

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»**

Кафедра теплоэнергетики

Составители
Е. К. Непомнящих
С. А. Шевырёв

ОСНОВЫ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

**Методические материалы
по дисциплине «Механика жидкости и газа.
Основы теплогазоснабжения и вентиляции»**

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 08.03.01 Строительство
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2019

Рецензент

Темникова Е. Ю. – кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики

Непомнящих Егор Константинович

Шевырëв Сергей Александрович

Основы теплогазоснабжения и вентиляции: методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Механика жидкости и газа. Основы теплогазоснабжения и вентиляции» [Электронный ресурс] для обучающихся направления подготовки 08.03.01 Строительство всех форм обучения / сост.: Е. К. Непомнящих, С. А. Шевырëв; КузГТУ. – Кемерово, 2019.

Приведены темы практических работ и примеры решения задач, отражающие основные разделы дисциплины, а также индивидуальные задания для самостоятельной работы студентов.

© КузГТУ, 2019
© Непомнящих Е. К.,
Шевырëв С. А.,
составление, 2019

Оглавление

1. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА.....	4
1.1. Основы теплопередачи	4
1.2. Примеры решения задач	7
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ	8
2.1. Гидравлический расчет водяной тепловой сети (магистральной).....	8
2.2. Пример выполнения расчета	10
3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3 ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗДАНИЯ.....	12
3.1. Уравнение теплового баланса здания.....	12
3.2. Основные потери теплоты через ограждающие конструкции зданий	13
3.3. Дополнительные потери теплоты через ограждающие конструкции здания.....	14
3.4. Расчет расхода теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха	15
3.5. Дополнительные бытовые теплопоступления в помещения.....	17
3.6. Примеры теплотехнического расчета жилого здания.....	17
4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАЗОПРОВОДОВ	26
4.1. Гидравлический расчет тупиковых газопроводов.....	26
4.2. Пример гидравлического расчета тупиковой сети низкого давления.....	29
5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ.....	32
5.1. Аэродинамический расчет системы вентиляции.....	32
5.2. Аэродинамический расчет систем вентиляции с естественным побуждением движения воздуха.....	35
5.3. Пример аэродинамического расчета естественной вытяжной системы вентиляции двухэтажного жилого дома	37
6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА	43
6.1. Структура самостоятельной работы.....	43
6.2. Планирование при подготовке отчетов по практическим работам	43
6.3. Требования к оформлению отчетов по практическим работам	43
6.4. Защита отчетов по практическим работам	46
6.5. Подготовка к промежуточной аттестации	46
ПРИЛОЖЕНИЕ А	47
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ В	57
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	61
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	62
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....	66

1. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

1.1. Основы теплопередачи

Количество теплоты, проходящей через плоскую однородную стенку в единицу времени

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2) \cdot F, \quad (1.1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала стенки, Вт/(м·К); t_1, t_2 – температуры поверхности стенки, °С; F – площадь стенки, м²; δ – толщина стенки, м.

Для многослойной стенки

$$Q = \frac{t_1 - t_{n+1}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} \cdot F = \frac{\lambda_{\text{эк}}}{\Delta} \cdot (t_1 - t_{n+1}) \cdot F, \quad (1.2)$$
$$\lambda_{\text{эк}} = \frac{\Delta}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} = \frac{\delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_n}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}},$$

где $\lambda_{\text{эк}}$ – эквивалентный коэффициент теплопроводности многослойной стенки; n – число слоев; $\delta_1, \delta_2, \delta_n$ – толщина слоев стенки; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности отдельных слоев.

Температура на поверхности слоев многослойной стенки:

$$t_2 = t_1 - q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1}; t_3 = t_2 - q \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_2} = t_1 - q \cdot \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \right); t_{n+1} = t_i - q \cdot \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}.$$

Линейная плотность теплового потока, Вт/м:

$$q_l = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_1 - t_2)}{\frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1}}, \quad (1.3)$$

где l – длина трубы, м; d_1, d_2 – соответственно внутренний и наружный диаметры трубы, м.

Для многослойной цилиндрической стенки линейная плотность теплового потока:

$$q_l = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_i - t_{n+1})}{\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \cdot \ln \frac{d_{n+1}}{d_n}}, \quad (1.4)$$

Температура на поверхности слоев многослойной цилиндрической стенки

$$t_2 = t_1 - \frac{q_l}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1};$$

$$t_3 = t_2 - \frac{q_l}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} = t_1 - \frac{q_l}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{d_3}{d_2} \right);$$

$$t_{n+1} = t_n - \frac{q_l}{2 \cdot \pi} \sum \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i};$$

Тепловой поток при конвективном теплообмене между теплоносителем и стенкой определяются по закону Ньютона–Рихмана:

$$Q = \alpha \cdot (t_{жс} - t_c) \cdot F, \quad (1.5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); $t_{жс}, t_c$ – температура теплоносителя (жидкости) и стенки.

Для свободной конвекции, т. е. при относительном движении теплоносителя только за счет разности плотностей нагретых и холодных его частей:

$$Nu = A \cdot (Gr_{жс} Pr_{жс})^m \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_c} \right)^{0,25}. \quad (1.6)$$

В таблице 1.1 приведены значения величин A и m для различных условий теплообмена.

Таблица 1.1

Вид поверхности	A	m	$Gr_{жс} Pr_{жс}$
Горизонтальные трубы: ламинарный режим	0,5	0,25	$10^3 < Gr_{жс} Pr_{жс} < 10^8$
Вертикальные трубы и плоские вертикальные поверхности: ламинарный режим	0,76	0,25	$10^3 < Gr_{жс} Pr_{жс} < 10^8$
турбулентный режим	0,15	0,33	$1 Gr_{жс} Pr_{жс} > 10^8$

Для вынужденной конвекции, т. е. при движении теплоносителя за счет внешних сил:

$$Nu = B \cdot Re_{жс}^n \cdot Pr_{жс}^l \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_c} \right)^{0,25}. \quad (1.7)$$

При ламинарном движении в трубах уравнение дополняется множителем $Gr_{жс}^{0,1}$.

В таблице 1.2 приведены значения коэффициентов B, n, l .

Таблица 1.2

Вид движения теплоносителя	B	n	l
Турбулентное движение около горизонтальной пластины	0,037	0,8	0,43
Ламинарное движение около горизонтальной пластины	0,66	0,5	0,43
Турбулентное движение в трубе	0,021	0,8	0,43
Ламинарное движение в трубе	0,15	0,33	0,43
Поперечное обтекание трубы ($10 < Re_{жс} < 10^3$)	0,5	0,5	0,38
Поперечное обтекание трубы ($10^3 < Re_{жс} < 10^9$)	0,25	0,6	0,38
Поперечное обтекание коридорных пучков труб	0,23	0,65	0,33
Поперечное обтекание шахматных пучков труб	0,41	0,6	0,33

Критерий Нуссельта:

$$Nu_{жс} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_{жс}},$$

где α – коэффициент теплоотдачи; l – определяющий геометрический размер (для трубы – диаметр, для горизонтальной пластины – длина, для вертикальной пластины – высоты); $\lambda_{жс}$ – коэффициент теплопроводности теплоносителя.

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{\varpi \cdot l}{\nu_{жс}},$$

где ϖ – линейная скорость, м/с;

$\nu_{жс}$ – кинематическая вязкость, м²/с.

Критерий Прандтля:

$$Pr = \frac{\nu_{жс}}{a_{жс}},$$

где $a_{жс} = \frac{\lambda_{жс}}{\rho_{жс} \cdot c_{p_{жс}}}$ – температуропроводность теплоносителя, м²/с.

Критерий Грасгофа:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot l^3}{\nu_{ж}^2},$$

где g – ускорение свободного падения, м/с²; Δt – температурный напор между средой и поверхностью теплообмена, °С; $\beta = \frac{1}{t_{ж} + 273}$ – термический коэффициент объемного расширения для газов.

1.2. Примеры решения задач

Пример №1

Слой льда на поверхности воды имеет толщину 250 мм, температура на нижней и верхней поверхностях соответственно $t_1 = 0$ °С и $t_2 = -15$ °С. Определить тепловой поток через 1 м² поверхности льда, если его коэффициент теплопроводности $\lambda_{л} = 2,25$ Вт/(м·°С). Как изменится тепловой поток, если лед покроется слоем с него толщиной 155 мм с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{с} = 0,465$ Вт/(м·К) и температура на поверхности снега будет $t_{2с} = -20$ °С?

Решение:

Удельный тепловой поток вследствие теплопроводности через слой льда:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot (t_1 - t_2) = \frac{2,25}{0,25} \cdot (0 + 15) = 135 \text{ Вт/м}^2$$

Удельный тепловой поток через слой льда, покрытый снегом:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta_1}{\lambda_{л}} + \frac{\delta_2}{\lambda_{с}}} = \frac{0 + 20}{\frac{0,25}{2,25} + \frac{0,155}{0,465}} = 45 \text{ Вт/м}^2$$

т. е. уменьшится в 3 раза

Пример №2

Температура поверхности вертикальной стенки высотой 3 м равна 10 °С. Температура воздуха в помещении 20 °С. Определить коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке.

Решение:

Определяем значение критериев $Gr_{ж}$ $Pr_{ж}$:

$$Gr_{ж} = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot l^3}{\nu_{ж}^2} = \frac{9,81 \cdot 10 \cdot 3^3}{293(15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 3,98 \cdot 10^{10}$$

$$Pr = \frac{15,06 \cdot 10^{-6}}{21,4 \cdot 10^{-6}} = 0,7$$

$$Gr_{жс} Pr_{жс} = 2,79 \cdot 10^{10}$$

Согласно таблице 1.1, режим движения воздуха турбулентный.
Определяем коэффициент теплоотдачи:

$$Nu_{жс} = 0,15 \cdot (Gr_{жс} Pr_{жс})^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_{жс}}{Pr_c} \right)^{0,25} =$$

$$= 0,15 \cdot (2,79 \cdot 10^{10})^{0,33} \cdot 1 = 423.$$

$$\alpha = \frac{Nu_{жс} \cdot \lambda_{жс}}{h} = \frac{423 \cdot 0,02593}{3} = 3,66 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2 ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВОДЯНОЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

2.1. Гидравлический расчет водяной тепловой сети (магистральной)

В результате выполнения гидравлического расчета тепловой сети выполняется несколько задач, основные из которых:

1. Определение внутреннего диаметра трубопровода;
2. Вид и количество запорно-регулирующей арматуры;
3. Потери давления теплоносителя для отдельных участков тепловой сети и в отдельных точках;
4. Увязка всех точек системы при статическом и динамическом режимах с целью обеспечения допустимых давлений и требуемых напоров в сети и абонентских системах.

В результате выполнения гидравлического расчета тепловой сети получают исходный материал для следующего вида работ:

1. Определение характеристик перекачивающих устройств;
2. Определение капиталовложений на обустройство основных элементов тепловой сети;
3. Построение пьезометрического графика тепловой сети;
4. Разработки режимов эксплуатации тепловой сети и регулирования тепловой нагрузки и другие вопросы.

Первоначально при выполнении гидравлического расчета определяют требуемое количество теплоносителя для обеспечения рассчитанной тепловой нагрузки по видам потребления. Основные расчетные формулы для определения расхода теплоносителя (при качественном регулировании тепловой нагрузки):

– для нагрузки отопления:

$$G_0 = \frac{Q_0^{\max}}{c_p \cdot (\tau_1 - \tau_2)}, \quad (2.1)$$

где Q_0^{\max} – максимальная нагрузка системы, Вт; τ_1 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе тепловой сети, °С; τ_2 – температура теплоносителя в обратном трубопроводе тепловой сети, °С.

– для нагрузки вентиляции:

$$G_v = \frac{Q_v^{\max}}{c_p \cdot (\tau_1 - \tau_2)}, \quad (2.2)$$

– для нагрузки горячего водоснабжения расход теплоносителя зависит от вида подключения абонента к тепловой сети. Все новые абоненты должны быть подключены по закрытой схеме, поэтому далее расчетные формулы приведены для соответствующего типа подключения. При открытых схемах присоединения расчетный расход теплоносителя может быть определен:

1. При параллельной схеме присоединения водоподогревателей

$$G_{gvs} = \frac{Q_{gvs}}{c_p \cdot (\tau_1' - \tau_3')}, \quad (2.3)$$

где τ_1' , τ_3' – температура в подающем трубопроводе в точке излома графика температур воды и температура воды после параллельно включенного водоподогревателя соответственно, °С (τ_3' рекомендуется принимать 30 °С).

2. При двухступенчатых схемах присоединения водоподогревателей

$$G_{gvs} = \frac{Q_{gvs}}{c_p \cdot (\tau_1' - \tau_2')} \cdot \left(\frac{55 - t'}{55 - t_h} + 0,2 \right), \quad (2.4)$$

где τ_2' – температура в обратном трубопроводе в точке излома графика температур воды, °С; t_h – температура холодной воды (5 °С), °С; t' – температура нагреваемой водопроводной воды после нижней (первой) ступени водоподогревателя при температуре наружного воздуха, соответствующей точке излома графика, °С.

$$G_{gvs} = \frac{0,55 \cdot Q_{gvs}^{\max}}{c_p \cdot (\tau_1' - \tau_2')}, \quad (2.5)$$

Последовательность выполнения гидравлического расчета может быть следующей (один из возможных вариантов):

1. Выбирают магистральный участок тепловой сети, как правило, наиболее протяженный и загруженный;
2. Разбивают тепловую сеть на участки и определяют их длины и расчетные расходы теплоносителя;
3. Задавшись удельными потерями на трение R (до 80 Па/м) по номограммам или расчетом определяют диаметр трубопровода, действительные удельные потери на трение, и скорость движения теплоносителя (не более 3,5 м/с);
4. Разрабатывают монтажную схему трубопровода, размещая на трассе запорную арматуру, опоры и компенсаторы;
5. По монтажной схеме определяют местные сопротивления и их эквивалентные длины;
6. Находят суммарную длину расчетного участка;
7. Определяют потерю давления на расчетном участке исходя из суммарных длин и удельных линейных потерь давления;
8. Ответвления и другие магистрали рассчитывают по располагаемому перепаду давлений в токе присоединения ответвлений к расчетной магистрали. При этом невязка между потерями давления в ответвлениях и располагаемым давлением не должна превышать 10%.

2.2. Пример выполнения расчета

Произвести гидравлический расчет водяной тепловой сети, схема которой представлена на рис. 2.1. П1 и П2 – потребители тепловой энергии.

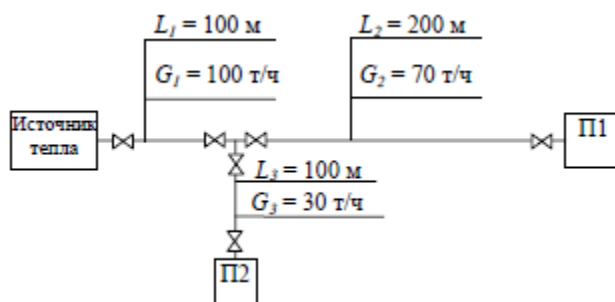


Рисунок 2.1. Расчетная схема тепловой сети

Решение:

По данным рис. 2.1 магистральный участок состоит из первого и второго участков, так как они обеспечивают наибольшую протяженность и максимальный расход теплоносителя. Зададим удельные линейные потери давления на магистрали $R = 80 \text{ Па/м}$. Рассчитаем для водяных тепловых сетей предварительно диаметр трубопровода на участке 1 и 2:

$$d_2 = \frac{0,1173 \cdot G_2^{0,38}}{R^{0,19}} = \frac{0,1173 \cdot 19,4^{0,38}}{80^{0,19}} = 0,157 \text{ м} \quad (2.6)$$

$$d_1 = 0,180 \text{ м}$$

Округляем полученные значения до стандартного размера: $d_1 = 184 \text{ м}$, $d_2 = 150 \text{ м}$. Исходя из стандартного размера трубопровода, уточняем удельные линейные потери давления

$$R_2 = \frac{12,72 \cdot 10^{-6} \cdot G_2^2}{d_2^{5,26}} = 103,2 \text{ Па/м} \quad (2.7)$$

$$R_1 = 71,8 \text{ Па/м}$$

На магистральных участках трубопровода присутствуют задвижки на каждом участке тепловой сети и один тройник. Для соответствующего диаметра выбираем по приложению Б эквивалентные длины местных сопротивлений. Для участка №2 $L_{e2} = 2,24 \text{ м}$, для участка №1 $L_{e1} = 2,9 \text{ м}$. Полная длина участков магистрали складывается из суммы длин участков и эквивалентной длины местных сопротивлений.

Для участка №2:

$$L_{i2} = L_2 + L_{e2} = 200 + 2 \cdot 2,24 = 204,48 \text{ м} \quad (2.8)$$

$$L_{i1} = 105,8 \text{ м}$$

Потери давления на участке определяется:

$$\Delta p_2 = R_2 \cdot L_{i2} = 103,2 \cdot 204,48 = 21102,3 \text{ Па} \quad (2.9)$$

$$\Delta p_1 = 7596,4 \text{ Па}$$

Потери напора на участке:

$$\Delta H_1 = \frac{\Delta p_1}{\rho \cdot g} = \frac{7596,4}{958 \cdot 9,8} = 0,81 \text{ м} \quad (2.10)$$

$$\Delta H_2 = 2,25 \text{ м}$$

Рассчитываем ответвление. Согласно принципу увязки потерь давления в участках тепловой сети:

$$\Delta p_2 = \Delta p_3 \quad (2.11)$$

Тогда удельное линейное падение давления в ответвлении тепловой сети может быть найдено:

$$R_3 = \frac{\Delta p_3}{L_3 \cdot (1 + \alpha_1)}, \quad (2.12)$$

где α_1 – коэффициент, учитывающий долю потерь давления на местные сопротивления, который рассчитывается или предварительно задается, исходя из приложения Б.

Принимаем $\alpha_1 = 0,3$. Тогда удельные линейные потери давления на участке №3 составляют:

$$R_3 = \frac{\Delta p_3}{L_3 \cdot (1 + \alpha_1)} = \frac{21102,3}{100 \cdot (1 + 0,3)} = 162,3 \text{ Па/м} \quad (2.13)$$

Далее по алгоритму для магистрального участка тепловой сети определяем диаметр ответвления и потери напора на участке.

Результаты расчета сводим в общую таблицу.

Таблица 2.1

Результаты расчета

Участок	G , т/ч	L , м	Предварительный расчет		Окончательный расчет					
			R , Па/м	d , м	R , Па/м	d , м	L_e , м	L_i , м	Δp , Па	ΔH , м
1	100	100	80	0,180	71,8	0,184	2,9	105,8	7596,4	0,81
2	70	200	80	0,157	103,2	0,150	2,24	204,48	21102,3	2,25
3	30	30	162,3	0,099	160,7	0,1	1,65	109,9	17660,9	1,88

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗДАНИЯ

3.1 Уравнение теплового баланса здания

Сведением всех составляющих поступлений и расхода теплоты в тепловом балансе помещения определяется дефицит или избыток теплоты. Дефицит теплоты указывает на необходимость устройства в помещении отопления, избыток теплоты обычно ассимилируется воздухом и с ним отводится из помещения вентиляцией. Для определения тепловой мощности системы отопления составляют баланс часовых расходов теплоты для расчетного зимнего периода в виде

$$\Sigma Q_0 = Q_{огр} + \Sigma Q_{\partial} + Q_u + Q_{техн}, \quad (3.1)$$

где $Q_{огр}$ – основные потери теплоты через ограждающие конструкции здания, Вт; ΣQ_{∂} – суммарные добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции здания, Вт; Q_u – расход тепла на нагревание воздуха, поступающего в помещение при инфильтрации и вентиляции, если эти составляющие не учтены в тепловом балансе для расчета вентиляции, Вт; $Q_{техн}$ – дебаланс между расходом тепла на технологические нужды и минимальными технологическими и бытовыми тепlopоступлениями, Вт.

Расчетная тепловая мощность системы отопления соответствует максимальному дефициту теплоты. Результаты расчета заносятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

Ведомость расчета теплопотерь помещений

№ пом., назнач., $t_{в}$, °C	Характеристика ограждения				k , Вт/(м ² ·°C)	$n \cdot (t_{в} - t_{н})$, °C	$Q_{огр}$, Вт	Q_o , Вт		$Q_{огр} + Q_o$, Вт	Q_u , Вт	Q_o , Вт	ΣQ_o , Вт
	Наим.	Ориен.	Размер, м×м	A , м ²				Ориен.	Прочие				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

3.2 Основные потери теплоты

через ограждающие конструкции зданий

Основные потери теплоты $Q_{огр}$, Вт, через рассматриваемые ограждающие конструкции зависят от разности температуры наружного и внутреннего воздуха и рассчитываются с точностью до 10 Вт по формуле

$$Q_{огр} = A \cdot k \cdot (t_{в} - t_{н}) \cdot n, \quad (3.2)$$

где n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, принимаемый согласно приложению В; $t_{в}$ – расчетная температура воздуха помещения, °C, принимаемая по приложению В; $t_{н}$ – расчетная зимняя температура наружного воздуха, °C, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, принимаемая согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология»; k – коэффициент теплопередачи наружного ограждения, Вт/(м²·°C); A – расчетная поверхность ограждающей конструкции, м².

При проведении расчетов пользуются следующими условными обозначениями ограждающих конструкций: НС – наружная стена; ВС – внутренняя стена; ДО – окно с двойным остеклением; ТО – окно с тройным остеклением; Пт – потолок; Пл – пол; НД – наружная дверь.

Теплопотери через внутренние ограждения между смежными помещениями следует учитывать при разности температуры воздуха $t_{в}$ этих помещений более 3 °C.

Теплопотери для лестничной клетки определяются для всех этажей сразу, через все ограждающие конструкции, как для одного помещения.

3.3 Дополнительные потери теплоты через ограждающие конструкции здания

Дополнительные теплотопотери, определяемые ориентацией ограждений (стен, дверей и световых проемов) по сторонам света, рассчитываются как

$$Q_{д.ор} = Q_{огр} \cdot \beta_{ор}, \quad (3.3)$$

где $\beta_{ор}$ – коэффициент добавки на ориентацию (рис. 3.1); $Q_{огр}$ – основные теплотопотери через данное ограждение, Вт.

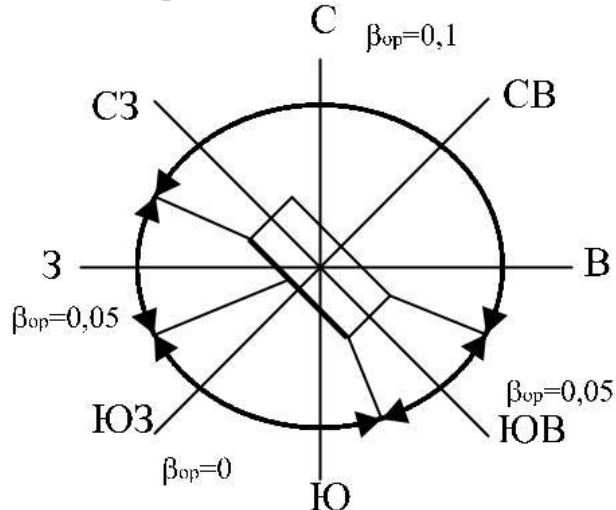


Рисунок 3.1. Значения коэффициента добавок на ориентацию

Прочие дополнительные теплотопотери:

а) при наличии двух и более наружных стен принимается добавка на все вертикальные ограждения, равная 0,05;

б) для угловых помещений и помещений, имеющих два и более наружных вертикальных ограждения, температуру внутреннего воздуха принимают для жилых зданий на 2 °С выше расчетной, а для зданий другого назначения повышение температуры учитывают 5%-й добавкой к основным теплотопотерям вертикальных наружных ограждений;

в) дополнительные потери теплоты на нагревание холодного воздуха, поступающего при кратковременном открывании наружных входов, не оборудованных воздушно-тепловыми завесами, принимаются в зависимости от типа входных дверей и высоты здания H , м:

– для тройных дверей с двумя тамбурами между ними:

$$Q_{д.нд} = Q_{огр.нд} \cdot (0,2 \cdot H); \quad (3.4)$$

– для двойных дверей с тамбурами между ними:

$$Q_{д.нд} = Q_{огр.нд} \cdot (0,27 \cdot H); \quad (3.5)$$

– для двойных дверей без тамбура:

$$Q_{д.нд} = Q_{огр.нд} \cdot (0,34 \cdot H); \quad (3.6)$$

– для одинарных дверей:

$$Q_{д.нд} = Q_{огр.нд} \cdot (0,22 \cdot H), \quad (3.7)$$

где $Q_{огр.нд}$ – основные теплопотери через наружные двери в помещении лестничной клетки.

3.4 Расчет расхода теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха

При естественной вытяжной вентиляции в помещениях жилых и общественных зданий приточный нормируемый расход воздуха может складываться из поступлений в помещения либо в виде суммарного расхода, равного расходам приточного, нагретого в приточных установках, и инфильтрационного воздуха (без предварительного нагревания). В этом случае инфильтрационный поток воздуха является организованным, задаваемым в исходных условиях параметром L_n , величина которого формируется в результате дебаланса между задаваемыми вентиляционными вытяжным и приточным воздухообменами. Расход теплоты Q_u , Вт, на нагревание этого организованного инфильтрационного потока определяется по формуле

$$Q_u = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho_v \cdot c \cdot (t_v - t_n), \quad (3.8)$$

где L_n – расход приточного, предварительно не подогреваемого инфильтрующегося воздуха, м³/ч; ρ_v – плотность воздуха в помещении, кг/м³, $\rho_v = \frac{353}{273 + t_v}$; c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1,005 кДж/(кг·°C).

Для жилых зданий приточный воздухообмен нормируется удельным расходом 3 м³/ч на 1 м² площади жилых помещений и кухни ($L_n = 3 \cdot A_{\text{пола}}$), что соответствует, примерно, однократному воздухообмену.

При неорганизованной инфильтрации через существующие неплотности и щели в стенах, воротах, окнах, фонарях зданий различного назначения расход теплоты Q_u , Вт, определяется по формуле

$$Q_u = 0,28 \cdot \Sigma G_n \cdot \rho_v \cdot c \cdot (t_v - t_n) \cdot k_\tau, \quad (3.9)$$

где G_n – расход инфильтрующегося воздуха, кг/ч, через ограждающие конструкции помещения; k_τ – коэффициент учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный 0,7 для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами, 0,8 – для окон и балконных дверей с раздельными переплетами и 1 – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов; t_v , t_n – расчетные температуры воздуха, °C.

При естественной вытяжной вентиляции в помещениях общественных зданий расчет выполняется по выражениям (3.8) и (3.9), при этом принимается за расчетное значение большая из величин.

Расход инфильтрующегося воздуха ΣG_n через отдельные ограждающие конструкции определяется по формуле, где учитывается воздухопроницаемость стен, стыков стеновых панелей, неплотностей окон, дверей, ворот и фонарей. Ввиду незначительности инфильтрационных потоков через стены и стыки стеновых панелей современных зданий (кроме деревянных щитовых, рубленых и т. п.) выражение для определения расхода инфильтрующегося воздуха в помещении ΣG_n , кг/ч, можно ограничить только двумя его членами:

$$\Sigma G_n = \Sigma A_2 \cdot G_n^* \cdot (\Delta P_i / \Delta P_1)^{0,67} + 3456 \cdot \Sigma A_3 \cdot \Delta p_1^{0,67}, \quad (3.10)$$

где G_n^* – нормативная воздухопроницаемость наружных ограждающих конструкций, кг/(м²·ч), принимаемая по приложению В; A_2 – площадь, м², световых проемов (окон, балконных дверей, фонарей); A_3 – площадь, м², щелей, неплотностей и проемов в наружных ограждающих конструкциях; ΔP_i , ΔP_1 – расчетные разности давлений на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций соответственно на расчетном этаже при $\Delta P_1 = 10$ Па.

Расчетная разность ΔP_i , Па, давлений воздуха на наружную и внутреннюю поверхность ограждений определяется по формуле:

$$\Delta P_i = (H - h) \cdot (\rho_n - \rho_v) \cdot g + 0,5 \cdot \rho_n \cdot v^2 \cdot (c_n - c_n) \cdot k_v - P_{int}, \quad (3.11)$$

где H – высота здания, м, от уровня средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты; h – расчетная высота, м, от уровня земли до верха окон, балконных дверей, наружных дверей, ворот, проемов или до оси горизонтальных и середины вертикальных стыков стеновых панелей; ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³, определяемая по формуле:

$$\rho_v = \frac{353}{273 + t_v}, \quad (3.12)$$

g – ускорение силы тяжести, м/с²; v – скорость ветра, м/с, принимаемая согласно приложению В; c_n , c_n – аэродинамические коэффициенты для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания, принимаемые $c_n = 0,8$, $c_n = -0,6$; k_v – коэффициент учета изменения скоростного давления ветра в зависимости от высоты здания, принимаемый по табл. 3.2; P_{int} – давление воздуха в помещении, Па.

Таблица 3.2

Коэффициент учета изменения скоростного давления ветра

Высота над поверхностью земли H , м	10	20	30	40
k_v	0,4	0,55	0,7	0,8

Для помещений жилых и общественных зданий, оборудованных только естественной вытяжной вентиляцией, давление P_{int} можно принять равным потере давления в вытяжной системе

$$P_{int} = h_i \cdot g \cdot (\rho_{+5^\circ C} - \rho_v), \quad (3.13)$$

где h_i – расстояние по вертикали от центра вытяжной решетки до верхней кромки вытяжного канала или шахты, м; $\rho_{+5^\circ C}$ – плотность наружного воздуха при $t_n = +5^\circ C$, кг/м³.

При наличии в помещении дебаланса механического воздухообмена значение P_{int} определяется из уравнения воздушного баланса помещения.

3.5 Дополнительные бытовые теплопоступления в помещения

При расчете тепловой мощности системы отопления необходимо учитывать регулярные бытовые теплопоступления в помещение от электрических приборов, коммуникаций, тела человека и других источников. При этом значения бытовых тепловыделений, поступающих в комнаты и кухни жилых домов, следует принимать в количестве не менее 10 Вт на 1 м² площади пола и определять по уравнению, Вт,

$$Q_{\text{б}} = 10 \cdot A_{\text{пол}}, \quad (3.14)$$

где $A_{\text{пол}}$ – площадь пола отапливаемого помещения, м².

3.6 Примеры теплотехнического расчета жилого здания

Пример №1. Расчет тепловой мощности трехэтажного жилого здания

Исходные данные

1. План и разрез жилого здания представлены на рис. 3.2.
2. Расчетная температура наружного воздуха – $t_n = -40^\circ C$. Расчетные температуры внутреннего воздуха: жилая комната – $21^\circ C$, кухня – $19^\circ C$, лестничная клетка – $16^\circ C$.
3. Характеристика наружных ограждений здания:
 - а) толщина наружной стены $\delta_{nc} = 400$ мм с коэффициентом теплопередачи $k_{nc} = 0,236$ Вт/(м²·°C);

б) толщина перекрытия над неотапливаемым подвалом $\delta_{пл} = 350$ мм с коэффициентом теплопередачи $k_{пл} = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

в) толщина чердачного перекрытия $\delta_{пт} = 450$ мм с коэффициентом теплопередачи $k_{пт} = 0,193 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

г) окна двойные в деревянных переплетах с коэффициентом теплопередачи $k_{до} = 1,818 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

д) наружные двери двойные с тамбуром с коэффициентом теплопередачи $k_{нд} = 0,394 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$;

е) коэффициент теплопередачи внутренней стены здания $k_{вс} = 1,63 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

4. Коэффициент n при наличии чердака и подвального помещения принимается равным: для наружных стен, окон и дверей $n = 1$, для пола первого этажа и потолка третьего этажа $n = 0,9$.

5. Высота помещения $h = 3,0$ м.

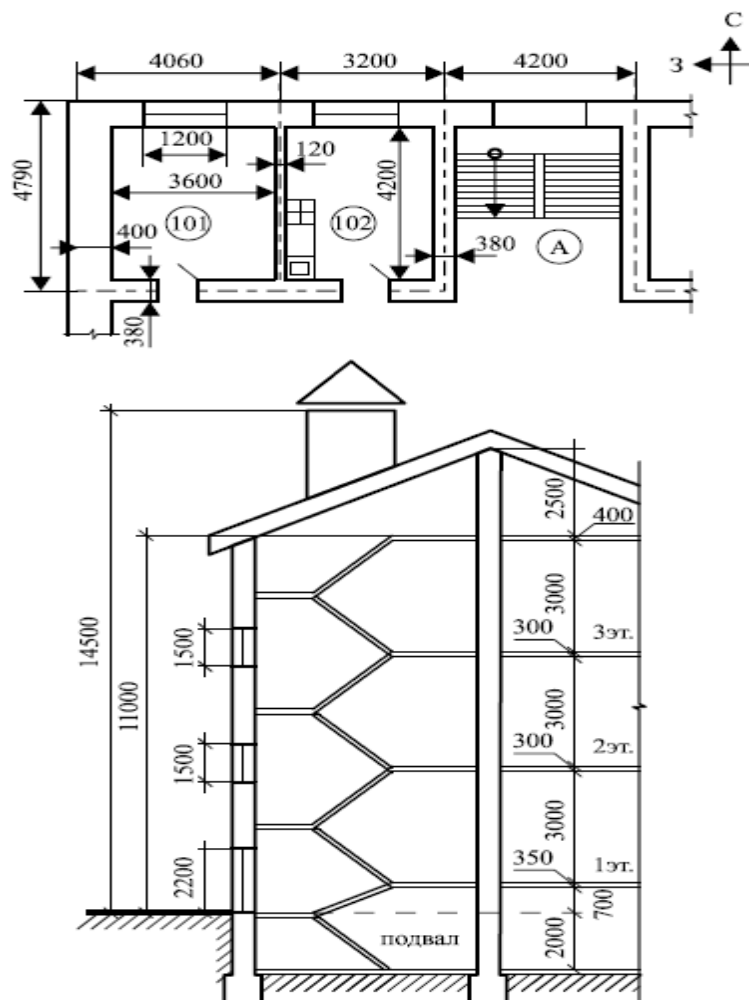


Рисунок 3.2. План 1-го этажа и разрез здания

Порядок расчета

1. Определяем расчетную высоту этажей и высоту здания; толщина межэтажного перекрытия принимается равной $\delta_{птэ} = 300$ мм:

$$h_1 = h + \delta_{нл} + \delta_{птэ} = 3,0 + 0,35 + 0,3 = 3,65 \text{ м};$$

$$h_2 = h + \delta_{птэ} = 3,0 + 0,3 = 3,3 \text{ м};$$

$$h_3 = h + \delta_{нл} = 3,0 + 0,45 = 3,45 \text{ м};$$

$$H_{зд} = h_1 + h_2 + h_3 + 0,7 = 11,1 \text{ м};$$

2. Определяем расчетный коэффициент теплопередачи для окна по выражению

$$k_{ок} = k_{до,то} - k_{нс} = 1,818 - 0,236 = 1,582 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}),$$

где $k_{до,то}$ – коэффициент теплопередачи окна, полученный по результату теплотехнического расчета, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

3. Определяем основные и дополнительные потери теплоты через ограждающие конструкции здания согласно подразд. 3.2, 3.3 и результаты расчетов заносим в табл. 3.3 (графа 1–11).

4. Производим расчет расхода теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха согласно подразд. 3.3. Расчет выполняем по выражениям (3.8) и (3.9), при этом принимаем за расчетное значение большую из величин. Результаты расчетов заносим в графу 12 табл. 3.3.

5. Рассчитываем дополнительные бытовые поступления теплоты в помещения по уравнению (3.14) подразд. 3.4, которые заносим в графу 13 табл. 3.3.

6. Составляем тепловой баланс каждого помещения здания согласно выражению (3.1) подразд. 3.1. Результаты расчетов заносим в графу 14 табл. 3.3. Определяем тепловую мощность системы отопления здания суммированием значений графы 14 табл. 3.3.

Пример №2. Расчет расхода теплоты на нагрев инфильтрующегося наружного воздуха через окно помещения.

Исходные данные

1. Помещение кухни № 102 на рис. 3.2 оборудовано естественной вытяжной вентиляцией с нормальным воздухообменом $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 пола помещения.

2. Высота здания от уровня земли до верха вытяжной шахты естественной вентиляции $H = 14,55$ м. Расчетная высота от уровня земли до верха окна $h = 3,45$ м, при расстоянии от пола до подоконника $0,9$ м (рис. 3.2). Расстояние от центра вытяжной решетки до верха вытяжной шахты $h_i = 10,85$ м.

3. Площадь пола комнаты 102 по рис. 3.2 $A_{\text{пола}}=14,1 \text{ м}^2$; размеры окна $1,2 \times 1,5 \text{ м}$.

4. Плотность наружного воздуха при $t_n = -40 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_n=1,515 \text{ кг/м}^3$; плотность внутреннего воздуха при $t_e = +19 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_e=1,209 \text{ кг/м}^3$; плотность наружного воздуха при $t_n = +5 \text{ }^\circ\text{C}$ $\rho_{+5^\circ\text{C}}=1,27 \text{ кг/м}^3$.

5. Скорость ветра принимаем $v = 4,7 \text{ м/с}$. Нормативная воздухопроницаемость оконного проема принимаем, $G_n^* = 5 \text{ кг/(м}^3 \cdot \text{ч)}$.

6. Аэродинамические коэффициенты для наветренной и подветренной поверхностей ограждений здания принимаем, $c_n = 0,8$, $c_n = -0,6$.

Порядок расчета

1. Расчет производим согласно методике, представленной в подразделе 3.4. Вычисляем давление воздуха в жилом помещении по формуле (3.13)

$$P_{\text{int}} = 10,85 \cdot 9,81 \cdot (1,27 - 1,209) = 6,5 \text{ Па.}$$

2. Определяем разность давлений воздуха на наружную и внутреннюю поверхность ограждения (окна первого этажа) по формуле 3.11:

$$\Delta P_i = (14,55 - 3,45) \cdot (1,515 - 1,209) \cdot 9,81 + 0,5 \cdot 1,515 \cdot 4,7^2 \times \\ \times (0,8 - 0,6) \cdot 0,475 - 6,5 = 37,95 \text{ Па}$$

где коэффициент учета изменения скоростного давления ветра при высоте здания $H = 14,55 \text{ м}$ по табл. 3.2 принимается равным $k_v = 0,475$.

3. Вычисляем расход инфильтрующегося воздуха через окно первого этажа по формуле (3.10)

$$\Sigma G_n = (1,2 \cdot 1,5) \cdot 5 \cdot (37,95 / 10)^{0,67} = 22,0 \text{ кг/ч}$$

4. Рассчитываем по формуле (3.9) расход теплоты для нагревания инфильтрующегося воздуха через окно первого этажа вследствие действия теплового и ветрового давления:

$$Q_u = 0,28 \cdot 22,0 \cdot 1,005 \cdot (19 + 40) \cdot 0,8 = 292 \text{ Вт,}$$

где коэффициент учета влияния встречного теплового потока для окон с раздельными переплетами принимается равным $k_\tau = 0,8$.

5. Вычисляем по формуле (3.8) расход теплоты для нагревания инфильтрующегося воздуха при естественной вентиляции, не компенсируемый притоком подогретого воздуха:

$$Q_u = 0,28 \cdot (3 \cdot 14,1) \cdot 1,209 \cdot 1,005 \cdot (19 + 40) = 849 \text{ Вт}$$

За расчетную величину следует принять большее из полученных значений $Q_u = 849 \text{ Вт}$ и записать в графу 12 табл. 3.3.

Таблица 3.3

Ведомость расчета теплотерь помещений

№ пом., назнач., t_e , °C	Характеристика ограждения				k , Вт/(м ² ·°C)	$n \cdot (t_e - t_u)$, °C	$Q_{оп}$, Вт	Q_d , Вт		$Q_{оп} + Q_d$, Вт	Q_u , Вт	Q_b , Вт	Q_0 , Вт
	наим.	ориен.	размер, м×м	A , м ²				ориен.	проч.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
101 Жилая комната, 23 °C	НС	С	4,06×3,65	14,82	0,236	63	220	22	11	253	1022	161	1875
	НС	З	4,79×3,65	17,5	0,236	63	260	13	13	286			
	ДО	С	1,2×1,5	1,8	1,582	63	179	17,9	9	206			
	Пл	–	3,66×4,39	16,1	0,2	56,7	183	–	–	183			
	ВС	–	4,39×3,0	13,2	1,63	23–19	86	–	–	86			
										1014			
102 Кухня, 19°C	НС	С	3,2×3,65	11,7	0,236	59	163	16,3	–	179	849	141	1136
	ДО	С	1,2×1,5	1,8	1,582	59	168	16,8	–	185			
	Пл	–	3,2×4,39	14,1	0,2	53,1	150	–	–	150			
	ВС	–	4,39×3,0	13,2	1,63	19–23	–86	–	–	–86			
										428			
А ЛК, 16°C	НС	С	4,2×11,1	46,6	0,236	56	616	61,6	–	678	1038	–	2746
	НД	С	1,6×2,2	3,5	0,394	56	77	7,7	230	315			
	ДО	С	1,2×1,5×2	3,6	1,582	56	319	31,9	–	351			
	Пл	–	4,2×4,39	18,4	0,2	50,4	185	–	–	185			
	Пт	–	4,2×4,39	18,4	0,193	50,4	179	–	–	179			
										1708			
201 Жилая комната, 23°C	НС	С	4,06×3,3	13,4	0,236	63	199	19,9	10	229	1022	161	1640
	НС	З	4,79×3,3	15,8	0,236	63	235	11,7	11,7	258			
	ДО	С	1,2×1,5	1,8	1,582	63	179	9	9	206			
	ВС	–	4,39×3	13,2	1,63	23–19	86	–	–	86			
										779			

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
202 Кухня, 19 °C	НС	С	3,2×3,3	10,6	0,236	59	148	14,8	–	163	849	141	970
	ДО	С	1,2×1,5	1,8	1,582	59	168	16,8	–	185			
	ВС	–	4,39×3,0	13,2	1,63	19–23	–86	–	–	–86			
										262			
301 Жилая комната, 23 °C	НС	С	4,06×3,45	14	0,236	63	208	20,8	10,4	239	1022	161	1838
	НС	З	4,79×3,45	16,5	0,236	63	245	12,3	12,3	270			
	ДО	С	1,2×1,5	1,8	1,582	63	179	17,9	9	206			
	Пт	–	3,66×4,39	16,1	0,193	56,7	176	–	–	176			
	ВС	–	4,39×3,0	13,2	1,63	23–19	86	–	–	86			
										977			
302 Кухня, 19 °C	НС	С	3,2×3,45	11,04	0,236	59	154	15,4	–	169	849	141	1120
	ДО	С	1,2×1,5	1,8	1,582	59	168	16,8	–	185			
	Пт	–	3,2×4,39	14,1	0,193	53,1	145	–	–	145			
	ВС	–	4,39×3,0	13,2	1,63	19–23	–86	–	–	–86			
										412			
										Итого			
													11325

Пример №3. Определение температуры внутреннего воздуха помещения на основе составления теплового баланса.

Исходные данные

1. На рис. 3.3. приведены план и разрез неотапливаемого подвала, над которым находятся отапливаемые жилые помещения с температурой внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Стены подвала выше уровня тротуара выложены из красного кирпича на тяжелом растворе, ниже – из бетонных блоков толщиной 90 см; пол подвала бетонный; бетон приготовлен с каменным щебнем. Окна подвала двойные, размером $1,0 \times 0,6\text{ м}$.

2. Коэффициент теплопередачи окна $k_{\text{до}} = 1,84\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$. Коэффициент теплопередачи наружной кирпичной стены подвала $k_{\text{нс}} = 0,43\text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$. Коэффициент теплопередачи перекрытия над подвалом $k_{\text{пл}} = 0,575\text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

3. Коэффициенты теплопередачи для неутепленного пола принимают равными для I зоны 0,465, для II зоны 0,233, для III зоны 0,116 и для IV зоны 0,07 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

4. Определить минимальную температуру воздуха в подвале, если $t_{\text{н}} = -32\text{ }^{\circ}\text{C}$.

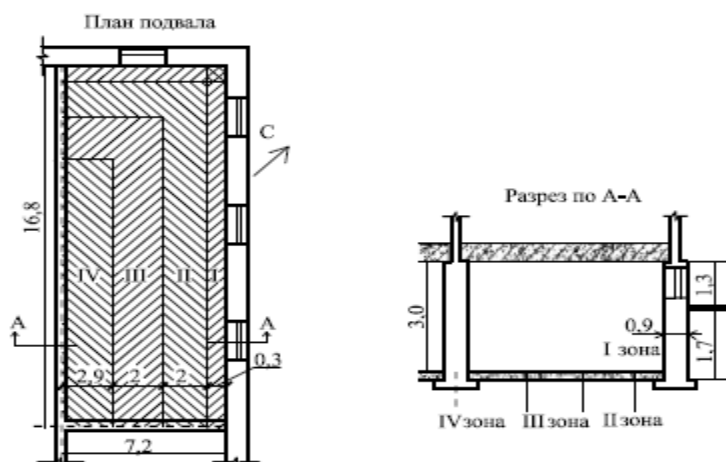


Рисунок 3.3. План и разрез помещения

Порядок расчета

1. Температура воздуха в подвале определяется на основании баланса тепла, поступающего в подвал из вышележащих отапливаемых помещений и теряемого через наружные ограждения. Обозначим температуру воздуха подвала через t_x .

2. Теплоступления через перекрытие в подвал можно определить согласно выражению (3.2)

$$Q_{\text{огр}} = 7,2 \cdot 16,2 \cdot 0,574 \cdot (20 - t_x) = 69,43(20 - t_x) \text{ Вт}$$

Угловые наружные стены ориентированы: одна на северо-запад, вторая – на северо-восток. Так как добавки на эти стороны света к основным теплопотерям помещения одинаковы (подразд. 3.3), то нет необходимости подсчитывать теплопотери порознь для каждой наружной стены.

Общая длина обеих стен составит:

$$l = (16,8 + 0,9) + (7,2 + 0,9) = 25,8 \text{ м}$$

Добавки к основным теплопотерям: на стороны света 10 %, на угловое помещение 5 %, на ветер 5 % – всего 20 %.

Теплопотери через наружные стены и окна по формуле (3.2) составляют:

$$Q_{\text{пот.над}} = [k_{\text{нс}} \cdot A_{\text{нс}} + k_{\text{до}} \cdot A_{\text{до}}] \cdot (t_x - t_n) \cdot \beta = \left[\begin{array}{l} 0,43 \cdot 25,8 \cdot 1,3 + \\ + (1,84 - 0,43) \cdot 1 \cdot \\ \cdot 0,6 \cdot 4 \end{array} \right] \cdot (t_x + 32) \cdot 1,2 = 21,37 \cdot (t_x + 32) \text{ Вт}$$

4. Определяем теплопотери через подземную часть подвала. Всю подземную часть стены и пол подвала от уровня тротуара до осей внутренних стен делим на 2-метровые зоны. Коэффициент теплопроводности бетона с каменным щебнем равен $\lambda = 1,86 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{С)} > 1$, поэтому стеновые блоки и пол рассматриваем как неутепленные конструкции.

Площадь I зоны:

$$A_1 = (16,8 \cdot 1,7 + 7,2 \cdot 1,7) + (16,8 \cdot 0,3 + 7,2 \cdot 0,3) = 48 \text{ м}^2.$$

Площадь II зоны:

$$A_2 = (16,8 - 2) \cdot 2 + (7,2 - 0,3) \cdot 2 = 42,8 \text{ м}^2.$$

Площадь III зоны:

$$A_3 = (16,8 - 4,3) \cdot 2 + (7,2 - 2,3) \cdot 2 = 34,8 \text{ м}^2.$$

Площадь IV зоны:

$$A_4 = (16,8 - 4,3) + (7,2 - 4,3) = 15,4 \text{ м}^2.$$

Теплопотери через подземную часть стены и пол подвала по формуле (1.2) составляют

$$\begin{aligned} Q_{\text{пот.над}} &= [k_I \cdot A_I + k_{II} \cdot A_{II} + k_{III} \cdot A_{III} + k_{IV} \cdot A_{IV}] \cdot (t_x - t_n) \\ &= [0,465 \cdot 48,0 + 0,233 \cdot 42,8 + 0,116 \cdot 34,8 + 0,07 \cdot 15,4] \cdot (t_x + 32) = \\ &= 37,41 \cdot (t_x + 32) \text{ Вт} \end{aligned}$$

5. Составляем уравнение баланса тепла для ограждающих конструкций подвала:

$$Q_{\text{пост}} = Q_{\text{пот.над}} + Q_{\text{пот.под}},$$

$$69,43 \cdot (20 - t_x) = 21,37 \cdot (t_x + 32) + 37,41(t_x + 32).$$

После преобразования получаем отрицательное значение температуры воздуха в подвале $t_x = -3,84^\circ\text{C}$.

Пример №4. Расчет основных теплопотерь через утепленные полы, расположенные на грунте на лагах.

Исходные данные

Определить теплопотери через полы жилой комнаты № 101 (рис. 3.4).

Порядок расчета

Расчет теплопотерь через полы для каждого помещения здания производим в следующем порядке. Результаты записываем по форме табл. 3.1, графы 2–7.

1. Вычерчиваем план первого этажа здания в масштабе 1:100 с указанием всех размеров (рис. 3.4) и наносим расположение всех четырех зон.

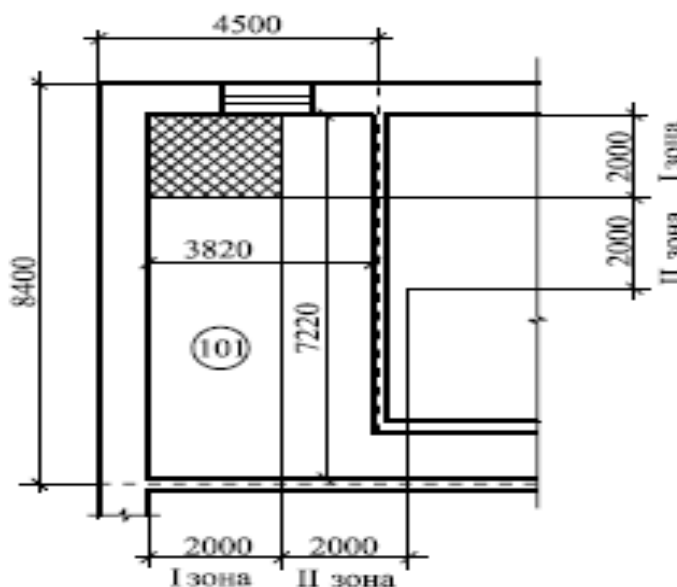


Рисунок 3.4. Фрагмент плана к примеру 4

2. В графе 2 указываем условное обозначение отдельных зон полов ПлI, ПлII и т. д. Например, в жилой комнате № 101 размещаются только первая и часть второй зоны.

3. В графе 4 записываем размеры каждой зоны, расположенной в данном помещении. Например, размеры первой зоны составляют $2,0 \times 7,72$ и $2,0 \times 3,82$, а второй зоны – $1,82 \times 5,72$. Расчеты производятся с точностью до 0,1 м.

4. В графе 5 указываем площади каждой зоны с точностью до $0,1 \text{ м}^2$.

5. В графе 6 записываем значения коэффициента теплопередачи для каждой зоны. Например, $k_I = 0,33 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$; $k_{II} = 0,18 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$ (для расчета коэффициента k необходимо принять R_0 для каждой зоны из приложения В).

6. В графе 7 коэффициент n принимается равным 1, т. к. ограждение имеет непосредственный контакт с окружающей средой (приложение В).

4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАЗОПРОВОДОВ

В основе гидравлического расчета газопроводной сети лежит определение оптимальных диаметров газопроводов, обеспечивающих пропуск необходимых количеств газа при допустимых перепадах давления. Расчет ведется исходя из максимально возможных расходов газа в часы максимального газопотребления. При этом учитываются часовые расходы газа на нужды производственных (промышленных и сельскохозяйственных), коммунально-бытовых потребителей, а также на индивидуально-бытовые нужды населения (отопление, горячее водоснабжение). Как правило, при гидравлическом расчете газопроводов среднего и высокого давления расчетные расходы газа потребителями принимаются в качестве сосредоточенных нагрузок, для сетей низкого давления учитывается также и равномерно распределенная нагрузка. Отличительной особенностью систем газоснабжения среднего давления с установкой газорегуляторных пунктов у каждого потребителя или небольшой группы потребителей населенного пункта является применимость к ним принципа расчета сетей с равномерно распределенными нагрузками.

4.1. Гидравлический расчет тупиковых газопроводов

Особенностью расчета тупикового газопровода, питаемого из одной точки, с подключенными сосредоточенными потребителями газа является то, что определение диаметров участков газопровода ведут по суммарным расходам газа на участках и допускаемой потере давления. Отбор сосредоточенных расходов газа имеет место в распределительных газопроводах среднего или высокого давления, а также во внутренних газопроводах жилых и производственных зданий. Потребители, подключаемые к распределительным газопроводам низкого давления, за исключением отдельных сосредоточенных разбирают газ из сети неравномерно, и закономерность разбора установить трудно. Для упрощения задачи допускают, что бытовыми и коммунально-бытовыми потребителями газ по пути его следования в трубе расходуется равномерно

(расход газа, отбираемый на участке газопровода, называется путевым расходом на данном участке). Однако чаще всего по участку проходят и те количества газа, которые предназначены для других участков. Для данного же участка этот расход газа будет считаться транзитным.

Рассмотрим схему расходов газа по участкам (рис. 4.1). Очевидно, что на участке 3–4 имеется только путевой расход; на участке 2–3 расход складывается из собственного путевого расхода A_2 и транзитного расхода B_2 , на участке 1–2, кроме собственного путевого расхода A_1 , имеется транзитный расход $B_1 = A_2 + B_2$, предназначенный для двух последующих участков. Естественно, что диаметры труб первых участков должны быть больше диаметров труб последующих участков. Если взять изолированно участок 2–3 из этой сети и определить расчетный расход газа V_p в промежуточной точке x , то этот расход будет складываться из транзитного расхода V_m и какой-то части путевого расхода V_n , т. е.

$$V_p = V + k \cdot V_n, \quad (4.1)$$

где коэффициент k учитывает долю путевого расхода газа в данной точке и зависит от $\frac{V_m}{V_n}$.

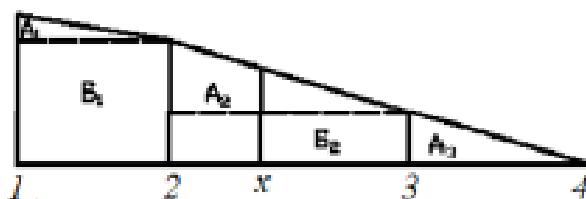


Рисунок 4.1. Схема расходов газа по участкам

Для газовых сетей населенных пунктов обычно транзитный расход газа во много раз больше путевого, поэтому для осреднения расчетных расходов газа на участках пользуются соотношением

$$V_p = V_m + 0,5 \cdot V_n \quad (4.2)$$

Для дальнейших расчетов введено понятие «удельные расходы газа». Удельный расход по длине есть отношение общего расчетного часового расхода газа к суммарной длине газовой сети

$$V_{y\partial.l} = V_{p.ч} / \Sigma l_i \quad (4.3)$$

В больших городах с различным характером застройки и неодинаковой плотностью населения удельные расходы вычисляются отдельно для каждого района.

Удельный расход газа, отнесенный к единице площади застройки

$$V_{y\partial.f} = V_{p.ч} / F, \quad (4.4)$$

где $V_{p.ч}$ – расчетный часовой расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$; F – площадь застройки, га.

Как отмечалось ранее, диаметры газопроводов определяются по расходу газа и допустимым потерям давления. Выбор расчетных перепадов давления в сетях низкого давления принимается исходя из допустимых колебаний тепловых нагрузок бытовых газовых приборов. При снабжении потребителей природным газом с низшей теплотой сгорания 33–42 МДж/м³ давление газа перед бытовыми газовыми приборами принимают 120 или 200 даПа. Исходя из этого при давлении газа на выходе из ГРП, равном 300 даПа, суммарный перепад давления в газовых сетях рекомендуется принимать равным 180 даПа, в том числе в уличных газопроводах 120, в подводящих и домовых – 60 даПа. Таким образом, при расчетах уличных распределительных газовых сетей следует ориентироваться на перепад давления в 120 даПа.

В сложных схемах газоснабжения расчетные расходы газа на участках сети определяются с помощью условных узловых расходов, равных (в точке пересечения участков) полусумме путевых расходов участков, примыкающих к узлу

$$V_{уз} = \Sigma V_c / 2 \quad (4.5)$$

Таким приемом равномерно распределенный расход газа на участках сети, примыкающих к узловой точке, как бы собирается в эту точку и превращается в условный сосредоточенный расход. Когда вся равномерно распределенная нагрузка сети будет заменена сосредоточенными узловыми расходами, расчетные расходы газа на участках сети определяются из так называемого условия равновесия узлов – равенства количеств газа, притекающих к узлу и отходящих от него, с учетом расхода газа в самом узле (рис. 4.2). Баланс расходов газа в узле может быть представлен выражением:

$$V_{p1} = V_{p2} + V_{p3} + V_{уз} \quad (4.6)$$

В тех случаях, когда распределительная сеть помимо равномерно распределенной нагрузки имеет сосредоточенные расходы V_c , последние включаются в узловые расходы в местах присоединения сосредоточенных расходов к распределительной сети. Для таких узлов:

$$V_{уз} = \Sigma V_n / 2 + V_c \quad (4.7)$$

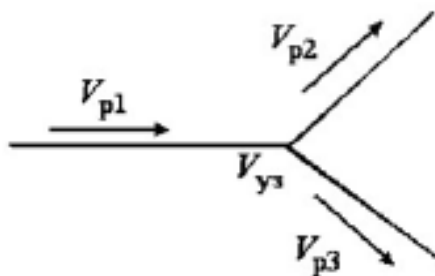


Рисунок 4.2. Схема узла

Для разветвленных систем следует увязывать потери давления в основных ответвлениях. При этом максимальная величина невязки составляет 10 %.

4.2. Пример гидравлического расчета тупиковой сети низкого давления

Определить расчетные расходы газа и диаметры газопроводов на участках сети, используя исходные данные.

Жилой поселок однородной застройки снабжается природным газом ($\rho = 0,73 \text{ кг/м}^3$) в количестве $750 \text{ м}^3/\text{ч}$. Подача газа в распределительную газовую сеть осуществляется из ГРП под давлением 300 даПа (рис. 4.3).

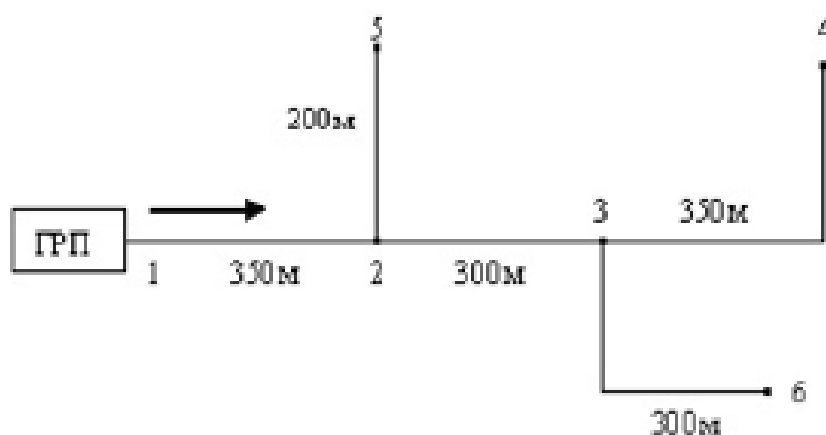


Рисунок 4.3. Схема разветвленной тупиковой сети

Решение:

Удельный расход газа в сети:

$$V_{уд.л} = V_{p.ч} / \sum l_i = \frac{750}{350 + 300 + 350 + 200 + 300} = 0,5 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}).$$

Путевые расходы газа:

$$V_{n1-2} = l_{1-2} \cdot V_{уд.л} = 350 \cdot 0,5 = 175 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{n2-3} = 300 \cdot 0,5 = 150 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{n3-4} = 350 \cdot 0,5 = 175 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{n3-6} = 300 \cdot 0,5 = 150 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{n2-5} = 200 \cdot 0,5 = 100 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Сумма путевых расходов газа составляет $750 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Расчетные расходы газа на участках сети:

$$V_{p3-4} = V_m + 0,5 \cdot V_n = 0,5 \cdot 175 = 87,5 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{p3-6} = 0,5 \cdot 150 = 75 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{p2-5} = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ м}^3/\text{ч};$$

На участке 2–3, кроме путевого, имеется транзитный расход:

$$V_{m2-3} = V_{n3-6} + V_{n3-4} = 175 + 150 = 325 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{p2-3} = 325 + 0,5 \cdot 150 = 400 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{m1-2} = 150 + 175 + 100 + 150 = 575 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$V_{p1-2} = 575 + 0,5 \cdot 175 = 662,5 \text{ м}^3/\text{ч};$$

Результаты вычислений путевых и расчетных расходов сводим в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Путевые и расчетные расходы газа

Расход, м ³ /ч	Участок				
	1–2	2–3	3–4	2–5	3–6
Путевой	175	150	175	100	150
Расчетный	662,5	400	87,5	50	75

Определяя среднюю удельную потерю давления на основной магистрали сети от ГРП до точки 4 (1–2–3–4), принимаем общее падение давления на этой магистрали $H = 120$ даПа. Отнесем 10 % этого падения давления за счет потерь в местных сопротивлениях.

Тогда потери давления на трение

$$H_{mp} = 120 - 0,1 \cdot 120 = 108 \text{ даПа}.$$

Средняя удельная потеря давления на трение

$$\Delta p_{mp} = H_{mp} / (l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4}) = 108 / (350 + 300 + 350) = 0,11 \text{ даПа/м}.$$

Далее расчет ведем в табличной форме (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Таблица гидравлического расчета

Участок	Длина участка l , м	Расчетный расход V_p , м ³ /ч	Диаметр d_y , мм	Удельные потери давления на участке h/l , даПа/м	Потери давления на участке H_{mp} , даПа
1–2	350	662,5	200	0,12	42
2–3	300	400	150	0,11	33
3–4	350	87,5	100	0,095	33,3
$\Sigma H_{mp} = 108,3$					
2–5	200	50	70	0,3	60
3–6	300	75	100	0,075	22,5

Алгоритм расчета

1. Ориентируясь по средней удельной потере давления и расчетным расходам газа на участках, по номограмме подбираем диаметры газопроводов на участках сети.

2. Для выбранных диаметров газопроводов на участках по той же номограмме определяем действительные удельные потери давления.

3. Умножая действительные потери давления на участках на длину этих участков, определяем действительные потери давления на участках.

4. Суммируем потери давления на участках основной магистрали и результат сравниваем с принятым расчетным перепадом давления. В случае недоиспользования или превышения расчетного перепада изменяем диаметр газопровода на одном или нескольких участках, чтобы свести невязку до величины не более 5 %. Изменения диаметров фиксируем в таблице 4.2.

5. Аналогично подбираем диаметры ответвлений от основной магистрали. При этом для каждого ответвления удельные потери давления находятся из соотношения:

$$\Delta p_{отв} = \frac{H_{отв}}{l_{отв}},$$

где $H_{отв}$ – располагаемый напор для ответвления, определяемый как разность давления в точке ответвления и номинального давления у потребителя (200 даПа); $l_{отв}$ – длина ответвления, м.

Для ответвления 2–5 без учета незначительных потерь давления в местных сопротивлениях давление в точке 2 рассчитываем по формуле

$$p_2 = p_{ГРП} - \Delta p_{уд1-2} \cdot l_{1-2} = 300 - 0,12 \cdot 350 = 258 \text{ даПа}$$

Следовательно, располагаемый напор на участке 2–5:

$$H_{2-5} = p_2 - p_{ном} = 258 - 200 = 58 \text{ даПа}$$

Средняя удельная потеря давления на этом участке:

$$\Delta p_{уд2-5} = \frac{H_{2-5}}{l_{2-5}} = \frac{58}{200} = 0,29 \text{ даПа}$$

Аналогичный расчет делаем для ответвления 3–6:

$$\begin{aligned} p_3 &= p_{ГРП} - (\Delta p_{уд1-2} \cdot l_{1-2} + \Delta p_{уд2-3} \cdot l_{2-3}) = \\ &= 300 - 0,12 \cdot 350 - 0,11 \cdot 300 = 225 \text{ даПа}; \end{aligned}$$

$$H_{3-6} = p_3 - p_{ном} = 225 - 200 = 25 \text{ даПа};$$

$$\Delta p_{уд3-6} = \frac{H_{3-6}}{l_{3-6}} = \frac{25}{300} = 0,067 \text{ даПа}.$$

На основании рассчитанных значений удельных потерь давления и расчетных расходов на обоих ответвлениях по номограммам из приложения Г выбираем диаметры газопроводов для них и по

действительным удельным потерям, соответствующим выбранным диаметрам ответвлений, определяем фактические потери давления на каждом из ответвлений.

5. ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

5.1 Аэродинамический расчет системы вентиляции

Аэродинамический расчет вентиляционной системы производят для подбора размеров поперечных сечений воздухопроводов по рекомендуемым скоростям движения воздуха и определения потерь давления в системе.

Потери давления в системах вентиляции складываются из потерь давления на трение и потерь давления в местных сопротивлениях, Па:

$$\Delta P_{\text{сети}} = \Delta P_{\text{тр}} + Z. \quad (5.1)$$

Потери давления на трение, Па:

$$\Delta P_{\text{тр}} = R \cdot l \cdot n, \quad (5.2)$$

где R – удельные потери давления на трение в гидравлически гладком канале, Па/м; l – длина участка воздуховода, м; n – поправочный коэффициент, который зависит от абсолютной эквивалентной шероховатости воздухопроводов.

Удельные потери давления на трение, Па/м:

$$R = \frac{\lambda_z}{d_z} \cdot P_d, \quad (5.3)$$

где λ_z – коэффициент гидравлического сопротивления трению для гидравлически гладкого канала; d_z – эквивалентный (гидравлический) диаметр воздуховода, м; P_d – динамическое давление, Па.

Коэффициент гидравлического сопротивления трению для гидравлически гладкого канала, при турбулентном режиме течения, рассчитывается по закону Блазиуса:

$$\lambda_z = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}, \quad (5.4)$$

где Re – критерий Рейнольдса.

Критерий Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot d}{\nu}, \quad (5.5)$$

где U – скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с; ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с.

Динамическое давление, Па:

$$P_{\partial} = \frac{\rho \cdot \nu^2}{2}, \quad (5.6)$$

Потери давления в местных сопротивлениях, Па:

$$Z = \Sigma \xi \cdot \frac{\rho \cdot \nu^2}{2} = \Sigma \zeta \cdot P_{\partial}, \quad (5.7)$$

где $\Sigma \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке воздуховода, коэффициенты местных сопротивлений на границе двух участков относят к участку с меньшим расходом и определяют по таблицам местных сопротивлений по приложению Д; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

При расчетах можно пользоваться справочными таблицами или номограммами (приложение Е), которые построены на основании формул (5.3)–(5.6) при различных скоростях для различных диаметров круглых металлических воздухопроводов (при $\rho = 1,2$ кг/м³, $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$ м²/с), принимаемыми гидравлически гладкими.

Если пользоваться указанными таблицами и номограммами для воздухопроводов из других материалов, необходимо вводить поправочный коэффициент n , который зависит от материала воздуховода и скорости движения воздуха и определяется по приложению Е или по формуле:

$$n = \frac{\lambda_{ш}}{\lambda_{\varepsilon}}, \quad (5.8)$$

где $\lambda_{ш}$ – коэффициент сопротивления трению с учетом шероховатости канала (воздуховода), рассчитывается по формуле Альтшуля:

$$\lambda_{ш} = 0,11 \cdot \left(\frac{k_{\varepsilon}}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}, \quad (5.9)$$

где k_{ε} – абсолютная эквивалентная шероховатость поверхности воздуховода (приложение Е).

Для воздухопроводов прямоугольного сечения за расчетную величину d принимают эквивалентный диаметр d_{ε} , мм, при котором потери давления в круглом воздуховоде при той же скорости будут равны потерям давления в прямоугольном воздуховоде:

$$d_{\varepsilon} = \frac{2 \cdot a \cdot b}{(a + b)}, \quad (5.10)$$

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

Аэродинамический расчет вентиляционной системы состоит из двух этапов:

- 1) расчет участка основного направления магистрали (наиболее протяженной и нагруженной ветви воздухопроводов);
- 2) увязка всех остальных участков системы.

При невозможности увязки потерь давления по ответвлениям воздухопроводов в пределах 10–15 % следует устанавливать диафрагмы. Диафрагма (металлическая пластина с отверстием) – местное сопротивление, на котором гасится избыточное давление. Коэффициент местного сопротивления диафрагмы определяется по формуле

$$\xi_{\text{диафр}} = \frac{\Delta P_{\text{неувязки}}}{P_{\partial}} = \frac{(\Delta P_{\text{расп}} - \Delta P_{\text{отв}})}{P_{\partial}}, \quad (5.11)$$

где P_{∂} – динамическое давление на участке, на котором устанавливается диафрагма, Па; $P_{\text{расп}}$ – располагаемые потери давления на ответвлении, Па; $P_{\text{отв}}$ – потери давления на увязываемом ответвлении, Па.

По значению ξ и по размерам воздуховода, на котором устанавливается диафрагма, подбирают размер диафрагмы (приложение Д).

Аэродинамический расчет систем вентиляции выполняют после расчета воздухообмена в помещениях и принятия решения по трассировке воздухопроводов и каналов и конкретизации местных сопротивлений вдоль них. Для проведения аэродинамического расчета на основе архитектурно-строительной и технологической частей проекта вычерчивают аксонометрическую схему системы вентиляции, по которой определяют протяженность отдельных ее ветвей и размещают элементы сети.

Схему разбивают на отдельные расчетные участки. Расчетный участок характеризуется постоянным расходом воздуха. Потери давления на участке зависят от скорости движения воздуха и складываются из потерь на трение и потерь в местных сопротивлениях.

Намечается основное расчетное направление, представляющее собой цепочку последовательно расположенных участков от начала системы до наиболее удаленного ответвления. При наличии нескольких цепочек, одинаковых по протяженности, за магистральное направление принимается наиболее нагруженное (имеющее больший расход).

Расчет выполняют по методу удельных потерь давления в следующей последовательности:

1. По известному расчетному расходу вентиляционного воздуха L определяют ориентировочное сечение канала (воздуховода), м^2 , по формуле

$$F' = \frac{L}{3600 \cdot v_p}, \quad (5.12)$$

где L – расчетный расход воздуха в воздуховоде, $\text{м}^3/\text{ч}$; v_p – предварительная скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$:

а) в системах естественной вентиляции:

– для горизонтальных каналов – $0,5\text{--}1,0 \text{ м}/\text{с}$;

– для вертикальных каналов – $0,5\text{--}1,0 \text{ м}/\text{с}$;

– для вытяжных шахт – $1,0\text{--}1,5 \text{ м}/\text{с}$.

б) в системах механической вентиляции:

– для участка с жалюзийной решеткой – $2\text{--}5 \text{ м}/\text{с}$;

– для участка с вентилятором – $6\text{--}12 \text{ м}/\text{с}$;

– для магистральных воздуховодов производственных зданий – до $12 \text{ м}/\text{с}$;

– для ответвлений воздуховодов производственных зданий – до $6 \text{ м}/\text{с}$.

2. Исходя из расчетной площади канала с учетом конструктивных соображений, принимаем стандартные размеры сечения каналов (воздуховодов) по приложению Д.

3. Уточняем фактическую скорость движения воздуха по каналам, $\text{м}/\text{с}$, по формуле

$$v_{\phi} = \frac{L}{3600 \cdot F_{cm}}, \quad (5.13)$$

где F_{cm} – стандартная площадь канала, м^2 .

4. Определяем потери давления на преодоление сил трения по принятому сечению (диаметру) и заданному количеству воздуха по формуле (5.2).

5. Определяем гидравлические потери на местные сопротивления по участкам вентиляционной сети по формуле (5.7).

6. Определяем суммарные фактические гидравлические потери на всех участках, входящих в расчетную ветвь $\Sigma(R \cdot l \cdot n + Z)$.

7. Производим увязку потерь давления по ответвлениям воздуховодов в пределах $10\text{--}15 \%$ (10% – для естественной системы вентиляции, 15% – для принудительной).

5.2 Аэродинамический расчет систем вентиляции с естественным побуждением движения воздуха

Цель расчета – подбор геометрических размеров вентиляционных каналов, обеспечивающих действительное гидравлическое сопротивление вентиляционной сети, не большее, чем располагаемое естественное давление.

За расчетное направление в вытяжных системах с естественным побуждением принимают такое, удельные потери давления на котором имеют минимальную величину.

Удельные потери давления, Па/м:

$$R_{y\partial} = \frac{P_{zp}}{\Sigma l}, \quad (5.14)$$

где P_{zp} – гравитационное давление, действующее в вытяжных каналах соответствующих этажей, Па; l – длина участка, м.

В системах с естественным побуждением требуется увязка действующих гравитационных давлений в каналах соответствующих этажей с потерями давлений на трение и местные сопротивления по пути движения воздуха от места входа его в сеть (вытяжные решетки) до выхода в атмосферу (устье вытяжной шахты), т. е.

$$P_{zp} \geq \Sigma(R \cdot l \cdot n + Z), \quad (5.15)$$

где $\Sigma(R \cdot l \cdot n + Z)$ – потери давления на трение и местные сопротивления на участках в расчетном направлении.

Гравитационное давление, Па, определяется по формуле

$$P_{zp} = h \cdot (\rho_n - \rho_v) \cdot 9,81, \quad (5.16)$$

где h – высота воздушного столба, м, принимается:

а) при наличии в здании только вытяжки – от середины решетки до устья вытяжной шахты;

б) при наличии в здании механического притока – от середины высоты помещения до устья вытяжной шахты;

ρ_n – плотность наружного воздуха, кг/м³, для общественных зданий при $t_n = 5$ °С; ρ_v – плотность воздуха в помещении, кг/м³.

Порядок аэродинамического расчета систем естественной вентиляции:

1. На планах размещают жалюзийные решетки, вертикальные каналы, горизонтальные короба и вытяжные шахты; вычерчивают аксонометрические схемы систем вентиляции. Аксонометрическая схема воздухопроводов естественной вентиляции должна быть построена так, чтобы со всех сторон вытяжной шахты было равное число вертикальных каналов и равные расходы воздуха. Количество вентиляционных систем определяется числом вытяжных шахт.

2. Расчет начинают от более неблагоприятно расположенной жалюзийной решетки. Обычно наиболее неблагоприятной является решетка, наиболее удаленная от вытяжной шахты. Путь движения воздуха от этой жалюзийной решетки по каналам до вытяжной шахты и сама вытяжная шахта будут являться одной расчетной веткой.

3. Для естественной вытяжной вентиляции определяется располагаемое гравитационное давление для расчетной ветви $P_{гр}$ по формуле (5.16).

4. По известному расходу вентиляционного воздуха L определяют ориентировочное сечение канала (коробов, шахт) F по формуле (5.12).

5. Исходя из расчетной площади канала с учетом конструктивных соображений, принимают стандартные размеры сечения каналов по приложению Д.

6. После этого уточняют фактическую скорость движения воздуха по каналам v_ϕ по формуле (5.13).

7. Определяют гидравлические потери на преодоление сил трения соответственно по принятому сечению (диаметру) и заданному расходу воздуха по формуле (5.2).

8. Определяют гидравлические потери на местные сопротивления по участкам вентиляционной сети по формуле (5.7).

9. Определяют суммарные фактические гидравлические потери на всех участках, входящих в расчетную ветвь P_ϕ . При этом они не должны превышать располагаемого давления P_p .

Если $P_\phi > P_p$, то необходимо соответственно увеличить сечения отдельных участков вентиляционной сети. Если $P_\phi < P_p$, то необходимо уменьшить сечения отдельных участков вентиляционной сети. Невязка

допускается 10 %:

$$\frac{P_\phi - P_{отв}}{P_{маг}} \cdot 100\% \leq 10\% .$$

10. После расчета главной расчетной ветви приступают к расчету ответвлений сети. Он производится аналогично расчету главной ветви. Расчет считается законченным, если потери давления в ответвлении не больше располагаемого давления в ответвлении. Невязка потерь в точках смешения потоков не должна превышать 10 %:

$$\frac{P_{маг} - P_{отв}}{P_{маг}} \cdot 100\% \leq 10\% .$$

5.3 Пример аэродинамический расчета естественной вытяжной системы вентиляции двухэтажного жилого дома

Исходные данные

1. Рассчитать естественную вытяжную систему вентиляции ванных комнат и санузлов двухэтажного жилого дома (рис. 5.1).

2. Воздуховодами служат каналы, располагаемые в толще кирпичной стены. Каналы на чердаке объединяются шлакоалебастровыми коробами.

5. Расчетные длины участков 1–6 по рис. 5.1: $l_1 = 0,8$ м; $l_2 = 0,15$ м; $l_3 = 0,15$ м; $l_4 = 0,5$ м; $l_5 = 3,2$ м; $l_6 = 3,8$ м.

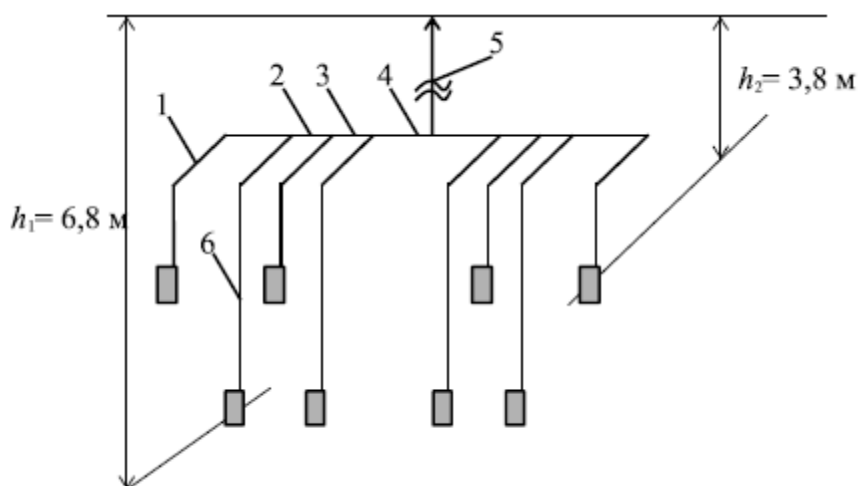


Рисунок 5.1. Схема вытяжной естественной вентиляции

При определении располагаемого естественного давления вытяжной вентиляции жилых и общественных зданий в качестве расчетной наружной температуры принимается температура наружного воздуха $t_n = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1. Определяем плотности воздуха по формуле

$$\rho = \frac{353}{273+t}, \quad (5.17)$$

$$\rho_{\text{B}(+18)}=1,213 \text{ кг/м}^3, \rho_{\text{H}(+5)}=1,27 \text{ кг/м}^3.$$

2. Определяем главную расчетную ветвь, это ветвь, удельное располагаемое давление в которой будет наименьшее.

Находим располагаемые и удельные давления в ветви через канал первого и второго этажей по формулам (5.14) и (5.16):

$$\Delta P_1 = 6,8 \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 9,81 = 3,8 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{y\partial 1} = \frac{3,8}{7.8} = 0,487 \text{ Па/м},$$

где $\Sigma l_{1\text{э}m} = l_6 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 3,8 + 0,15 + 0,15 + 0,5 + 3,2 = 7,8 \text{ м}$.

$$\Delta P_2 = 3,8 \cdot (1,27 - 1,213) \cdot 9,81 = 2,124 \text{ Па.}$$

$$\Delta P_{y\partial 2} = \frac{2,124}{4.8} = 0,443 \text{ Па/м,}$$

где $\Sigma l_{2\text{эт}} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 0,8 + 0,15 + 0,15 + 0,5 + 3,2 = 4,8 \text{ м}$.

Так как $P_{y\partial 2} < P_{y\partial 1}$, то расчетной будет ветвь, идущая через канал второго этажа (при наименьшем удельном располагаемом давлении).

3. Определим потери давления на участках. Для участка 1 определим предварительно сечение канала по рекомендуемой скорости воздуха для горизонтальных и вертикальных каналов от 0,5 до 1,0 м/с по формуле (5.12):

$$F_1' = \frac{25}{3600 \cdot 1} = 0,007 \text{ м}^2.$$

По приложению Д по найденному значению F_1' находим стандартное сечение кирпичного канала $F = 0,14 \times 0,14 = 0,0196 \text{ м}^2$.

4. Действительная скорость воздуха в канале по формуле (5.13):

$$v_{\phi 1} = \frac{25}{3600 \cdot 0,0196} = 0,354 \text{ м/с}.$$

5. Определим эквивалентный диаметр по формуле (5.10):

$$d_{\text{э}1} = \frac{2 \cdot 0,14 \cdot 0,14}{(0,14 + 0,14)} = 0,14 \text{ м}$$

6. Проведем расчет потерь давления на трение по длине канала с учетом его шероховатости. Для этого формулы (5.2)–(5.6) преобразуем к виду, Па,

$$\Delta P_1 = R \cdot l \cdot n_1 = \frac{\lambda_{\text{э}}}{d_{\text{э}}} \cdot \rho_{\text{в}} \cdot \frac{v_1^2}{2} \cdot l_1 \cdot n_1. \quad (5.18)$$

Сначала определим число Рейнольдса при кинематической вязкости воздуха $\nu_{+18^\circ\text{C}} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ по формуле (5.5):

$$\text{Re}_1 = \frac{0,354 \cdot 0,14}{1,5 \cdot 10^{-5}} = 3304 > 2300,$$

т. е., имеем турбулентный режим течения воздуха в канале.

Коэффициент гидравлического трения по формуле (5.4) для гидравлически гладкого канала при турбулентном режиме течения:

$$\lambda_{r1} = \frac{0,3164}{(3307)^{0,25}} = 0,0417.$$

Коэффициент гидравлического трения по формуле (5.9) с учетом шероховатости канала:

$$\lambda_{\text{ш}1} = 0,11 \cdot \left(\frac{4}{140} + \frac{68}{3307} \right)^{0,25} = 0,0518,$$

где $k_9 = 4$ мм – коэффициент, учитывающий шероховатость кирпичного канала (приложение Е).

Коэффициент шероховатости по формуле (5.8):

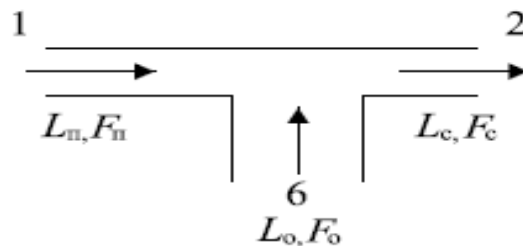
$$n = \frac{0,0518}{0,0417} = 1,24,$$

$$\Delta P_1 = \frac{0,0417}{0,14} \cdot 1,213 \cdot \frac{0,354^2}{2} \cdot 0,8 \cdot 1,24 = 0,0225 \text{ Па}$$

Также удельные потери давления на трение R можно определить по номограмме (приложение Е). Коэффициент шероховатости n можно определить по приложению Е.

7. Определим коэффициенты местных сопротивлений на участке 1 по приложению Д:

- жалюзийная решетка (первое боковое отверстие) $\xi = 3,5$,
- два колена под углом 90° $\xi = 1,2 \cdot 2 = 2,4$,
- тройник на проход $\xi = 1 \left(\frac{F_0}{F_n} = \frac{F_6}{F_1} = \frac{0,02}{0,02} = 1, \frac{Q_0}{Q_c} = \frac{Q_6}{Q_2} = \frac{25}{50} = 0,5 \right)$



Таким образом, $\Sigma \xi_1 = 3,5 + 2,4 + 1 = 6,9$

8. Определим потери давления в местных сопротивлениях по формуле (5.7):

$$Z_1 = 6,9 \cdot \frac{1,213 \cdot 0,354^2}{2} = 0,525 \text{ Па}$$

9. Определим суммарные потери давления на участке:

$$P_1 = 0,023 + 0,525 = 0,548 \text{ Па}$$

Потери давления на остальных участках находятся аналогично. Результаты расчета заносятся в табл. 5.2. Коэффициенты местных сопротивлений на участках приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Коэффициенты местных сопротивлений

Участок	Местное сопротивление на участке	ξ
2	Тройник на проход $(\frac{F_0}{F_n} = \frac{F_0}{F_2} = \frac{0,14^2}{0,15^2} = 0,87, \frac{L_0}{L_c} = \frac{L_0}{L_3} = \frac{25}{75} = 0,33)$	0,55
3	Тройник на проход $(\frac{F_0}{F_n} = \frac{F_0}{F_3} = \frac{0,14^2}{0,15 \cdot 0,2} = 0,65, \frac{L_0}{L_c} = \frac{L_0}{L_4} = \frac{25}{100} = 0,25)$	0,5
4	Тройник на проход $(\frac{F_0}{F_n} = \frac{F_0}{F_4} = \frac{0,2^2}{0,2^2} = 1, \frac{L_0}{L_c} = \frac{L_0}{L_5} = \frac{100}{200} = 0,5)$	1,0
5	Вытяжная шахта с зонтом квадратного сечения	1,3
6	Жалюзийная решетка (первое боковое отверстие) $\xi = 3,5$ Колено под углом 90° $\xi = 1,2$ Тройник на ответвление $\xi = 1,1$ $(\frac{F_0}{F_n} = \frac{F_6}{F_1} = \frac{0,14 \cdot 0,14}{0,14 \cdot 0,14} = 1, \frac{L_0}{L_c} = \frac{L_6}{L_2} = \frac{25}{50} = 0,5)$	$\Sigma \xi = 3,5 + 1,2 + 1,1 = 5,8$

Таблица 5.2

Аэродинамический расчет воздуховодов естественной системы вентиляции

№ участка	Расход воздуха L , м ³ /ч	Длина участка l , м	Скорость воздуха v , м/с	Площадь поперечного сечения F , м ²	Размеры сечений $a \times b$, мм	Эквивалентный диаметр d , мм	Число Рейнольдса	Коэффициент гидравлического трения λ_z	Удельные потери давления на трение R , Па	Коэффициент шероховатости n	Потери давления на трение с учетом шероховатости R/n , Па	Сумма коэффициентов сопротивления $\sum \xi$	Потери давления в местных сопротивлениях Z , Па	Суммарная потеря давления на участке $R/n + Z$, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Главная расчетная ветвь (ветвь через канал второго этажа)														
1	25	0,8	0,354	0,02	140×140	140	3307	0,0417	0,0227	1,24	0,0225	6,9	0,5253	0,5478
2	50	0,15	0,617	0,0225	150×150	150	6173	0,0357	0,0549	1,11	0,0091	0,55	0,1257	0,135
3	75	0,15	0,694	0,030	200×150	171	7937	0,0335	0,0572	1,124	0,0096	0,5	0,1447	0,1543
4	100	0,5	0,694	0,040	200×200	200	9259	0,0323	0,0472	1,124	0,0265	1	0,2889	0,3154
5	200	3,2	0,71	0,0784	280×280	280	13228	0,0295	0,0322	1,124	0,1159	1,3	0,3959	0,5118
5	200	3,2	0,89	0,0625	250×250	250	14815	0,0287	0,0552	1,13	0,199	1,3	0,6163	0,8153
Итого: $P_\phi = 0,5478 + 0,135 + 0,1543 + 0,3154 + 0,5118 = 1,67$ Па $P_p = 2,124$ Па Невязка: $(P_p - P_\phi) / P_p = (2,124 - 1,67) / 2,124 = 21,4\%$, должна находиться в пределах 10%; т. к. $P_\phi < P_p$, то необходимо уменьшить сечение на отдельных участках вент. сети, чтобы уменьшить невязку, например на участке 5 необходимо поменять сечение на 250×250. Итого: $P_\phi = 1,97$ Па $P_p = 2,124$ Па Невязка: 7,3%														
Ответвление														
6	25	3,8	0,3543	0,02	140×140	140	3306,88	0,0417	0,0226	1,124	0,097	5,8	0,4416	0,5386
Невязка в точке пересечения на участках 1 и 6: $(\Delta P_{\text{маг}} - \Delta P_{\text{отв}}) / \Delta P_{\text{отв}} = (0,5478 - 0,5386) / 0,5478 = 0,15\% < 10\%$														

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

6.1. Структура самостоятельной работы

Самостоятельная работа студентов в рамках изучения данной дисциплины включает в себя:

- подготовка и оформление отчетов по практическим работам;
- самостоятельное изучение теоретических вопросов при подготовке к промежуточной аттестации.

6.2. Планирование при подготовке отчетов по практическим работам

Перед выполнением практических работ каждому студенту выдается свой личный вариант, согласно которому он выбирают для себя исходные данные по приложению А для выполнения практических работ. Пример оформления титульного листа приведен в приложении А.

Подготовка и оформление отчетов производится с использованием текстового редактора Libre Office Writer или Microsoft Word, а также электронной таблицы Libre Office Calc или Microsoft Excel. При защите отчетов по практическим работам студенты должны представить отчет в печатном виде со всеми необходимыми расчетами, таблицами и графиками, а также в электронном виде документ, в котором были произведены необходимые дополнительные расчеты и построены графики.

6.3. Требования к оформлению отчетов по практическим работам

Подготовка и оформление отчетов по практическим работам производится в печатном виде по ГОСТ 2.105-95 на одной стороне листов бумаги формата А4 (210×297 мм) в одну колонку, со следующими установками:

1) Параметры страниц: поля – верхнее, нижнее и правое по 1,5 см, левое – 3,0 см; колонтитулы от края – 1,25 см; ориентация книжная (допустима альбомная ориентация для отдельных страниц).

2) Шрифт Times New Roman, размер 14, междустрочный интервал полуторный, перенос слов в документе автоматический, выравнивание – по ширине страницы.

3) При вставке формул использовать редактор Microsoft Equation при установках: обычный – 14 пт.; крупный индекс – 12 пт.; мелкий индекс – 10 пт.; крупный символ – 16 пт.; мелкий символ – 14 пт. Русские и греческие буквы пишутся не курсивом, латинские – курсивом.

Оформление формул

Формулы должны быть оформлены в редакторе формул. В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими государственными стандартами. Расчет по формулам ведется в основных единицах измерения, формулы записываются следующим образом: сначала записывается формула в буквенном обозначении, после знака равенства вместо каждой буквы подставляется ее численное значение в основной системе единиц измерения; затем ставится знак равенства и записывается конечный результат с единицей измерения. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак « \times ».

Формула нумеруется, если далее по тексту она будет востребована. Формулы, за исключением формул, помещаемых в приложении, должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Допускается нумерация в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой.

Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в круглых скобках, например, в формуле (7.1).

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией, арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения. Например, формула (A.1).

Оформление иллюстраций

Иллюстрационный материал может быть представлен в виде схем, графиков и т. п. Иллюстрации, помещенные в тексте и приложениях пояснительной записки, именуются рисунками.

Иллюстрации выполняются в графических редакторах и располагаются после первой ссылки на них и как можно ближе к ссылке на них в тексте.

Иллюстрации, за исключением иллюстраций приложений, следует нумеровать арабскими цифрами в пределах раздела, либо сквозной нумерацией. Например, «Рисунок 1», «Рисунок 1.1», «Рисунок 2.1».

Ссылку на иллюстрацию дают в следующем виде: «в соответствии с рисунком 1».

Иллюстрация при необходимости может иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительного текста без точки в конце.

Все рисунки формата большего, чем А4, выносятся в приложения.

Построение таблиц

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей, а также для оформления цифрового материала.

Слово «Таблица», ее номер и название помещают слева над таблицей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название таблицы записывают через тире после слова «Таблица» с прописной буквы без точки в конце. Например: «Таблица 2.1 – Технические данные».

Заголовки граф и строк таблицы пишутся с прописной буквы, а подзаголовки граф – со строчной буквы, если они составляют одно предложение с заголовком, или с прописной буквы, если они имеют самостоятельное значение. В конце заголовков и подзаголовков таблиц точки не ставят. Заголовки и подзаголовки граф указывают в единственном числе.

Заголовки граф записывают параллельно строкам таблицы. При необходимости допускается перпендикулярное расположение заголовков граф.

Таблицу в зависимости от ее размера помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости, в приложении к документу. Допускается помещать таблицу вдоль длинной стороны листа документа.

Если в конце страницы таблица прерывается, ее продолжение помещают на следующей странице. При переносе таблицы на другую страницу название помещают только над первой частью таблицы. Слово «Таблица» указывают только один раз слева над первой частью таблицы а, над другими частями пишут слова «Продолжение таблицы» с указанием номера таблицы.

Все таблицы, за исключением таблиц приложений, нумеруются арабскими цифрами сквозной нумерацией. Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенного точкой.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения, например, «Таблица А.1», если она приведена в приложении А.

На все таблицы документа должны быть приведены ссылки в тексте, при ссылке слово «таблица» пишется полностью с указанием ее номера.

Оформление списка литературы

Список литературы является обязательным (нечисловым) разделом пояснительной записки, оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003, включается в содержание пояснительной записки.

Список должен содержать сведения обо всех источниках, использованных при подготовке отчета. Располагать источники в списке рекомендуется в порядке появления ссылок в тексте. Возможно и другое разрешенное нормативными документами расположение источников в списке.

6.4. Защита отчетов по практическим работам

После подготовки студентами отчета по практической работе, он предоставляется преподавателю на проверку, по результатам которой может быть дано два резюме: «К защите» или «Замечания» с указанием каждого замечания. При наличии замечаний они должны быть устранены. После того как на отчете преподаватель поставит резюме «К защите», он подлежит защите каждым студентом в отдельности.

При защите отчета по практической работе в электронной системе обучения необходимо ответить на вопросы, касающиеся любых сведений, которые были использованы для его подготовки. Примерами таких вопросов являются:

1. Что такое коэффициент теплопроводности?
2. В чем заключается различие в методике расчета количества теплоты, проходящего через однородную/многослойную стенку?
3. Что такое коэффициент теплоотдачи?
4. От чего зависит режим течения жидкости?
5. Какова цель гидравлического расчета водяной тепловой сети?
6. Для чего используются номограммы при гидравлическом расчете водяной тепловой сети?
7. Что входит в тепловой баланс здания?
8. Что такое коэффициент теплопередачи?
9. В чем заключается цель гидравлического расчета газопроводов?
10. Для чего используются номограммы при гидравлическом расчете газопроводов?

6.5. Подготовка к промежуточной аттестации

Перечень вопросов для промежуточной аттестации приведен в рабочей программе дисциплины.

При подготовке к промежуточной аттестации рекомендуется использовать лекционные материалы, а также учебную литературу, приведенную в рабочей программе дисциплины.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Задачи для выполнения практической работы № 1

1. Определить коэффициент теплопроводности кирпичной стенки печи толщиной 380 мм, если температура на внутренней поверхности стенки 300 °С и на наружной 60 °С. Потери теплоты через стенку составляют 190 Вт/м².

2. Через плоскую металлическую стенку топки котла толщиной 14 мм от газов к кипящей воде проходит удельный тепловой поток величиной 25000 Вт/м². Коэффициент теплопроводности стали 50 Вт/(м·К). Определить перепад температуры на поверхностях стенки.

3. Определить удельный тепловой поток через бетонную стенку толщиной 300 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхностях соответственно равны 15 °С и –15 °С. Коэффициент теплопроводности бетона равен 1 Вт/(м·К).

4. Определить эквивалентный коэффициент теплопроводности стальной стенки парового котла, если стенка покрывается слоем накипи 2 мм с коэффициентом теплопроводности 1,35 Вт/(м·К). Толщина стального листа 16 мм и коэффициент теплопроводности 50 Вт/(м·К). Сравнить его с коэффициентом теплопроводности стали.

5. Стенка нагревательной печи изготовлена из двух слоев кирпича. Внутренний слой выполнен из огнеупорного кирпича толщиной 350 мм, а наружный из красного кирпича толщиной 250 мм. Определить температуру на внутренней поверхности стенки и на внутренней стороне красного кирпича, если на наружной стороне температура стенки 90 °С, а потеря теплоты через 1 м² стенки равна 1 кВт. Коэффициент теплопроводности огнеупорного и красного кирпича соответственно равны 1,4 Вт/(м·К) и 0,58 Вт/(м·К).

6. Определить тепловой поток через 1 м² поверхности кирпичной стенки и глубину ее промерзания до температуры меньше или равной 0 °С. Толщина стенки 250 мм, температура на ее внутренней поверхности 20 °С, а на наружной –30 °С. Принять коэффициент теплопроводности кирпича 0,55 Вт/(м·К).

7. Определить тепловой поток через поверхность 1 м² паропровода с внутренним диаметром 140 мм и толщиной стенки 5 мм, изолированного двумя слоями тепловой изоляции 20 мм и 40 мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно 55 Вт/(м·К), 0,037 Вт/(м·К), 0,14 Вт/(м·К). Температура на внутренней поверхности трубопровода 300 °С и наружной поверхности изоляции 55 °С.

8. Определить температуру на границах слоев трехслойной изоляции трубы. Наружный диаметр трубы 245 мм, толщина трех слоев соответственно 80 мм, 50 мм, 30 мм. Их коэффициенты теплопроводности

0,03, 0,06, 0,12 Вт/(м·К). Температура на поверхности трубы 250 °С и на наружной поверхности изоляции 65 °С.

9. Определить необходимую толщину изоляции, если допустимые температуры ее поверхности 350 °С и 50 °С, а удельный тепловой поток через изоляцию не должен превосходить 450 Вт/м². Коэффициент теплопроводности изоляции 0,12 Вт/(м·К). Решить задачу для плоской стенки и трубы с наружным диаметром 102 мм.

10. Вертикальный неизолированный трубопровод диаметром 76 мм и высотой 4 м омывается воздухом, средняя температура которого 20 °С. Температура поверхности трубопровода 60 °С. Определить потерю теплоты трубопроводом.

11. Отопление помещения производится горизонтальным трубопроводом с наружным диаметром 25 мм, обогреваемым конденсирующимся паром. Температура наружной поверхности трубопровода 104 °С, температура в помещении 22 °С. Определить необходимую длину трубопровода, если расчетная мощность отопительной системы 1,5 кВт.

12. Определить потерю теплоты в окружающую среду конвективным теплообменом от горизонтального неизолированного паропровода диаметром 100 мм и длиной 25 м с температурой наружной поверхности 115 °С, если температура воздуха 15 °С. Как изменится потеря теплоты трубопроводом, если его температуру снизить до 80 °С, заменив греющий пар горячей водой.

13. Определить коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней стенке трубы диаметром 17 мм, если температура стенки 30 °С, а температура воды в трубе 60 °С. Скорость воды в трубе 0,5 м/с.

14. По трубопроводу с внутренним диаметром 70 мм проходит воздух, нагретый до температуры 100°С. Определить значение коэффициента теплоотдачи, если скорость воздуха в трубопроводе 4,5 м/с. (коэффициент теплопроводности воздуха принять 0,0321 Вт/(м·К), кинематическая вязкость $23,13 \cdot 10^{-6}$ м²/с).

15. По трубопроводу с внутренним диаметром 50 мм протекает вода со скоростью 0,8 м/с при средней температуре 50 °С. Температура стенки трубы 65 °С. Определить потерю теплоты с поверхности 1 м трубы.

Вариант	Номер задачи
1	1, 3, 5, 7, 9
2	2, 4, 11, 13, 15
3	6, 8, 10, 12, 14
4	1, 4, 7, 10, 13
5	2, 5, 8, 11, 14
6	3, 6, 9, 12, 15
7	1, 5, 9, 13, 14
8	2, 6, 10, 14, 15
9	1, 3, 6, 11, 15
10	3, 7, 9, 11, 15
11	6, 8, 10, 12, 15
12	1, 3, 5, 10, 13
13	1, 4, 7, 13, 15
14	1, 6, 10, 14, 15
15	3, 8, 10, 12, 14
16	2, 5, 8, 11, 13
17	4, 6, 10, 12, 14
18	2, 4, 5, 7, 9
19	7, 8, 9, 10, 13
20	5, 8, 11, 14, 15
21	2, 3, 4, 11, 12
22	6, 7, 13, 14, 15
23	3, 5, 6, 9, 11
24	4, 5, 7, 8, 14
25	1, 2, 9, 10, 13

Задание для выполнения практической работы № 2

Произвести гидравлический расчет тепловой сети по схеме, представленной на рисунке 2.1 и исходным данным (таблица А.1).

Таблица А.1

Исходные данные для гидравлического расчета тепловой сети

Вариант	L_1 , м	G_1 , т/ч	L_2 , м	G_2 , т/ч	L_3 , м	G_3 , т/ч
1	120	120	160	70	40	50
2	140	140	180	80	60	60
3	160	160	200	90	80	70
4	180	180	220	140	100	40
5	200	200	240	150	120	50
6	220	220	260	160	140	60
7	240	240	280	190	160	50
8	260	260	300	240	180	20
9	280	280	320	200	200	80
10	300	300	340	230	220	70
11	320	320	360	260	240	60
12	340	340	380	280	260	60
13	360	360	400	290	280	70
14	380	380	420	310	300	70
15	400	400	440	330	320	70
16	420	420	460	350	340	70
17	440	440	480	380	360	60
18	460	460	500	410	380	50
19	480	480	520	440	400	40
20	500	500	540	480	420	20
21	520	520	560	300	440	220
22	540	540	580	240	460	300
23	560	560	600	200	480	360
24	580	580	620	400	500	180
25	600	600	640	500	520	100

Задание для выполнения практической работы № 3

Провести теплотехнический расчет здания, согласно примерам 1–4 (раздел 3.6) и рисункам 3.2 и 3.3, опираясь на исходные данные, приведенные в таблице А.2.

Таблица А.2

Исходные данные для теплотехнического расчета здания

Вариант	Город	$t_{жыл.ком}$	$t_{кух}$	$t_{лк}$	$k_{нс}$	$k_{пл}$	$k_{нт}$	$k_{до}$	$k_{нд}$	$k_{вс}$	L	$k_{до}$ подвал	$k_{нс}$ подвал	$k_{пл}$ подвал	t_n подвал	$a \times b$
		°C			Вт/(м ² ·°C)						м ³ /ч	Вт/(м ² ·°C)			°C	м×м
1	Кемерово	Принять согласно приложению В			0,23	0,21	0,14	1,82	0,4	1,6	4	1,8	0,1	0,57	−10	4×3
2	Кемь				0,25	0,24	0,15	1,86	0,42	1,8	5	1,83	0,2	0,59	−11	5×4
3	Кондома				0,27	0,27	0,16	1,9	0,44	2	6	1,86	0,3	0,61	−12	6×5
4	Вятка				0,29	0,3	0,17	1,92	0,46	2,2	7	1,89	0,4	0,63	−13	7×6
5	Тайга				0,31	0,33	0,18	1,95	0,48	2,4	8	1,92	0,5	0,65	−14	8×7
6	Тисуль				0,33	0,36	0,19	1,98	0,5	2,6	9	1,95	0,6	0,67	−15	9×8
7	Савали				0,35	0,39	0,2	2	0,52	2,8	10	1,98	0,7	0,69	−16	10×9
8	Воркута				0,37	0,42	0,22	2,3	0,54	3	11	2,01	0,8	0,71	−17	11×10
9	Агата				0,39	0,45	0,24	2,4	0,56	3,2	12	2,03	0,9	0,73	−18	12×11
10	Ачинск				0,41	0,48	0,26	2,5	0,58	3,4	13	2,05	1	0,75	−19	13×12
11	Вельмо				0,43	0,51	0,28	2,7	0,6	3,6	14	2,07	1,1	0,77	−20	14×13
12	Волочанка				0,45	0,54	0,3	2,9	0,62	3,8	15	2,1	1,2	0,79	−21	15×14
13	Дудинка				0,47	0,57	0,33	3,2	0,64	4	16	2,13	1,3	0,81	−22	16×15
14	Канск				0,49	0,6	0,36	3,4	0,66	4,2	17	2,16	1,4	0,83	−23	17×16
15	Красноярск				0,51	0,63	0,39	3,6	0,68	4,4	18	2,19	1,5	0,85	−24	18×17
16	Болотное				0,53	0,66	0,42	3,8	0,7	4,6	19	2,22	1,6	0,87	−25	19×18
17	Новосибирск				0,55	0,69	0,46	4	0,72	4,8	20	2,25	1,7	0,89	−26	20×19
18	Татарск				0,57	0,72	0,5	4,4	0,74	5	22	2,28	1,8	0,91	−27	21×20
19	Пенза				0,59	0,75	0,55	4,6	0,76	5,2	24	2,31	1,9	0,93	−28	22×10
20	Пермь				0,61	0,78	0,6	4,8	0,78	5,4	26	2,34	2	0,95	−29	21×9
21	Омск				0,63	0,81	0,66	5	0,8	5,6	28	2,37	2,1	0,97	−30	20×8
22	Тара				0,65	0,84	0,7	5,3	0,84	5,8	30	2,4	2,22	0,99	−31	19×8
23	Черлак				0,67	0,87	0,77	5,5	0,86	6	32	2,43	2,3	1,01	−32	18×8
24	Ярославль				0,69	0,9	0,8	5,7	0,88	6,2	34	2,46	2,4	1,03	−33	10×8
25	Москва				0,7	0,9	0,8	6	0,9	6	36	2,5	2,5	1,0	−34	8×8

Задание для выполнения практической работы № 4

Определить расчетные расходы газа и диаметры газопроводов на участках сети. Схему газопровода использовать, как на рисунке 4.3, приняв другие длины участков, которые приведены в таблице А.3.

Жилой поселок однородной застройки снабжается природным газом ($\rho=0,73 \text{ кг/м}^3$) в количестве $L \text{ м}^3/\text{ч}$. Подача газа в распределительную газовую сеть осуществляется из ГРП под давлением P даПа.

Таблица А.3

Исходные данные для гидравлического расчета газопровода

низкого давления

Вариант	L	P	l_{1-2}	l_{2-3}	l_{3-4}	l_{2-5}	l_{3-6}
	$\text{м}^3/\text{ч}$	даПа	м				
1	100	250	350	350	300	400	260
2	200	300	300	400	260	450	280
3	300	350	320	450	280	320	500
4	400	250	360	320	500	300	300
5	500	300	380	300	320	460	320
6	600	350	400	460	300	320	350
7	700	250	300	300	460	360	380
8	800	300	320	260	300	380	450
9	900	350	350	280	260	460	320
10	1000	250	380	500	380	300	300
11	1050	300	420	300	420	260	460
12	1100	350	300	320	300	380	300
13	1150	400	250	350	250	420	260
14	1200	450	200	380	200	300	280
15	1250	500	240	420	320	250	500
16	1300	400	350	300	350	500	360
17	1350	450	400	250	350	320	380
18	1400	500	450	200	400	300	460
19	1450	550	320	320	450	460	300
20	1500	600	300	350	320	300	260
21	1550	500	460	380	300	260	380
22	1600	550	300	420	460	380	420
23	1650	600	260	350	320	420	300
24	1700	500	280	300	360	300	350
25	1800	700	500	320	380	250	380

Задание для выполнения практической работы № 5

Рассчитать естественную вытяжную систему вентиляции ванных комнат и санузлов двухэтажного жилого дома (рис. 5.1), используя исходные данные, представленные в таблице А.4.

Таблица А.4

Исходные данные для аэродинамического расчета
естественной вытяжной системы вентиляции двухэтажного жилого дома

Вариант	$L_{в.к.}$	$L_{с.у.}$		t_{θ}	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6
	м ³ /ч			°С	м					
1	10	10	Вытяжка воздуха производится из верхней зоны помещений на высоте 0,5 м от потолка	18	0,4	0,10	0,10	0,20	2,80	3,50
2	12	12		19	0,42	0,12	0,12	0,22	2,84	3,55
3	14	14		20	0,44	0,14	0,14	0,24	2,88	3,60
4	16	16		21	0,46	0,16	0,16	0,26	2,92	3,65
5	18	18		22	0,48	0,18	0,18	0,28	2,96	3,70
6	20	20		23	0,50	0,20	0,20	0,30	3,0	3,75
7	22	22		24	0,52	0,22	0,22	0,32	3,04	3,80
8	24	24		18	0,54	0,24	0,24	0,34	3,08	3,85
9	26	26		19	0,56	0,26	0,26	0,36	3,12	3,90
10	28	28		20	0,58	0,28	0,28	0,38	3,16	3,95
11	30	30		21	0,60	0,30	0,30	0,40	3,20	4,0
12	32	32		22	0,62	0,32	0,32	0,42	3,24	4,05
13	34	34		23	0,64	0,34	0,34	0,44	3,28	4,10
14	36	36		24	0,66	0,36	0,36	0,46	3,32	4,15
15	38	38		18	0,68	0,40	0,40	0,48	3,36	4,20
16	40	40		19	0,70	0,42	0,42	0,50	3,40	4,25
17	42	42		20	0,72	0,44	0,44	0,52	3,44	4,30
18	44	44		21	0,74	0,46	0,46	0,54	3,48	4,35
19	46	46		22	0,76	0,48	0,48	0,56	3,52	4,40
20	48	48		23	0,78	0,50	0,50	0,60	3,56	4,45
21	50	50		24	0,80	0,52	0,52	0,62	3,60	4,50
22	52	52		18	0,82	0,54	0,54	0,64	3,64	4,55
23	54	54		19	0,84	0,56	0,56	0,66	3,68	4,60
24	56	56		20	0,86	0,58	0,58	0,68	3,72	4,65
25	58	58		21	0,9	0,6	0,6	0,70	3,76	4,70

Пример оформления титульного листа отчета по практической работе

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

ОТЧЕТ

по практической работе № ____
по дисциплине «Механика жидкости и газа.
Основы теплогазоснабжения и вентиляции»

ПОДГОТОВИЛ:

ПРИНЯЛ:

« ____ » _____ 20__ г.

Кемерово 20__

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1

Эквивалентные длины местных сопротивлений при $k_s = 0,5$ мм для труб $D_y = 25-105$ мм

Наименование местных сопротивлений	Эквивалентные длины местных сопротивлений l_s при наружных диаметрах труб мм													
	32	33,5	38	42,3	44,5	45	48	57	60	75,5	76	88,5	89	101,3
Задвижка	—	—	—	—	—	—	—	0,65	0,72	1	1	1,25	1,28	1,5
Тройник при разделении потока (проход)	0,57	0,6	0,75	0,86	0,96	0,97	1,04	1,3	1,45	2	2	2,5	2,55	3
Тройник при разделении потока (ответвление)	0,86	0,9	1,13	1,29	1,44	1,45	1,56	1,96	2,18	3	3	3,78	3,82	4,5

Таблица Б.2

Эквивалентные длины местных сопротивлений при $k_s = 0,5$ мм для труб $D_y = 105-400$ мм

Наименование местных сопротивлений	Эквивалентные длины местных сопротивлений l_s при наружных диаметрах труб мм												
	108	114	133	140	152	159	165	194	219	273	325	377	426
Задвижка	1,65	1,77	2,2	1,88	2,08	2,24	2,38	2,9	3,36	3,33	4,17	4,3	4,5
Тройник при разделении потока (проход)	3,3	3,54	4,4	4,7	5,2	5,6	5,94	7,24	8,4	11,1	13,9	16,8	20
Тройник при разделении потока (ответвление)	4,95	5,3	6,6	7,05	7,8	8,4	8,9	10,9	12,6	16,7	20,8	25,2	30

Таблица Б. 3

Коэффициент α для определения эквивалентных длин

Типы компенсаторов	Условный проход трубы d_y , мм	Значение коэффициента α				
		для паропроводов	для водяных тепловых сетей и конденсатопроводов			
Транзитные магистрали						
Сальниковые	≤ 1000	0,2	0,2			
П-образные с отводами:	≤ 300	0,5	0,3			
				$\left\{ \begin{array}{l} 200 - 350 \\ 400 - 500 \\ 600 - 1000 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,7 \\ 0,9 \\ 1,2 \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} 0,5 \\ 0,7 \\ 1 \end{array} \right.$
сварными						
Разветвленные тепловые сети						
Сальниковые	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 400 \\ 450 - 1000 \end{array} \right.$	0,4	0,3			
		0,5	0,4			
П-образные с отводами:	$\left\{ \begin{array}{l} \leq 150 \\ 175 - 200 \\ 250 - 300 \end{array} \right.$	0,5	0,3			
		0,6	0,4			
		0,8	0,6			
	$\left\{ \begin{array}{l} 175 - 250 \\ 300 - 350 \\ 400 - 500 \\ 600 - 1000 \end{array} \right.$	0,8	0,6			
		1	0,8			
		1	0,9			
		1,2	1			

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1

Значения коэффициента n

№ п/п	Характеристика ограждающих конструкций	n
1	Наружные стены и покрытия, 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 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, расположенными ниже уровня земли	0,4

Таблица В.2

Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха
в обслуживаемой зоне помещений жилых зданий и общежитий

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая
Холодный	Жилая комната	20–22	18–24	19–20	17–23	45–30	60	0,15	0,2
	Жилая комната в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31°С и ниже	21–23	20–24	20–22	19–23	45–30	60	0,15	0,2
	Кухня	19–21	18–26	18–20	17–25	–	–	0,15	0,2
	Туалет	19–21	18–26	18–20	17–25	–	–	0,15	0,2
	Ванная, совмещенный санузел	24–26	18–26	23–27	17–26	–	–	0,15	0,2
	Помещения для отдыха и учебных занятий	20–22	18–24	19–21	17–23	45–30	60	0,15	0,2
	Межквартирный коридор	18–20	16–22	17–19	15–21	45–30	60	–	–
	Вестибюль, лестничная клетка	16–18	14–20	15–17	13–19	–	–	–	–
	Кладовые	16–18	12–22	15–17	11–21	–	–	–	–
Теплый	Жилая комната	22–25	20–28	22–24	18–27	60–30	65	0,2	0,3

Таблица В. 3

Нормируемая поперечная воздухопроницаемость
ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции	Поперечная воздухопроницаемость G_n , кг/(м ² ·ч), не более
Наружные стены, перекрытия и покрытия жилых, общественных, административных и бытовых зданий и помещений	0,5
Наружные стены, перекрытия и покрытия производственных зданий и помещений	1,0
Стыки между панелями наружных стен: жилых зданий производственных зданий	0,5* 1,0*
Входные двери в квартиры	1,5
Входные двери в жилые, общественные и бытовые здания	7,0
Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений с деревянными переплетами; окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
Окна и балконные двери жилых, общественных и бытовых зданий и помещений с пластмассовыми или алюминиевыми переплетами	5,0
Окна, двери и ворота производственных зданий	8,0
Фонари производственных зданий	10,0
Окна и фонари производственных зданий с кондиционированием воздуха	6,0
*кг/(м·ч)	

Таблица В.4

Средняя скорость ветра холодного периода года в регионах России

Город	Средняя скорость ветра, м/с
Кемерово	2,9
Кемь	4,5
Кондома	1,5
Вятка	3,9
Тайга	3,7
Тисуль	3,9
Савали	4,7
Воркута	5,8
Агата	1,5
Ачинск	4,2
Вельмо	1,6
Волочанка	3,8
Дудинка	5,0
Канск	3,7
Красноярск	2,6
Болотное	2,9
Новосибирск	3,7
Татарск	3,4
Пенза	3,9
Пермь	2,8
Омск	2,8
Тара	3,0
Черлак	3,1
Ярославль	4,3
Москва	2,0

Таблица В.5

Соппротивление теплопередаче для неутепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли по зонам шириной 2 м

	Зона I	Зона II	Зона III	Зона IV
$R_0, (м^2 \cdot ^\circ C)/Вт$	2,1	4,3	8,6	14,2

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

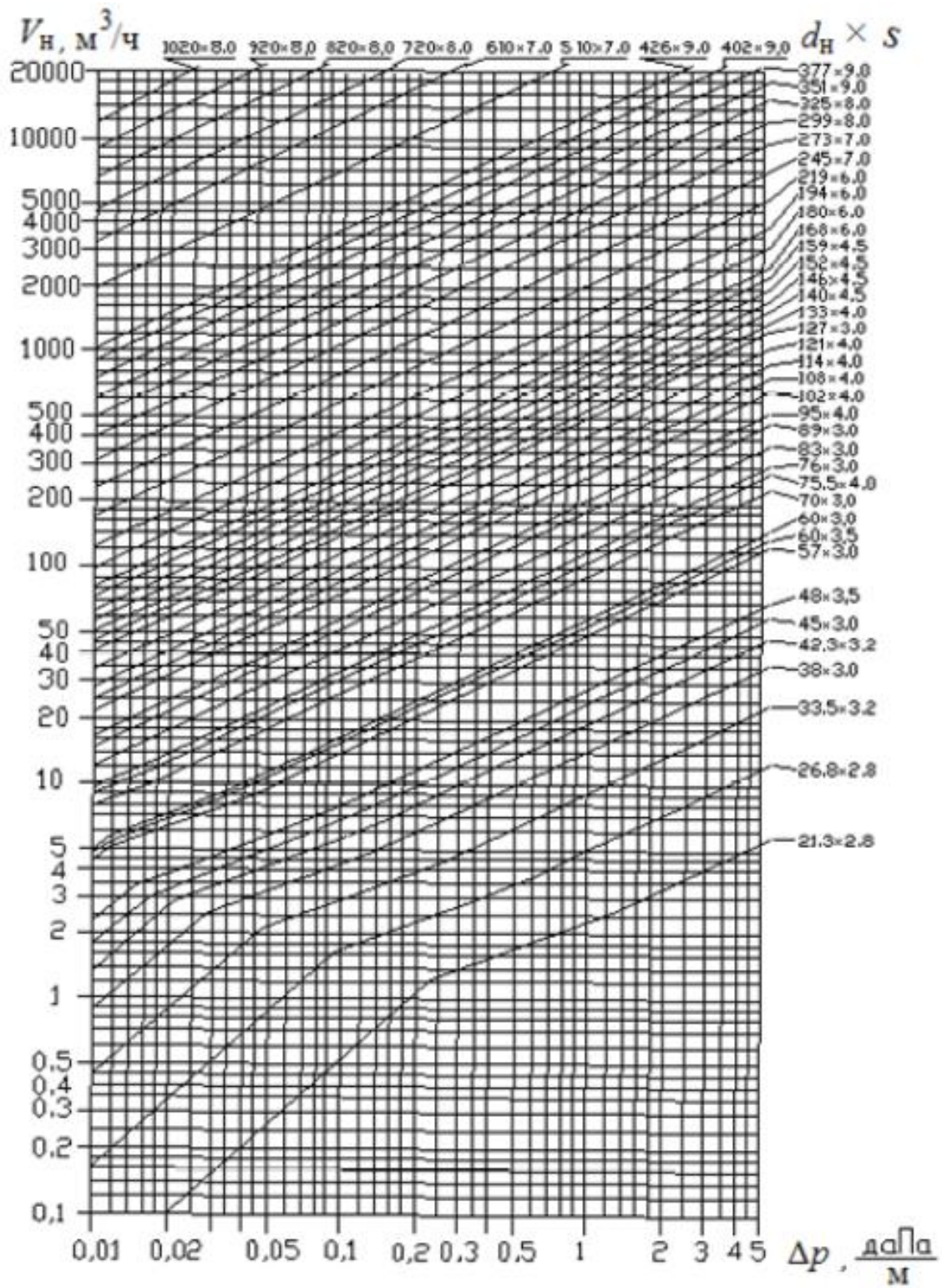
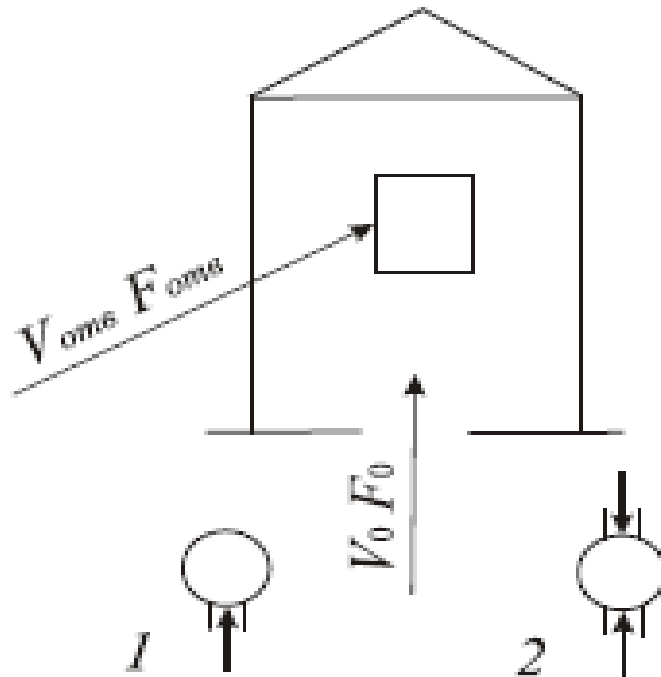


Рисунок Г.1. Номограмма для расчета стальных газопроводов
низкого давления

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Значение коэффициентов местных сопротивлений

Значение ξ первого бокового отверстия



1. Одно отверстие

$F_{отв}/F_0$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ξ_0	64,5	30	14,9	9	6,27	4,54	3,54	2,7	2,28

2. Два отверстия (одно против другого)

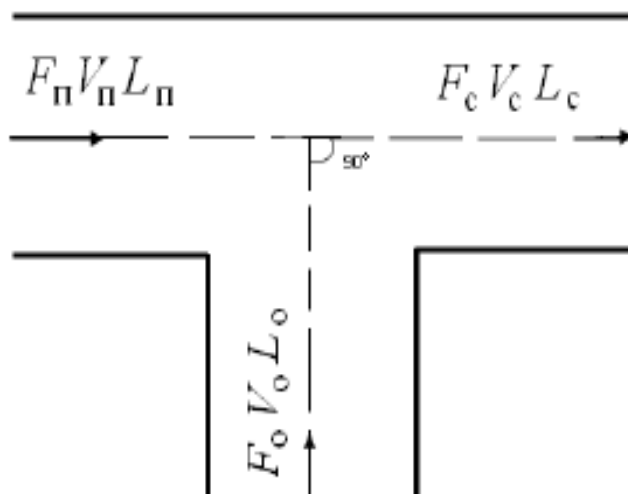
$2F_{отв}/F_0$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,4	1,8
ξ_0	17	12	8,75	6,85	5,5	4,54	3,84	2,01	1,1

Значение ξ колена с острыми кромками

квадратного и круглого сечений

α°	0	20	30	45	60	75	90	110	130	150	180
ξ_0	0	0,13	0,16	0,32	0,56	0,81	1,2	1,9	2,6	3,2	3,6

Значение ξ_o и ξ_n тройника прямого 90° вытяжного прямоугольного сечения $F_n=F_c$



F_o/F_n	Значения ξ_o (в числителе) и ξ_n (в знаменателе) при L_o/L_c									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,1	$\frac{0,3}{0,2}$	$\frac{0,9}{0,5}$	$\frac{1}{0,9}$	$\frac{1}{1,5}$	$\frac{1}{2,5}$	$\frac{1}{4,4}$	$\frac{1}{8,4}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{82}$	$\frac{1}{\infty}$
0,2	$\frac{-1,7}{0,2}$	$\frac{0,6}{0,4}$	$\frac{1}{0,8}$	$\frac{1}{1,3}$	$\frac{1}{2,1}$	$\frac{1}{3,7}$	$\frac{1}{7,1}$	$\frac{1}{16,7}$	$\frac{1}{69}$	$\frac{1}{\infty}$
0,4	$\frac{-2,4}{0,2}$	$\frac{-0,6}{0,4}$	$\frac{0,7}{0,6}$	$\frac{1}{1}$	$\frac{1,1}{1,6}$	$\frac{1,1}{2,8}$	$\frac{1,1}{5,2}$	$\frac{1,1}{12,3}$	$\frac{1,1}{51}$	$\frac{1,1}{\infty}$
0,6	$\frac{-21}{0,2}$	$\frac{-2,7}{0,4}$	$\frac{0,1}{0,6}$	$\frac{0,9}{0,8}$	$\frac{1,1}{1,3}$	$\frac{1}{2,2}$	$\frac{1,2}{4,1}$	$\frac{1,2}{9,5}$	$\frac{1,2}{39}$	$\frac{1,2}{\infty}$
0,8	$\frac{-37}{0,8}$	$\frac{-5,5}{0,4}$	$\frac{-0,7}{0,5}$	$\frac{0,6}{0,7}$	$\frac{1,1}{1,1}$	$\frac{1,2}{1,8}$	$\frac{1,3}{3,3}$	$\frac{1,3}{7,6}$	$\frac{1,2}{31}$	$\frac{1,2}{\infty}$
1	$\frac{-50}{0,3}$	$\frac{-8,8}{0,4}$	$\frac{-1,7}{0,5}$	$\frac{0,3}{0,7}$	$\frac{1,1}{1}$	$\frac{1,3}{1,6}$	$\frac{1,3}{2,8}$	$\frac{1,3}{6,3}$	$\frac{1,3}{2,5}$	$\frac{1,3}{\infty}$

Значения ξ диафрагм для воздуховодов прямоугольного сечения

ξ	Размера отверстия диафрагмы, мм, при сечении прямоугольного воздуховода, мм													
	100×150	150×150	150×250	250×250	250×300	250×400	250×500	400×400	400×500	400×600	400×800	500×500	500×600	500×800
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,2	93×143	141×141	138×238	235×235	233×283	281×381	229×479	375×375	373×473	370×570	367×767	496×469	466×566	462×762
0,3	89×139	137×137	133×233	228×228	226×276	223×373	221×471	364×364	361×461	357×557	353×753	465×455	452×552	445×745
0,4	87×137	134×134	130×230	224×224	221×271	218×368	215×465	358×358	353×453	349×549	344×744	447×447	442×542	435×735
0,5	86×136	133×133	128×228	221×221	218×268	214×364	211×461	353×353	348×448	344×544	338×738	442×442	436×536	428×728
0,6	84×134	130×130	125×225	217×217	214×264	209×359	206×456	346×346	341×441	336×536	329×729	433×433	427×527	418×718
0,7	83×133	128×128	123×223	214×214	210×260	205×355	202×452	342×342	335×435	330×530	323×723	427×427	421×521	411×711
0,8	82×132	127×127	122×222	212×212	209×259	204×354	200×450	340×340	333×433	328×528	320×720	424×424	417×517	407×707
0,9	81×131	126×126	120×220	209×209	206×256	200×350	196×446	335×335	228×428	322×522	314×714	418×418	411×511	400×700
1,0	80×130	125×125	118×218	208×208	204×254	196×348	194×444	332×332	325×425	319×519	311×711	415×415	408×508	396×696
1,1	78×128	123×123	116×216	205×205	201×251	195×345	190×440	327×327	320×420	313×513	304×704	409×409	401×501	389×689
1,2	78×128	122×122	115×215	203×203	199×249	193×343	188×438	325×325	317×417	310×510	301×701	406×406	398×498	385×685
1,3	77×127	121×121	114×214	202×202	197×247	191×341	186×436	323×323	314×414	307×507	298×698	403×403	394×394	382×682
1,4	76×126	120×120	113×213	200×200	196×246	189×339	184×434	320×320	311×411	305×505	295×695	400×400	391×391	378×678
1,6	75×125	119×119	112×212	198×198	194×244	187×337	182×432	318×318	309×409	302×502	292×692	397×397	388×498	374×674
1,8	74×124	117×117	109×109	195×195	190×240	183×333	178×428	312×312	303×403	296×496	285×685	391×391	381×481	366×666
2,0	72×122	115×115	107×207	192×192	187×237	179×329	174×424	307×307	297×397	289×489	278×678	384×384	374×474	358×658
2,2	72×122	114×114	106×206	190×190	185×235	177×327	172×422	305×305	294×394	286×486	275×675	381×381	370×470	355×655
2,4	70×120	112×112	103×203	187×187	182×232	173×323	168×418	299×299	288×388	280×480	268×668	374×374	363×463	347×647
2,6	69×119	111×111	102×202	185×185	180×230	171×321	166×416	297×297	285×385	277×477	265×665	371×371	359×459	342×642
2,8	68×118	110×110	101×201	184×184	178×228	169×319	163×413	294×294	282×382	274×474	261×661	367×367	356×456	338×638
3,0	68×118	109×109	100×200	182×182	176×226	167×317	161×411	291×291	279×379	270×470	258×658	364×364	352×452	334×634
3,2	67×117	108×108	98×198	180×180	174×224	165×315	159×409	288×288	276×376	267×467	254×654	361×361	348×448	330×630
3,4	66×116	108×108	98×198	179×179	173×223	164×314	158×408	287×287	275×375	266×466	253×653	359×359	346×446	328×628
3,6	66×116	107×107	97×197	179×179	172×222	163×313	157×407	286×286	273×373	264×464	251×651	357×357	344×444	326×626
3,8	65×115	106×106	95×195	176×176	169×219	160×310	153×403	281×281	269×369	259×459	245×645	352×352	339×439	320×620
4,0	64×114	105×105	95×195	175×175	168×218	150×309	152×402	280×280	267×367	257×457	244×644	350×350	337×437	317×617
4,5	63×113	103×103	92×192	171×171	164×214	154×304	148×398	273×274	261×361	250×450	237×637	343×343	329×429	309×609
5	61×111	101×101	90×190	169×169	161×214	151×301	143×394	270×270	256×356	245×445	231×631	337×337	323×423	302×602
5,5	60×110	100×100	88×188	166×166	158×208	148×298	141×391	265×265	251×351	240×440	225×625	332×332	317×417	296×596
6	59×109	98×98	87×187	164×164	156×206	146×296	138×288	262×262	248×348	237×437	22×621	328×328	313×413	291×591
7	57×107	96×96	84×184	160×160	152×202	141×291	134×384	256×256	241×341	229×429	214×614	320×320	304×504	282×582
7,5	56×106	95×95	82×182	158×158	150×200	139×289	131×381	253×253	237×337	226×426	210×609	316×316	300×400	277×577
8	55×105	93×93	80×180	155×155	147×197	135×285	128×378	248×248	232×332	220×420	204×604	310×310	294×394	270×570

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
8,5	55×105	93×93	79×179	–	146×196	134×284	126×376	247×247	230×330	218×418	202×602	308×308	292×392	268×568
9	54×104	91×91	78×178	152×152	143×193	132×282	124×374	243×243	227×327	214×414	198×598	304×304	287×387	263×563
9,5	53×103	90×90	77×177	–	141×191	129×279	121×371	240×240	223×323	211×411	194×594	300×300	282×382	258×558
10	52×102	89×89	76×176	149×149	140×190	128×278	120×370	238×238	221×321	209×409	192×592	298×298	280×380	256×556
11	51×101	88×88	74×174	147×147	138×188	125×275	117×367	235×235	217×317	205×405	188×588	294×294	276×376	251×551
12	50×100	86×86	72×172	144×144	134×184	122×271	114×364	230×230	212×311	199×399	182×582	287×287	269×369	243×543
13	49×99	85×85	70×170	141×141	132×182	119×269	111×361	226×226	208×308	195×395	177×577	283×283	264×364	238×538
14	48×98	84×84	70×170	140×140	131×181	118×268	110×360	225×225	206×306	193×393	175×575	281×281	261×361	235×535
15	48×98	84×84	69×169	139×139	130×180	116×266	108×358	223×223	204×304	191×391	173×573	278×278	259×359	233×533

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

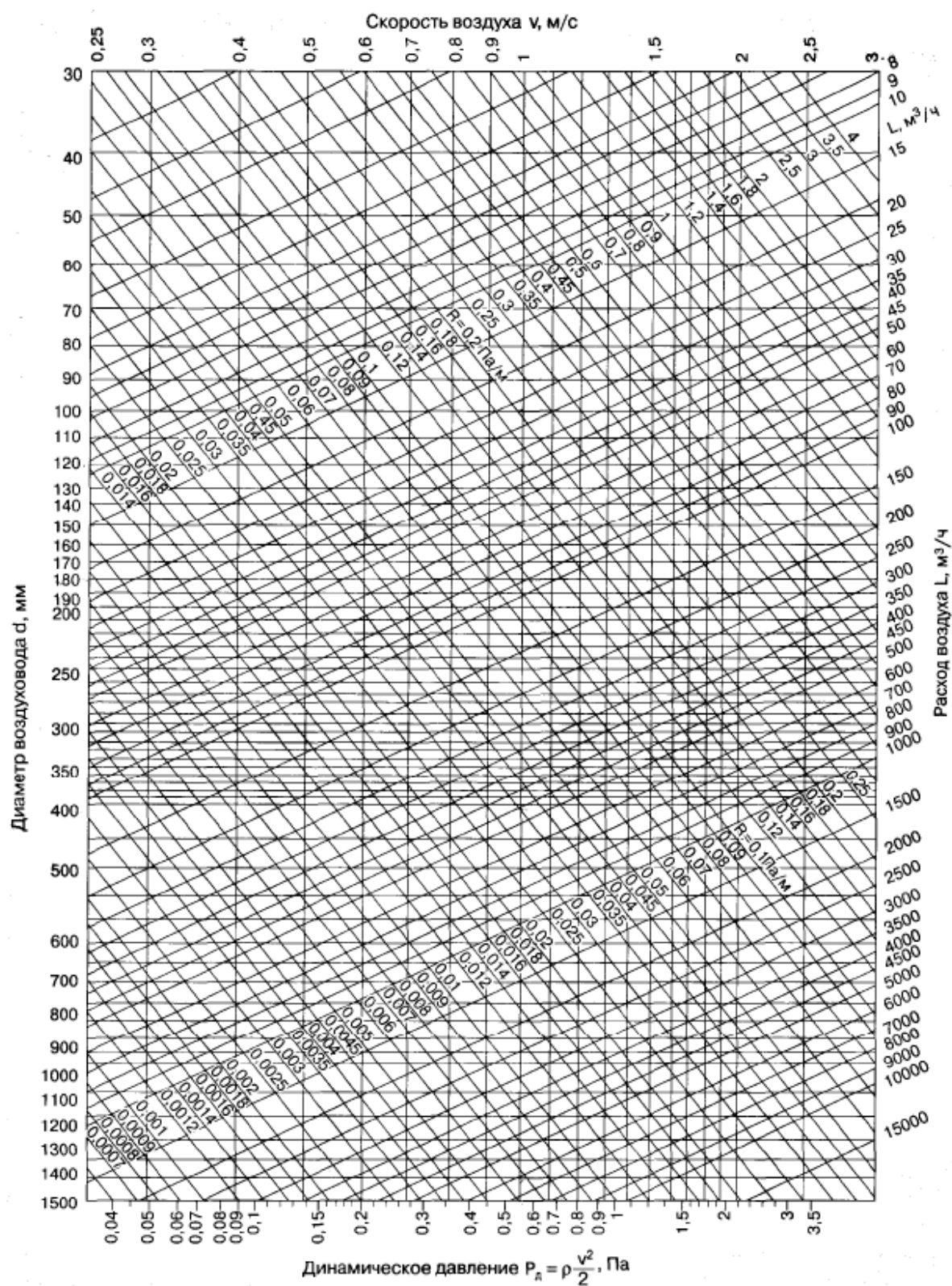


Рисунок Е.1. Номограмма для определения потерь давления на трение в круглых воздуховодах естественной вентиляции

Таблица Е.1

Коэффициент шероховатости поверхности канала

Скорость движения воздуха, м/с	Материал воздуховодов			
	шлакогипс	шлакобетон	кирпич	штукатурка по сетке
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	1,6
0,8	1,13	1,19	1,4	1,69
1,0	1,16	1,23	1,46	1,77
1,2	1,18	1,25	1,5	1,84
1,4	1,2	1,28	1,55	1,95
1,6	1,22	1,31	1,58	1,95
2	1,25	1,35	1,65	2,04
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
9	1,51	1,66	2,1	2,62
10	1,53	1,68	2,12	2,66
11	1,54	1,7	2,15	2,69
12	1,56	1,71	2,17	2,72

Таблица Е.2

Абсолютная эквивалентная шероховатость материалов, применяемых для изготовления воздуховодов

Материал	K_s
Листовая сталь	0,1
Асбестоцементные плиты или трубы	0,11
Фанера	0,12
Шлакоалебастровые плиты	1,0
Шлакобетонные плиты	1,5
Кирпич	4
Штукатурка (по сетке)	10

Таблица Е.3

Размеры каналов из кирпича

Размер, мм	Площадь поперечного сечения, м ²
140×140	0,02
140×270	0,038
270×270	0,073
270×400	0,111
270×530	0,143
400×400	0,16
400×530	0,21
400×650	0,26
400×790	0,32
530×530	0,28
530×650	0,35
530×790	0,42
530×1060	0,56
650×650	0,43
650×790	0,52

Таблица Е.4

Площадь живого сечения каналов из шлакогипсовых
и шлакобетонных плит, м²

Б, мм	А, мм					
	150	250	350	450	550	650
220	0,033	0,055	0,077	0,096	0,121	0,143
320	0,048	0,08	0,112	0,144	0,176	0,208
420	0,063	0,105	0,147	0,189	0,231	0,273
520	0,078	0,13	0,182	0,234	0,286	0,338
620	0,093	0,155	0,217	0,279	0,341	0,402
720	0,108	0,18	0,257	0,324	0,396	0,467
820	0,123	0,205	0,297	0,37	0,45	0,532
920	0,138	0,23	0,322	0,415	0,505	0,6

Таблица Е.5

Нормируемые размеры круглых воздуховодов из листовой стали

d , мм	Площадь поперечного сечения, м ²
100	0,0079
125	0,0123
160	0,02
200	0,0314
250	0,0049
315	0,0615
355	0,099
400	0,126
450	0,159
500	0,96
560	0,46
630	0,312
710	0,396
800	0,501
900	0,635
1000	0,785
1120	0,985
1250	1,23
1400	1,54
1600	2,01
1800	2,54
2000	3,14

Таблица Е.6

Нормируемые размеры прямоугольных воздуховодов из листовой стали

Внутренний размер, мм	Площадь поперечного сечения, м ²
100×150	0,015
150×150	0,0225
150×250	0,0375
150×300	0,045
250×250	0,0625
250×300	0,075
250×400	0,1
250×500	0,125
400×400	0,16
400×500	0,2
400×600	0,24
400×800	0,32
500×500	0,25
500×600	0,3
500×800	0,4
500×1000	0,5
600×600	0,36
600×800	0,48
600×1000	0,6
600×1250	0,75
800×800	0,64
800×1000	0,8
800×1200	0,96
800×1600	1,28
1000×1000	1,0
1000×1250	1,25
1000×1600	1,6
1000×2000	2,0
1250×1250	1,56
1250×1600	2,0
1250×2000	2,5
1600×2000	3,2