е2	Ж1	Е3
4	Окна (табл. А9)	Б3	А2	Б3	В1	А3
5	Наружные двери (табл. А10)	В1	В2	Б3	А3	Б1
6	Район строительства (табл. А11)	Р1	П4	О2	Н5	М4
7	Система теплоснабжения (табл. А12)	А	Б	В	В	А
8	Система отопления (табл. А13)	А	Б	В	А	В
9	Нагревательные приборы (табл. А14)	Д4	Е3	В1	А2	А1
10	Элементы системы отопления для детального вычерчивания (табл. А15)	А	Б	В	Г	Д

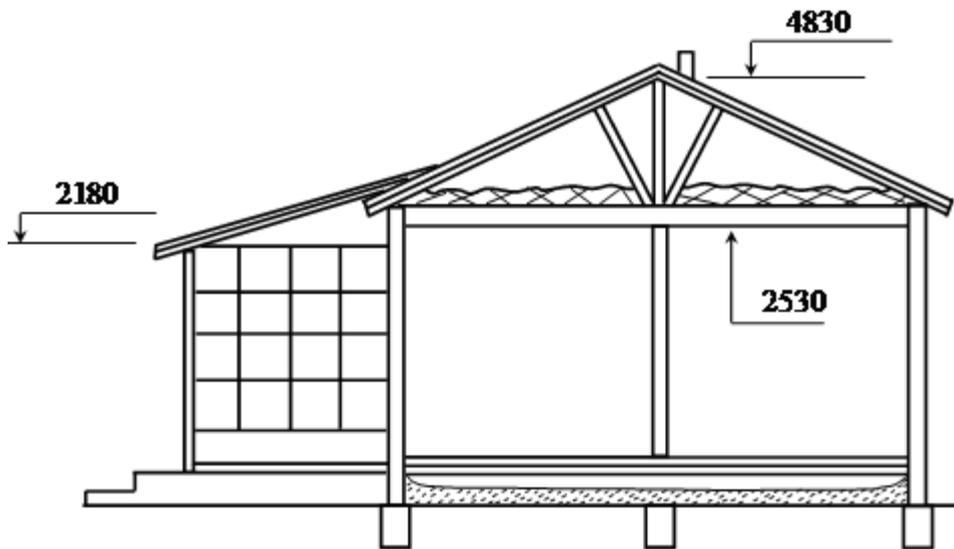


Рис. А4.1. Фасад жилого дома

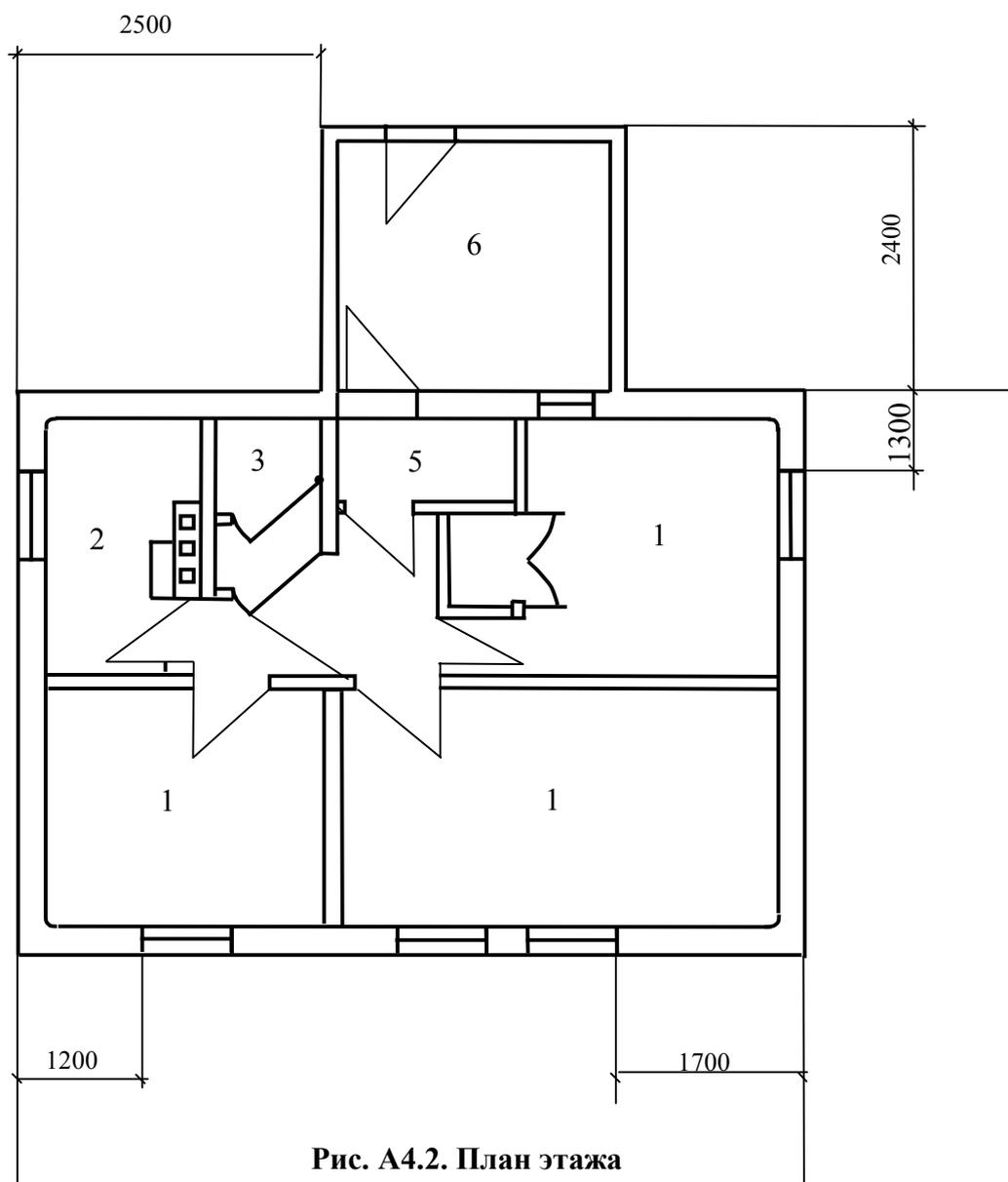


Рис. А4.2. План этажа

## Задание 5

### Кафе

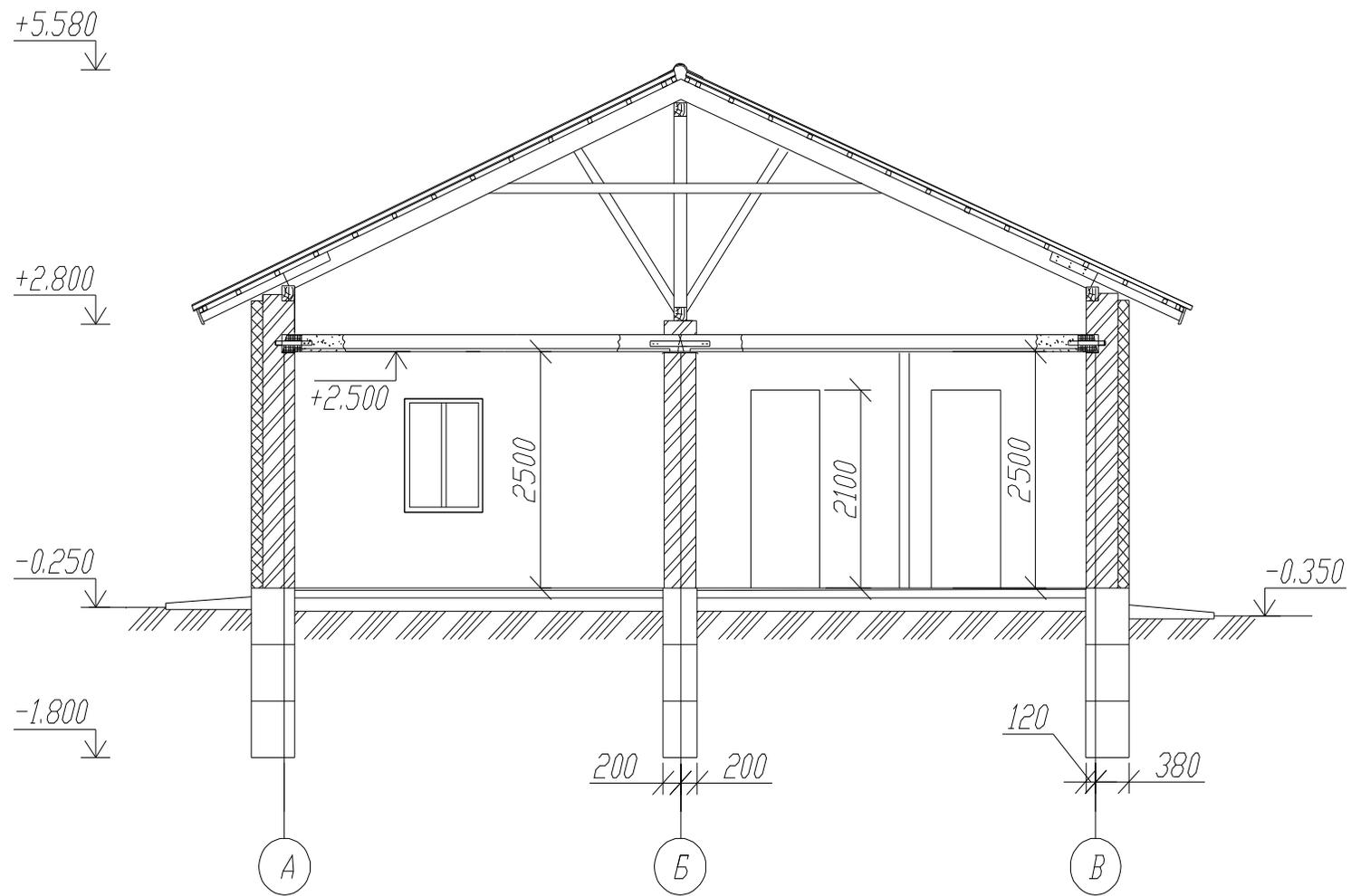
Экспликация помещений:

- 1 – кухня;
- 2 – обеденный зал;
- 3 – обеденный кабинет;
- 4 – бытовое помещение;
- 5 – санузел;
- 6 – тамбур;
- 7 – холл;
- 8 – тамбур.

Исходные данные для проектирования принять из нижеследующей табл. А5 по заданному преподавателем номеру варианта. Основные особенности устройства и размеры наружных стен, полов, перекрытий, кровли, окон и дверей, типы систем теплоснабжения, отопления и вентиляции, а также другие сведения, необходимые для выполнения расчётов, приведены в табл. А5 вариантов задания.

Таблица А5 – Исходные данные для задания 5

№ п/п	Исходные данные для проектирования	1	2	3	4	5
1	Наружные стены (табл. А6)	Б	А	Д	Г	В
2	Полы (табл. А7)	А1	А2	А3	Б1	Б2
3	Перекрытия и кровля (табл. А8)	З3	Е4	Ж1	З2	Е3
4	Окна (табл. А9)	А3	Б1	В3	Б3	А2
5	Наружные двери (табл. А10)	В1	А2	В3	В1	Б1
6	Район строительства (табл. А11)	В2	Г4	Д1	Е5	О3
7	Система теплоснабжения (табл. А12)	А	А	Б	Б	В
8	Система отопления (табл. А13)	Б	В	А	В	А
9	Нагревательные приборы (табл. А14)	Е4	А1	Б3	В2	Д3
10	Элементы системы отопления для детального вычерчивания (табл. А15)	А	Б	В	Г	Д



**Рис. А5.1. Фасад кафе**

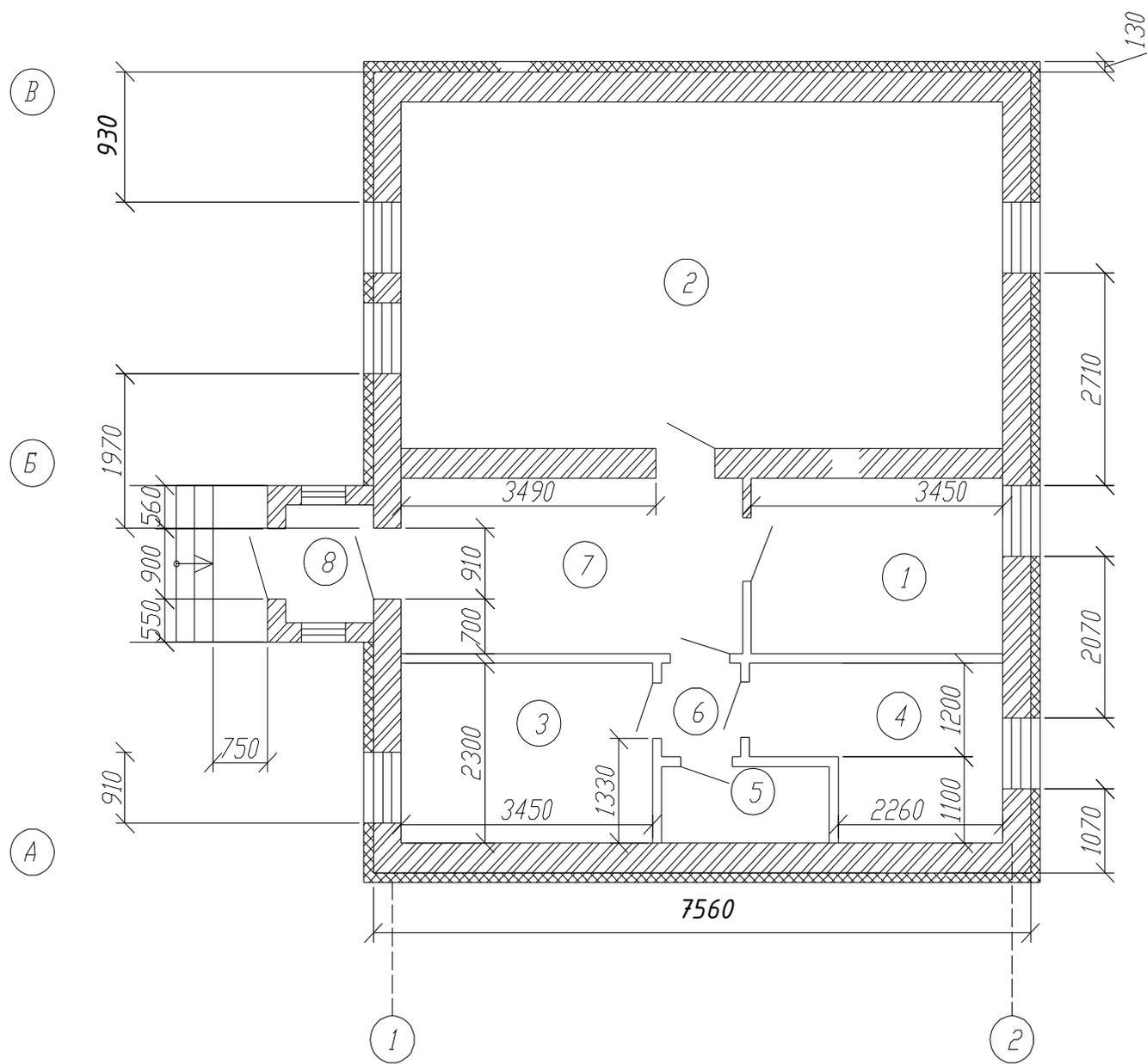
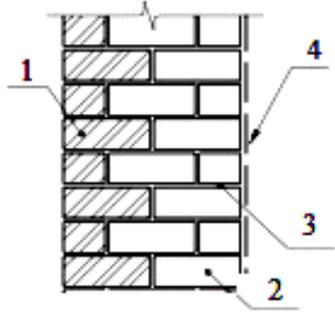
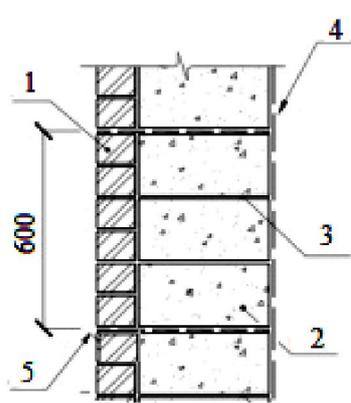
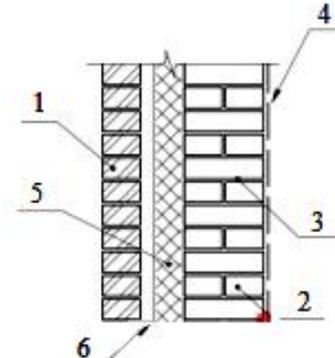
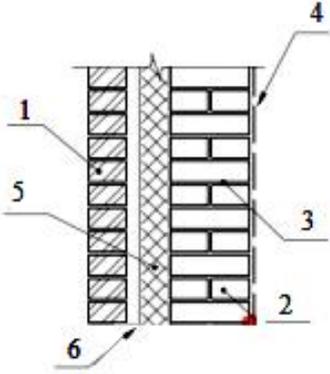


Рис. А5.2. План здания

Таблица А6 – Варианты конструкции наружных стен

А		№ п/п	Материал	Толщина $\delta$ , мм
		1	Кирпич лицевой, керамический пустотелый марки М100 по ГОСТ 530-95	250
		2	Кирпич рядовой, керамический пустотелый марки М75 по ГОСТ 530-95	260
		3	Раствор цементно-песчаный марки М50 по ГОСТ 28013-98	–
		4	Внутренняя штукатурка цементно-песчаным раствором по ГОСТ 28013-98	15
Б		№ п/п	Материал	Толщина $\delta$ , мм
		1	Кирпич лицевой, керамический пустотелый марки М100 по ГОСТ 530-95	250
		2	Мелкий стеновой ячеистобетонный блок по ГОСТ 21520-89	300
		3	Раствор цементно-песчаный марки М50 по ГОСТ 28013-98	–
		4	Внутренняя штукатурка цементно-песчаным раствором по ГОСТ 28013-98	6
		5	Стальная кладочная сетка по ГОСТ 8478-81, укладывается не более чем через 600 мм по высоте кладки	–
В		№ п/п	Материал	Толщина $\delta$ , мм
		1	Кирпич лицевой, керамический пустотелый марки М100 по ГОСТ 530-95	120
		2	Кирпич рядовой, керамический пустотелый марки М75 по ГОСТ 530-95	240
		3	Раствор цементно-песчаный марки М50 по ГОСТ 28013-98	–
		4	Внутренняя штукатурка цементно-песчаным раствором по ГОСТ 28013-98	10
		5	Пенополистирол ПСБ-С-35 по ГОСТ 15588-86	100
6	Невентилируемая воздушная прослойка	40		

Г		№ п/п	Материал	Толщина δ, мм
		1	Кирпич лицевой, керамический пустотелый марки М100 по ГОСТ 530-95	120
		2	Кирпич рядовой, керамический пустотелый марки М75 по ГОСТ 530-95	250
		3	Раствор цементно-песчаный марки М50 по ГОСТ 28013-98	—
		4	Внутренняя штукатурка цементно-песчаным раствором по ГОСТ 28013-98	20
		5	Минеральная вата по ГОСТ 9573-82	200
		6	Вентилируемая воздушная прослойка	60

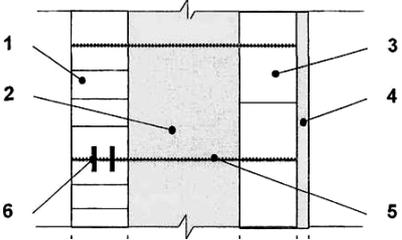
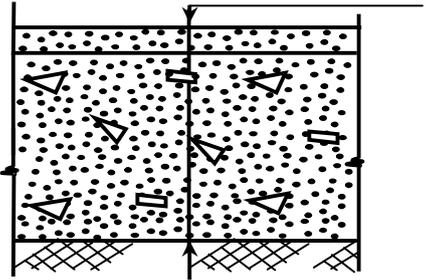
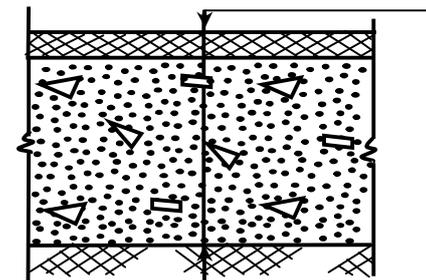
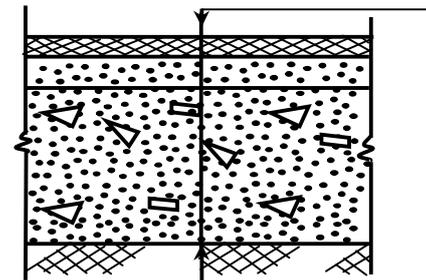
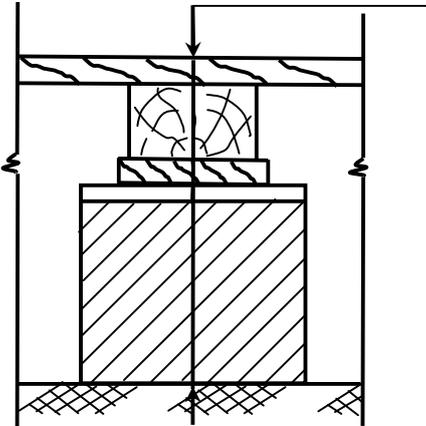
Д		№ п/п	Материал	Толщина δ, мм
		1	Кирпич лицевой, керамический пустотелый марки М100 по ГОСТ 530-95	120
		2	Перлито-песчаный бетон плотностью 1100 кг/м <sup>3</sup> по ГОСТ 7374-94	530
		3	Камень керамический поризованный марки М150 плотностью 850 кг/м <sup>3</sup> по ГОСТ 530-2007	120
		4	Внутренняя штукатурка цементно-песчаным раствором по ГОСТ 28013-98	20
		5	Арматурная сетка	—
		6	Анкера	—

Таблица А7 – Варианты конструкции полов [8]

А		Полы бетонные			
		Конструкция пола	1	2	3
		Цементная стяжка $\delta$ , мм	18	24	28
		Бетон В 7,5 по ГОСТ 26633-91 $\delta$ , мм	100	120	140
		Уплотнённый грунт	–	–	–
Б		Полы бетонные, покрытые керамической плиткой			
		Конструкция пола	1	2	3
		Керамическая плитка $\delta_k$ , мм	8	10	12
		Бетон В 7,5 по ГОСТ 26633-91 $\delta$ , мм	100	110	120
		Уплотнённый грунт	–	–	–
В		Полы бетонные, покрытые линолеумом			
		Конструкция пола	1	2	3
		Линолеум на мастике $\delta$ , мм	6	7	8
		Цементная стяжка $\delta$ , мм	20	22	24
		Бетон В 7,5 по ГОСТ 26633-91 $\delta$ , мм	100	120	140
Уплотнённый грунт	–	–	–		
Г		Полы деревянные на лагах			
		Конструкция пола	1	2	3
		Доски $\delta$ , мм	29	32	35
		Лага $\delta$ , мм	50	60	70
		Прокладка $\delta$ , мм	25	30	30
		Два слоя толя $\delta$ , мм	5	6	7
		Кирпичный столбик на цементном растворе $250 \times 120 \times \delta$ , мм	150	140	160
		Уплотнённый грунт	–	–	–

Окончание табл. А7

Д		Полы деревянные на лагах			
		Конструкция пола	1	2	3
		Доски $\delta$ , мм	37	29	35
		Промазка битум $\delta$ , мм	2	3	4
		Лага $\delta$ , мм	50	60	70
		Бетон В 7,5 по ГОСТ 26633-91 $\delta$ , мм	100	110	120
		Уплотнённый грунт	–	–	–

Таблица А8 – Варианты конструкции перекрытий и крыш [8]

А		Бесчердачная конструкция			
		Конструкция	1	2	3
		Три слоя рубероида на битумной мастике $\delta$ , мм	5	6	7
		Цементно-песчаная стяжка $\delta$ , мм	30	35	40
		Керамзит $\delta$ , мм	200	220	240
		Пароизоляция из двух слоёв рубероида $\delta$ , мм	3	4	4
Б		Бесчердачная конструкция			
		Конструкция	1	2	3
		Три слоя рубероида на битумной мастике $\delta$ , мм	5	6	7
		Пенобетон $\delta$ , мм	200	240	260
		Пароизоляция из двух слоёв рубероида $\delta$ , мм	1,5	2	1,8
		Панель железобетонная пустотелая $\delta$ , мм	200	220	180

В		Бесчердачная конструкция			
		Конструкция	1	2	3
		Три слоя рубероида на битумной мастике по дощатой обрешётке $\delta$ , мм	5	6	7
		Плиты минераловатные $\delta$ , мм	150	170	190
		Пароизоляция из двух слоёв рубероида $\delta$ , мм	3	4	5
Панель железобетонная пустотелая $\delta$ , мм	200	220	180		
Г		Бесчердачная конструкция			
		Конструкция	1	2	3
		Три слоя рубероида на битумной мастике по дощатой обрешётке $\delta$ , мм	5	6	7
		Плиты минераловатные $\delta$ , мм	140	160	180
		Пароизоляция из двух слоёв рубероида $\delta$ , мм	3	4	5
Панель железобетонная ребристая $\delta$ , мм	40	50	60		
Д		Бесчердачная конструкция			
		Конструкция	1	2	3
		Асбоцементные волокнистые плиты по обрешётке $\delta$ , мм	8	10	12
		Минеральный войлок $\delta$ , мм	100	140	180
		Два слоя рубероида $\delta$ , мм	3	4	5
Панель железобетонная пустотелая $\delta$ , мм	220	220	180		

Таблица А9 – Варианты окон (по ГОСТ 11214-2003)

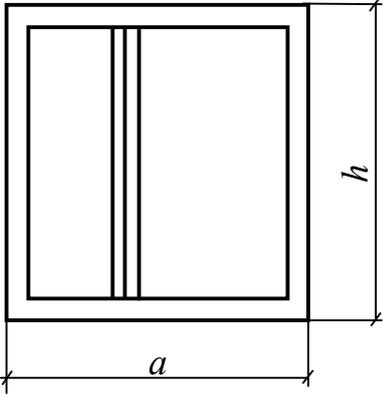
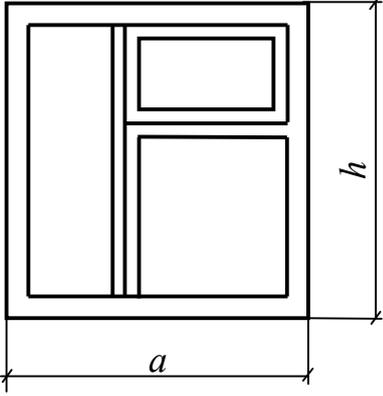
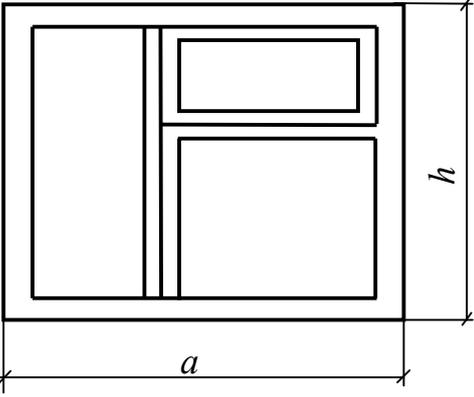
А	<p style="text-align: center;">Окна с двойным остеклением</p>  <table border="1" data-bbox="778 383 1273 638"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>a</math>, мм</td> <td>1370</td> <td>1240</td> <td>1770</td> </tr> <tr> <td><math>h</math>, мм</td> <td>1520</td> <td>1520</td> <td>1760</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	$a$ , мм	1370	1240	1770	$h$ , мм	1520	1520	1760
	1	2	3										
$a$ , мм	1370	1240	1770										
$h$ , мм	1520	1520	1760										
Б	<p style="text-align: center;">Окна с двойным остеклением</p>  <table border="1" data-bbox="778 904 1273 1160"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>a</math>, мм</td> <td>1690</td> <td>1046</td> <td>1170</td> </tr> <tr> <td><math>h</math>, мм</td> <td>1750</td> <td>1330</td> <td>1160</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	$a$ , мм	1690	1046	1170	$h$ , мм	1750	1330	1160
	1	2	3										
$a$ , мм	1690	1046	1170										
$h$ , мм	1750	1330	1160										
В	<p style="text-align: center;">Окна с двойным остеклением</p>  <table border="1" data-bbox="778 1469 1273 1724"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>a</math>, мм</td> <td>2320</td> <td>2070</td> <td>2290</td> </tr> <tr> <td><math>h</math>, мм</td> <td>2051</td> <td>1751</td> <td>2051</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	$a$ , мм	2320	2070	2290	$h$ , мм	2051	1751	2051
	1	2	3										
$a$ , мм	2320	2070	2290										
$h$ , мм	2051	1751	2051										

Таблица А10 – Варианты наружных дверей (по ГОСТ 6629-88)

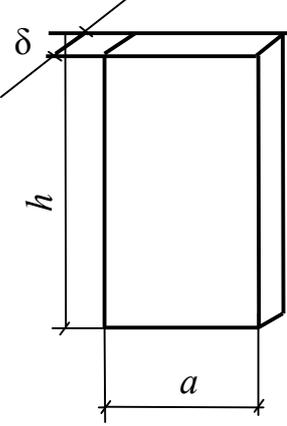
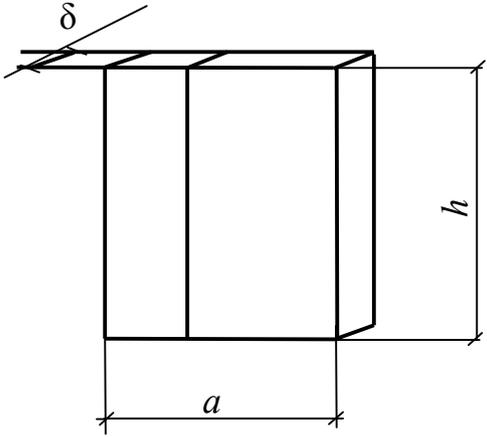
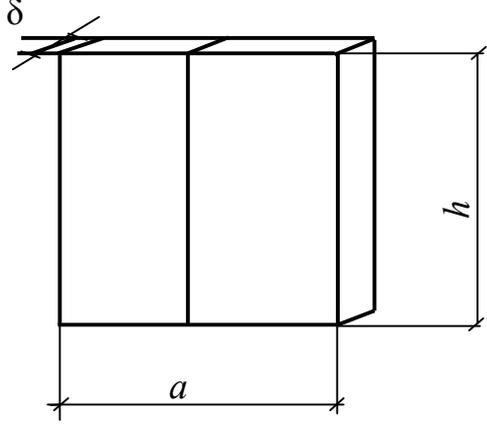
А	<p style="text-align: center;">Двери деревянные однопольные</p> 	<table border="1" data-bbox="821 380 1316 627"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>a</math>, мм</td> <td>1200</td> <td>750</td> <td>1020</td> </tr> <tr> <td><math>h</math>, мм</td> <td>2400</td> <td>2150</td> <td>2150</td> </tr> <tr> <td><math>\delta</math>, мм</td> <td>40</td> <td>40</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	$a$ , мм	1200	750	1020	$h$ , мм	2400	2150	2150	$\delta$ , мм	40	40	50
		1	2	3														
$a$ , мм	1200	750	1020															
$h$ , мм	2400	2150	2150															
$\delta$ , мм	40	40	50															
Б	<p style="text-align: center;">Двери деревянные полуторопольные</p> 	<table border="1" data-bbox="813 873 1316 1120"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>a</math>, мм</td> <td>1400</td> <td>1300</td> <td>1200</td> </tr> <tr> <td><math>h</math>, мм</td> <td>2400</td> <td>2150</td> <td>2200</td> </tr> <tr> <td><math>\delta</math>, мм</td> <td>44</td> <td>40</td> <td>48</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	$a$ , мм	1400	1300	1200	$h$ , мм	2400	2150	2200	$\delta$ , мм	44	40	48
		1	2	3														
$a$ , мм	1400	1300	1200															
$h$ , мм	2400	2150	2200															
$\delta$ , мм	44	40	48															
В	<p style="text-align: center;">Двери деревянные двухпольные</p> 	<table border="1" data-bbox="782 1523 1284 1769"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>a</math>, мм</td> <td>1800</td> <td>2600</td> <td>2300</td> </tr> <tr> <td><math>h</math>, мм</td> <td>2100</td> <td>2400</td> <td>2100</td> </tr> <tr> <td><math>\delta</math>, мм</td> <td>60</td> <td>60</td> <td>50</td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	$a$ , мм	1800	2600	2300	$h$ , мм	2100	2400	2100	$\delta$ , мм	60	60	50
		1	2	3														
$a$ , мм	1800	2600	2300															
$h$ , мм	2100	2400	2100															
$\delta$ , мм	60	60	50															

Таблица А11 – Варианты районов строительства и ориентаций фасада

Вариант	Район строительства	Климатические параметры							
		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки $t_n$ , °С, обеспеченностью 0,92 [12]	Средняя температура, $t_{оп}$ , °С, периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С [12]	Продолжительность, $Z_{оп}$ , сут, периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С [12]	Ориентация фасада				
					1	2	3	4	5
А	Архангельск	-31	-4,4	253	С	З	Ю	В	СВ
Б	Астрахань	-23	-1,2	167	ЮЗ	З	С	З	Ю
В	Брянск	-26	-2,3	205	СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ	С
Г	Петрозаводск	-29	-3,1	240	С	З	СВ	ЮВ	ЮЗ
Д	Кострома	-31	-3,9	222	Ю	В	СЗ	ЮЗ	ЮВ
Е	Липецк	-27	-3,4	202	З	СЗ	Ю	ЮЗ	В
Ж	Мурманск	-27	-3,2	275	ЮЗ	ЮВ	С	В	СЗ
З	Москва	-28	-3,1	214	С	Ю	В	З	СЗ
И	Пенза	-29	-4,5	207	ЮВ	ЮЗ	СЗ	СВ	С
К	Владивосток	-24	-3,9	196	С	СЗ	Ю	СВ	В
Л	Самара	-30	-5,2	203	СЗ	В	ЮВ	СВ	С
М	Тамбов	-28	-3,7	201	Ю	В	З	С	СЗ
Н	Казань	-32	-5,2	215	С	СВ	З	СЗ	Ю
О	Тула	-27	-3	207	СВ	С	ЮВ	Ю	ЮЗ
П	Хабаровск	-31	-9,3	211	С	Ю	ЮВ	ЮЗ	В
Р	Ульяновск	-31	-5,4	212	ЮЗ	ЮВ	В	З	ЮЗ

Таблица А12 – Варианты систем теплоснабжения

Варианты	Характеристика системы теплоснабжения
А	Центральная от ТЭЦ, закрытая, теплоноситель – вода $t_r = 140$ °С, $t_o = 70$ °С
Б	Центральная от общей котельной, закрытая, теплоноситель – вода $t_r = 130$ °С, $t_o = 70$ °С
В	Центральная от общей котельной, открытая, теплоноситель – вода $t_r = 95$ °С, $t_o = 65$ °С

Таблица А13 – Варианты систем отопления

Варианты	Краткая характеристика системы теплоснабжения
А	Центральная водяная, двухтрубная, с верхней разводкой $t_r = 85$ °С, $t_o = 70$ °С, насосная или безнасосная
Б	Центральная водяная, одноктрубная, с верхней разводкой $t_r = 80$ °С, $t_o = 70$ °С, насосная или безнасосная
В	Центральная водяная, двухтрубная, с нижней разводкой $t_r = 85$ °С, $t_o = 65$ °С, насосная или безнасосная

Таблица А14 – Варианты нагревательных приборов [8]

Вариант	Нагревательные приборы	Марка, размеры			
		1	2	3	4
А	Радиаторы чугунные секционные	М-140	М-90	М-140-АО	РД-90с
Б	Радиаторы стальные штампованные	Мз-500-1	Мз-500-4	Мз-300-1	Мз-300-3
В	Ребристые трубы чугунные	$l = 0,75$ м	$l = 1,0$ м	$l = 1,5$ м	$l = 2,0$ м
Г	Регистры из гладких труб диаметром 80 мм, $Z = 4$	$l = 1,5$ м	$l = 2,0$ м	$l = 2,5$ м	$l = 3,0$ м
Д	Регистры из гладких труб диаметром 140 мм, $Z = 3$	$l = 1,0$ м	$l = 1,5$ м	$l = 2,0$ м	$l = 2,5$ м
Е	Змеевики из гладких труб диаметром 32 мм, $Z = 4$	$l = 1,0$ м	$l = 1,5$ м	$l = 2,0$ м	$l = 2,5$ м

Таблица А15 – Элементы систем отопления для детального вычерчивания

Варианты	Элементы системы
А	Узел ввода и регулирования
Б	Циркуляционный насос
В	Водоструйный элеватор
Г	Расширительный бак
Д	Регистр из гладких труб
Е	Грязевик абонентский
Ж	Грязевик вертикальный

**Приложение Б – Таблица для гидравлического расчёта  
систем водяного отопления**

Таблица Б1 – Значения для гидравлического расчёта трубопроводов систем водяного отопления при  $t_r = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_o = 70 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $R = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  [16]

Удельные потери давления на трение, $R$ , Па/м	Количество проходящей воды $G$ , кг/ч, (в числителе) и скорость движения воды $w$ , м/с, (в знаменателе) по трубам стальным водогазопроводным обыкновенным (ГОСТ 3262–75) условным проходом $d$ , мм						
	15	20	25	32	40	50	65
1	2	3	4	5	6	7	8
1	$\frac{16,5}{0,023}$	$\frac{36}{0,028}$	$\frac{69}{0,034}$	$\frac{148}{0,041}$	$\frac{210}{0,045}$	$\frac{409}{0,052}$	$\frac{788}{0,06}$
1,2	$\frac{17,5}{0,025}$	$\frac{40}{0,031}$	$\frac{76}{0,037}$	$\frac{164}{0,045}$	$\frac{229}{0,048}$	$\frac{454}{0,059}$	$\frac{872}{0,067}$
1,4	$\frac{19}{0,027}$	$\frac{44}{0,034}$	$\frac{84}{0,041}$	$\frac{180}{0,049}$	$\frac{249}{0,052}$	$\frac{496}{0,064}$	$\frac{948}{0,073}$
1,6	$\frac{21}{0,03}$	$\frac{47}{0,037}$	$\frac{96}{0,045}$	$\frac{191}{0,053}$	$\frac{269}{0,057}$	$\frac{535}{0,069}$	$\frac{1016}{0,075}$
1,8	$\frac{22}{0,031}$	$\frac{50}{0,039}$	$\frac{108}{0,051}$	$\frac{197}{0,054}$	$\frac{287}{0,06}$	$\frac{571}{0,073}$	$\frac{1077}{0,082}$
2	$\frac{24}{0,033}$	$\frac{53}{0,042}$	$\frac{111}{0,054}$	$\frac{203}{0,057}$	$\frac{304}{0,064}$	$\frac{606}{0,078}$	$\frac{1137}{0,087}$
2,4	$\frac{26}{0,037}$	$\frac{59}{0,046}$	$\frac{120}{0,057}$	$\frac{223}{0,062}$	$\frac{338}{0,071}$	$\frac{671}{0,087}$	$\frac{1258}{0,096}$
2,8	$\frac{28}{0,041}$	$\frac{64}{0,05}$	$\frac{130}{0,064}$	$\frac{244}{0,068}$	$\frac{368}{0,077}$	$\frac{729}{0,096}$	$\frac{1377}{0,106}$
3,2	$\frac{31}{0,044}$	$\frac{72}{0,058}$	$\frac{140}{0,068}$	$\frac{263}{0,073}$	$\frac{396}{0,083}$	$\frac{774}{0,102}$	$\frac{1438}{0,114}$
3,6	$\frac{33}{0,047}$	$\frac{80}{0,062}$	$\frac{143}{0,071}$	$\frac{281}{0,078}$	$\frac{422}{0,089}$	$\frac{818}{0,108}$	$\frac{1576}{0,121}$
4	$\frac{35}{0,05}$	$\frac{85}{0,065}$	$\frac{146}{0,073}$	$\frac{299}{0,082}$	$\frac{448}{0,094}$	$\frac{861}{0,115}$	$\frac{1667}{0,128}$
5	$\frac{40}{0,057}$	$\frac{95}{0,073}$	$\frac{157}{0,074}$	$\frac{336}{0,093}$	$\frac{507}{0,107}$	$\frac{971}{0,13}$	$\frac{1898}{0,145}$
6	$\frac{44}{0,063}$	$\frac{103}{0,08}$	$\frac{169}{0,082}$	$\frac{373}{0,103}$	$\frac{559}{0,118}$	$\frac{1081}{0,144}$	$\frac{2090}{0,16}$
7	$\frac{48}{0,069}$	$\frac{111}{0,086}$	$\frac{184}{0,089}$	$\frac{406}{0,112}$	$\frac{601}{0,126}$	$\frac{1172}{0,152}$	$\frac{2269}{0,174}$
8	$\frac{55}{0,082}$	$\frac{113}{0,088}$	$\frac{199}{0,097}$	$\frac{434}{0,12}$	$\frac{642}{0,135}$	$\frac{1236}{0,161}$	$\frac{2470}{0,187}$

Продолжение таблицы Б1

1	2	3	4	5	6	7	8
9	$\frac{57}{0,084}$	$\frac{119}{0,092}$	$\frac{212}{0,103}$	$\frac{463}{0,128}$	$\frac{684}{0,144}$	$\frac{1354}{0,171}$	$\frac{2593}{0,199}$
10	$\frac{59}{0,087}$	$\frac{126}{0,097}$	$\frac{225}{0,109}$	$\frac{490}{0,136}$	$\frac{726}{0,151}$	$\frac{1445}{0,182}$	$\frac{2744}{0,21}$
12	$\frac{63}{0,093}$	$\frac{140}{0,108}$	$\frac{248}{0,12}$	$\frac{537}{0,149}$	$\frac{809}{0,17}$	$\frac{1583}{0,201}$	$\frac{3011}{0,23}$
14	$\frac{67}{0,098}$	$\frac{151}{0,117}$	$\frac{269}{0,131}$	$\frac{579}{0,16}$	$\frac{876}{0,184}$	$\frac{1720}{0,218}$	$\frac{3246}{0,248}$
16	$\frac{70}{0,103}$	$\frac{163}{0,126}$	$\frac{289}{0,141}$	$\frac{621}{0,172}$	$\frac{937}{0,197}$	$\frac{1858}{0,236}$	$\frac{3428}{0,266}$
18	$\frac{74}{0,108}$	$\frac{174}{0,135}$	$\frac{309}{0,15}$	$\frac{663}{0,184}$	$\frac{997}{0,21}$	$\frac{1974}{0,251}$	$\frac{3718}{0,284}$
20	$\frac{77}{0,114}$	$\frac{184}{0,142}$	$\frac{332}{0,161}$	$\frac{705}{0,195}$	$\frac{1058}{0,222}$	$\frac{2090}{0,265}$	$\frac{3953}{0,302}$
24	$\frac{84}{0,124}$	$\frac{204}{0,157}$	$\frac{360}{0,175}$	$\frac{778}{0,215}$	$\frac{1106}{0,245}$	$\frac{2291}{0,291}$	$\frac{4327}{0,331}$
28	$\frac{91}{0,135}$	$\frac{221}{0,171}$	$\frac{391}{0,19}$	$\frac{840}{0,233}$	$\frac{1261}{0,265}$	$\frac{2645}{0,312}$	$\frac{4702}{0,35}$
32	$\frac{98}{0,145}$	$\frac{237}{0,183}$	$\frac{416}{0,202}$	$\frac{902}{0,25}$	$\frac{1357}{0,284}$	$\frac{2740}{0,334}$	$\frac{5043}{0,383}$
36	$\frac{106}{0,156}$	$\frac{256}{0,195}$	$\frac{441}{0,214}$	$\frac{964}{0,267}$	$\frac{1444}{0,304}$	$\frac{2814}{0,356}$	$\frac{5350}{0,409}$
40	$\frac{112}{0,164}$	$\frac{267}{0,206}$	$\frac{467}{0,226}$	$\frac{1026}{0,284}$	$\frac{1524}{0,321}$	$\frac{2973}{0,376}$	$\frac{5657}{0,433}$
50	$\frac{126}{0,186}$	$\frac{297}{0,23}$	$\frac{530}{0,257}$	$\frac{1149}{0,318}$	$\frac{1710}{0,36}$	$\frac{3336}{0,422}$	$\frac{6339}{0,485}$
60	$\frac{139}{0,205}$	$\frac{324}{0,25}$	$\frac{593}{0,288}$	$\frac{1270}{0,352}$	$\frac{1866}{0,393}$	$\frac{3699}{0,468}$	$\frac{6971}{0,533}$
70	$\frac{151}{0,223}$	$\frac{351}{0,271}$	$\frac{635}{0,308}$	$\frac{1369}{0,379}$	$\frac{2022}{0,426}$	$\frac{3988}{0,504}$	$\frac{7534}{0,576}$
80	$\frac{162}{0,239}$	$\frac{377}{0,291}$	$\frac{677}{0,328}$	$\frac{1467}{0,406}$	$\frac{2178}{0,458}$	$\frac{4276}{0,54}$	$\frac{8066}{0,618}$
90	$\frac{173}{0,255}$	$\frac{404}{0,312}$	$\frac{719}{0,348}$	$\frac{1554}{0,43}$	$\frac{2309}{0,486}$	$\frac{4543}{0,574}$	$\frac{8567}{0,655}$
100	$\frac{183}{0,269}$	$\frac{430}{0,332}$	$\frac{759}{0,369}$	$\frac{1632}{0,452}$	$\frac{2431}{0,512}$	$\frac{4788}{0,605}$	$\frac{9035}{0,691}$
120	$\frac{201}{0,295}$	$\frac{469}{0,362}$	$\frac{835}{0,405}$	$\frac{1786}{0,494}$	$\frac{2674}{0,563}$	$\frac{5250}{0,664}$	$\frac{9899}{0,757}$
140	$\frac{216}{0,318}$	$\frac{507}{0,392}$	$\frac{904}{0,438}$	$\frac{1939}{0,537}$	$\frac{2855}{0,609}$	$\frac{5686}{0,719}$	$\frac{10584}{0,81}$

Продолжение таблицы Б1

1	2	3	4	5	6	7	8
160	$\frac{229}{0,338}$	$\frac{546}{0,422}$	$\frac{972}{0,471}$	$\frac{2079}{0,575}$	$\frac{3095}{0,651}$	$\frac{6093}{0,77}$	$\frac{11269}{0,862}$
180	$\frac{243}{0,358}$	$\frac{584}{0,451}$	$\frac{1028}{0,499}$	$\frac{2201}{0,609}$	$\frac{3294}{0,693}$	$\frac{6473}{0,818}$	$\frac{11953}{0,914}$
200	$\frac{256}{0,377}$	$\frac{614}{0,474}$	$\frac{1084}{0,526}$	$\frac{2325}{0,643}$	$\frac{3513}{0,739}$	$\frac{6823}{0,862}$	$\frac{12638}{0,967}$
220	$\frac{270}{0,397}$	$\frac{643}{0,497}$	$\frac{1141}{0,553}$	$\frac{2448}{0,678}$	$\frac{3684}{0,775}$	$\frac{7159}{0,904}$	$\frac{13323}{1,019}$
240	$\frac{283}{0,417}$	$\frac{673}{0,52}$	$\frac{1197}{0,851}$	$\frac{2572}{0,712}$	$\frac{3808}{0,801}$	$\frac{7476}{0,944}$	$\frac{14008}{1,071}$
260	$\frac{296}{0,436}$	$\frac{702}{0,542}$	$\frac{1240}{0,602}$	$\frac{2671}{0,739}$	$\frac{3965}{0,834}$	$\frac{7782}{0,983}$	$\frac{14693}{1,124}$
280	$\frac{310}{0,456}$	$\frac{732}{0,565}$	$\frac{1284}{0,623}$	$\frac{2770}{0,767}$	$\frac{4113}{0,865}$	$\frac{8076}{1,02}$	$\frac{15215}{1,164}$
300	$\frac{319}{0,47}$	$\frac{756}{0,584}$	$\frac{1327}{0,644}$	$\frac{2869}{0,794}$	$\frac{4260}{0,896}$	$\frac{8359}{1,056}$	$\frac{15749}{1,205}$
320	$\frac{329}{0,484}$	$\frac{780}{0,602}$	$\frac{1372}{0,665}$	$\frac{2969}{0,821}$	$\frac{4408}{0,928}$	$\frac{8634}{1,088}$	$\frac{16266}{1,244}$
340	$\frac{338}{0,499}$	$\frac{804}{0,621}$	$\frac{1415}{0,686}$	$\frac{3067}{0,849}$	$\frac{4546}{0,957}$	$\frac{8900}{1,124}$	$\frac{16768}{1,283}$
360	$\frac{348}{0,513}$	$\frac{828}{0,64}$	$\frac{1458}{0,708}$	$\frac{3153}{0,873}$	$\frac{4684}{0,986}$	$\frac{9157}{1,156}$	$\frac{17252}{1,32}$
380	$\frac{358}{0,527}$	$\frac{852}{0,658}$	$\frac{1502}{0,729}$	$\frac{3239}{0,896}$	$\frac{4822}{1,015}$	$\frac{9409}{1,188}$	$\frac{17726}{1,356}$
400	$\frac{367}{0,541}$	$\frac{876}{0,677}$	$\frac{1545}{0,754}$	$\frac{3325}{0,920}$	$\frac{4960}{1,044}$	$\frac{9652}{1,29}$	$\frac{18186}{1,391}$
450	$\frac{391}{0,577}$	$\frac{924}{0,714}$	$\frac{1588}{0,8}$	$\frac{3539}{0,978}$	$\frac{5092}{1,073}$	$\frac{10239}{1,293}$	$\frac{19285}{1,475}$
500	$\frac{415}{0,612}$	$\frac{972}{0,751}$	$\frac{1730}{0,843}$	$\frac{3707}{1,031}$	$\frac{5541}{1,166}$	$\frac{10791}{1,362}$	$\frac{20333}{1,555}$
550	$\frac{434}{0,64}$	$\frac{1019}{0,787}$	$\frac{1812}{0,884}$	$\frac{3889}{1,082}$	$\frac{5811}{1,223}$	$\frac{11318}{1,428}$	$\frac{21326}{1,631}$
600	$\frac{453}{0,667}$	$\frac{1067}{0,824}$	$\frac{1893}{0,924}$	$\frac{4061}{1,13}$	$\frac{6070}{1,277}$	$\frac{11822}{1,492}$	$\frac{22275}{1,704}$
650	$\frac{472}{0,695}$	$\frac{1115}{0,861}$	$\frac{1970}{0,961}$	$\frac{4227}{1,176}$	$\frac{6318}{1,329}$	$\frac{12305}{1,553}$	$\frac{23183}{1,773}$
700	$\frac{490}{0,722}$	$\frac{1163}{0,898}$	$\frac{2045}{0,997}$	$\frac{4387}{1,22}$	$\frac{6556}{1,379}$	$\frac{12768}{1,612}$	$\frac{24058}{1,84}$
750	$\frac{509}{0,75}$	$\frac{1205}{0,93}$	$\frac{2116}{1,032}$	$\frac{4511}{1,263}$	$\frac{6786}{1,428}$	$\frac{13130}{1,681}$	$\frac{24904}{1,905}$

Окончание таблицы Б1

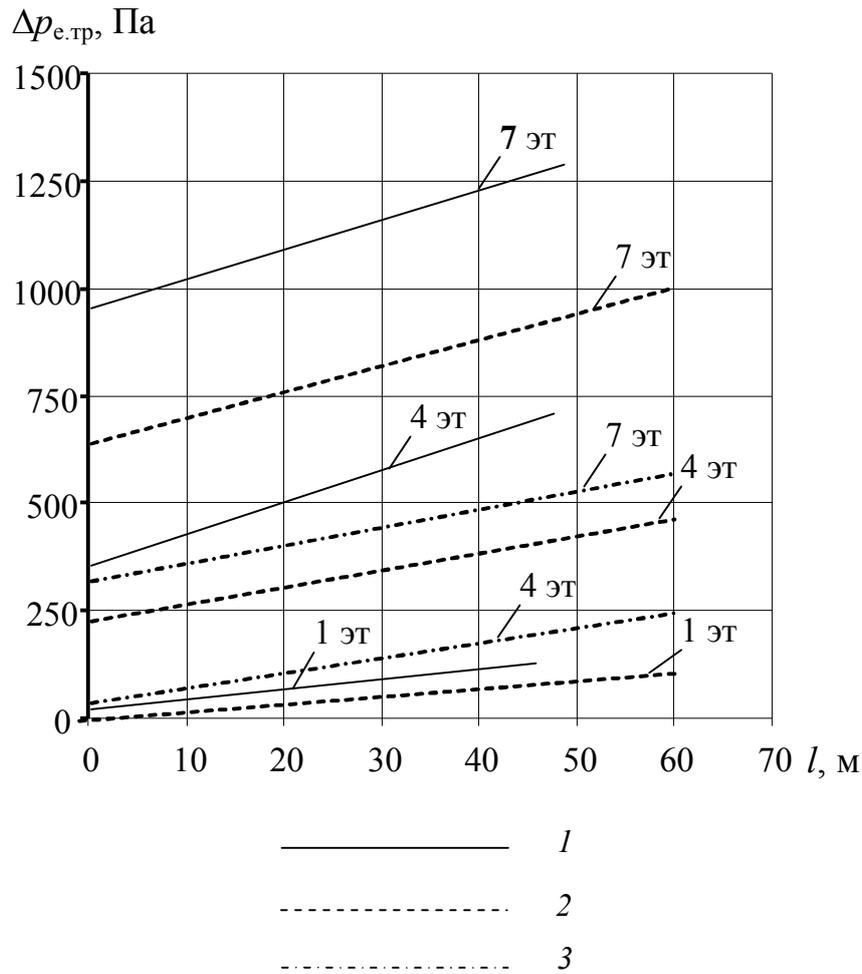
1	2	3	4	5	6	7	8
800	$\frac{525}{0,773}$	$\frac{1244}{0,961}$	$\frac{2185}{1,066}$	$\frac{4689}{1,304}$	$\frac{7009}{1,476}$	$\frac{13561}{1,723}$	$\frac{25745}{1,967}$
850	$\frac{541}{0,797}$	$\frac{1283}{0,991}$	$\frac{2253}{1,099}$	$\frac{4833}{1,345}$	$\frac{7224}{1,520}$	$\frac{13978}{1,777}$	$\frac{26536}{2,028}$
900	$\frac{557}{0,82}$	$\frac{1320}{1,019}$	$\frac{2320}{1,131}$	$\frac{4974}{1,384}$	$\frac{7434}{1,564}$	$\frac{14374}{1,828}$	$\frac{27306}{2,087}$
950	$\frac{572}{0,843}$	$\frac{1356}{1,047}$	$\frac{2381}{1,162}$	$\frac{5111}{1,421}$	$\frac{7633}{1,606}$	$\frac{14777}{1,888}$	$\frac{28053}{2,144}$
1000	$\frac{587}{0,864}$	$\frac{1391}{1,074}$	$\frac{2444}{1,192}$	$\frac{5244}{1,458}$	$\frac{7836}{1,649}$	$\frac{15161}{1,936}$	$\frac{28783}{2,199}$
1100	$\frac{616}{0,907}$	$\frac{1459}{1,127}$	$\frac{2563}{1,250}$	$\frac{5500}{1,53}$	$\frac{8218}{1,729}$	$\frac{15901}{2,028}$	$\frac{30187}{2,307}$
1200	$\frac{643}{0,947}$	$\frac{1524}{1,177}$	$\frac{2677}{1,306}$	$\frac{5744}{1,598}$	$\frac{8584}{1,805}$	$\frac{16609}{2,118}$	$\frac{31541}{2,4}$

**Приложение В – Плотность воды**

Таблица В1 – Плотность воды  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, при температуре воды 40–90 °С [16]

°С	40	50	60	70	80	90
0	992,24	988,07	983,24	977,81	971,83	965,34
1	991,86	987,62	982,72	977,23	971,21	964,67
2	991,47	987,15	982,2	976,66	970,57	963,99
3	991,07	986,69	981,67	976,07	969,94	963,3
4	990,66	986,21	981,13	975,48	969,3	962,61
5	990,25	985,73	980,59	974,79	968,65	961,92
6	989,82	985,25	980,05	974,29	968	961,22
7	989,4	984,75	979,5	973,68	967,34	960,51
8	988,96	984,25	978,94	973,07	966,68	959,81
9	988,52	983,76	978,38	972,45	966,01	959,09

## Приложение Г – Определение дополнительного гравитационного давления



**Рис. Г1. Зависимость дополнительного гравитационного давления  $\Delta p_{г.тр}$  от охлаждения воды в трубопроводах системы ( $l$  – горизонтальное расстояние от главного стояка до расчётного) [16]:**  
 1 – двухтрубная с естественной циркуляцией; 2 – то же, с искусственной циркуляцией;  
 3 – однострунная с искусственной циркуляцией

## Приложение Д – Коэффициенты местных сопротивлений

Таблица Д1 – Коэффициенты местных сопротивлений  $\xi$  для различных элементов систем отопления (приближенные значения) [16]

Элементы систем отопления	$\xi$ при условном проходе труб $d$ , мм					
	15	20	25	32	40	50
Радиаторы двухколонные	2	2	2	2	2	2
Котлы:						
чугунные	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
стальные	2	2	2	2	2	2
Внезапное расширение	1	1	1	1	1	1
Внезапное сужение	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Отступы	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Компенсаторы:						
П-образные	2	2	2	2	2	2
сальниковые	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Отводы:						
90° и утки	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
двойные узкие	2	2	2	2	2	2
двойные широкие	1	1	1	1	1	1
Скобы	3	2	2	2	2	2
Тройники:						
на проходе	1	1	1	1	1	1
на ответвлении	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
на противотоке	3	3	3	3	3	3
Крестовины:						
на проходе	2	2	2	2	2	2
на ответвлении	3	3	3	3	3	3
Вентили:						
обыкновенные	16	10	9	9	8	7
прямоточные	3	3	3	2,5	2,5	2
Задвижки	–	–	0,5	0,5	0,5	0,5
Краны:						
проходные	4	2	2	2	–	–
двойной регулировки	2	2	2	–	–	–
Трёхходовой кран:						
при повороте потока	3	3	4,5	–	–	–
при прямом проходе	2	1,5	2	–	–	–

Таблица Д2 – Значения коэффициентов местного сопротивления стальных радиаторов и конвекторов [16]

Прибор	Марка прибора	Коэффициент местного сопротивления при диаметре условного прохода подводки, мм			
		10	15	20	25
Радиатор стальной	РСВ1	0,2	0,5	1,7	4,5
	РСВ2	0,6	1,35	4,5	12
Конвектор «Универсал»	КН20-к	0,75	1,9	6,3	16,2
	КН20-п	0,26	0,6	2,1	5,6
Конвектор «Универсал-С»	КН20-к	1,73	4,2	13,9	37
	КН20-п	0,34	0,81	2,7	7,2
Конвектор «Комфорт-20»	КН20-к	0,7	1,6	5,4	14,4
	КН20-п	0,4	0,9	3	8
Конвектор «Аккорд»	КА-к	0,6	1,5	4,9	13
	КА-п	0,5	1,2	3,9	10,3
	К2А-к	1,3	3,2	10,7	28,6
Конвектор «Ритм»	КО20-1,37-к	0,8	1,9	6,2	16,6
	КО20-1,37-п	0,5	1,1	3,8	10,1
	КО20-0,915-п	0,3	0,8	2,6	6,9
	КО20-2,14-к	1	2,4	7,9	21,1
	КО20-2,14-п	0,7	1,7	5,7	15,2
Конвектор высокий	КВ-20	5,6	13,5	45	120

Таблица Д3 – Значения коэффициентов местного сопротивления проточных (снизу-вниз) чугунных секционных радиаторов при  $w > 0,1$  м/с [16]

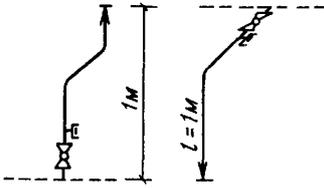
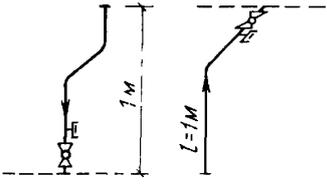
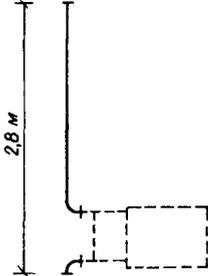
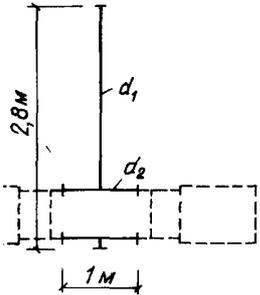
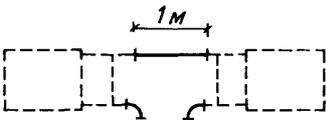
Диаметр условного прохода подводки, мм	Коэффициент местного сопротивления при числе секций					
	4	8	12	16	20	24
15	1,45	1,60	1,70	1,80	1,85	1,85
20	1,50	1,90	2,25	2,60	2,90	3,20
25	1,65	2,20	2,65	3,0	3,25	3,40
32	1,80	2,60	3,70	5,0	6,50	8,0

## Приложение Е – Динамическое давление

Таблица Е1 – Динамическое давление  $p_d$  для расчёта потерь давления в местных сопротивлениях трубопроводов систем водяного отопления [16]

Скорость движения воды $w$ , м/с	$p_d$ , Па	Скорость движения воды $w$ , м/с	$p_d$ , Па
0,01	0,05	0,41	82,37
0,02	0,2	0,42	86,3
0,03	0,45	0,43	91,2
0,04	0,8	0,44	95,13
0,05	1,23	0,45	99,08
0,06	1,77	0,46	103,98
0,07	2,45	0,47	108,89
0,08	3,14	0,48	112,81
0,09	4,02	0,49	117,71
0,1	4,9	0,5	122,61
0,11	5,98	0,51	127,52
0,12	7,06	0,52	131,37
0,13	8,34	0,53	138,31
0,14	9,61	0,54	143,21
0,15	11,08	0,55	149,09
0,16	12,56	0,56	154
0,17	14,24	0,57	159,88
0,18	15,89	0,58	165,77
0,19	17,75	0,59	170,67
0,2	19,61	0,6	176,55
0,21	21,57	0,61	183,42
0,22	23,53	0,62	189,3
0,23	26,48	0,65	207,88
0,24	28,44	0,68	227,48
0,25	30,44	0,71	248,07
0,26	33,34	0,74	268,67
0,27	36,29	0,77	291,23
0,28	38,25	0,8	314,79
0,29	41,19	0,85	355
0,3	44,13	0,9	398,18
0,31	47,08	0,95	443,29
0,32	49,99	1	490,3
0,33	53,93	1,05	539,4
0,34	56,88	1,1	590,2
0,35	59,82	1,15	647,2
0,36	63,74	1,2	706,1
0,37	67,67	1,25	764,9
0,38	70,61	1,3	833,6
0,39	74,53	1,35	892,4
0,4	78,45	1,4	961,1

Таблица Е2 – Характеристика сопротивления трубных узлов стояков однострубной системы отопления (при  $k = 1,0$ ) [16]

Номер узла	Наименование узла	Эскиз узла	Диаметр трубы, $D_y$ мм	Значения $S_{уз} \cdot 10^4$ , Па/(кг/ч) <sup>2</sup>
1	Присоединение к подающей магистрали		15 20 25	266/133 57/30 20/11
2	Присоединение к обратной магистрали		15 20 25	229/96 46/19 16/6,7
3	Этажестояк с односторонним присоединением прибора		15 20 25	113 23 8
4	Этажестояк с двусторонним присоединением прибора		15 20 25/20 25	97 21 12 7
5	Подводки в верхнем этаже П-образного стояка		15 20 25	56 12 4
6	Прямая труба длиной 1 м (добавка к узлам 1–5)		15 20 25	28,6 5,74 1,72

Примечания.

1. В эскизах сплошными линиями показаны элементы, сопротивление которых включено в  $S_{уз}$ .
2. Для узлов 1 и 2 в числителе дано  $S_{уз}$  при прямом вентиле, в знаменателе – при проходном кране.

Таблица Е3 – Характеристика сопротивления приборных узлов однетрубной системы отопления (при  $k = 1,0$ ) [16]

Отопительный прибор	Диаметр подводки $d_n$ , мм	Характеристика сопротивления элемента узла									
		обозначения	$S_{уз} \cdot 10^4$ , Па/(кг/ч) <sup>2</sup>								
			№ схемы присоединения по табл. Е4								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Конвекторы 15 КП, «Прогресс-15»	15	$S_{np}$	$\frac{57}{97}$	$\frac{57}{97}$	–	$\frac{114}{161}$	$\frac{36}{88}$	–	$\frac{14,3}{91}$	$\frac{114}{161}$	$\frac{14,3}{77}$
		$S_n$	$\frac{129}{107}$	$\frac{129}{107}$	–	$\frac{193}{171}$	$\frac{120}{103}$	–	$\frac{123}{106}$	$\frac{193}{140}$	$\frac{109}{99}$
		$S'_n$	$\frac{139}{139}$	$\frac{139}{139}$	–	$\frac{202}{202}$	$\frac{135}{135}$	–	$\frac{138}{138}$	$\frac{172}{172}$	$\frac{131}{131}$
Конвекторы, «Прогресс-20», «Аккорд» и прибор «Коралл»	20	$S_{np}$	$\frac{11,5}{25}$	$\frac{11,5}{25}$	–	$\frac{23}{44}$	$\frac{7,2}{23}$	–	$\frac{2,9}{23}$	$\frac{23}{44}$	$\frac{2,9}{20}$
		$S_n$	$\frac{35}{19}$	$\frac{35}{19}$	–	$\frac{54}{38}$	$\frac{32}{28}$	–	$\frac{33}{29}$	$\frac{54}{38}$	$\frac{30}{24}$
		$S'_n$	$\frac{30}{30}$	$\frac{30}{30}$	–	$\frac{48}{48}$	$\frac{37}{37}$	–	$\frac{38}{38}$	$\frac{48}{48}$	$\frac{34}{34}$
Ребристые и гладкие трубы	15	$S_{np}$	$\frac{29}{118}$	$\frac{0}{134}$	$\frac{29}{215}$	$\frac{0}{231}$	$\frac{29}{97}$	$\frac{0}{100}$	$\frac{0}{108}$	–	–
		$S_n$	$\frac{150}{128}$	$\frac{166}{144}$	$\frac{246}{224}$	$\frac{262}{240}$	$\frac{129}{112}$	$\frac{133}{116}$	$\frac{140}{124}$	–	–
		$S'_n$	$\frac{160}{160}$	$\frac{176}{176}$	$\frac{256}{256}$	$\frac{271}{271}$	$\frac{144}{144}$	$\frac{148}{148}$	$\frac{155}{155}$	–	–
То же	20	$S_{np}$	$\frac{5,7}{31}$	$\frac{0}{36}$	$\frac{5,7}{60}$	$\frac{0}{64}$	$\frac{5,7}{25}$	$\frac{0}{26}$	$\frac{0}{28}$	–	–
		$S_n$	$\frac{40}{35}$	$\frac{45}{40}$	$\frac{70}{64}$	$\frac{74}{68}$	$\frac{35}{30}$	$\frac{36}{31}$	$\frac{38}{34}$	–	–
		$S'_n$	$\frac{44}{44}$	$\frac{49}{49}$	$\frac{74}{74}$	$\frac{78}{78}$	$\frac{40}{40}$	$\frac{41}{41}$	$\frac{43}{43}$	–	–
Конвекторы, «Универсал», «Комфорт-20», «Ритм» (без регулирующих кранов)	20	$S_{np}$	$\frac{11,5}{15}$	–	$\frac{1,45}{15}$	$\frac{11,5}{15}$	–	–	–	–	–
		$S_n$	$\frac{25}{25}$	–	$\frac{5,1}{25}$	$\frac{25}{25}$	–	–	–	–	–
Конвектор «Универсал С»	20	$S_{np}$	–	–	–	$\frac{23}{44}$	–	–	–	–	–
		$S_n$	–	–	–	$\frac{54}{54}$	–	–	–	–	–
Конвектор высокий «КВ»	20	$S_{np} + S_n$	–	166	–	–	–	–	–	–	–
Радиаторы чугунные секционные и панельного типа РСВ1	15	$S_{np} + S_n$	$\frac{87}{119}$	–	$\frac{87}{119}$	–	–	–	–	–	–
		$S_{np} + S'_n$	$\frac{100}{131}$	–	$\frac{100}{131}$	–	–	–	–	–	–
То же	20	$S_{np} + S_n$	$\frac{21}{31}$	–	$\frac{21}{31}$	–	–	–	–	–	–
		$S_{np} + S'_n$	$\frac{26}{-}$	–	$\frac{26}{-}$	–	–	–	–	–	–

Окончание таблицы Е3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Радиаторы панельные РСГ2	15	$S_{np} + S_n$	$\frac{83}{115}$	–	$\frac{83}{115}$	–	–	–	–	–	–
		$S_{np} + S'_n$	$\frac{96}{127}$	–	$\frac{96}{127}$	–	–	–	–	–	–
То же	20	$S_{np} + S_n$	$\frac{31}{41}$	–	$\frac{31}{41}$	–	–	–	–	–	–
		$S_{np} + S'_n$	$\frac{36}{45}$	–	$\frac{36}{45}$	–	–	–	–	–	–

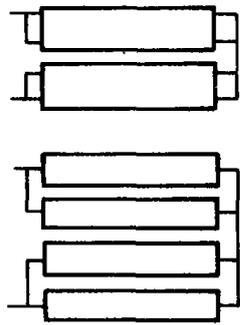
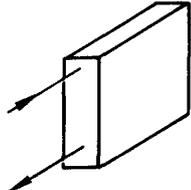
Примечания.

1. Характеристики сопротивления  $S_n$  и  $S'_n$  даны для подводов без уток (в числителе) и с утками (в знаменателе) при расстоянии от оси стояка до патрубка или пробки прибора 600 мм.
2. Диаметр труб обвязки отопительных блоков из ребристых или гладких труб принят по диаметру подводки.

Таблица Е4 – Схемы присоединения отопительных приборов к трубам системы водяного отопления [16]

№ схемы	Схема присоединения	№ схемы	Схема присоединения
Радиаторы чугунные секционные, стальные панельные типов РСВ, РСГ			
1		3	
2			
Конвекторы типов «Аккорд», «Коралл», «Прогресс», ребристые и гладкие трубы			
1		4	
2		5	
3		6	

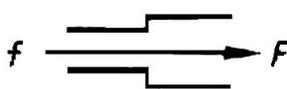
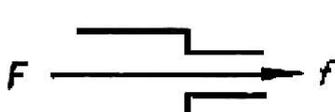
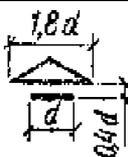
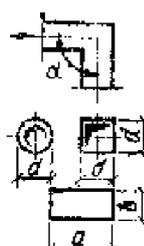
Окончание таблицы Е4

№ схемы	Схема присоединения	№ схемы	Схема присоединения
7		8	
		9	
Конвекторы с кожухом типа «Комфорт-20», «Ритм», «КВ», «Универсал»			
1		3	
2	 <p style="text-align: center;">(только для «КВ»)</p>	4	

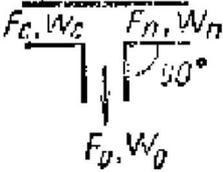
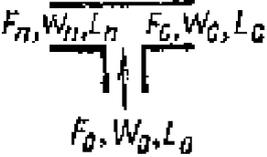
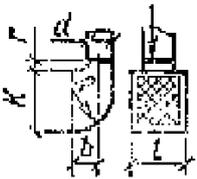
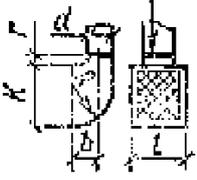
Примечание. Блоки приборов из ребристых и гладких труб по схемам № 2–7, а также блоки приборов «Прогресс», «Аккорд», по схемам № 5, 7, 8, 9 промышленность не изготавливает. При необходимости обвязка может производиться на месте монтажа.

## Приложение Ж – Динамическое давление

Таблица Ж1 – Значения коэффициентов местного сопротивления для некоторых фасонных частей воздуховодов [16]

Сопротивление	Эскиз	Коэффициент местного сопротивления					
1	2	3					
Внезапное расширение		$\zeta = \left(1 - \frac{f}{F}\right)^2$					
		$\zeta = 0.5 \left(1 - \frac{f}{F}\right)$					
Отводы круглые, квадратные и прямоугольные		$\alpha$	30	45	60	90	130
		$R/d = 1$					
		$\zeta$	0,09	0,13	0,16	0,21	0,25
		$R/d = 2$					
		$\zeta$	0,07	0,09	0,12	0,15	0,18
		Для прямоугольных отводов умножить на коэффициент $c$					
		$b/a$	0,25	0,5	1	1,5	2
$c$	1,3	1,17	1	0,9	0,85		
Вытяжная шахта с диффузором		$h/d$	0,3	0,4	0,6	0,9	1
		$\zeta$	0,8	0,65	0,6	0,6	0,6
Вытяжная шахта с зонтом		$\zeta = 1,3$					
Колено круглое, квадратное и прямоугольное		$\alpha$	30	45	60	90	$\alpha$
		$\zeta$	0,16	0,32	0,56	1,2	$\zeta$
		Для прямоугольных колен умножить на коэффициент $c$					
		$b/a$	0,25	0,5	1	1,5	$b/a$
$c$	1,1	1,07	1	0,95	$c$		

Продолжение таблицы Ж1

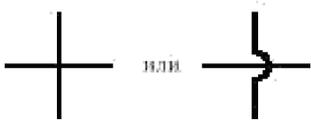
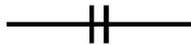
1	2	3																																																																
Дефлектор круглый ЦАГИ		$\zeta = 0,64$																																																																
Тройник под углом 90° на притоке воздуха		<p>Проход <math>F_n + F_o &gt; F_c; F_n = F_c</math></p> <table border="1" data-bbox="901 443 1476 537"> <tr> <td><math>v_o/v_o</math></td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>0,4</td> <td>0</td> <td>-0,1</td> <td>-0,1</td> <td>0</td> </tr> </table> <p>Проход <math>F_n + F_o = F_c</math></p> <table border="1" data-bbox="901 577 1476 672"> <tr> <td><math>v_n/v_o</math></td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>4,4</td> <td>2</td> <td>0,8</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table> <p>Проход <math>F_c + F_n &gt; F_c; F_n = F_c</math></p> <table border="1" data-bbox="901 712 1476 806"> <tr> <td><math>v_n/v_c</math></td> <td>0,4</td> <td>0,6</td> <td>0,8</td> <td>1,2</td> <td>1,4</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>9,4</td> <td>4,2</td> <td>2,3</td> <td>1,6</td> <td>1</td> </tr> </table>	$v_o/v_o$	0,4	0,5	0,6	0,8	1	$\zeta$	0,4	0	-0,1	-0,1	0	$v_n/v_o$	0,4	0,5	0,6	0,8	1	$\zeta$	4,4	2	0,8	1	0	$v_n/v_c$	0,4	0,6	0,8	1,2	1,4	$\zeta$	9,4	4,2	2,3	1,6	1																												
		$v_o/v_o$	0,4	0,5	0,6	0,8	1																																																											
		$\zeta$	0,4	0	-0,1	-0,1	0																																																											
		$v_n/v_o$	0,4	0,5	0,6	0,8	1																																																											
		$\zeta$	4,4	2	0,8	1	0																																																											
		$v_n/v_c$	0,4	0,6	0,8	1,2	1,4																																																											
		$\zeta$	9,4	4,2	2,3	1,6	1																																																											
Тройник под углом 90° на вытяжке воздуха		<p>Для прохода воздуха</p> <table border="1" data-bbox="901 862 1476 1108"> <tr> <td rowspan="2"><math>\frac{F_n}{F_c}</math></td> <td colspan="5"><math>\zeta</math> при <math>L_n/L_o</math></td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>0,4</td> <td>0,6</td> <td>0,7</td> <td>0,8</td> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>0,5</td> <td>1,5</td> <td>4,4</td> <td>8,4</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>0,4</td> <td>1</td> <td>2,8</td> <td>5,2</td> <td>12,3</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0,4</td> <td>0,7</td> <td>1,6</td> <td>2,8</td> <td>6,3</td> </tr> </table> <p>Для ответвления</p> <table border="1" data-bbox="901 1153 1476 1433"> <tr> <td rowspan="2"><math>\frac{F_o}{F_n}</math></td> <td colspan="5"><math>\zeta</math> при <math>L_n/L_c</math></td> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>0,2</td> <td>0,4</td> <td>0,5</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>0,1</td> <td>0,3</td> <td>0,9</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>-1,7</td> <td>0,6</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>-9,4</td> <td>-0,6</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1,1</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>-21</td> <td>-2,7</td> <td>0,9</td> <td>1,1</td> <td>1,2</td> </tr> </table>	$\frac{F_n}{F_c}$	$\zeta$ при $L_n/L_o$					0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,1	0,5	1,5	4,4	8,4	20	0,4	0,4	1	2,8	5,2	12,3	1	0,4	0,7	1,6	2,8	6,3	$\frac{F_o}{F_n}$	$\zeta$ при $L_n/L_c$					0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	0,1	0,3	0,9	1	1	1	0,2	-1,7	0,6	1	1	1	0,4	-9,4	-0,6	1	1	1,1	0,6	-21	-2,7	0,9	1,1	1,2
		$\frac{F_n}{F_c}$		$\zeta$ при $L_n/L_o$																																																														
			0,2	0,4	0,6	0,7	0,8																																																											
		0,1	0,5	1,5	4,4	8,4	20																																																											
		0,4	0,4	1	2,8	5,2	12,3																																																											
		1	0,4	0,7	1,6	2,8	6,3																																																											
		$\frac{F_o}{F_n}$	$\zeta$ при $L_n/L_c$																																																															
			0,1	0,2	0,4	0,5	0,7																																																											
		0,1	0,3	0,9	1	1	1																																																											
		0,2	-1,7	0,6	1	1	1																																																											
0,4	-9,4	-0,6	1	1	1,1																																																													
0,6	-21	-2,7	0,9	1,1	1,2																																																													
Выход с плавным поворотом потока воздуха через расширенный патрубок		$\zeta = 1,7$ при живом сечении сетки 80% $r = 0,2d; R = 1,2d;$ $b = 0,7d; l = 1,25d;$ $k = 1,8d$																																																																
Выход с плавным поворотом потока воздуха через расширенный патрубок		$\zeta = 1,7$ при живом сечении сетки 80% $r = 0,2d; R = 1,2d;$ $b = 0,7d; l = 1,25d;$ $k = 1,8d$																																																																

Окончание таблицы Ж1

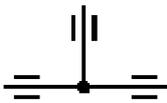
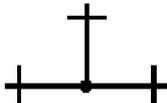
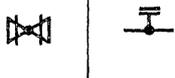
1	2	3
Вход с поворотом потока воздуха (в отверстие с острыми краями)	<p><i>Конечная щель воздуховода</i></p>  <p><i>Жалюзийная решётка</i></p> 	$\zeta = 2$
Вход с поворотом потока воздуха	<p><i>Щель в конце воздуховода</i></p>  <p><i>Жалюзийная решётка</i></p> 	$\zeta = 2,5$

**Приложение И – Основные условные графические изображения и обозначения элементов систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплоснабжения**

Таблица И1 – Условные графические изображения и обозначения элементов систем отопления [16]

ГОСТ, элемент конструкции	Обозначение
1	2
ГОСТ 21.206-93. «Условные обозначения трубопроводов»	
Теплопровод горячей воды для отопления:	
подающий	— T1 —
обратный	— T2 —
ГОСТ 2.784-96. «Обозначения условные графические. Элементы трубопроводов»	
Пересечение трубопроводов без соединения	
Соединение трубопроводов разъёмное:	
муфтовое резьбовое	
фланцевое	

Окончание таблицы И1

1	2
Переход патрубков переходный фланцевый	
Изолированный участок трубопровода	
Компенсатор П-образный	
Опора трубопровода неподвижная	
Опора трубопровода подвижная	
Тройник муфтовый	
Тройник фланцевый	
ГОСТ 2.785-70. «Обозначения условные графические. Арматура трубопроводная»	
Вентиль (клапан) запорный проходной	
Вентиль (клапан) трёхходовой	
Клапан обратный проходной (движение среды от белого треугольника к чёрному)	
Клапан дроссельный	
Задвижка	
Кран проходной	
Кран трёхходовой	
Кран двойной регулировки	
ГОСТ 2.786-70 «Обозначение условные графические. Элементы санитарно-технических устройств»	
Змеевик	
Радиатор, панель отопительная	

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, А.И. Теплотехнические расчёты ограждающих конструкций зданий: метод. указания / А.И. Антонов, В.А. Езерский, В.И. Леденев. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 1997. – 31 с.
2. Балашов, А.А. Проектирование систем отопления и вентиляции гражданских зданий: учебное пособие / А.А. Балашов, Н.Ю. Полунина. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 88 с.
3. ГОСТ 15588-86. Плиты пенополистирольные. Технические условия.
4. ГОСТ 21.602-2003. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации отопления, вентиляции и кондиционирования.
5. ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
6. Ерёмкин, А.И. Тепловой режим зданий: учебное пособие / А.И. Ерёмкин, Т.И. Королева. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 368 с.
7. Крупнов, Б.А. Руководство по проектированию систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха / Б.А. Крупнов, Н.С. Шарафудинов. – Москва – Вена, 2008. – 220 с.
8. Ляшков, В.И. Теплогазоснабжение и вентиляция: метод. указ. к курс. работе / В.И. Ляшков, С.Н. Кузьмин. – Тамбов: Тамб. гос. техн. ун-т, 1993. – 43 с.
9. Самарин, О.Д. Проектирование и расчет систем вентиляции: метод. указания / О.Д. Самарин. – М.: Изд-во ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2012. – 31 с.
10. Сканави, А.Н. Отопление: учебник для студентов вузов / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.
11. СНиП 2.01.07-85\*. Нагрузки и воздействия.
12. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология.
13. СНиП II-3-79\*. Строительная теплотехника.
14. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий.
15. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий.
16. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.1: Отопление / Под ред. И.Г. Старовойтова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
17. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.3: Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 / Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с.
18. Теплоснабжение и вентиляция: курсовое и дипломное проектирование / Под ред. Б.М. Хрусталева. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 784 с.
19. Тихомиров, К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: учебник для вузов / К.В. Тихомиров, Э.С. Сергеенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 480 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	1
ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ.....	1
1. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ И ВЛАЖНОСТНЫЙ РАСЧЁТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	3
1.1. Теплотехнический расчёт наружных ограждающих конструкций.....	3
1.2. Проверка отсутствия конденсации водяных паров на внутренней поверхности наружного ограждения.....	9
2. РАСЧЁТ ТЕПЛОВОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.....	11
2.1. Расчёт основных тепловых потерь через ограждающие конструкции здания.....	11
2.1.1. Расчёт теплотерь через наружные стены.....	11
2.1.2. Расчёт теплотерь через полы.....	12
2.1.3. Расчёт теплотерь через окна.....	16
2.1.4. Расчёт теплотерь через наружные двери.....	18
2.1.5. Расчёт теплотерь через чердачное перекрытие.....	19
2.2. Расчёт дополнительных потерь тепла.....	20
2.2.1. Добавочные потери тепла на ориентацию сторон света.....	20
2.2.2. Добавочные потери тепла на открывание наружных дверей.....	21
2.2.3. Добавочные потери тепла на наличие двух и более наружных стен.....	21
2.2.4. Добавочные потери на высоту помещений.....	21
2.2.5. Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха через ограждающие конструкции помещений.....	21
2.3. Расчёт теплопоступлений.....	25
2.4. Уравнение теплового баланса здания.....	26
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОВЕРХНОСТИ И ЧИСЛА ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ.....	28
4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ.....	40
4.1. Классификация систем отопления.....	40
4.2. Характеристика систем отопления.....	42
4.3. Классификация систем водяного отопления.....	43
4.4. Основные принципы гидравлического расчёта теплопроводов систем водяного отопления.....	46
4.5. Гидравлический расчёт системы водяного отопления методом сложения характеристик сопротивлений.....	56

5. ПОДБОР ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	68
5.1. Подбор нерегулируемого водоструйного элеватора типа ВТИ Мосэнерго.....	68
5.2. Подбор нерегулируемого водоструйного элеватора марки 40С10бк.....	70
5.3. Подбор насоса в системе водяного отопления.....	71
6. АЭРОДИНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ КАНАЛОВ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	74
6.1. Принципиальная схема и конструктивные элементы канальной системы естественной вентиляции.....	74
6.2. Вытяжные шахты.....	77
6.3. Определение естественного давления и расчёт воздухопроводов.....	79
6.4. Оборудование системы вентиляции .....	89
Приложение А – Варианты заданий для курсовой работы.....	90
Приложение Б – Таблица для гидравлического расчёта систем водяного отопления.....	114
Приложение В – Плотность воды.....	117
Приложение Г – Определение дополнительного гравитационного давления.....	118
Приложение Д – Коэффициенты местных сопротивлений.....	119
Приложение Е – Динамическое давление.....	121
Приложение Ж – Динамическое давление.....	126
Приложение И – Основные условные графические изображения и обозначения элементов систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и теплоснабжения.....	130
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	131