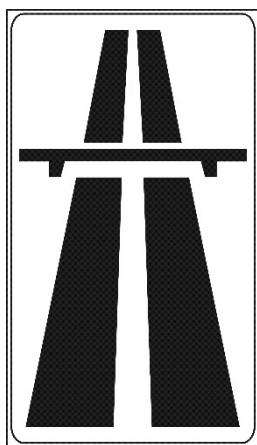


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильные дороги»

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности
7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений»
дневной и заочной форм обучения*



Могилев 2026

УДК 696
ББК 38.621
И62

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Автомобильные дороги» «28» мая 2026 г.,
протокол № 10

Составители: канд. техн. наук, А. М. Брановицкий;
ст. преподаватель Н. В. Курочкин

Рецензент канд. техн. наук, доц. С. В. Данилов

Методические рекомендации к курсовому проектированию по дисциплине
«Инженерные сети и оборудование» предназначены для студентов специальности
7-07-0732-01 «Строительство зданий и сооружений» дневной и заочной форм обу-
чения.

Учебное издание

ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Ответственный за выпуск	А. М. Брановицкий
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 26 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2026

Содержание

1 Задание на проектирование	4
2 Содержание и объем проекта.....	6
3 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций	7
4 Расчетные потери теплоты отапливаемого здания. Расчет тепловой мощности системы отопления	12
5 Конструирование системы водяного отопления жилого здания	17
6 Тепловой расчет системы отопления	20
7 Подбор оборудования теплового пункта.....	24
8 Гидравлический расчет системы водяного отопления.....	27
9 Проектирование системы вентиляции	31
Список литературы	36

1 Задание на проектирование

Источником теплоснабжения является городская тепловая сеть, теплоносителем – вода. Схема присоединения к наружной тепловой сети – зависимая. Высота этажа здания – 3 м. Район строительства принимается из таблицы 1.1. Исходные данные для проектирования приведены в таблице 1.2. Варианты планов этажей выдает преподаватель.

Таблица 1.1 – Район строительства

Сумма двух последних цифр шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Район строительства	Брестская область			Витебская область			Гомельская область			Гродненская область			Минская область			Могилевская область			

Таблица 1.2 – Исходные данные для проектирования систем ОВ

Последняя цифра шифра	Ориентация фасада	Материал наружных стен	Теплоизоляционный материал			Отопительный прибор	Температура воды в тепловой сети, °С	Разводка магистралей	Схема включения отопительного прибора в стояк	Располагаемое давление, кПа
			наружных стен	перекрытия над подвалом	чердачного перекрытия					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	С	Кирпич глиняный обыкновенный	Плиты полистиролбетонные	Плиты из пенопласта	Маты минераловатные прошивные	2К60 П	130	Верхняя	Однотрубная	120
1	Ю	Кирпич силикатный	Плиты пенополистирольные	Пенополиуретан	Плиты минераловатные	2КП 90х 500	135			130
2	З	Кирпич керамический пустотный	Пенополиуретан	Плиты минераловатные	Плиты пенополистирольные	ЛК-10	140			140
3	В	Кирпич силикатный утолщенный	Плиты минераловатные	Маты минераловатные прошивные	Плиты полистиролбетонные	ЛК-11	145	Нижняя	Двухтрубная	150
4	СЗ	Газосиликат	Плиты из пенопласта	Плиты пенополистирольные	Пенополиуретан	ЛК-21	150			160

Окончание таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	СВ	Кирпич силикатный	Плиты полистиролбетонные	Плиты минераловатные	Пенополиуретан	ЛК-22	150	Верхняя	Двухтрубная	160
6	ЮЗ	Кирпич керамический пустотный	Плиты из пенопласта	Маты минераловатные прошивные	Плиты пенополистирольные	ЛК-33	145			150
7	ЮВ	Кирпич глиняный обыкновенный	Пенополиуретан	Плиты пенополистирольные	Маты минераловатные	2К 60П	140			140
8	СЗ	Газосиликат	Плиты минераловатные	Плиты полистиролбетонные	Плиты из пенопласта	2КП 90х 500	135	Верхняя	Однотрубная	130
9	С	Кирпич силикатный утолщенный	Плиты пенополистирольные	Плиты из пенопласта	Плиты полистиролбетонные	2К 60П	130			120

2 Содержание и объем проекта

Курсовая работа содержит графическую часть и пояснительную записку.

2.1 Общие требования к графической части и ее содержание

Графическая часть выполняется карандашом, тушью или с применением ЭВМ на одном листе формата А1 и включает:

- 1) планы этажей, подвала или чердака здания, М 1:100 (с обозначением стояков, подводок, отопительных приборов и их марок);
- 2) разрез по лестничной клетке, М 1:100;
- 3) схему теплового пункта, М 1:10;
- 4) аксонометрическую схему системы отопления, М 1:50;
- 5) схему вытяжной вентиляции, М 1:50;
- 6) изображение используемого отопительного прибора.

Элементы инженерных систем, а также трубопроводы на чертежах показывают сплошной основной линией, соответствующей оси трубопровода, строительные конструкции – тонкой линией. Трубопроводы, расположенные друг над другом, на планах условно изображаются параллельными линиями. Оборудование систем (насосы, баки и др.) на планах показывают упрощенными графическими изображениями, а другие элементы систем – условными обозначениями в соответствии с действующими ТНПА. Трубопроводы тепловых сетей обозначаются Т1, Т2. На планах и схемах стояки системы отопления следует обозначать Ст 1, Ст 2.

2.2 Общие требования к пояснительной записке

Расчетно-пояснительная записка должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ 2.105–95 *Общие требования к текстовым документам*.

Структура пояснительной записки.

Введение.

- 1 Теплотехнический расчет конструкций.
 - 2 Расчетные потери теплоты отапливаемого здания. Расчет тепловой мощности системы отопления.
 - 3 Тепловой расчет системы отопления.
 - 4 Подбор оборудования теплового пункта.
 - 4.1 Подбор элеватора.
 - 4.2 Подбор бака.
 - 5 Гидравлический расчет системы водяного отопления.
 - 6 Аэродинамический расчет системы вентиляции с естественным побуждением движения воздуха.
- Список литературы.

3 Теплотехнический расчет ограждающих конструкций

3.1 Расчетные условия

Расчетные параметры воздуха в помещениях для проектирования наружных ограждающих конструкций жилых зданий следует принимать по [0, таблица 4.1]: расчетная температура воздуха $t_e = 18$ °С, относительная влажность воздуха $\phi_e = 55$ %. Влажностный режим помещений – нормальный, условия эксплуатации ограждающих конструкций – Б. Внутренние ограждающие конструкции, чердачные перекрытия, перекрытия над неотапливаемыми подвалами и техническими подпольями следует рассчитывать для условий эксплуатации ограждающих конструкций – А.

Среднюю температуру наружного воздуха для определенного района строительства следует принимать по таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Средняя температура наружного воздуха t_n

Расчетный период	Средняя температура наружного воздуха t_n , °С, по областям					
	Брест- ская	Витеб- ская	Гомель- ская	Грод- ненская	Минская	Могилев- ская
Наиболее холодные сутки обеспеченностью 0,98	–31	–37	–32	–31	–33	–34
Наиболее холодные сутки обеспеченностью 0,92	–25	–31	–28	–26	–28	–29
Наиболее холодная пятидневка обеспеченностью 0,92	–21	–25	–24	–22	–24	–25
<i>Примечание</i> – Среднюю температуру наиболее холодных трех суток следует определять как среднее арифметическое значений температуры наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92						

3.2 Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций R_m должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{m,норм}$ (таблица 3.2). Требование не распространяется на конструкции наружных дверей, ворот и ограждающие конструкции помещений с избытками явной теплоты.

Требуемое приведенное сопротивление теплопередаче $R_{m,тр}$, м²·°С/Вт, следует определять по формуле

$$R_{m,тр} = \frac{n \cdot (t_e - t_n)}{\alpha_e \cdot \Delta t_e}, \quad (3.1)$$

где t_e – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

t_n – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °С, принимаемая с

учетом тепловой инерции ограждающих конструкций D (за исключением заполнений проемов) по таблице 3.3;

n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимаемый по таблице 3.4;

$\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·°C), принимаемый по таблице 3.5;

$\Delta t_{\text{в}}$ – расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °C, принимаемый по таблице 3.6.

Тепловую инерцию ограждающей конструкции D рассчитывают по формуле

$$D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_n s_n, \quad (3.2)$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ – термическое сопротивление отдельных слоев ограждающей конструкции, определяемое по формуле (3.3), м²·°C/Вт;

$s_1, s_2, \dots, s_n$ – расчетный коэффициент теплоусвоения материала отдельных слоев ограждающей конструкции в условиях эксплуатации [0, приложение А], Вт/(м²·°C).

Расчетный коэффициент теплоусвоения воздушных прослоек принимается равным нулю. Слои конструкции, расположенные между воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом, и наружной поверхностью ограждающей конструкции, не учитываются.

Термическое сопротивление однородной ограждающей конструкции, а также слоя многослойной конструкции R , м²·°C/Вт, определяется по формуле

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3.3)$$

где δ – толщина слоя, м;

λ – коэффициент теплопроводности материала однослойной или теплоизоляционного слоя многослойной ограждающей конструкции [0, приложение А], Вт/(м·°C).

Термическое сопротивление многослойной ограждающей конструкции с последовательно расположенными однородными слоями R_k , м²·°C/Вт, рассчитывается по формуле

$$R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n, \quad (3.4)$$

где $R_1, R_2, \dots, R_n$ – термическое сопротивление отдельных слоев конструкции, определяемое по формуле (3.3), м²·°C/Вт.

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_o , м²·°C/Вт, находят по формуле

$$R_o = \frac{1}{\alpha_B} + R_k + \frac{1}{\alpha_H}, \quad (3.5)$$

где R_k – термическое сопротивление ограждающей конструкции (определяется по формуле (3.3) для однородной однослойной конструкции, и по формуле (3.4) для многослойной конструкции), $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$;

α_n – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции для зимних условий (принимается по таблице 3.7), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$. При определении сопротивления теплопередаче внутренних ограждающих конструкций вместо α_n следует принимать α_v более холодного помещения.

Приведенное сопротивление теплопередаче наружных дверей (кроме балконных) и ворот R_m должно быть не менее 0,6 значения требуемого сопротивления теплопередаче наружных стен $R_{m,тр}$, определяемого по формуле (3.1) при расчетной зимней температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

Приведенное сопротивление теплопередаче заполнений наружных световых проемов R_m должно быть не менее нормативного сопротивления теплопередаче $R_{m,норм}$, приведенного в таблице 3.2.

Приведенное сопротивление теплопередаче внутренних ограждающих конструкций (стен, перегородок, перекрытий) между помещениями с нормируемой температурой воздуха при разности значений температуры воздуха в этих помещениях более $6\text{ }^\circ\text{С}$ R_m должно быть не менее требуемого сопротивления теплопередаче $R_{m,тр}$, рассчитываемого по формуле (3.1).

При определении требуемого сопротивления теплопередаче внутренних ограждающих конструкций в формуле (3.1) следует принимать $n = 1$; вместо t_n – расчетную температуру воздуха более холодного помещения; Δt_e для стен и перегородок – как для наружных стен; Δt_e для нижней поверхности перекрытий – как для покрытий; Δt_e для верхней поверхности перекрытий – как для перекрытий над проездами.

Для наружной стены по принятому значению сопротивления теплопередаче R_m выполняется проверка на отсутствие конденсации влаги на ее поверхности. Для выполнения этого условия температура внутренней поверхности ограждающей конструкции должна быть не ниже температуры точки росы внутреннего воздуха при расчетной зимней температуре наружного воздуха.

Температура внутренней поверхности τ_e , $^\circ\text{С}$, ограждающей конструкции рассчитывается по формуле

$$\tau_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_\tau \cdot \alpha_B}. \quad (3.6)$$

Полученное значение τ_e должно быть больше температуры точки росы τ_p , которая определяется по формуле

$$\tau_p = 20,1 - (5,75 - 0,00206 \cdot e_n)^2, \quad (3.7)$$

где e_n – упругость водяных паров в воздухе помещения, Па,

$$e_n = \frac{\Phi_e}{100} \left[477 + 133,3 \cdot (1 + 0,14 \cdot t_e)^2 \right]. \quad (3.8)$$

Таблица 3.2 – Нормативные сопротивления теплопередаче для жилых зданий при строительстве, реконструкции и модернизации

Ограждающая конструкция	Нормативное сопротивление теплопередаче $R_{т.норм}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Наружные стены зданий	3,2
Совмещенные покрытия, перекрытия над проездами, чердачные перекрытия	6,0
Перекрытия над техническими подпольями, неотапливаемыми подвальными и цокольными этажами, ограждающие конструкции технических подполий	По расчету, из условия обеспечения перепада между температурой пола и температурой воздуха помещений первого этажа не более $0,8^\circ\text{C}$ и отсутствия конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций
Перекрытия между теплым чердаком и помещениями последнего этажа, ограждающие конструкции теплых чердаков	По расчету, из условия обеспечения перепада между температурой потолка и температурой воздуха помещений последнего этажа не более $0,8^\circ\text{C}$ и отсутствия конденсата на внутренних поверхностях ограждающих конструкций
Заполнения световых проемов	1,0
<i>Примечания</i> 1 Температуру воздуха в неотапливаемом подвальном этаже, техническом подполье (далее – техподполье) и в теплом чердаке следует определять на основании расчета теплового баланса в соответствии с [0, приложения К и Л]. При этом температура воздуха в техподполье зданий должна быть при расчетных условиях не ниже 5°C. 2 Для жилых зданий с поквартирной установкой отопительных котлов температура воздуха в техподполье допускается ниже 5°C. При этом, если температура воздуха в техподполье при расчетных условиях ниже 2°C, предусматривают мероприятия по обеспечению требуемой температуры эксплуатации инженерных систем и предупреждению отрицательных последствий замораживания основания	

Таблица 3.3 – Расчетная зимняя температура наружного воздуха

Тепловая инерция D	Температура наружного воздуха $t_n, ^\circ\text{C}$
До 1,5 включ.	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98
Св. 1,5 до 4 включ.	Средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92
Св. 4 до 7 включ.	Средняя температура наиболее холодных трех суток обеспеченностью 0,92
Св. 7	Средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92

Таблица 3.4 – Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности

Ограждающая конструкция	$\alpha_w, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
Стены, полы, гладкие потолки	8,7

Таблица 3.5 – Коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху

Ограждающая конструкция	n
1 Наружные стены и покрытия (в том числе вентилируемые наружным воздухом); чердачные перекрытия с кровлей из штучных материалов и перекрытия над проездами	1
2 Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом; чердачные перекрытия с кровлей из рулонных материалов	0,9
3 Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
4 Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли	0,6
5 Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенные ниже уровня земли	0,4

Таблица 3.6 – Расчетный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности Δt_{θ}

Ограждающая конструкция	$\Delta t_{\theta}, ^\circ\text{C}$
Наружные стены	6
Покрытия и чердачные перекрытия	4
Перекрытия над проездами, подвалами и подпольями	2

Таблица 3.7 – Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности

Ограждающая конструкция	$\alpha_n, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
1 Наружные стены, покрытия, перекрытия над проездами	23
2 Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом	17
3 Перекрытия чердачные и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружные стены с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4 Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенных выше уровня земли, и над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенными ниже уровня земли	6

Таблица 3.8 – Приведенное сопротивление теплопередаче дверей

Конструкция заполнения проема	$R_m, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Наружные деревянные двери и ворота одинарные	0,21
То же двойные	0,43
Двери стеклянные одинарные	0,15
То же двойные	0,27
Внутренние двери одинарные	0,34

4 Расчетные потери теплоты отапливаемого здания. Расчет тепловой мощности системы отопления

Для расчета суммарных потерь теплоты каждого отапливаемого помещения предварительно необходимо:

- выявить значения сопротивления теплопередачи для всех наружных ограждений, а также для внутренних, разделяющих помещения с разностью расчетных температур между ними 3 °С и более;
- вычертить планы этажей, подвала, чердака, разрезы здания;
- пронумеровать отапливаемые помещения. Как правило, нумерация производится начиная с угловых комнат по ходу часовой стрелки (для первого этажа с № 101, для второго – с № 201 и т. д.). Лестничные клетки обозначаются буквами (А, Б и т. д.). Внутренние вспомогательные помещения: коридоры, санузлы, кладовые, ваннные комнаты и другие, не имеющие наружных стен, – отдельно не нумеруются. Теплотери этих помещений через полы и потолки относят к смежным с ними комнатам.

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

$$Q_{зд} = \Sigma Q_4, \quad (3.9)$$

где Q_4 – расчетные суммарные потери теплоты отапливаемого помещения (тепловая нагрузка помещения), Вт, которые определяются по формуле

$$Q_4 = \Sigma Q + Q_i - Q_h (1 - \eta_1), \quad (3.10)$$

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

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

Q_h – суммарный тепловой поток, регулярно поступающий в помещения здания от электрических приборов, освещения, технологического оборудования, коммуникаций, материалов, людей и других источников, Вт;

η_1 – коэффициент, принимаемый в зависимости от способа регулирования системы отопления по таблице 4.1.

Каждая из составляющих теплового баланса (4.2) отапливаемого помещения рассчитывается по соответствующей методике.

Расчетная температура воздуха в помещениях принимается по таблице 4.2. Температура в подвале и тамбуре принимается равной плюс 2 °С, на чердаке – как расчетная температура наружного воздуха.

Таблица 4.1 – Значения коэффициента η_1

Система отопления и способ регулирования	η_1
Водяное отопление с индивидуальными автоматическими терморегуляторами у отопительных приборов	0,80
Водяное отопление с местным регулированием по температуре внутреннего воздуха помещения-представителя	0,60
Водяное отопление с местной системой регулирования по температуре наружного воздуха («следящая система регулирования»)	0,40
Водяное отопление без регулирования, печное отопление без регулирования	0,20

Таблица 4.2 – Расчетная температура воздуха

Наименование помещений	Расчетная температура воздуха в холодный период года, °C
1 Жилая комната	18
2 Кухня	18
3 Ванная	25
4 Уборная индивидуальная	18
5 Совмещенный санитарный узел	25
6 Общий коридор, лестничная клетка	16
7 Кладовые	12
<i>Примечание</i> – В угловых помещениях квартир и общежитий расчетную температуру воздуха следует принимать на 2 °C выше указанной в таблице	

4.1 Определение основных и добавочных потерь теплоты помещения через ограждающие конструкции

Основные и добавочные потери теплоты следует определять, суммируя потери теплоты через отдельные ограждающие конструкции Q , Вт, с округлением до 10 Вт для помещений, по формуле

$$Q = A(t_g - t_n) \left(1 + \sum \beta \right) n / R_m, \quad (3.11)$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м²;

R_m – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м²·°C/Вт;

t_g – расчетная температура воздуха в помещении, °C;

t_n – расчетная температура наружного воздуха для холодного периода года (температура наиболее холодной пятидневки) при определении потерь теплоты через наружные ограждающие конструкции или расчетная температура воздуха более холодного помещения при определении потерь теплоты через внутренние ограждающие конструкции, °C;

β – добавочные потери теплоты в долях от основных потерь;

n – коэффициент, принимаемый по таблице 3.5 в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху.

Добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции β следует принимать в долях от основных потерь:

– в помещениях любого назначения через наружные вертикальные и наклонные стены, двери и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад – 0,10, на юго-восток и запад – 0,05;

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

– через наружные двери при высоте зданий H , м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты: $0,20H$ для тройных дверей с двумя тамбурами между ними; $0,27H$ для двойных дверей с тамбуром между ними; $0,34H$ для двойных дверей без тамбура; $0,22H$ для одинарных дверей.

Размеры ограждений (с точностью до $0,1 \text{ м}^2$) определяют по [0] (рисунок 4.1). При определении потерь теплоты через окна и двери их площадь следует вычитать из площади стен.

Соппротивление теплопередаче для полов следует определять:

а) для неутепленных полов на грунте и стен ниже уровня земли с коэффициентом теплопроводности $\lambda \geq 1,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам, принимая R_c , $\text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$, равным: 2,1 для зоны 1; 4,3 для зоны 2; 8,6 для зоны 3; 14,2 для зоны 4 оставшейся площади пола;

б) для утепленных полов на грунте и стен ниже уровня земли с утепляющим слоем толщиной δ , м, и коэффициентом теплопроводности $\lambda < 1,2 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$ по формуле $R_h = R_c + \delta/\lambda$; для полов на лагах по формуле $R_h = 1,18(R_c + \delta/\lambda)$.

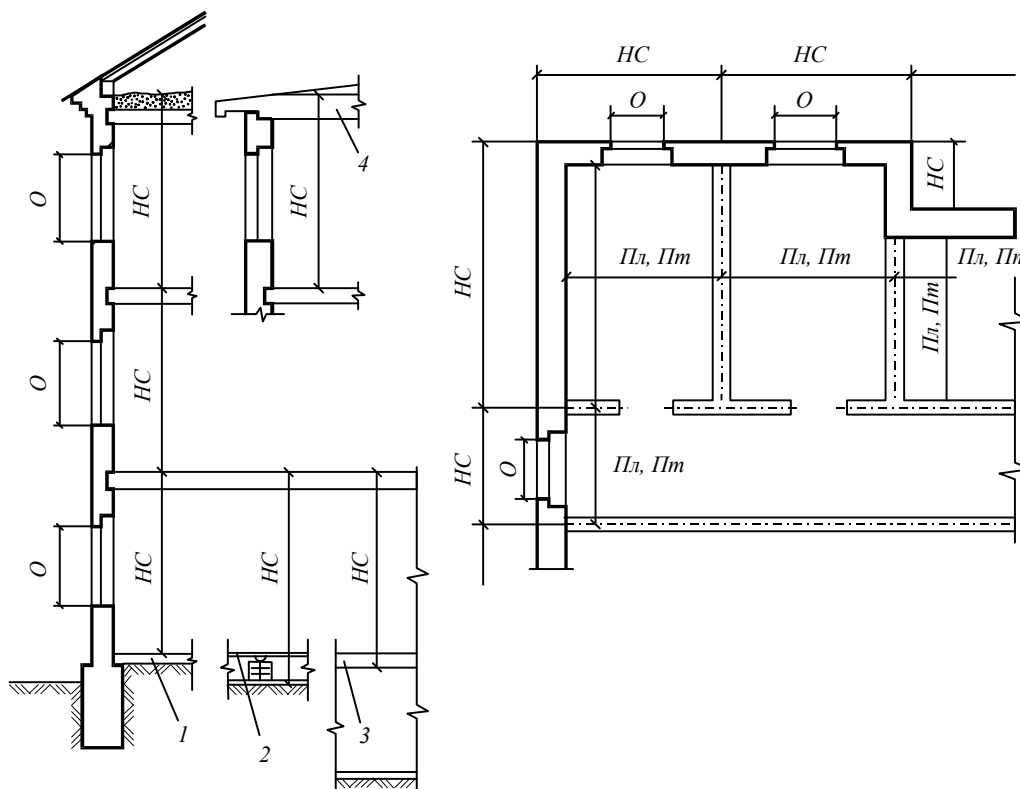
Приведенное сопротивление теплопередаче для полов на грунте R_m принимается равным R_c – для неутепленных полов и R_h – для утепленных.

Теплопотери через отдельные ограждения каждого помещения суммируют. Теплопотери всей лестничной клетки определяют, как для одного помещения. Ограждающие конструкции обозначают сокращенно: НС – наружная стена, ВС – внутренняя стена, Пер – перегородка, ТО – окно с тройным остеклением, ДД – двойная дверь, Пл – пол, Пт – потолок.

Результаты расчета основных и добавочных потерь теплоты сводятся в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Расчет основных и добавочных потерь теплоты помещений

Номер, назначение помещения	$t_{\text{в}}$, °C; площадь помещения F , м^2	Ограждение					Расчётная разность температур $(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})$, °C	Коэффициент n	$1 + \Sigma\beta$	Q , Вт
		Наименование	Ориентация	Размеры, м	Площадь A , м^2	Соппротивление теплопередаче R_m , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11



1 – утепленный пол на грунте; 2 – пол на лагах; 3 – пол над подвалом; 4 – чердак

Рисунок 4.1 – Правила обмера ограждений в плане и по высоте здания

4.2 Тепловой баланс помещений и здания

Тепловой баланс здания $Q_{зд}$, Вт, рассчитывается по формулам (4.1) и (4.2). Для определения расчетных суммарных потерь теплоты отапливаемых помещений ΣQ_4 , Вт, необходимо предварительно выбрать тип системы отопления, а также уровень и способ регулирования системы отопления, чтобы задать значение коэффициента η_1 , входящего в выражение (4.2).

Расход теплоты на нагревание инфильтрующегося воздуха Q_i , Вт, в помещениях жилых зданий при естественной вытяжной вентиляции определяется для жилых помещений, кухонь и санузлов по формуле

$$Q_i = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho \cdot c (t_e - t_n) \cdot F (t_e - t_n), \quad (3.12)$$

где L_n – расход удаляемого воздуха, не компенсируемый подогретым приточным воздухом, м³/ч; для жилых зданий удельный нормативный расход составляет 3 м³/ч на 1 м² помещений;

ρ – плотность воздуха в помещении, $\rho = 1,2$ кг/м³;

c – удельная теплоемкость воздуха, $c = 1$ Кдж/(кг·°С);

F – площадь помещения, м².

Теплопоступления в жилых зданиях учитывают в тепловом балансе помещения в виде общих бытовых тепловыделений, которые принимают для жилых комнат и кухонь из расчета 21 Вт на 1 м² площади помещения:

$$Q_h = 21 \cdot F, \quad (3.13)$$

где F – площадь помещения, м².

Тепловая расчетная нагрузка помещения соответствует величине расчетных суммарных потерь теплоты помещения Q_4 . Расчет тепловой нагрузки сводится в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет тепловой нагрузки помещений

Номер, назначение помеще- ния	t_{θ} , °С	Площадь помещения F , м ²	ΣQ , Вт	Q_i , Вт	Q_h , Вт	$Q_h (1 - \eta_1)$, Вт	Q_4 , Вт
1	2	3	4	5	6	7	8

5 Конструирование системы водяного отопления жилого здания

5.1 Основные принципы конструирования системы отопления

Задачей конструирования системы водяного отопления является правильное размещение отопительных приборов, стояков, магистралей и других элементов системы, назначение уклонов труб, выбор способа удаления воздуха из системы, запорно-регулирующей арматуры, места расположения теплового пункта в подвале здания [6–8].

Теплопроводы систем отопления подразделяют на магистрали, стояки и подводки к отопительным приборам.

Конструкция систем водяного отопления зависит:

- от способа создания циркуляции теплоносителя (искусственная и естественная);
- от места расположения магистральных теплопроводов (нижняя и верхняя разводка);
- от направления объединения отопительных приборов (вертикальные и горизонтальные);
- от схемы включения отопительных приборов в стояк (однотрубные и двухтрубные);
- от направления движения воды в подающих и обратных магистралях (тупиковые и с попутным движением теплоносителя).

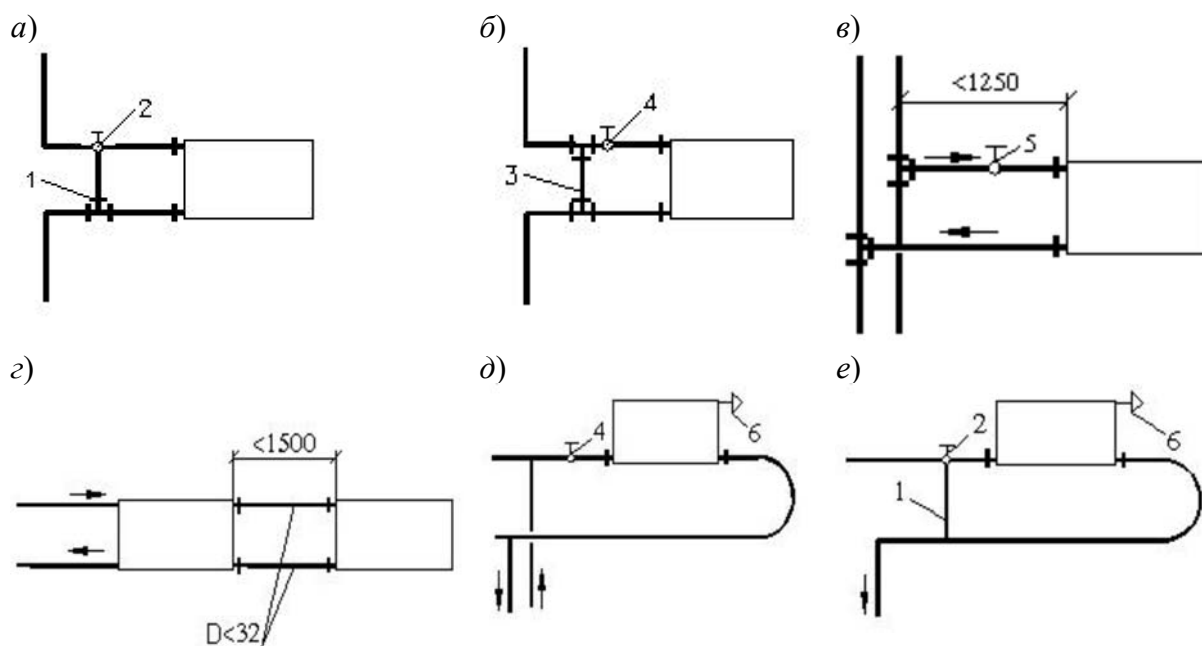
Теплопроводы систем водяного отопления прокладывают, как правило, открыто. Чтобы обеспечить удаление воздуха из системы водяного отопления, попадающего в нее при заполнении системы, а также растворенного в воде, теплопроводы в системах с искусственной циркуляцией прокладывают с уклоном к горизонтали не менее 0,002, а при естественной – от 0,05 до 0,01. Допускается горизонтальная прокладка при обеспечении скорости движения воды более 0,25 м/с.

Размещение магистрали определяется назначением и шириной здания, видом системы отопления. Для типовых жилых домов, состоящих из одинаковых секций, применяется посекционная разводка. *Размещение стояка* производится, как правило, у наружных стен. В угловых помещениях их следует устанавливать в углах, образованных наружными стенами. *Размещение подводки* зависит от вида отопительного прибора, положения стояка или ветви в системе отопления. Подающую и обратную подводки чаще всего прокладывают горизонтально (при длине до 500 мм) или с уклоном (5...10 мм на всю длину).

Для выпуска воздуха из системы с верхней разводкой магистралей на подающих магистралях в верхних точках устанавливают проточные воздухоборники. В системах с нижней разводкой обеих магистралей для этих целей предусматривают краны Маевского, устанавливаемые в верхней пробке прибора верхнего этажа.

Для пуска системы в работу по частям, а также выключения отдельных ветвей системы устанавливаются вентили, задвижки или краны, на стояках устанавливаются специальные вентили или краны.

На подводках к приборам двухтрубной системы отопления устанавливают краны двойной регулировки с повышенным гидравлическим сопротивлением, а однотрубных – трехходовые краны с пониженным сопротивлением (рисунок 5.1). На подводках к отопительным приборам лестничных клеток краны не устанавливаются.



а, б – в однотрубной системе; в – в двухтрубной системе; г – в «сцепке» двух приборов; д, е – к верхним приборам стояков с нижней разводкой магистралей двухтрубной (д) и однотрубной (е) систем; 1 – смещенный обходной участок; 2 – кран КРТ; 3 – смещенный замыкающий участок; 4 – кран КРП; 5 – кран КРД; 6 – воздушный кран

Рисунок 5.1 – Присоединение теплопроводов к отопительным приборам вертикальных систем отопления

5.2 Размещение отопительных приборов и присоединение их к трубопроводам системы отопления

Отопительные приборы, компенсируя тепловые потери, должны обеспечивать равномерный обогрев помещения и выполнять роль локализаторов ниспадающих потоков холодного воздуха в помещении.

Для достижения комфортной обстановки в жилых зданиях отопительные приборы принято размещать вдоль наружных стен под окнами на высоте 100 мм от пола. В лестничных клетках двух- и трехэтажных зданий целесообразно размещать отопительные приборы на первом этаже или в подвальной части лестниц; при этом установка приборов в тамбуре недопустима. В случае невозможности размещения всех приборов рядом с входными дверями в лестничной клетке, часть их (30 %...35 %) переносят на площадку между 1 и 2 этажами.

Присоединение отопительных приборов к стоякам, располагаемым прежде всего у наружных углов помещений и отдельно в лестничных клетках, следует предусматривать одностороннее; может быть допущено разностороннее присоединение, если в приборе более 15 секций.

Установка двух приборов «на сцепке» допускается в пределах одного помещения или в том случае, когда последующий прибор устанавливается во вспомогательных помещениях (коридорах, кладовых и т. д.). Длина сцепки не должна превышать 1,25 м.

Расширительный бак устанавливают, при необходимости, в наивысшей точке системы отопления, обычно на чердаке здания, в специальном боксе на чердачном перекрытии или в лестничной клетке.

6 Тепловой расчет системы отопления

Цель расчета состоит в выборе марки отопительного прибора и его размеров (или количества секций в нем) для каждого из отапливаемых помещений здания для запроектированной системы отопления.

Средняя температура отопительного прибора

$$t_{cp} = (t_z + t_o) / 2, \quad (6.1)$$

где t_z – температура подаваемой (горячей) воды, $t_z = 95$ °С;

t_o – температура обратной (охлажденной) воды, $t_o = 70$ °С.

Средняя расчетная разность температур для отопительного прибора

$$\Delta t_{cp} = t_{cp} - t_s, \quad (6.2)$$

где t_s – расчетная температура воздуха в помещении, °С.

Тепловой поток Q_3 , Вт, от трубопроводов, проходящих в помещении,

$$Q_3 = \Sigma(q_v \cdot l_v) + \Sigma(q_z \cdot l_z), \quad (6.3)$$

где q_v , q_z – теплоотдача 1 п. м вертикального и горизонтального неизолированного теплопровода соответственно; для полипропиленовых труб можно определить по таблице 6.2.

Требуемая теплоотдача отопительного прибора в отапливаемом помещении Q_1 , Вт, определяется по формуле

$$Q_1 = (\Sigma Q_4 - 0,9 Q_3) \cdot \beta_1 \cdot \beta_2, \quad (6.4)$$

где ΣQ_4 – расчетные суммарные потери теплоты отапливаемого помещения (тепловая нагрузка помещения), Вт;

β_1 – коэффициент учета дополнительного теплового потока устанавливаемых отопительных приборов за счет округления сверх расчетной величины, принимаемый по таблице 6.3;

β_2 – коэффициент учета дополнительных потерь теплоты отопительными приборами, расположенными у наружных ограждающих конструкций, принимаемый по таблице 6.4.

Номинальный требуемый тепловой поток отопительного прибора

$$Q_{H.T} = Q_1 / \varphi, \quad (6.5)$$

где φ – коэффициент.

$$\varphi = (\Delta t_{cp} / \Delta t_H)^{1+n} \cdot (G_{np} / 360)^p, \quad (6.6)$$

где n , p – эмпирические коэффициенты, принимаются по таблице 6.5;

Δt_H – номинальная средняя разность температур, $\Delta t_H = 70$ °С;

G_{np} – действительный расход воды в отопительном приборе.

$$G_{np} = Q_1 / (c(t_z - t_o)), \quad (6.7)$$

где c – удельная теплоемкость воды, $c = 4190 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$.

По требуемой величине $Q_{н.т}$ по таблицам 6.6 и 6.7 подбирается отопительный прибор, номинальный тепловой поток которого Q_n может быть меньше требуемого, но не более чем на 5 % или на 60 Вт.

Для секционных отопительных приборов определяется требуемое минимальное число секций следующим образом:

$$N_{\min} = (Q_{н.т} \cdot \beta_4) / (Q_n \cdot \beta_3), \quad (6.8)$$

где β_3 – коэффициент учета числа секций в приборе; при числе секций до 15 шт. $\beta_3 = 1,0$;

β_4 – коэффициент учета способа установки прибора; при открытой установке $\beta_4 = 1$, при установке в нише $\beta_4 = 1,05$;

Q_n – номинальный тепловой поток одной секции радиатора, принимаемый по таблице 6.5.

Результаты расчета оформляются в виде таблицы 6.1.

Таблица 6.1 – Тепловой расчет системы отопления

Номер помещения	Q_4 , Вт	t_p , °C	Δt_{cp} , °C	G_{np} , кг/с	Q_n , Вт	Q_3 , Вт	Q_1 , Вт	$Q_{н.т}$, Вт	Минимальное число секций $N_{\min}$ (марка панельного радиатора)

Таблица 6.2 – Тепловой поток 1 п. м открыто проложенной вертикальной полипропиленовой трубы

D_N , мм	Δt_{cp} , °C	Тепловой поток 1 п. м трубы, Вт/м, при Δt , °C, через 1 °C									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	50	20	20,50	21,00	21,50	22,00	22,50	23,00	23,60	24,20	24,80
25		25	25,70	26,40	27,10	27,80	28,50	29,20	29,90	30,60	31,20
32		32,1	32,90	33,80	34,70	35,60	36,50	37,40	38,20	39,10	40,00
20	60	25,5	26,60	27,70	28,80	29,90	31,00	32,20	33,30	34,50	35,60
25		31,9	33,30	34,70	35,10	36,50	38,00	39,50	41,20	42,80	44,50
32		40,8	42,60	44,40	46,20	48,00	49,80	51,60	53,50	55,40	57,30
20	70	37	37,70	38,50	39,20	39,90	40,70	41,50	42,20	42,90	43,70
25		46,25	47,20	48,10	49,00	49,90	50,80	51,70	52,60	53,50	54,50
32		59,2	60,40	61,60	62,80	64,00	65,20	66,40	67,60	68,80	70,00
Примечание – Тепловой поток открыто проложенных горизонтальных труб принимается в среднем в 1,28 раза большим, чем вертикальных											

Таблица 6.3 – Коэффициент учета дополнительного теплового потока

Шаг номенклатурного ряда отопительных приборов, Вт	100	120	150	180	210	240	300
Коэффициент β_1	1,01	1,02	1,03	1,04	1,06	1,08	1,13

Таблица 6.4 – Коэффициент учета дополнительных потерь теплоты

Отопительный прибор	Коэффициент β_2 при установке прибора	
	у наружной стены, в т. ч. под световым проемом	у остекления светового проема
Радиатор чугунный секционный	1,02	1,07
Радиатор стальной панельный	1,04	1,10

Таблица 6.5 – Расход воды в отопительном приборе и эмпирические коэффициенты

Тип отопительного прибора	Схема движения теплоносителя	Расход теплоносителя G_{np} , кг/с	n	p
Стальной панельный радиатор	Сверху вниз	0,015...0,15	0,3	0
	Снизу вверх	0,015...0,15	0,33	0,1
	Снизу вниз	0,015...0,1	0,28	0
Чугунный секционный радиатор	Любая	0,005...0,014	0,3	0,02
		0,015...0,149	0,3	0
		0,15...0,25	0,3	0,01

Таблица 6.6 – Основные параметры чугунных радиаторов высотой 500 мм

Параметр	Марка радиатора				
	2К60П	2К60	2К60ПП	2КП100-90-500	2КП-90-500
Поверхность теплопередачи одной секции, м ²	0,183	0,175	0,183	0,184	0,173
Емкость одной секции, л	1,07	1,07	1,07	1,07	0,9
Вес одной секции, кг	5,28	5,1	5,7	5,0	4,7
Удельная металлоемкость, кг/кВт	42	44,2	45,2	35,7	42,7
Линейная тепловая плотность потока, кВт/м	2,170	2,00	2,100	1,400	1,833
Номинальный тепловой поток одной секции, Вт	130	120	126	140	110

Таблица 6.7 – Основные параметры радиаторов типа ЛК высотой 500 мм

Типораз- мер ради- атора	Длина L, мм	Номи- нальный тепловой поток, Вт	Объем, л	Типораз- мер ради- атора	Длина L, мм	Номи- нальный тепловой поток, Вт	Объем, л	Типораз- мер радиа- тора	Длина L, мм	Номи- нальный тепловой поток, Вт	Объем, л
ЛК10- 504	400	325	1,3	ЛК11- 516	1600	2013	5,1	ЛК22- 508	800	1727	5,2
ЛК10- 505	500	406	1,7	ЛК11- 518	1800	2264	5,8	ЛК22- 509	900	1943	6,0
ЛК10- 506	600	488	1,9	ЛК11- 522	2200	2768	7,0	ЛК22- 510	1000	2159	6,5
ЛК10- 507	700	569	2,3	ЛК11- 526	2600	3271	8,3	ЛК22- 512	1200	2591	7,8
ЛК10- 508	800	650	2,6	ЛК11- 530	3000	3774	9,6	ЛК22- 514	1400	3023	9,1
ЛК10- 509	900	732	2,9	ЛК21- 504	400	689	2,6	ЛК22- 516	1600	3454	10,4
ЛК10- 510	1000	813	3,2	ЛК21- 505	500	862	3,4	ЛК22- 518	1800	3886	11,7
ЛК10- 512	1200	976	3,8	ЛК21- 506	600	1034	3,9	ЛК22- 522	2200	4750	14,3
ЛК10- 514	1400	1138	4,5	ЛК21- 507	700	1206	4,7	ЛК22- 526	2600	5613	16,9
ЛК10- 516	1600	1301	5,1	ЛК21- 508	800	1378	5,2	ЛК22- 530	3000	6477	19,5
ЛК10- 518	1800	1463	5,8	ЛК21- 509	900	1551	6,0	ЛК33- 504	400	1210	4,0
ЛК10- 522	2200	1789	7,0	ЛК21- 510	1000	1723	6,5	ЛК33- 505	500	1513	5,1
ЛК10- 526	2600	2114	8,3	ЛК21- 512	1200	2068	7,8	ЛК33- 506	600	1816	5,9
ЛК10- 530	3000	2439	9,6	ЛК21- 514	1400	2412	9,1	ЛК33- 507	700	2118	7,1
ЛК11- 504	400	503	1,3	ЛК21- 516	1600	2757	10,4	ЛК33- 508	800	2421	7,9
ЛК11- 505	500	629	1,7	ЛК21- 518	1800	3101	11,7	ЛК33- 509	900	2723	9,1
ЛК11- 506	600	755	1,9	ЛК21- 522	2200	3791	14,3	ЛК33- 510	1000	3026	9,9
ЛК11- 507	700	881	2,3	ЛК21- 526	2600	4480	16,9	ЛК33- 512	1200	3631	11,9
ЛК11- 508	800	1006	2,6	ЛК21- 530	3000	5169	19,6	ЛК33- 514	1400	4236	13,9
ЛК11- 509	900	1132	2,9	ЛК22- 504	400	864	2,6	ЛК33- 516	1600	4842	15,8
ЛК11- 510	1000	1258	3,2	ЛК22- 505	500	1080	3,4	ЛК33- 518	1800	5447	17,8
ЛК11- 512	1200	1510	3,8	ЛК22- 506	600	1295	3,9	ЛК33- 522	2200	6657	21,8
ЛК11- 514	1400	1761	4,5	ЛК22- 507	700	1511	4,7	ЛК33- 526	2600	7868	25,7

7 Подбор оборудования теплового пункта

7.1 Подбор элеватора

Подключение системы отопления жилого здания к тепловым сетям осуществляется в тепловом пункте. В состав теплового пункта входят элеватор, запорно-регулирующая арматура, контрольно-измерительная аппаратура и приборы автоматики. Элеватор применяется при непосредственном присоединении местной водяной системы отопления к тепловым сетям. Он понижает температуру воды, поступающей из подающей магистрали тепловой сети до температуры воды, заданной в системе отопления, и обеспечивает ее циркуляцию. Давление, создаваемое элеватором в местной системе, составляет обычно от 10 до 12 кПа. Принимаем, что отопительная система при пуске в эксплуатацию заполняется водой из наружной тепловой сети с температурой t_c .

Основной расчетной характеристикой для элеватора является коэффициент смешения U , определяющий отношение расхода охлажденной воды системы отопления к расходу горячей воды тепловой сети:

$$U = \frac{t_c - t_z}{t_z - t_o}, \quad (6.1)$$

где t_c – температура воды тепловой сети, °С;

t_z – температура горячей воды системы отопления;

t_o – температура охлажденной воды системы отопления, °С.

Для подбора элеватора определяется расчетное располагаемое давление (давление, создаваемое насосом) Δp_p , кПа, по формуле

$$\Delta p_p = \frac{p_z}{1,4(1+U)^2}, \quad (6.2)$$

где p_z – располагаемое давление в тепловой сети на вводе в здание перед элеватором (выбирается из исходных данных), кПа.

Диаметр горловины элеватора d_z , мм,

$$d_z = 87,4 \sqrt{\frac{G_c}{1000 \sqrt{\Delta p_p}}}, \quad (6.3)$$

где G_c – расчетный расход теплоносителя в системе, кг/ч.

$$G_c = 3,6 \sum Q_i / (c \Delta t), \quad (6.4)$$

где Q_i – расчетный тепловой поток, обеспечиваемый теплоносителем системы (принимается равным тепловой нагрузке здания $\sum Q_4$), Вт;

c – удельная теплоемкость воды, $c = 4,19$ кДж/(кг·°С);

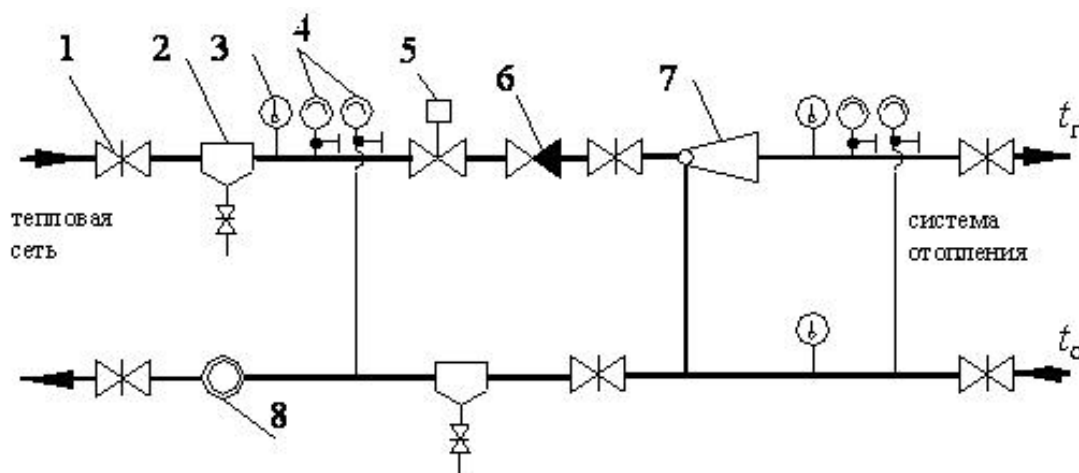
Δt – разность температур теплоносителя на входе и выходе из системы, °С.

Подбор элеватора производится по таблице 7.1. При этом необходимо выбирать ближайший с меньшим диаметром, т. к. завышение диаметра камеры смешения снижает КПД элеватора.

Таблица 7.1 – Параметры элеваторов

Номер элеватора	1	2	3	4	5	6	7
Диаметр камеры смешения, мм	15	20	25	30	35	47	59
Общая длина элеватора, мм	425	425	625	625	625	720	720

Принципиальная схема местного теплового пункта при зависимом присоединении к наружным тепловым сетям приведена на рисунке 7.1.



1 – задвижка; 2 – грязевик; 3 – термометр; 4 – манометр; 5 – регулятор расхода; 6 – обратный клапан; 7 – водоструйный элеватор; 8 – тепломер

Рисунок 7.1 – Принципиальная схема местного теплового пункта

7.2 Подбор расширительного бака

Различают расширительные баки открытого и закрытого типа, с устройствами автоматики и без них. В настоящее время применяют преимущественно расширительные баки закрытого типа. Закрытый (мембранный) расширительный бак устанавливается, как правило, в тепловом пункте при теплоснабжении от тепловых сетей или местного автоматизированного источника теплоты.

Требуемый минимальный объем $V_{з.б}$, л, закрытого (мембранного) расширительного бака, работающего под давлением,

$$V_{з.б} = \frac{V_{р.б}}{1 - P_z / P_{н.к}}, \quad (6.5)$$

где $V_{р.б}$ – расчетный объем открытого расширительного бака, л;

P_z – расчетная величина гидростатического давления в точке подключения закрытого расширительного бака к системе отопления, бар;

$P_{н.к}$ – значение давления срабатывания предохранительного клапана, бар; для расчетов принимаем $P_{н.к} = 3$ бар.

Рабочий объем открытого расширительного бака $V_{p.б.}$, л,

$$V_{p.б.} = 0,045 \cdot V_{c.o.}, \quad (6.6)$$

где $V_{c.o.}$ – расчетный объем воды в системе отопления, л.

Расчетная величина гидростатического давления P_z в точке подключения закрытого расширительного бака к системе отопления

$$P_z = \rho \cdot h_z \cdot 10^{-4}, \quad (6.7)$$

где h_z – высота столба жидкости над точкой подключения закрытого расширительного бака к системе отопления, м;

ρ – плотность воды, $\rho = 998 \text{ кг/м}^3$.

Объем воды в системе отопления $V_{c.o.}$ определяется по ее расчетной тепловой мощности, равной суммарным потерям теплоты здания ΣQ_4 . На основании опытных данных в среднем на каждые 1000 Вт тепловой мощности системы при $\Delta t = t_e - t_o$ на отдельные элементы системы приходится следующий объем воды, л: на чугунные радиаторы – 12; на стальные панельные радиаторы – 8; на теплопровод при искусственной циркуляции – 8; на теплопровод при естественной циркуляции – 16.

8 Гидравлический расчет системы водяного отопления

Целью гидравлического расчета является определение диаметров теплопроводов при заданной тепловой нагрузке и расчетном циркуляционном давлении, установленном для данной системы. Метод расчета теплопроводов по удельным потерям давления заключается в раздельном определении потерь давления на трение и давления в местных сопротивлениях.

В практической работе необходимо выполнить гидравлический расчет главного циркуляционного кольца.

До гидравлического расчета теплопроводов выполняют аксонометрическую схему системы отопления со всей запорно-регулирующей арматурой. На схеме, разбитой на расчетные участки, нумеруют стояки и сами участки, а также указывают тепловую нагрузку и длину каждого участка. Сумма длин всех расчетных участков составляет величину расчетного циркуляционного кольца.

Расчет теплопроводов по методу средних удельных потерь производят в следующей последовательности.

1 Выбирают главное циркуляционное кольцо. В тупиковых схемах однотрубных систем за главное принимают кольцо, проходящее через дальний стояк, а в двухтрубных системах – кольцо, проходящее через нижний отопительный прибор дальнего стояка. При попутном движении теплоносителя главное кольцо проходит через один из средних наиболее нагруженных стояков, далее – по обратной магистрали к тепловому узлу.

2 Определяют расчетное располагаемое давление Δp_p , Па. Значение Δp_p зависит от конструктивных особенностей системы отопления и является расчетным располагаемым давлением, создаваемым за элеватором.

3 При выборе диаметра труб в циркуляционном кольце исходят из принятого расхода воды и среднего ориентировочного значения удельной линейной потери давления R_{cp} , Па/м, рассчитываемого по формуле (считая потери давления на трение равными 65 % от Δp_p)

$$R_{cp} = \frac{0,65 \cdot \Delta p_p}{\sum l}, \quad (7.1)$$

где $\sum l$ – суммарная длина расчетных участков, м.

4 Определяют расход теплоносителя на расчетных участках $G_{уч}$, кг/с, по формуле (7.4), принимая, что Q_t – тепловая нагрузка участка, составленная из тепловых нагрузок отопительных приборов, Вт.

5 Ориентируясь на R_{cp} и $G_{уч}$, с помощью [8, приложение 6] подбирают фактический диаметр участка d , фактическую величину удельной потери давления на трение R , скорость движения воды v . Предварительно задаются следующими значениями диаметров: магистрали – 25 мм, 32 мм, 40 мм, 50 мм, 65 мм, 80 мм; стояки – 20 мм и 25 мм; подводы к трубопроводам – 15 мм.

6 Определяют потери давления на трение на каждом участке R_l , Па.

7 Находят потери давления при преодолении местных сопротивлений Z , Па:

$$Z = \sum \xi \cdot p_o, \quad (7.2)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на рассчитываемом участке трубопровода; определяется по таблицам 8.1 и 8.2;

p_d – динамическое давление, Па.

$$p_d = \frac{v^2}{2} \cdot \rho, \quad (7.3)$$

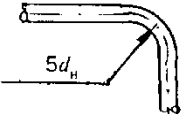
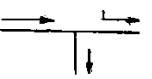
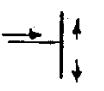
где v – скорость теплоносителя в трубопроводе, м/с;

ρ – плотность жидкости при температуре теплоносителя, кг/м³; при температуре 70 °С $\rho = 0,98$, при температуре 105 °С $\rho = 0,96$ (таблица 8.3).

Динамическое давление можно определить по таблице 8.4.

При определении коэффициентов местных сопротивлений ξ необходимо учесть следующее: местное сопротивление тройников и крестовин относят к расчетным участкам с меньшим расходом воды; местное сопротивление отопительных приборов учитывается поровну в каждом примыкающем к ним трубопроводе.

Таблица 8.1 – Коэффициенты местных сопротивлений ξ для металлополимерных трубопроводов и элементов системы отопления

Деталь	Схема детали	ξ	Деталь	Схема детали	ξ
Отвод с радиусом закругления $\geq 5 d$: 90° 45°		0,3 0,5	Крестовина: на проход		2,0
			на ответвление		3,0
Тройники: на проход на ответвление 90° на слияние 90° на разделение потока		0,5	Отступ		0,5
		1,5	Обход		1,0
		1,5	Внезапное расширение		1,0
		3,0	сужение		0,5
			Соединение с обжимной гайкой		1,5

8 Определяют общие потери давления на каждом участке $\Delta P_{уч}$, Па, при выбранных диаметрах:

$$\Delta P_{уч} = R \cdot l_{уч} + Z. \quad (7.4)$$

9 Сумма потерь давления в расчетном кольце ΔP_k , Па,

$$\Delta P_{\kappa} = \sum_{i=1}^n (R \cdot l_i + Z_i). \quad (7.5)$$

Таблица 8.2 – Коэффициенты местных сопротивлений ξ для стальных трубопроводов

Элемент системы отопления	ξ при условном проходе труб d , мм					
	15	20	25	32	40	50
Отопительный прибор	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
Отвод 90°	1,5	1,5	1	1	0,5	0,5
Тройник на проходе	1	1	1	1	1	1
Тройник на ответвлении	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Крестовина на проходе	2	2	2	2	2	2
Крестовина на ответвлении	3	3	3	3	3	3
Вентиль обыкновенный	16	10	9	9	8	7
Вентиль прямооточный	3	3	3	2,5	2,5	2
Кран двойной регулировки	4	2	2	–	–	–

Таблица 8.3 – Плотность теплоносителя

Температура, °С	5	10	20	50	60	70	80	90
Плотность ρ , 10 ³ ·кг/м ³	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,97

Таблица 8.4 – Динамическое давление p_d для расчета потерь давления в местных сопротивлениях трубопроводов систем водяного отопления

Ско- рость воды v , м/с	p_d , Па	Ско- рость воды v , м/с	p_d , Па	Ско- рость воды v , м/с	p_d , Па	Ско- рость воды v , м/с	p_d , Па	Ско- рость воды v , м/с	p_d , Па
0,01	0,05	0,17	14,2	0,33	53,93	0,49	117,7	0,71	248,1
0,02	0,2	0,18	15,9	0,34	56,88	0,5	122,6	0,74	268,7
0,03	0,45	0,19	17,8	0,35	59,82	0,51	127,5	0,77	291,2
0,04	0,8	0,2	19,6	0,36	63,74	0,52	313,4	0,8	314,8
0,05	1,23	0,21	21,6	0,37	67,67	0,53	138,3	0,85	355,0
0,06	1,77	0,22	23,5	0,38	70,61	0,54	143,2	0,9	398,2
0,07	2,45	0,23	26,5	0,39	74,53	0,55	149,1	0,95	443,3
0,08	3,14	0,24	28,4	0,4	78,45	0,56	154,0	1,0	490,3
0,09	4,02	0,25	30,4	0,41	82,37	0,57	159,9	1,05	539,4
0,1	4,9	0,26	33,34	0,42	86,3	0,58	165,8	1,10	590,2
0,11	5,98	0,27	36,3	0,43	91,2	0,59	170,7	1,15	647,2
0,12	7,06	0,28	38,3	0,44	95,13	0,6	176,6	1,20	706,1
0,13	8,34	0,29	41,2	0,45	99,08	0,61	183,4	1,25	764,9
0,14	9,61	0,3	44,13	0,46	103,98	0,62	189,3	1,30	833,6
0,15	11,08	0,31	47,08	0,47	108,89	0,65	207,88	1,35	892,4
0,16	12,56	0,32	49,99	0,48	112,81	0,68	227,48	1,40	961,1

[illegible]

9 Проектирование системы вентиляции

9.1 Общие положения

В канальных системах естественной вытяжной вентиляции воздух перемещается в каналах и воздуховодах под действием естественного давления, возникающего вследствие разности давлений более холодного наружного и теплого внутреннего воздуха.

В жилых зданиях система естественной канальной вытяжной вентиляции устраивается с применением вертикальных внутристенных или приставных каналов с отверстиями, на которые установлены жалюзийные решётки; горизонтальных сборных воздуховодов и вытяжных шахт (при необходимости усиления тяги дополнительно устанавливают дефлектор).

Воздух удаляется из помещений с наибольшим выделением вредных веществ. Для этого в каждой квартире (доме) предусматриваются вытяжные каналы из кухни, ванной комнаты и туалета или совмещённого санузла. В пределах одной квартиры допускается осуществлять удаление воздуха одним каналом с подключением к нему следующих помещений:

- кухня и ванная;
- санузел и ванная.

В квартирах предусматривается неорганизованный приток воздуха – через неплотности в ограждающих конструкциях и открытые форточки.

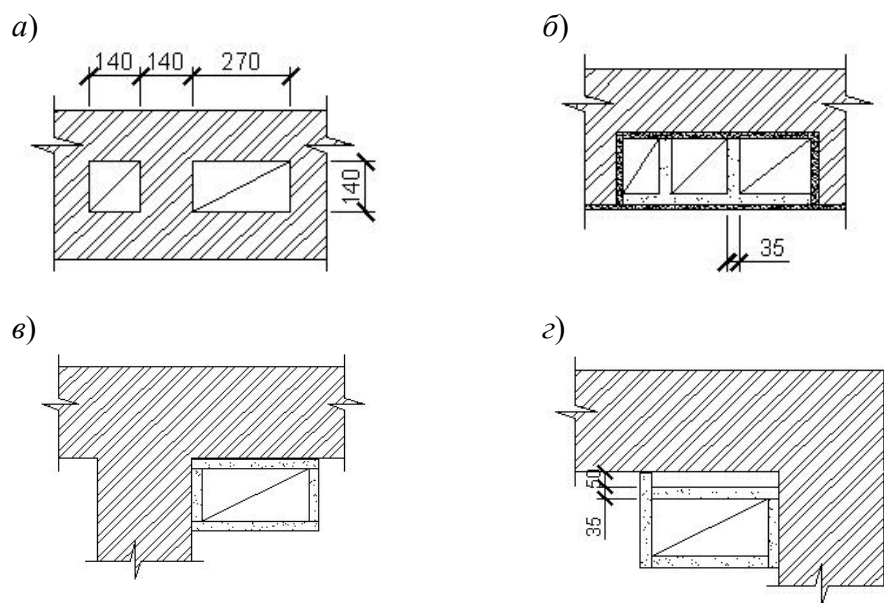
Вытяжка производится через жалюзийные решётки, устанавливаемые на расстоянии 0,2...0,5 м от потолка. Минимальная высота выброса воздуха над кровлей должна составлять: при скатных крышах – 0,7 м, но не более чем на 0,5 м выше конька; при плоских крышах – 0,5 м.

В жилых зданиях с кирпичными внутренними стенами вентиляционные каналы устраивают в толще стен (рисунок 9.1, а) или в бороздах, заделываемых плитами (рисунок 9.1, б). Размеры каналов в кирпичных стенах принимают кратными размерам кирпича (140 × 140 мм, 140 × 270 мм и т. д.). Расстояние между соседними вытяжными каналами и толщина стенки канала должны быть не менее 140 мм, между каналом и дверным проёмом – не менее 410 мм. В наружных стенах каналы не устраиваются.

В случае отсутствия внутренних кирпичных стен устраивают приставные каналы (рисунок 9.1, в) из блоков и плит с минимальным размером 100 × 150 мм, которые обычно выполняют из гипсошлаковых и шлакобетонных плит толщиной 35...40 мм. Приставные воздуховоды, как правило, устраивают у внутренних строительных конструкций. В случае размещения приставных воздуховодов у наружной стены (рисунок 9.1, г) между стеной и воздуховодом оставляется воздушная прослойка не менее 50 мм или делается утепление с целью недопущения охлаждения воздуха и, как следствие, снижения гравитационного давления.

Расчетно-графическая работа по созданию проекта системы вентиляции, предшествующая аэродинамическому расчету каналов (воздуховодов), состоит в следующем.

- 1 Определяются воздухообмены для помещений (см. рисунок 9.1).



а – во внутренних кирпичных стенах; *б* – в бороздах стены; *в* – приставной у внутренних кирпичных стен; *г* – у наружной стены

Рисунок 9.1 – Конструкция вентиляционных каналов

2 Компонуется система вентиляции, при необходимости с объединением воздухоудаления.

3 На планах этажей и чердаков изображаются элементы системы (каналы и воздуховоды, вытяжные отверстия и шахты), наносятся их размеры с привязкой к общим. Против вытяжных отверстий указывается количество воздуха, удаляемого по каналу.

4 Вычерчиваются аксонометрические схемы в линиях или схемы с изображением внешних очертаний всех элементов системы. На схемах в кружке у выносной черты ставится номер участка, над чертой указывается нагрузка участка, $\text{м}^3/\text{ч}$, а под чертой – длина участка, м.

9.2 Аэродинамический расчет системы вентиляции с естественным побуждением движения воздуха

Цель аэродинамического расчёта – определение требуемого размера каналов и воздуховодов при расчётном расходе удаляемого воздуха. При этом возможные потери давления в каналах и воздуховодах не должны превышать естественного (гравитационного) давления воздуха $P_{\text{гр}}$, Па.

Результаты расчета оформляются в виде таблицы 9.1.

Для определения расчётного расхода удаляемого из квартиры воздуха необходимо составить уравнение баланса приточного и удаляемого воздушных потоков.

Воздухообмен жилых комнат $L_{\text{ж.к.}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, рассчитывается по формуле

$$L_{\text{ж.к.}} = 3 \cdot \sum F_{\text{ж.к.}}, \quad (8.1)$$

где 3 – нормативная величина вытяжки, отнесённая к 1 м^2 площади пола (выбрана из таблицы 9.2), $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{м}^2$;

$\Sigma F_{\text{ж.к.}}$ – суммарная площадь пола жилых комнат, м^2 .

Таблица 9.1 – Ведомость расчетов вентиляционных каналов

Номер участка	L , $\text{м}^3/\text{ч}$	l , м	a , мм	b , мм	d ($d_{\text{э}}$), мм	v , м/с	R , Па/м	n	$\Delta P_{\text{тр}}$, Па	$P_{\text{д}}$, Па	$\Sigma \xi$	Z , Па	$\Delta P_{\text{с}}$, Па

Таблица 9.2 – Количество удаляемого воздуха из помещений жилых зданий

Наименование помещения	Количество удаляемого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$
Жилая комната	$3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 жилых комнат
Кухня:	
с электроплитой	60
с газовой 4-конфорочной плитой	90
Ванная индивидуальная	25
Туалет	25
Санузел совмещенный	50

Воздух из жилых комнат перемещается на кухню, в туалет или ванную, где удаляется через вентиляционные каналы, поэтому должно выполняться условие

$$L_{\text{кух}} + L_{\text{ван}} + L_{\text{туал}} \geq L_{\text{ж.к.}} \quad (8.2)$$

Если условие (9.2) не выполняется, то следует увеличить расход удаляемого воздуха на необходимую величину.

Требуемую площадь канала $f_{\text{тр}}$, м^2 , для прохода воздуха находят по формуле

$$f_{\text{тр}} = \frac{L}{3600 \cdot v_{\text{рек}}}, \quad (8.3)$$

где $v_{\text{рек}}$ – рекомендуемая скорость движения воздуха, м/с ;

L – воздухообмен, обеспечиваемый данным каналом, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Для систем с естественным побуждением движения воздуха могут быть приняты следующие значения скоростей $[0, 0]$: в жалюзийных решётках и вертикальных участках верхнего этажа – $0,4 \dots 0,6 \text{ м/с}$, при расчёте низлежащих этажей рекомендуемая скорость увеличивается на $0,1 \text{ м/с}$ на каждом этаже, но не должна превышать $1,0 \text{ м/с}$.

Полученное значение площади сечения определяет размеры вентканала. Для воздуховодов прямоугольного сечения за расчетную величину принимают эквивалентный диаметр

$$d_{\text{э}} = 2ab / (a + b), \quad (8.4)$$

где a , b – стороны прямоугольного воздуховода или канала, мм .

Гравитационное давление P_{gp} , Па, принимаемое с запасом, определяется по формуле

$$P_{gp} = k_z \cdot g \cdot h (\rho_n - \rho_v), \quad (8.5)$$

где k_z – коэффициент запаса на неучтенные потери, $k_z = 0,9$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

h – высота воздушного столба (принимается как высота от середины решётки до устья вытяжной шахты; при наличии притока – от середины высоты помещения до устья вытяжной шахты), м;

ρ_n – плотность наружного воздуха; при $t_n = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_n = 1,27 \text{ кг/м}^3$;

ρ_v – плотность внутреннего воздуха; при $t_v = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_v = 1,2 \text{ кг/м}^3$.

Потери давления в вентиляционной сети ΔP_c , Па, находят как сумму потерь давления на трение о стенки воздуховода $\Delta P_{тр}$ и потери давления в местных сопротивлениях Z на каждом из участков (участком называется часть сети с постоянным расходом и размерами канала):

$$\Delta P_c = \Delta P_{тр} + Z. \quad (8.6)$$

Потери давления на трение $\Delta P_{тр}$, Па, определяются из выражения

$$\Delta P_{тр} = n \cdot R \cdot l, \quad (8.7)$$

где R – удельные потери давления на трение (таблица 9.3), Па/м;

l – длина участка воздуховода, м;

n – поправочный коэффициент, который зависит от абсолютной эквивалентной шероховатости $k_{эkv}$ воздухопроводов и определяется по таблице 9.4 ($k_{эkv} = 1 \text{ мм}$ для воздухопроводов из стали, $k_{эkv} = 1,5 \text{ мм}$ для шлакобетонных плит, $k_{эkv} = 4 \text{ мм}$ для кирпича, $k_{эkv} = 10 \text{ мм}$ для штукатурки по металлической сетке).

Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па, рассчитывают по формуле

$$Z = \sum \xi \cdot P_o, \quad (8.8)$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке воздуховода; определяется по таблице 9.5;

P_o – динамическое давление (см. таблицу 9.3), Па.

Разность между значением P_{gp} и суммарными потерями давления ΔP_c не должна превышать 10 % ($P_{gp} \geq P_c$). Если отклонение составляет более 10 %, необходимо изменить размеры сечения канала.

Таблица 9.3 – Определение параметров для металлических воздуховодов круглого сечения

Скорость воздуха v , м/с	Динамическое давление P_d , Па	Диаметр воздуховода, мм									
		80	100	110	125	140	160	180	200	225	250
0,2	0,024	4	6	7	9	11	14	18	23	29	35
		0,0167	0,0126	0,0112	0,0095	0,0083	0,0070	0,0061	0,0053	0,0046	0,0040
0,4	0,096	7	11	14	18	22	29	37	45	57	71
		0,0564	0,0426	0,0379	0,0323	0,0280	0,0237	0,0205	0,0179	0,0155	0,0136
0,6	0,216	11	17	21	27	33	43	55	68	86	106
		0,1151	0,0871	0,0773	0,0659	0,0572	0,0484	0,0418	0,0366	0,0316	0,0277
0,8	0,384	14	23	27	35	44	58	73	90	115	141
		0,1914	0,1448	0,1285	0,1095	0,0951	0,0805	0,0694	0,0609	0,0525	0,0461
1,0	0,6	18	28	34	44	55	72	92	113	143	177
		0,2840	0,2149	0,1908	0,1626	0,1411	0,1194	0,1031	0,0904	0,0780	0,0684
1,2	0,864	22	34	41	53	67	87	110	136	172	212
		0,3925	0,2970	0,2636	0,2247	0,1950	0,1650	0,1424	0,1249	0,1078	0,0945
1,4	1,176	25	40	48	62	78	101	128	158	200	247
		0,5163	0,3906	0,3468	0,2955	0,2565	0,2171	0,1874	0,1642	0,1418	0,1243
1,6	1,536	29	45	55	71	89	116	147	181	229	283
		0,6550	0,4956	0,4399	0,3749	0,3254	0,2754	0,2377	0,2084	0,1798	0,1576
Примечание – Сверху в ячейке таблицы – количество удаляемого воздуха, м ³ /ч; снизу – удельные потери давления на трение, Па/м											

Таблица 9.4 – Поправочные коэффициенты n на потери давления на трение, учитывающие шероховатость материала воздуховодов

v , м/с	n при $k_{эв}$, мм			
	1	1,5	4	10
0,2	1,04	1,06	1,15	1,31
0,4	1,08	1,11	1,25	1,48
0,6	1,11	1,16	1,33	1,60
0,8	1,13	1,19	1,40	1,69
1,0	1,16	1,23	1,46	1,77
1,2	1,18	1,25	1,50	1,84
1,4	1,20	1,28	1,55	1,95
1,6	1,22	1,31	1,58	1,98

Таблица 9.5 – Значения коэффициентов местного сопротивления ξ

Элемент системы вентиляции	ξ
Вход в жалюзийную решетку с поворотом потока	2
Колено прямоугольное	1,26
Тройник на проходе	1,15
Шахта с зонтом	1,3
Клапан утепленный	0,1

Список литературы

- 1 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СН 4.02.03–2019. – Мн. : Минстройархитектуры, 2020. – 73 с.
- 2 Строительная теплотехника : СП 2.04.01–2020. – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 73 с.
- 3 Здания и сооружения. Энергетическая эффективность : СП 2.04.02–2020. – Мн. : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2020. – 24 с.
- 4 Строительная климатология : СНБ 2.04.02–2000. – Мн. : Минстройархитектуры, 2001. – 37 с.
- 5 Общие требования к текстовым документам : ГОСТ 2.105–95 ЕСКД. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 37 с.
- 6 Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под общ. ред. Б. М. Хрусталёва. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : АСВ, 2008. – 784 с.
- 7 **Сканави, А. Н.** Отопление : учебник / А. Н. Сканави, Л. М. Махов. – М. : АСВ, 2002. – 576 с.
- 8 **Тихомиров, К. В.** Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция : учебник / К. В. Тихомиров, Э. С. Сергеенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1991. – 480 с.: ил.