

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ СИСТЕМ
ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ**

**Методические указания к контрольной работе
для студентов направления подготовки
08.03.01 Строительство очно-заочной и заочной форм обучения**

Инженерные сети систем теплогазоснабжения и вентиляции: методические указания к контрольной работе для студентов направления подготовки 08.03.01 Строительство очно-заочной и заочной форм обучения

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Контрольная работа предусматривает выполнение пяти задач:

- задача 1 "Теплотехнический расчет наружной стены жилого здания";
- задача 2 "Расчет теплопотерь комнаты и лестничной клетки жилого здания", "Составление теплового баланса";
- задача 3 "Тепловой расчет отопительных приборов";
- задача 4 "Гидравлический расчет системы отопления";
- задача 5 "Аэродинамический расчет системы естественной вентиляции";

Контрольную работу студент оформляет в соответствии со стандартом организации (СТО 4.2-07) и правилами выполнения рабочей документации отопления, вентиляции и кондиционирования (СТП 2.02).

Методические указания содержат теоретический материал к задачам, исходные данные к ним и конкретные примеры решения.

Исходные данные студент выбирает самостоятельно по шифру зачетной книжки.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Цель расчета: определить толщину основного слоя наружной ограждающей конструкции, при которой температура на внутренней поверхности наружной стены будет выше температуры точки росы воздуха в помещении и соответствовать санитарно-техническим требованиям, коэффициент теплопередачи K , Вт/(м²·°C).

Теплотехнический расчет производим согласно [2]:

1. Для данного места строительства определить климатологические характеристики: t_{ht} , z_{ht} - среднюю температуру наружного воздуха, °C, и продолжительность, сут., отопительного периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8 °C, зону влажности. Условия эксплуатации ограждающих конструкций для жилого здания при сухой зоне влажности - А, при нормальной и влажной - Б.

Определить теплотехнические характеристики материалов ограждающей конструкции: λ - коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·°C);

2. Вычислить градусо-сутки отопительного периода D_d (°C·сут.), исходя из условий энергосбережения по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) \cdot z_{ht}, \quad (1)$$

где t_{int} - расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °C, принимаемая для расчета ограждающих конструкций жилых зданий по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по [4] (в интервале 20-22 °C);

t_{ht} , z_{ht} - средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут., отопительного периода, принимаемые по [3] для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 8 °С.

3. Вычислить нормируемое значение сопротивления теплопередаче R_{req} (м²·°С)/Вт ограждающей конструкций по таблице 1.

Таблица 1 - Нормируемые значения сопротивления теплопередаче R_{req} (м²·°С)/Вт ограждающей конструкции

D_d , °С·сут.	2000	4000	6000	8000	10000	12000
Стен	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6

Примечание:

Значения R_{req} для величин D_d , отличающихся от табличных, следует определять по формуле

$$R_{req} = a \cdot D_d + b, \quad (2)$$

где a , b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы 4 [2] для жилых зданий и помещений: $a = 0,00035$, $b = 1,4$.

4. Рассчитать толщину искомого слоя δ_2 , м, из условия $R_{req} \leq R_{des}$,

где R_{des} - фактическое сопротивление теплопередачи ограждения, (м²·°С)/Вт, определяется по формуле

$$R_{des} = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{ext}}, \quad (3)$$

где δ_1 , δ_2 , δ_3 - толщины слоев, м;

λ_1 , λ_2 , λ_3 - коэффициенты теплопроводности материалов слоев, Вт/(м·°С);

α_{int} - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждения, Вт/(м²·°С), для внутренних стен $\alpha_{int} = 8,7$ Вт/(м²·°С);

α_{ext} - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, Вт/(м²·°С), для наружных стен $\alpha_{ext} = 23$ Вт/(м²·°С).

Толщину искомого слоя δ_2 , м, определить по формуле

$$\delta_2 = (R_{req} - (\frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{ext}})) \cdot \lambda_2. \quad (4)$$

5. Фактическую толщину основного слоя наружной стены δ_X^{des} , м, принять:

- для кирпичных стен кратной половине кирпича, но не менее 0,51 м;
- для бетонных панелей кратной 0,05 м, но не менее 0,3 м.

6. Определить R_{des} , (м²·°С)/Вт, с учетом принятой фактической толщины ограждения δ_X^{des} , м. Проверить условие $R_{req} \leq R_{des}$.

7. Определить коэффициент теплопередачи K , Вт/(м²·°С), по формуле

$$K = \frac{1}{R_{des}}. \quad (5)$$

РАСЧЕТ ТЕПЛОПОТЕРЬ

При составлении теплового баланса помещений, определяющего тепловую нагрузку Q_P^{OT} , Вт, на систему отопления, учитываются теплопотери: через ограждения здания Q_O , Вт, на нагревание инфильтрационного воздуха $Q_{И}$, Вт и воздуха, поступающего в помещения через окна в размере санитарной нормы вентиляции (3 м³/ч на 1 м пола) Q_B , Вт, а также бытовые тепловыделения $Q_{Б}$, Вт.

Для жилых комнат Q_P^{OT} , Вт, следует определять по формуле

$$Q_P^{OT} = Q_O + Q_{(И,Б)} - Q_{Б} \quad (6)$$

Для лестничных клеток Q_P^{OT} , Вт, следует определять по формуле

$$Q_P^{OT} = Q_O + Q_{И}, \quad (7)$$

где $Q_{(И,Б)}$ - больший из расходов тепла $Q_{И}$, Вт, или $Q_{Б}$, Вт.

Теплопотери через наружные ограждения здания Q_O , Вт, рассчитываются для всех помещений первого, среднего, верхнего этажей и для лестничной клетки секции по формуле

$$Q_O = K \cdot F \cdot (t_{int} - t_{ext}) \cdot n \cdot \eta, \quad (8)$$

где K - коэффициент теплопередачи ограждения, Вт/(м²·°С);

F - расчетная площадь ограждений, м²;

t_{int} - расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °С, принимаемая для расчета ограждающих конструкций жилых зданий по

минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по [4], (для жилых комнат $t_{int}=20^{\circ}\text{C}$, для лестничной клетки $t_{int}=16^{\circ}\text{C}$);

t_{ext} – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, $^{\circ}\text{C}$, для всех зданий, принимаемая равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 [3];

n - поправочный коэффициент к рабочей разности температур;

η - коэффициент, учитывающий добавочные потери теплоты, рассчитывают по формуле

$$\eta = 1 + \frac{\sum P}{100}, \quad (8')$$

где $\sum P$ - сумма добавочных потерь тепла через ограждения, принимается в процентах к основным теплопотерям.

Расчет основных теплопотерь через ограждающие конструкции сводится в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчет основных теплопотерь через ограждающие конструкции

Номер помещения, его название и температура внутреннего воздуха	Характеристика ограждения				$(t_{int} - t_{ext})n$	$K, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$	Добавочные потери теплоты, $P, \%$		η	$Q_o, \text{Вт}$
	название	ориентация	размеры, м	площадь, м^2			на ориентацию	прочие		

При расчете теплопотерь зданием следует:

1. Каждое помещение нумеровать трехзначной цифрой (1^{го} этажа - со 101; 2^{го} - с 201 и т.д); лестничную клетку обозначать буквой А.

2. Расчетную площадь каждого элемента ограждающих конструкций определяют путем перемножения его линейных размеров (с точностью до 0,1 м^2) по следующим параметрам:

- окон и дверей - по наименьшим размерам строительных проемов в свету;

- перекрытий (потолков, неотапливаемых полов) - по размерам между осями внутренних стен и от внутренней поверхности наружных стен до осей внутренних стен;

- высоту стен первого этажа – от нижней плоскости конструкции пола первого этажа до уровня чистого пола второго этажа;

- высоту стен промежуточного этажа - между уровнями чистых полов данного и вышележащего этажей;
- высоту стен верхнего этажа - от уровня чистого пола этого этажа до верха последнего утепляющего слоя чердачного перекрытия;
- длину наружных стен угловых помещений - от осей внутренних стен до внешних поверхностей угла;
- длину наружных стен не угловых помещений - между осями внутренних стен;
- площади окон не вычитать из площади стен, а при определении теплопотерь через окна из коэффициента теплопередачи окна вычитать коэффициент теплопередачи наружной стены, т.е. в графе 7 табл.2 записать: $K_{OK} - K_{НС}$.

3. Подсчет потерь теплоты лестничной клетки вести как для одного помещения, а при определении теплопотерь через наружную стену из ее площади вычитать площадь двери. Пол лестничной клетки рассчитывается по зонам, как для не утепленных полов, расположенных на грунте. Необходимо разбить пол лестничной клетки на зоны:

- первая зона – полоса пола вдоль наружной стены, шириной 2 м;
- вторая зона – полоса пола, параллельная первой полосе, шириной 2 м;
- третья зона – часть пола, параллельная второй полосе, шириной так же 2 м;
- четвертая зона – оставшаяся часть пола.

4. Добавочные потери теплоты.

В помещениях любого назначения добавочные потери теплоты через наружные вертикальные и наклонные стены, двери и окна, ориентированные на север, восток, северо-восток и северо-запад принимать в процентах от основных теплопотерь в размере 10%; на юго-восток и запад – 5%; на юг и юго-запад не принимать.

При наличии в помещении двух наружных стен учитываются прочие добавочные потери теплоты через наружные вертикальные и наклонные стены, двери и окна в размере 15%. Прочие добавочные потери теплоты для наружных двойных дверей с тамбуром между ними при высоте помещения Н, принимают - 27Н, %.

Потери теплоты округлять до 10 Вт.

Расчеты основных и дополнительных потерь теплоты через отдельные ограждения каждого помещения здания следует вести в табличной форме.

5. Теплопотери на нагревание инфильтрующегося воздуха Q_{II} , Вт, рассчитываются по формуле

$$Q_{II} = 0,278 \cdot A_{OK} \cdot G_{OK} \cdot F_{OK} \cdot (t_{int} - t_{ext}), \quad (9)$$

где A_{OK} - коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока [6];

G_{OK} - расход воздуха, поступающего в помещение путем инфильтрации, кг/(м²·ч);

F_{OK} - площадь окна, м²;

t_{int} и t_{ext} - то же, что и в формуле (8).

$$G_{OK} = \frac{(0,1 \cdot \Delta P)^{\frac{2}{3}}}{R_{и}}, \quad (10)$$

где ΔP - разность давлений воздуха у наружной и внутренней поверхности окна, Па;

$R_{и}$ - сопротивление воздухопроницанию окна, (м²·ч)/кг [2].

$$\Delta P = (H - h) \cdot (j_{ext} - j_{int}) + 0,03 \cdot j_{ext} \cdot v^2, \quad (11)$$

где H - высота здания от поверхности земли до верха вентиляционной шахты, м;

h - высота от поверхности земли до центра окна рассматриваемого этажа, м;

j_{ext} и j_{int} - удельный вес соответственно наружного и внутреннего воздуха, Н/м³, рассчитывают по формуле

$$j_i = \frac{3463}{273 + t_i} \quad (11')$$

v - максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь, повторяемость которых составляет 16% и более, принимаемая по таблице 1* [3]; для зданий высотой свыше 60 м v следует принимать с учетом коэффициента изменения скорости ветра по высоте (по своду правил), м/с.

Количество теплоты на нагревание воздуха, поступающего в жилые помещения в размере санитарной нормы 3 м³/(м²·ч), Q_B , Вт, рассчитывают по формуле

$$Q_B = 1,005 \cdot (t_{int} - t_{ext}^A) \cdot F_{пл}, \quad (12)$$

где t_{ext}^A - расчетная вентиляционная температура наружного воздуха в холодный период года, °С, для всех зданий, принимаемая равной средней температуре обеспеченностью 0,94 [3];

$F_{пл}$ - площадь пола жилой комнаты, м².

Внутренние тепlopоступления (бытовые тепловыделения) Q_B , Вт, рассчитывают по формуле

$$Q_B = 21 \cdot F_{\text{пл}} \cdot \quad (13)$$

После определения всех тепlopотерь и тепlopоступлений составляют таблицу 3.

Таблица 3 - Тепловой баланс помещений

Номер помещения	Q_O , Вт	Q_H , Вт	Q_B , Вт	Q_B , Вт	Тепловая нагрузка, Q_P^{OT}

РАСЧЕТ ОТОПИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Тепловой расчет отопительных приборов заключается в выборе типоразмера и числа их элементов с таким условием, чтобы общая поверхность прибора обеспечивала необходимое тепlopоступление в обслуживаемое помещение.

Последовательность расчета:

1. Вычертить схему рассчитываемого стояка с указанием в каждом из приборов его тепловой мощности $Q_{\text{пр}}$, Вт.
2. Выявить тепловую нагрузку на стояк $Q_{\text{ст}}$, Вт.
3. Определить количество теплоносителя $G_{\text{пр}}$, кг/ч, проходящего через отопительный прибор в течение часа по формуле

$$G_{\text{пр}} = \alpha \cdot G_{\text{ст}} = \alpha \cdot \frac{3,6 \cdot Q_{\text{ст}} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{c \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{о}})}, \quad (14)$$

где α - коэффициент затекания воды в прибор;

$Q_{\text{ст}}$ - тепловая нагрузка рассчитываемого стояка, Вт;

β_1 - коэффициент, учитывающий дополнительные тепlopотери, связанные с размещением отопительных приборов у наружных ограждений;

β_2 - поправочный коэффициент, учитывающий теплоотдачу через дополнительную сверх расчетной площадь принимаемых к установке приборов;

c - удельная теплоемкость воды, кДж/(кг °С);

$t_{\text{г}}$ и $t_{\text{о}}$ - соответственно температуры теплоносителя в подающей и обратной магистралях, °С;

4. Рассчитать температурный напор для отопительного прибора Δt , °C, по формуле

$$\Delta t = \frac{t_{BX} + t_{ВЫХ}}{2} - t_{int}, \quad (15)$$

где t_{BX} и $t_{ВЫХ}$ - температура теплоносителя соответственно на входе и на выходе из отопительного прибора, рассчитывается по формуле

$$t_{BX,ВЫХ} = t_{\Gamma} - \frac{3,6 \cdot Q_{\text{ПР}}^* \cdot \beta_1 \cdot \beta_2}{c \cdot G_{CT}}, \quad (16)$$

где $Q_{\text{ПР}}^*$ - суммарная тепловая нагрузка отопительных приборов, расположенных до рассматриваемого по ходу движения теплоносителя, Вт;

t_{int} - расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания, °C, принимаемая для расчета ограждающих конструкций жилых зданий по минимальным значениям оптимальной температуры соответствующих зданий по [4], (для жилых комнат $t_{int}=20^{\circ}\text{C}$, для лестничной клетки $t_{int}=16^{\circ}\text{C}$).

5. Комплексный коэффициент φ рассчитывают по формуле

$$\varphi = \left(\frac{\Delta t}{70} \right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{\text{ПР}}}{360} \right)^p \cdot b, \quad (17)$$

где n и p - коэффициенты полученные экспериментальным путем;

b - поправочный коэффициент на атмосферное давление.

6. Теплоотдачу открыто проложенных теплопроводов рассчитывают по формуле

$$Q_{TP} = q_{\Gamma} \cdot l_{\Gamma} + q_{B} \cdot l_{B}, \quad (18)$$

где q_{Γ}, q_{B} - соответственно теплоотдача горизонтально и вертикально проложенных теплопроводов, Вт/м;

l_{Γ}, l_{B} - соответственно длины горизонтально и вертикально проложенных теплопроводов, м;

t_{TP} - температура теплоносителя в трубе, равная температуре теплоносителя соответственно на входе t_{BX} и на выходе $t_{ВЫХ}$ из отопительного прибора, определяется по формуле (16).

7. Требуемый тепловой поток q_{TP} , Вт/м², рассчитывают по формуле

$$q_{TP} = \frac{Q_{PP} - 0,9 \cdot Q_{TP}}{\varphi}. \quad (19)$$

8. Определить типоразмер и площадь поверхности нагрева A , м², отопительного прибора.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ

Цель расчета: определить диаметры теплопроводов, для прохождения по ним требуемого количества теплоносителя; увязать магистрали и ответвления.

Прежде чем приступить к расчету, необходимо вычертить в масштабе 1:100 схему системы отопления в аксонометрической проекции с нанесением всей запорно-регулирующей арматуры.

Выбрать главное циркуляционное кольцо, которое является расчетным (в однотрубных системах отопления такое проходит через дальний стояк) и разбить на отдельные участки с постоянным расходом теплоносителя. Расчетные участки нумеруются по направлению движения воды, рядом с номером указывается тепловая нагрузка, определяемая суммой тепловых нагрузок стояков или отопительных приборов, обслуживаемых этим участком, и длина.

Расчет диаметров участков циркуляционного кольца ведется с занесением в таблицу 4 всех исходных данных, промежуточных и конечных результатов.

Таблица 4 - Гидравлический расчет системы отопления

Номер участка	Q , Вт	G , кг/ч	l , м	d , мм	V , м/с	R , Па/м	$R \cdot l$, Па	$P_{дин}$, Па	$\sum \xi$	Z , Па	$(R \cdot l) + Z$, Па

Последовательность расчета:

1. Выявить тепловую нагрузку на участках рассчитываемого циркуляционного кольца Q , Вт.
2. Выявить длину участков l , м.
3. Вычислить расход теплоносителя G , кг/ч, по формуле

$$G = \frac{3,6 \cdot Q}{c \cdot (t_r - t_o)}. \quad (20)$$

4. Зная располагаемое давление ΔP , Па, для расчетного циркуляционного кольца рассчитать среднюю величину удельной потери давления на трение $R_{CP}^{уд}$, Па/м, по формуле

$$R_{CP}^{уд} = \frac{k \cdot \Delta P}{\sum l_{ц.к.}}, \quad (21)$$

где k - коэффициент, учитывающий потери давления на трение.

5. По величинам R_{CP} , Па/м и G , кг/ч, найти диаметры участков d , мм.

6. По величине диаметра участка d , мм, и расходу теплоносителя G , кг/ч, определить удельные потери давления на участке R , Па/м и скорость движения теплоносителя V , м/с.

7. Определить потери давления на трение на участке $R \cdot l$, Па, и динамическое давление $P_{дин}$, Па, по формуле

$$P_{дин} = \frac{V^2 \cdot \rho}{2}, \quad (22)$$

где ρ - плотность теплоносителя.

8. Определить коэффициенты местных сопротивлений ξ и рассчитать потерю давления в местных сопротивлениях Z , Па, по формуле

$$Z = P_{дин} \cdot \sum \xi. \quad (23)$$

9. Определить потери давления на участках $R \cdot l + Z$, Па, и сумму потерь давления на всем циркуляционном кольце $\sum (R \cdot l + Z)_{ц.к.}$.

10. Запас давления в главном циркуляционном кольце должен составлять 5-10% от располагаемого давления, его рассчитывают по формуле

$$\Delta = \frac{\Delta P - \sum (R \cdot l + Z)_{ц.к.}}{\Delta P} \cdot 100\% = 5 - 10\%. \quad (24)$$

Если условие запаса давления не выполняется, делается перерасчет отдельных участков.

11. Выполнить расчет ответвлений. Порядок расчета тот же, что и для главного циркуляционного кольца. Невязка должна составлять не более 15%

$$\Delta = \frac{(R \cdot l + Z)_{ц.к.} - (R \cdot l + Z)_{отв}}{(R \cdot l + Z)_{ц.к.}} \cdot 100\% < 15\%. \quad (25)$$

При невыполнении этого условия и невозможности изменения диаметра ответвления или его части устанавливается шайба. Минимальный диаметр шайбы $d_{ш}$, мм, равен 5 мм, кратность размеров шайбы 0,5 мм, рассчитывают по формуле

$$d_{III} = 3,54 \cdot \left(\frac{G^2}{\Delta P_{III}} \right)^{0,25}, \quad (26)$$

где G - расход теплоносителя на участке, с шайбой, кг/ч;
 ΔP_{III} - давление, которое должна погасить шайба, Па.

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Цель расчета: определить размеры жалюзийных решеток и воздушных каналов, для прохождения по ним требуемого количества воздуха.

Прежде чем приступить к расчету, необходимо вычертить в масштабе 1:100 схему системы естественной вентиляции в аксонометрической проекции.

Для аэродинамического расчета необходимо знать расчетное гравитационное давление ΔP^P , Па, которое определяют при температуре наружного воздуха $t_5 = +5^\circ\text{C}$ по формуле

$$\Delta P^P = 9,81 \cdot h \cdot (\rho_5 - \rho_{int}), \quad (27)$$

где h - вертикальное расстояние места удаления воздуха соответствующего этажа до устья вытяжной шахты, м;

ρ_5 и ρ_{int} - плотности наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3 , рассчитывают по формуле

$$\rho_i = \frac{353}{273 + t_i}. \quad (27')$$

Расчет сводят в таблицу 5.

Таблица 5 - Аэродинамический расчет системы естественной вентиляции

Номер участка	L , $\text{м}^3/\text{ч}$	l , м	$a \cdot b$, мм	$d_{\text{э}}$, мм	F_2 , м^2	V , м/с	R , Па/м	β	$\beta \cdot R \cdot l$, Па	$P_{\text{дин}}$, Па	$\sum \xi$	Z , Па	$(\beta \cdot R \cdot l) + Z$, Па

Последовательность расчета:

1. Вычертить схему системы естественной вентиляции в аксонометрической проекции пронумеровать расчетные участки с указанием количества воздуха L , $\text{м}^3/\text{ч}$, и длины l , м.

2. Рассчитать требуемую площадь сечения канала f_{TP} , м^2 , по формуле

$$f_{TP} = \frac{L}{3600 \cdot V'}, \quad (28)$$

где V - рекомендуемая скорость (для вертикальных каналов $V' = 1-1,5$ м/с; для сборного короба $V' = 1-1,5$ м/с; для вытяжной шахты $V' = 1,5-2$ м/с).

По значению f_{TP} подбирают стандартное сечение канала F , м, размерами $a \cdot b$, мм.

3. Для каналов прямоугольного сечения вычислить эквивалентный диаметр $d_{\text{э}}$, мм, по формуле

$$d_{\text{э}} = \frac{2ab}{a+b}. \quad (29)$$

4. Определить скорость движения воздуха в канале V , м/с, по формуле

$$V = \frac{L}{3600 \cdot F}. \quad (30)$$

5. В зависимости от скорости движения воздуха V , м/с, и эквивалентного диаметра $d_{\text{э}}$, мм, определить удельные потери давления на трение R , Па/м, скорости движения воздуха V , м/с, и материала из которого изготовлен канал, определить коэффициент шероховатости материала β .

6. Определить динамическое давление $P_{\text{дин}}$, Па, по формуле

$$P_{\text{дин}} = \frac{V^2 \cdot \rho}{2}, \quad (31)$$

где ρ - плотность воздуха, транспортируемого по каналу, кг/м³.

7. Определить коэффициенты местных сопротивлений ξ и рассчитать потерю давления в местных сопротивлениях Z , Па, по формуле

$$Z = P_{\text{дин}} \cdot \sum \xi. \quad (32)$$

8. Аналогично рассчитать все участки, по которым транспортируется воздух от жалюзийной решетки до выброса в атмосферу.

9. Рассчитать требуемую площадь живого сечения жалюзийной решетки $f_{\text{Ж.Р.}}^{TP}$, м², по формуле

$$f_{\text{Ж.Р.}}^{TP} = \frac{L}{3600 \cdot V_{\text{Ж.Р.}}'}, \quad (33)$$

где $V_{\text{Ж.Р.}}'$ - требуемая скорость воздуха, проходящего через живое сечение жалюзийной решетки, м/с, определяется по формуле

$$V_{ж.р.}^l = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P_{ж.р.}}{\xi \cdot \rho}}, \quad (34)$$

где ξ - коэффициент местного сопротивления жалюзийной решетки;

ρ - плотность удаляемого воздуха, кг/м³;

$\Delta P_{ж.р.}$ - потери давления для жалюзийной решетки, Па, определяется по формуле

$$\Delta P_{ж.р.} = \Delta P^P - \sum (\beta \cdot R \cdot l + Z)_y, \quad (35)$$

где $\sum (\beta \cdot R \cdot l + Z)_y$ - сумма потерь давления в каналах, по которым транспортируется воздух, удаляемый через решетку, Па.

Подбирать стандартную жалюзийную решетку размерами $a \cdot b$, мм, и площадью живого сечения $f_{ж.р.}^\Phi$, м².

10. Рассчитать потери давления в жалюзийной решетке $Z_{ж.р.}$, Па, по формуле

$$Z_{ж.р.} = P_{дин} \cdot \sum \xi. \quad (36)$$

Скорость движения воздуха V , м/с, рассчитать по формуле

$$V = \frac{L}{3600 \cdot f_{ж.р.}^\Phi}. \quad (37)$$

11. Определить невязку для рассчитываемых каналов по формуле

$$\Delta = \frac{\Delta P^P - (\sum (\beta \cdot R \cdot l + Z)_y + Z_{ж.р.})}{\Delta P^P} \cdot 100\% < 10\% \quad (38)$$

Если условие невязки не выполняется, делается перерасчет отдельных участков или выбирается другая жалюзийная решетка.

Задача 1. Теплотехнический расчет наружной стены жилого здания

Определить толщину теплоизоляционного слоя, δ , м, и коэффициент теплопередачи, K , Вт/(м²°C), для наружной стены жилого здания.

Исходные данные. Конструкция наружной стены - рис.1; место строительства и его климатологическая характеристика - табл. 6; материалы слоев ограждающей конструкции - табл.7; расчетные значения теплофизических характеристик строительных материалов - табл.8.

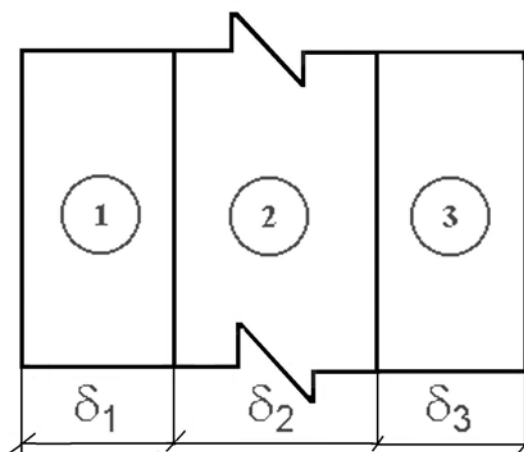


Рисунок 1 – Конструкция наружной стены

Таблица 6 - Климатологические характеристики района строительства

Предпоследняя цифра шифра зачетной книжки	Место строительства	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °C, обеспеченностью 0,92	Вентиляционная температура наружного воздуха обеспеченностью 0,94	Средняя температура отопительного периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$	Продолжительность отопительного периода со средней суточной температурой воздуха $\leq 8^{\circ}\text{C}$	Зона влажности
0	Владивосток	-24	-18	-3,9	196	влажная
1	Волгоград	-25	-14	-2,2	178	сухая
2	Воронеж	-26	-15	-3,1	196	сухая
3	Краснодар	-19	-7	2,0	149	сухая
4	Курск	-26	-14	-2,4	198	нормальная
5	Москва	-28	-15	-3,1	214	нормальная
6	Ростов-на-Дону	-22	-11	-0,6	171	сухая
7	Санкт-Петербург	-26	-13	-1,8	220	влажная
8	Саратов	-27	-16	-4,3	196	сухая
9	Ставрополь	-19	-8	-0,9	168	нормальная

Таблица 7 - Материалы слоев ограждающей конструкции

Последняя цифра шифра зачетной книжки	Конструкция наружной стены		
0	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$	Шлакобетон $\rho=1000\text{кг/м}^3;$	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$
1	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$	Керамзитобетон $\rho=1200\text{кг/м}^3;$	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$
2	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$	Керамзитобетон $\rho=800\text{кг/м}^3;$	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$
3	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$	Пенобетон $\rho=1000\text{кг/м}^3;$	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$
4	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$	Пенобетон $\rho=600\text{кг/м}^3;$	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=50\text{мм}$
5	Известково-песчаный раствор $\rho=1600\text{кг/м}^3; \delta=20\text{мм}$	Кирпич глиняный $\rho=1400\text{кг/м}^3;$	Цементно-песчаный раствор $\rho=1800\text{кг/м}^3; \delta=15\text{мм}$
6	Известково-песчаный раствор $\rho=1600\text{кг/м}^3; \delta=20\text{мм}$	Кирпич глиняный $\rho=1200\text{кг/м}^3;$	Цементно-песчаный раствор $\rho=1800\text{кг/м}^3; \delta=15\text{мм}$
7	Известково-песчаный раствор $\rho=1600\text{кг/м}^3; \delta=20\text{мм}$	Кирпич глиняный $\rho=1000\text{кг/м}^3;$	Цементно-песчаный раствор $\rho=1800\text{кг/м}^3; \delta=15\text{мм}$
8	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=40\text{мм}$	Керамзитобетон $\rho=800\text{кг/м}^3;$	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=40\text{мм}$
9	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=40\text{мм}$	Пенобетон $\rho=1000\text{кг/м}^3;$	Железобетон $\rho=2500\text{кг/м}^3; \delta=40\text{мм}$

Таблица 8 - Расчетные значения теплофизических характеристик строительных материалов

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность λ , Вт/(м°С),	
		условия эксплуатации	
		А	Б
Кирпич глиняный	1400	0,524	0,581
	1200	0,465	0,524
	1000	0,407	0,465
Керамзитобетон	800	0,232	0,291
	1200	0,407	0,465
Пенобетон	1000	0,350	0,407
	600	0,174	0,209
Шлакобетон	1000	0,35	0,407
Железобетон	2500	1,920	2,030
Цементно-песчаный раствор или штукатурка из него	1800	0,755	0,930
Известково-песчаный раствор или штукатурка из него	1600	0,697	0,814

Пример расчета

1. Место строительства Владивосток. По табл.6 определяем: зона влажности - влажная; $t_{ext} = -24$ °С; $t_{ht} = -3,9$ °С; $z_{ht} = 196$ сут; условия эксплуатации ограждающих конструкций - Б.

Характеристику ограждающей конструкции определяем по таблице 7 и таблице 8.

Характеристика ограждающей конструкции

Номер слоя	Наименование материала	Толщина слоя, δ , м	Теплопроводность, λ , Вт/(м°С)
1	Железобетон, $\rho=2500$ кг/м ³	0,05	2,030
2	Шлакобетон, $\rho=1000$ кг/м ³	?	0,407
3	Железобетон, $\rho=2500$ кг/м ³	0,05	2,030

2. Вычислить градусо-сутки отопительного периода D_d (°С·сут.), по формуле (1):

$$D_d = (21 - (-3,9)) \cdot 196 = 4880 \text{ °С} \cdot \text{сут.}$$

3. По таблице 1 и формуле (2) определяем R_{req} , (м²·°С)/Вт, наружной стены:

$$R_{req} = (0,00035 \cdot 4880) + 1,4 = 3,108 \text{ (м}^2 \cdot \text{°С)/Вт.}$$

4. Рассчитать толщину искомого слоя δ_2 , м, по формуле (4):

$$\delta_2 = (3,108 - (\frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{2,03} + \frac{0,05}{2,03} + \frac{1}{23})) \cdot 0,407 = 1,18 \text{ м.}$$

5. Фактическая толщина основного слоя наружной стены $\delta_X^{des} = 1,2$ м.

6. Определить R_{des} , $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, с учетом принятой фактической толщины ограждения δ_x^{des} , м, по формуле (3). Проверить условие $R_{req} \leq R_{des}$.

$$R_{des} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,05}{2,03} + \frac{1,2}{0,407} + \frac{0,05}{2,03} + \frac{1}{23} = 3,156 (\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$$

$3,108 \leq 3,156$ – условие выполнено.

7. Определить коэффициент теплопередачи K , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, по формуле (5):

$$K = \frac{1}{3,156} = 0,32 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Задача 2. Расчет теплотерь комнаты и лестничной клетки жилого здания, составление теплового баланса

Определить теплотери одноквартирной жилой комнаты, расположенной на разных этажах жилого здания и теплотери лестничной клетки этого здания.

Исходные данные. План и разрез рассчитываемых помещений - рис.2; характеристика наружных ограждений - табл.9; климатологическая характеристика объекта строительства и геометрические размеры здания - табл.10.

Таблица 9 - Характеристика наружных ограждений

Предпоследняя цифра шифра зачетной книжки	Количество этажей	$\sigma_{ст}$, мм	$K_{нс}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$K_{пт}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$K_{пл}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$
0	3	500	0,29	0,25	0,24
1	4	500	0,30	0,26	0,25
2	5	500	0,31	0,27	0,26
3	5	400	0,32	0,28	0,27
4	4	400	0,33	0,29	0,28
5	3	400	0,34	0,30	0,29
6	3	600	0,35	0,31	0,30
7	4	600	0,28	0,24	0,23
8	5	600	0,31	0,27	0,26
9	5	700	0,34	0,30	0,29

Примечания. Для всех вариантов: пол лестничной клетки расположен на грунте $K_{плIз}=0,47 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $K_{плIIз}=0,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $K_{плIIIз}=0,12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $K_{плIVз}=0,07 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; два однокамерных стеклопакета в раздельных переплетах $K_{ок}=1,35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, $K_{дл}=2,32 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$; $R_n=0,166 (\text{м}^2 \cdot \text{ч})/\text{кг}$, $A_{ок}=0,8$; толщина пола первого этажа $\delta=300 \text{ мм}$. Расчетные значения теплофизической характеристики: наружные стены, окна $n=1$, чердачные перекрытия $n=0,9$, полы над неотапливаемыми подвалами $n=0,6$, полы на грунте $n=1,0$.

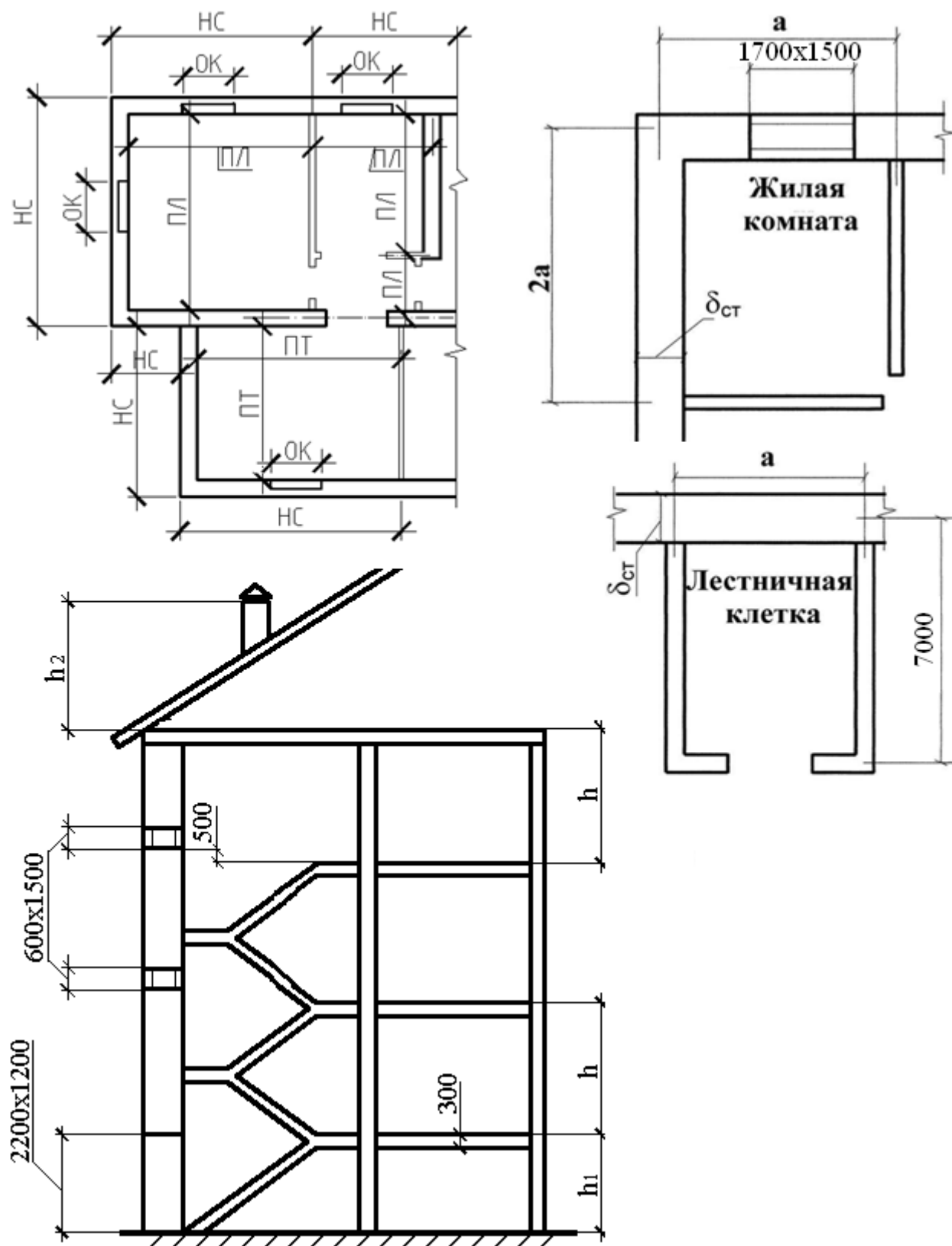


Рисунок 2 - План и разрез рассчитываемых помещений

Таблица 10 - Климатологическая характеристика объекта строительства и геометрические размеры здания

Последняя цифра шифра зачетной книжки	Место строительства	Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспеченностью 0,92	Вентиляцион ная температура наружного воздуха обеспеченнос тью 0,94	Максималь ная из средних скоростей ветра по румбам за январь, м/с	a, м	h, м	h ₁ , м	h ₂ , м	Ориентация фасада
0	Архангельск	-31	-18	5,9	2,8	2,8	1,0	4,0	север
1	Барнаул	-39	-23	5,9	3,0	2,9	1,1	4,5	восток
2	Иркутск	-36	-26	2,9	3,2	3,0	1,0	5,0	запад
3	Красноярск	-40	-22	6,2	3,4	3,1	1,1	5,5	юг
4	Новосибирск	-39	-24	5,7	3,6	3,2	1,0	4,5	северо-запад
5	Омск	-37	-24	5,1	3,5	3,2	1,1	4,0	северо-восток
6	Томск	-40	-24	5,6	3,3	3,1	1,0	4,0	юго-запад
7	Хабаровск	-31	-27	5,9	3,1	3,0	1,1	4,5	юго-восток
8	Екатеринбург	-35	-20	5,0	2,9	2,9	1,0	5,0	север
9	Москва	-28	-15	4,9	2,7	2,8	1,1	5,0	запад

Пример расчета

Место строительства Архангельск. По таблице 10 определяем: $t_{ext} = -31^{\circ}\text{C}$, $t_{ext}^A = -18^{\circ}\text{C}$, $v=5,9\text{м/с}$, $a=2,8\text{м}$, $h=2,8\text{м}$, $h_1=1,0\text{м}$, $h_2=4,0\text{м}$; фасад ориентирован на север. По таблице 9 определяем $\delta_{ст}=0,5\text{м}$, $K_{HC}=0,29\text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$, $K_{ПТ}=0,25\text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$, $K_{ПЛ}=0,24\text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$. Количество этажей - три. В расчете также используются данные задачи 2 для всех вариантов. Заполняем таблицу 11 - Расчет теплотерь комнаты и лестничной клетки жилого здания исходя из рисунка 2 и формулы (8).

Таблица 11 - Расчет теплотерь комнаты и лестничной клетки жилого здания

Номер помещения, его название и температура внутреннего воздуха	Характеристика ограждения				$(t_{int}-t_{ext})n$	$K, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$	Добавочные потери теплоты, $P, \%$		η	$Q_0, \text{Вт}$
	название	ориентация	размеры, м	площадь, м^2			на ориентацию	прочие		
201(ж.к.) $t_{int}=20^{\circ}\text{C}$	НС	с	3,05x2,8	8,5	51x1	0,29	10	15	1,25	160
	НС	з	5,85x2,8	16,4	51x1	0,29	5	15	1,20	290
	ОК	с	1,7x1,5	2,6	51x1	1,35	10	15	1,25	220
										$\Sigma 670$
301(ж.к.) $t_{int}=20^{\circ}\text{C}$	ПТ	-	2,55x5,35	13,6	51x0,9	0,25	-	-	1,00	160
										$\Sigma 830$
101(ж.к.) $t_{int}=20^{\circ}\text{C}$	ПЛ	-	2,55x5,35	13,6	51x0,6	0,24	-	-	1,00	100
	НС	с	3,05x0,3	0,9	51x1	0,29	10	15	1,25	20
	НС	з	5,85x0,3	1,8	51x1	0,29	5	15	1,20	30
										$\Sigma 820$
А (л.к.) $t_{int}=16^{\circ}\text{C}$	НС	с	(2,8x9,4)-(1,2x2,2)	23,7	47x1	0,29	10	-	1,10	360
	ДД	с	1,2x2,2	2,6	47x1	2,32	10	254	3,64	1030
	ОК	с	2(1,5x0,6)	1,8	47x1	1,35	10		1,10	130
	ПТ		2,8x6,75	18,9	47x0,9	0,25			1,00	200
	ПЛИЗ		2,8x2,0	5,6	47x1,0	0,47			1,00	120
	ПЛИ		2,8x2,0	5,6	47x1,0	0,23			1,00	60
	з		2,8x2,0	5,6	47x1,0	0,12			1,00	30
	ПЛИИ		2,8x0,75	2,1	47x1,0	0,07			1,00	10
	з									$\Sigma 1940$
	ПЛИИЗ									

Расчет количества тепла, идущего на нагревание инфильтрационного воздуха определяют для каждого окна.

Окно 101 й комнаты. По рисунку 2 определяют высоту от уровня земли до устья вытяжной шахты $H=h_1+3h+h_2=1,0+3 \times 2,8+4,0=13,4\text{м}$; высоту от уровня земли до центра окна рассматриваемого этажа $h=1,0+(2,8/2)=2,4 \text{ м}$; удельный

вес воздуха по формуле (11'): $j_{ext}=14,3 \text{ Н/м}^3$, $j_{int}=11,8 \text{ Н/м}^3$. Рассчитываем разность давлений воздуха ΔP , Па, по формуле (11):

$$\Delta P = (13,4 - 2,4) \cdot (14,3 - 11,8) + 0,03 \cdot 14,3 \cdot 5,9^2 = 42,4 \text{ Па}.$$

Затем определяем расход воздуха G_{OK} , кг/(м²ч), по формуле (10):

$$G_{OK} = \frac{(0,1 \cdot 42,4)^{\frac{2}{3}}}{0,166} = 15,78 \text{ кг/(м}^2\text{ч)}.$$

Определяем количество тепла на нагревание инфильтрационного воздуха, Q_{II} , Вт, по формуле (9):

$$Q_{II} = 0,278 \cdot 0,8 \cdot 15,78 \cdot 2,6 \cdot (20 - (-31)) = 470 \text{ Вт}.$$

Аналогично производим расчет Q_{II} , Вт, для остальных окон жилых комнат и лестничной клетки.

Расчет количества тепла, идущего на нагревание воздуха, обеспечивающего минимальный воздухообмен Q_B , Вт, и бытовые тепловыделения $Q_{\text{б}}$, Вт, определяем для каждой жилой комнаты по формулам (12) и (13):

$$Q_B = 1,005 \cdot 13,6 \cdot (20 - (-18)) = 520 \text{ Вт}.$$

$$Q_{\text{б}} = 21 \cdot 13,6 = 290 \text{ Вт}.$$

Составляем тепловой баланс помещений, определяем тепловую нагрузку Q_P^{OT} , Вт, по формулам (6) и (7), сводим полученные данные в таблицу 12.

Таблица 12 - Тепловой баланс помещений

Номер помещения	Q_O , Вт	Q_{II} , Вт	Q_B , Вт	$Q_{\text{б}}$, Вт	Тепловая нагрузка, Q_P^{OT}
101	820	470	520	290	1050
201	670	410	520	290	900
301	830	360	520	290	1060
А	1940	260	-	-	2200

Задача 3. Тепловой расчет отопительных приборов

Определить типоразмер отопительных приборов, присоединенных к одному из открыто проложенных стояков системы отопления пятиэтажного здания.

Исходные данные. Схемы присоединения отопительных приборов к стоякам (схема А - с верхней разводкой, Б - с нижней разводкой) – рис.3; геометрические размеры теплопроводов и параметры теплоносителя – табл.13; тепловая нагрузка отопительных приборов – табл.14; теплоотдача открыто проложенных неизолированных труб – табл. 15; характеристика отопительных приборов – табл.16.

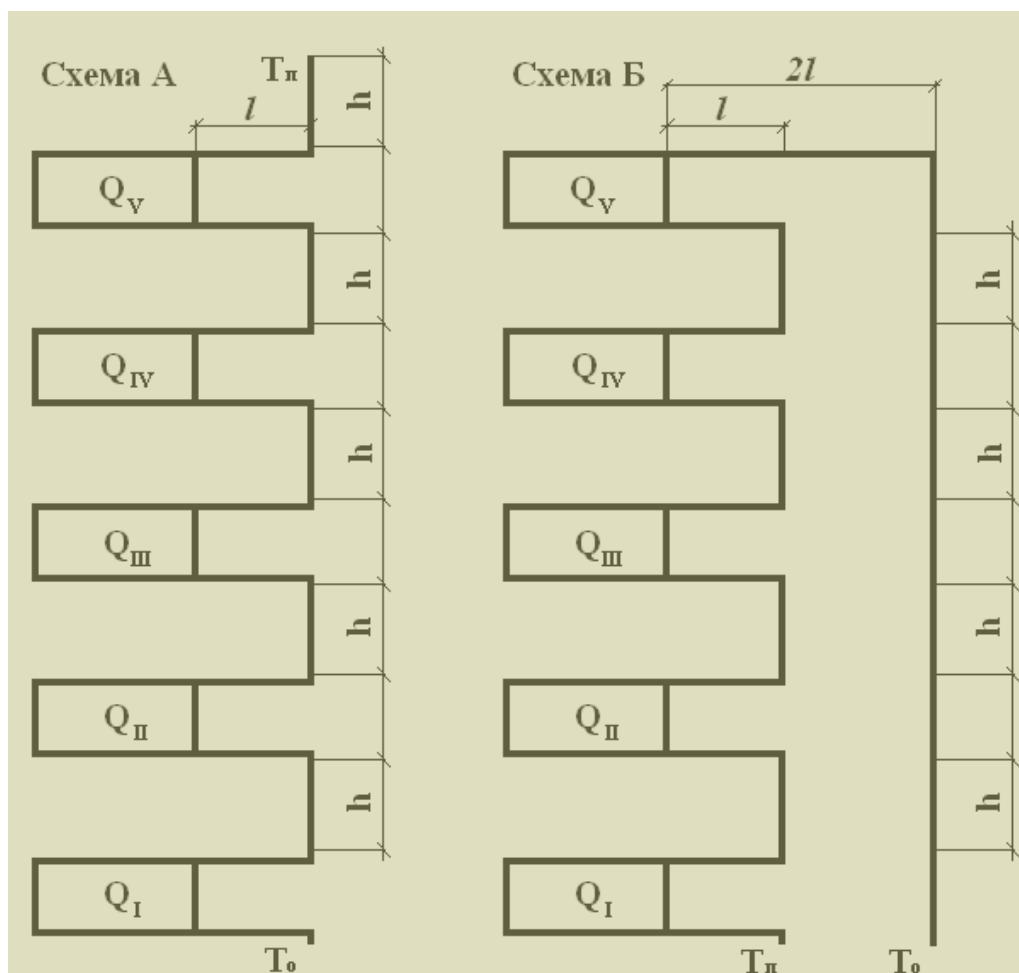


Рисунок 3 - Схемы присоединения отопительных приборов

Таблица 13 - Геометрические размеры теплопроводов и параметры теплоносителя

Последняя цифра шифра зачетной книжки										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$h, м$	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8
$l, м$	0,3	0,35	0,4	0,45	0,45	0,4	0,35	0,3	0,3	0,35
Схема	А	А	А	А	А	Б	Б	Б	Б	Б
Тепло-носитель	105/ 70	95/ 70	95/ 70	105/ 70	105/ 70	95/ 70	95/ 70	105/ 70	105/ 70	95/ 70

Таблица 14 - Тепловая нагрузка отопительных приборов

Предпоследняя цифра шифра зачетной книжки										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q_I, Вт$	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1550
$Q_{II}, Вт$	800	850	950	1000	1000	950	850	800	850	950
$Q_{III}, Вт$	800	850	950	1000	1000	950	850	800	850	950
$Q_{IV}, Вт$	800	850	950	1000	1000	950	850	800	850	950
$Q_V, Вт$	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500	1450	1400	1350

Примечание. Для всех вариантов температура внутреннего воздуха в помещениях $t_{int} = 20^{\circ}\text{C}$.

Таблица 15 - Теплоотдача открыто проложенных неизолированных труб, Вт/м (вертикальных - верхняя строка, горизонтальных - нижняя)

$t_{TP} - t_{int},$ $^{\circ}\text{C}$	Теплоотдача 1 м трубы, Вт, через 1°C									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
40	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
	39	40	41	42	43	44	45	47	48	49
50	37	38	39	41	42	43	44	45	46	47
	50	51	52	53	55	57	58	59	60	62
60	48	49	50	51	52	53	55	56	57	58
	63	65	66	67	69	70	72	73	74	76
70	59	60	63	63	64	65	66	67	69	70
	77	78	80	81	83	84	86	87	88	90
80	71	72	73	74	76	77	78	79	80	81
	92	93	94	96	98	99	101	102	104	105
90	83	84	85	86	87	88	90	91	93	94
	107	108	110	112	113	115	116	118	120	121

Пример расчета

По таблице 13 определяем $h=2,8$ м, $l=0,3$ м, схема А, параметры теплоносителя $105/70^{\circ}\text{C}$. Тепловую нагрузку отопительных приборов определяем по таблице 14 $Q_I=1100\text{Вт}$, $Q_{II}=800\text{Вт}$, $Q_{III}=800\text{Вт}$, $Q_{IV}=800\text{Вт}$, $Q_V=1200\text{Вт}$. Используя схему А (рис.3) производим расчет.

1. Вычерчиваем схему расчетного стояка и указываем тепловую мощность отопительных приборов.

2. Выявляем тепловую нагрузку на стояк Q_{CT} , Вт.

$$Q_{CT} = 4700 \text{ Вт.}$$

3. Определяем количество теплоносителя G_{TP} , кг/ч, проходящего через отопительный прибор в течение часа по формуле (14):

$$G_{TP} = 1 \cdot \frac{3,6 \cdot 4700 \cdot 1,02 \cdot 1,03}{4,187(105 - 70)} = 121,3 \text{ кг/ч,}$$

где $\alpha = 1$, $\beta_1 = 1,02$, $\beta_2 = 1,03$ по [6], $c = 4,187 \text{ кДж/(кг } ^{\circ}\text{C)}$.

4. Производим расчет отопительного прибора верхнего этажа по формулам (15) и (16):

$$t_{BX} = 105 - \frac{3,6 \cdot 0 \cdot 1,02 \cdot 1,03}{4,187 \cdot 121,3} = 105^{\circ}\text{C}$$

$$t_{ВЫХ} = 105 - \frac{3,6 \cdot 1200 \cdot 1,02 \cdot 1,03}{4,187 \cdot 121,3} = 96,1^{\circ}\text{C}.$$

$$\Delta t = \frac{105 + 96,1}{2} - 20 = 80,6^{\circ}\text{C}.$$

5. Комплексный коэффициент φ рассчитываем по формуле (17):

$$\varphi = \left(\frac{80,6}{70} \right)^{1+0,3} \cdot \left(\frac{121,3}{360} \right)^{0,07} \cdot 1 = 1,113,$$

где $n = 0,3$, $p = 0,07$, $b = 1$.

6. Открыто проложенные теплопроводы на верхнем этаже имеют параметры: при $t_{TP}=105^{\circ}\text{C}$, $l_B=2,8$ м, $l_I=0,3$ м, при $t_{TP}=96,1^{\circ}\text{C}$, $l_I=0,3$ м. Определяем теплоотдачу по формуле (18): $Q_{TP} = (99 \cdot 0,3) + (77 \cdot 2,8) + (86 \cdot 0,3) = 271$ Вт, исходя из таблицы 15.

7. Требуемый тепловой поток q_{TP} , Вт/м², рассчитываем по формуле (19):

$$q_{TP} = \frac{1200 - 0,9 \cdot 271}{1,113} = 860 \text{ Вт/м}^2.$$

8. По таблице 16 выбираем к установке настенный конвектор Блюз – 3 – 400-к, длина кожуха $l_{кож.} = 810$ мм.

Таблица 16 - Технические характеристики отопительных приборов. Конвектор настенный с кожухом "Блюз"

Наименование прибора	Высота кожуха, мм	Длина кожуха, мм	Номинальный тепловой поток, q , Вт
Блюз – 250 - к; Блюз – 250 - п	250	486	404
Блюз – 1 – 250 - к; Блюз – 1 – 250 - п		594	527
Блюз – 2 – 250 - к; Блюз – 2 – 250 - п		702	643
Блюз – 3 – 250 - к; Блюз – 3 – 250 - п		810	765
Блюз – 4 – 250 - к; Блюз – 4 – 250 - п		918	892
Блюз – 5 – 250 - к; Блюз – 5 – 250 - п		1026	1012
Блюз – 6 – 250 - к; Блюз – 6 – 250 - п		1134	1135
Блюз – 7 – 250 - к; Блюз – 7 – 250 - п		1242	1260
Блюз – 400 - к; Блюз – 400 - п	400	486	463
Блюз – 1 – 400 - к; Блюз – 1 – 400 - п		594	607
Блюз – 2 – 400 - к; Блюз – 2 – 400 - п		702	756
Блюз – 3 – 400 - к; Блюз – 3 – 400 - п		810	898
Блюз – 4 – 400 - к; Блюз – 4 – 400 - п		918	1047
Блюз – 5 – 400 - к; Блюз – 5 – 400 - п		1026	1195
Блюз – 6 – 400 - к; Блюз – 6 – 400 - п		1134	1344
Блюз – 7 – 400 - к; Блюз – 7 – 400 - п		1242	1484

Примечание: концевой с индексом – к; проходной с индексом - п.

Аналогично проводим тепловой расчет остальных отопительных приборов – табл. 17.

Таблица 17 – Тепловой расчет отопительных приборов

Этаж	Q , Вт	t_{BX} , °C	$t_{ВЫХ}$, °C	Δt , °C	φ	Q_{TP} , Вт	q_{TP} , Вт/м ²	Прибор
5	1200	105	96,1	80,6	1,113	271	860	Блюз–3–400-к; $l_{КОЖ} = 810$ мм
4	800	96,1	90,0	73,1	0,981	234	601	Блюз–1–400-к; $l_{КОЖ} = 594$ мм
3	800	90,0	84,1	67,1	0,877	209	698	Блюз–2–400-к; $l_{КОЖ} = 702$ мм
2	800	84,1	78,2	61,2	0,778	184	815	Блюз–3–400-к; $l_{КОЖ} = 810$ мм
1	1100	78,2	70,0	54,1	0,663	162	1439	Блюз–7–400-к; $l_{КОЖ} = 1242$ мм

Задача 4. Гидравлический расчет системы отопления

Выполнить гидравлический расчет основного циркуляционного кольца вертикальной однотрубной проточной системы отопления с верхней разводкой для трехэтажного жилого здания, в качестве отопительных приборов используются конвекторы «Универсал».

Исходные данные. Схема системы отопления в аксонометрической проекции – рис.4. Геометрические размеры трубопроводов – табл. 18; значения располагаемого давления и тепловой нагрузки – табл.19.

Таблица 18 - Геометрические размеры трубопроводов

Последняя цифра шифра зачетной книжки										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l , м	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2
h , м	2,9	3,0	3,1	3,1	3,0	2,9	2,8	2,8	2,9	3,0

Таблица 19 - Значения располагаемого давления и тепловой нагрузки

Предпоследняя цифра шифра зачетной книжки										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΔP , кПа	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	6,0
Q , Вт	650	700	750	800	850	650	700	750	800	850

Во всех вариантах в качестве теплоносителя используется вода с параметрами 95/70 °C. Таблица 20 содержит данные для гидравлического расчета, а коэффициенты местных сопротивлений (ξ) приведены в таблице 21.

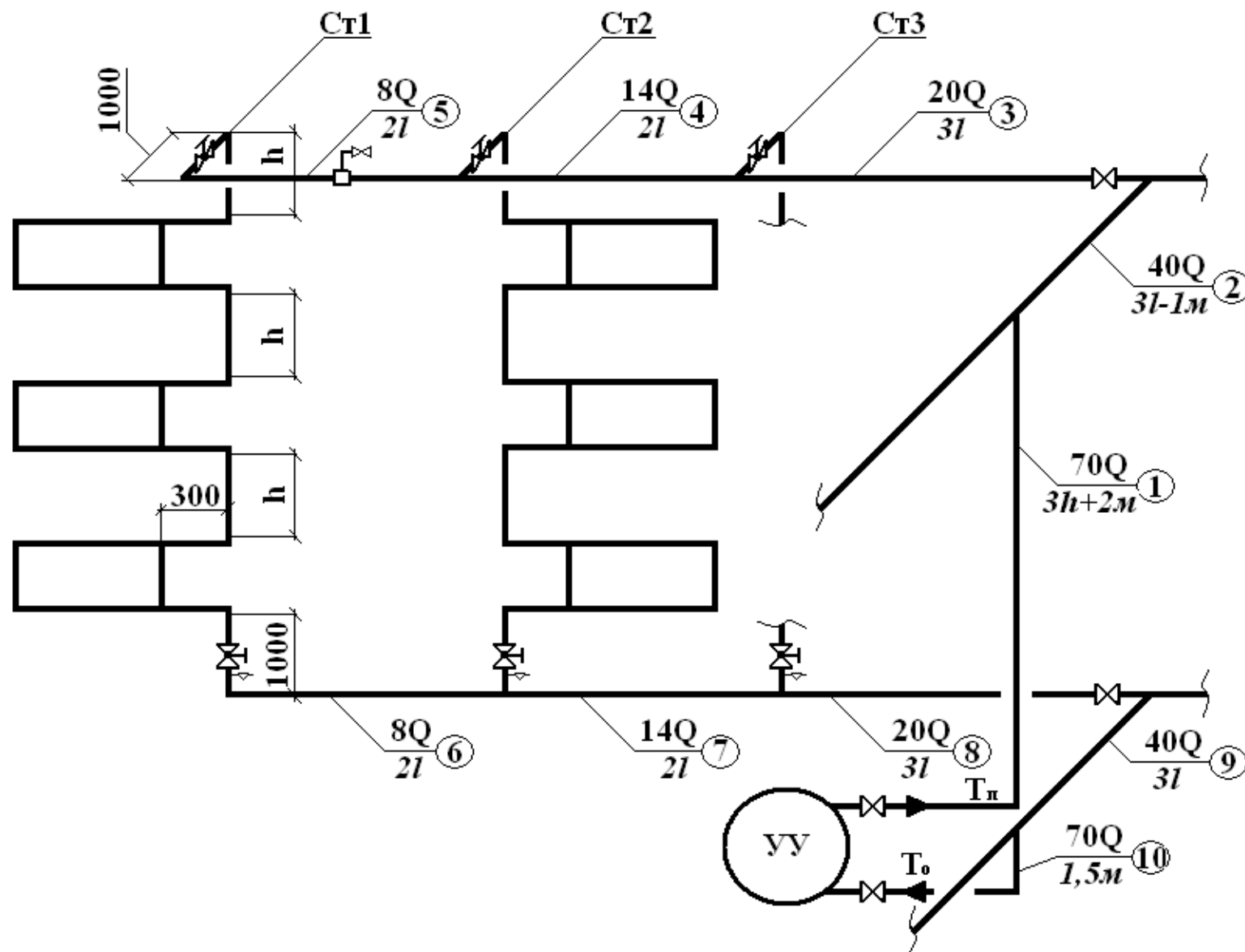


Рисунок 4 - Схема системы отопления в аксонометрической проекции

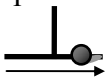
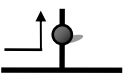
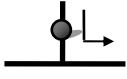
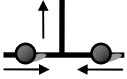
Таблица 20 – Данные для гидравлического расчета систем отопления трубопроводов водяного отопления при перепадах температуры воды в системе 95-70 °С, 105-70 °С

R, Па/м	Количество G, кг/ч (верхняя строка) и скорость движения воды, v, м/с (нижняя строка), проходящей по трубам стальным водогазопроводным обыкновенным условным проходом, d, мм						
	10	15	20	25	32	40	50
1	4,1	10,0	34,0	82,0	147	199	403
	0,009	0,015	0,027	0,04	0,041	0,043	0,052
2	8,1	20,0	60,9	102	204	294	592
	0,018	0,029	0,049	0,05	0,057	0,063	0,076
3	12,2	30,0	69,7	118	256	368	739
	0,028	0,044	0,056	0,058	0,071	0,079	0,095
4	16,2	39,2	75,9	139	300	431	865
	0,037	0,057	0,061	0,068	0,084	0,092	0,111
5	20,3	43,3	80,3	158	339	486	974
	0,046	0,046	0,064	0,077	0,095	0,104	0,125
6	24,3	46,0	88,6	174	374	537	1076
	0,056	0,067	0,071	0,085	0,105	0,115	0,138
7	28,4	48,8	96,6	189	408	584	1169
	0,064	0,071	0,077	0,093	0,114	0,125	0,150
8	31,1	50,8	104	204	438	628	1256
	0,071	0,074	0,083	0,100	0,122	0,135	0,161
9	32,4	52,9	111	218	467	670	1338
	0,074	0,077	0,089	0,107	0,130	0,143	0,171
10	34,2	56,9	118	230	495	709	1416
	0,078	0,080	0,094	0,113	0,138	0,152	0,181
12	36,4	56,9	130	254	545	780	1558
	0,083	0,083	0,104	0,125	0,152	0,167	0,200
14	38,6	62,1	142	276	592	848	1691
	0,088	0,091	0,113	0,135	0,165	0,182	0,217
16	40,4	66,8	152	297	636	910	1815
	0,092	0,098	0,122	0,146	0,178	0,195	0,233
18	42,2	71,3	162	317	678	969	1932
	0,096	0,104	0,130	0,155	0,189	0,208	0,248
20	43,9	75,6	172	335	717	1025	2042
	0,100	0,110	0,138	0,164	0,200	0,219	0,262
24	45,5	83,4	189	369	789	1128	2246
	0,103	0,122	0,152	0,181	0,220	0,241	0,288
28	49,6	90,7	206	401	856	1224	2435
	0,112	0,132	0,165	0,196	0,239	0,262	0,312
32	53,4	97,6	221	430	919	1313	2611
	0,121	0,142	0,177	0,211	0,257	0,281	0,335
36	56,9	104	236	458	978	1396	2777
	0,129	0,152	0,189	0,225	0,273	0,299	0,356

Окончание таблицы 20

R, Па/м	Количество G, кг/ч (верхняя строка) и скорость движения воды, v, м/с (нижняя строка), проходящей по трубам стальным водогазопроводным обыкновенным условным проходом, d, мм						
	10	15	20	25	32	40	50
40	60,3	110	249	484	1033	1476	2934
	0,137	0,161	0,200	0,237	0,289	0,316	0,376
50	67,9	124	280	544	1160	1656	3920
	0,154	0,181	0,224	0,267	0,324	0,355	0,422
60	74,9	136	308	599	1276	1821	3617
	0,170	0,199	0,247	0,294	0,356	0,390	0,463
70	81,4	148	335	649	1383	1973	3917
	0,185	0,217	0,268	0,318	0,386	0,423	0,502
80	87,5	159	359	696	1482	2115	4197
	0,198	0,223	0,288	0,341	0,414	0,453	0,538
90	93,1	169	382	741	1576	2248	4460
	0,211	0,248	0,306	0,363	0,440	0,481	0,571
100	98,0	179	404	783	1664	2374	4708
	0,223	0,262	0,324	0,384	0,465	0,508	0,603
120	108	197	444	860	1827	2606	5168
	0,246	0,288	0,356	0,421	0,510	0,558	0,662
140	117	213	481	931	1979	2822	5593
	0,267	0,312	0,385	0,457	0,553	0,604	0,717

Таблица 21 - Коэффициенты местных сопротивлений для гидравлического расчета системы отопления

Наименование местного сопротивления	ξ	Наименование местного сопротивления	ξ	Наименование местного сопротивления	ξ
Конвекторы "Универсал" Проходной	3	Тройники:  на проходе	1	Вентиль d = 15 мм d = 20 мм d = 25-32 мм d = 40 мм d = 50 мм	16
Конвекторы "Универсал" Концевой	5,4	 поворотный на ответвление	1,5		10
Отвод d = 15 мм d = 20 мм d = 25-32 мм d = 40 мм d = 50 мм	0,8 0,6 0,5 0,4 0,3	 на разделение потока	3	 тройник поворотный	3
Задвижка	0,5	 на противотоке	3	Кран проходной d = 15 мм d = 20-32 мм	4 2

Пример расчета

По таблицам 18 и 19 определяем исходные данные: $l=2,3$ м, $h=2,9$ м, $\Delta P=4,0$ кПа, $Q=650$ Вт. Используя рисунок 4, а также для определения значения скорости, v , м/с, и удельных потерь давления на трение R , Па/м (табл.20), заполняем таблицу 22. Предварительно определяем $R_{CP}^{уд}$, Па/м, по формуле (21):

$$R_{CP}^{yD} = \frac{0,65 \cdot 4000}{69,7} = 37 \text{ Па/м.}$$

Таблица 22 - Гидравлический расчет системы отопления

[illegible]

Для определения коэффициентов местных сопротивлений на участках используем рисунок 4, таблицу 21 и принятый диаметр. Заполняем таблицу 23.

Таблица 23 - Коэффициенты местных сопротивлений

Номер участка	Наименование местного сопротивления	ξ	Номер участка	Наименование местного сопротивления	ξ
1	задвижка	0,5	8	вентиль d=25мм	9
	отвод d=50мм	0,3		тройник на противотоке	3
		$\Sigma 0,8$			$\Sigma 12$
2	тройник на разделение потока	3	9	тройник на противотоке	3
3	тройник на разделение потока	3	10	отвод d=50мм	0,3
	вентиль d=25мм	9		задвижка	0,5
		$\Sigma 12$			$\Sigma 0,8$
4	тройник на проходе	1	стояк 2	тройник поворотный на ответвление	1,5
5	тройник на проходе	1			
	воздухосборник	1,5			
стояк 1		$\Sigma 2,5$		отвод d=20мм	7x0,6
	отвод d=20мм	9x0,6		кран проходной d=20мм	2x2
	кран проходной d=20мм	2x2		конвектор концевой	3x5,4
	конвектор концевой	3x5,4		тройник поворотный	3
		$\Sigma 25,6$			$\Sigma 28,9$
6	тройник на проходе	1			
7	тройник на проходе	1			

Задача 5. Аэродинамический расчет системы естественной вентиляции

Выполнить аэродинамический расчет системы естественной вентиляции.

Исходные данные. Схема системы естественной вентиляции в аксонометрической проекции – рис.5. Количество удаляемого воздуха – табл. 24, геометрические размеры воздушных каналов – табл.25.

Таблица 24 - Количество удаляемого воздуха

	Последняя цифра шифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L_1, \text{м}^3/\text{ч}$	90	85	75	90	75	85	90	75	85	90
$L_2, \text{м}^3/\text{ч}$	90	85	75	90	75	85	90	75	85	85
$L_3, \text{м}^3/\text{ч}$	90	85	75	90	75	85	90	75	85	75
$L_4, \text{м}^3/\text{ч}$	50	60	65	60	50	65	65	60	50	65
$L_5, \text{м}^3/\text{ч}$	50	60	65	60	50	65	65	60	50	60
$L_6, \text{м}^3/\text{ч}$	50	60	65	60	50	65	65	60	50	50

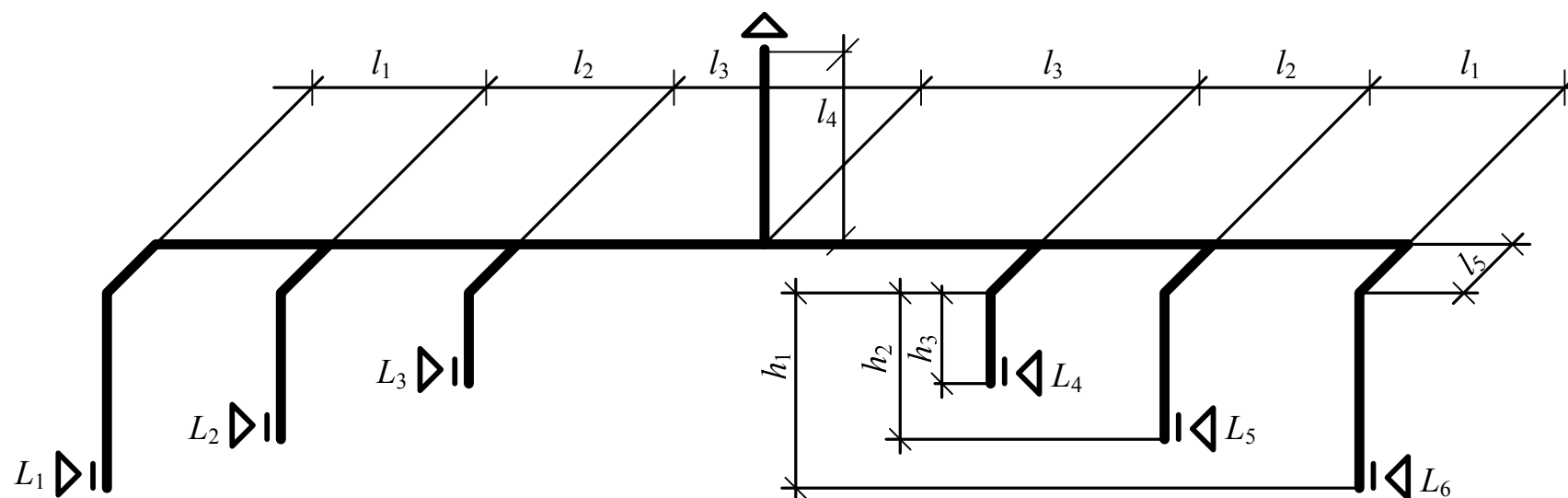


Рисунок 5 - Схема системы естественной вентиляции в аксонометрической проекции

Таблица 25 - Геометрические размеры воздушных каналов

Размеры, м	Предпоследняя цифра шифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
l_1	1,0	1,5	2,0	2,5	2,5	2,0	1,5	1,0	1,5	2,0
l_2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
l_3	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5	2,0	2,5
l_4	4,0	4,5	5,0	5,0	4,5	4,0	4,0	4,5	5,0	5,0
l_5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
h_1	6,5	6,4	6,3	6,4	6,7	6,5	6,4	6,3	6,4	6,7
h_2	3,5	3,5	3,5	3,6	3,8	3,5	3,5	3,5	3,6	3,8
h_3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Во всех вариантах вертикальные каналы выполнены из шлакобетона, сборный короб из шлакогипса, устье вытяжной шахты из листовой стали, а температура внутреннего воздуха равна 20 °С. Размеры жалюзийных решеток приведены в таблице 26, размеры прямоугольных каналов приведены в таблице 27, таблица 28 содержит коэффициенты учитывающие шероховатость материалов, а таблица 29 данные для аэродинамического расчета.

Таблица 26 - Размеры жалюзийных решеток

Размеры сторон, мм	Площадь живого сечения, м ²	Размеры сторон, мм	Площадь живого сечения, м ²
100 x 100	0,0087	200 x 200	0,0231
150 x 150	0,0130	200 x 250	0,0289
150 x 200	0,0173	200 x 300	0,0346
150 x 250	0,0217	250 x 250	0,0361
150 x 300	0,0260	200 x 350	0,0405

Таблица 27 - Размеры прямоугольных каналов

Размеры сторон, мм	Площадь сечения воздуховода, м ²	Размеры сторон, мм	Площадь сечения воздуховода, м ²
100 x 150	0,015	200 x 250	0,05
150 x 150	0,0255	200 x 300	0,06
150 x 200	0,03	200 x 400	0,08
150 x 250	0,0375	250 x 250	0,0625
200 x 200	0,04	250 x 400	0,1

Таблица 28 - Поправочные коэффициенты β на потери давления на трение, учитывающие шероховатость материалов воздуховодов

v , м/с	Шлакогипсовые плиты	Шлакобетонные плиты
0,2	1,04	1,06
0,4	1,08	1,11
1	1,19	1,23
2	1,25	1,35
3	1,32	1,43

Таблица 29 - Расчет круглых стальных воздуховодов

$v^2_{г/2}$, Па	v, м/с	Количество проходящего воздуха, м ³ /ч (верхняя строка) и потери давления на трение, Па/м (нижняя строка)						
		внутренний диаметр воздуховода, мм						
		110	140	160	225	315	400	500
0,054	0,3	10,2	16,8	21,7	10,0	24,0	136	212
		0,02	0,02	0,01	0,01	0,006	0,005	0,004
0,096	0,4	13,7	22,1	28,9	57,2	112	181	283
		0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,08	0,006
0,150	0,5	17,1	27,7	36,2	71,5	140	226	353
		0,06	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,009
0,215	0,6	20,5	33,2	43,4	85,8	168	271	424
		0,08	0,06	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01
0,294	0,7	23,9	38,8	50,6	100	196	317	401
		0,1	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
0,382	0,8	27,3	44	57,9	114	224	362	458
		0,13	0,1	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02
0,490	0,9	30,8	49,8	65,1	129	252	407	515
		0,16	0,12	0,1	0,07	0,04	0,03	0,03
0,600	1,0	34,2	56,4	72,3	143	280	452	707
		0,19	0,14	0,12	0,08	0,05	0,04	0,03
0,860	1,2	41	66,5	86,8	172	376	543	848
		0,26	0,2	0,17	0,11	0,07	0,05	0,04
1,177	1,4	47,9	77,5	101	200	393	633	989
		0,34	0,26	0,22	0,14	0,09	0,07	0,05
1,540	1,6	54,7	88,6	116	229	449	723	1130
		0,44	0,32	0,27	0,18	0,12	0,07	0,07
1,940	1,8	61,5	99,7	130	268	505	814	1272
		0,54	0,4	0,34	0,23	0,15	0,11	0,08
2,400	2,0	68,4	111	145	286	561	904	1413
		0,65	0,48	0,41	0,24	0,15	0,11	0,09

Коэффициенты местных сопротивлений (ξ) для тройников приведены в таблице 30. Аэродинамический расчет системы естественной вентиляции приведен в таблице 31.

Коэффициенты местных сопротивлений для аэродинамического расчета

1. Тройник под углом 90° на вытяжке воздуха

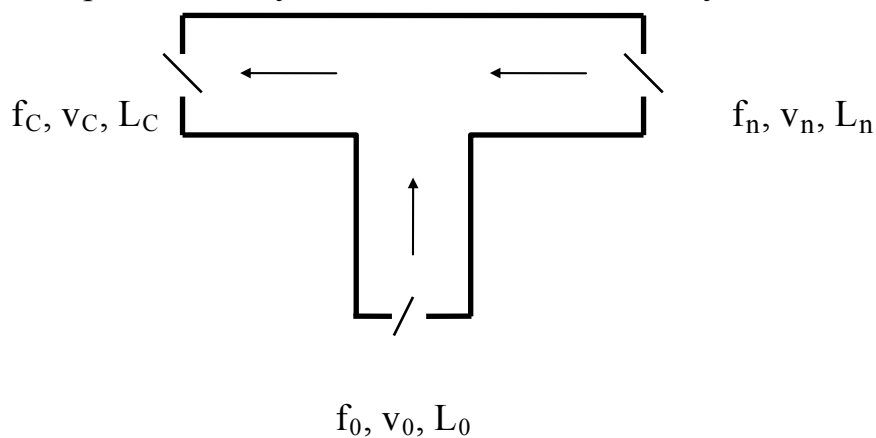


Таблица 30 - Коэффициенты местных сопротивлений для тройников

L_0/L_c F_0/F_Π	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
0,1	0,3	0,9	1	1	1	1	1	1
	0,2	0,5	0,9	1,5	2,5	4,4	8,4	20
0,2	-1,7	0,6	1	1	1	1	1	1
	0,2	0,4	0,8	1,3	2,1	3,7	7,1	16,7
0,4	-2,4	-0,6	0,7	1	1,1	1,1	1,1	1,1
	0,2	0,4	0,6	1	1,6	2,8	5,2	12,3
0,6	-21	-2,7	0,1	0,9	1,1	1,2	1,2	1,2
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,3	2,2	4,1	9,5
0,8	-37	-5,5	-0,7	0,6	1,1	1,3	1,3	1,3
	0,3	0,4	0,5	0,7	1,1	1,8	3,3	7,6

Примечание: верхняя строка - ξ_0 , нижняя строка - ξ_n .

2. Отвод 90° $\xi = 1,2$

3. Вытяжная шахта $\xi = 1,3$

4. Жалюзийная решетка $\xi = 1,2$

Таблица 31 - Аэродинамический расчет системы естественной вентиляции

Номер участка	L , м ³ /ч	l , м	$a \cdot b$, мм	$d_{\text{э}}$, мм	F , м ²	V , м/с	R , Па/м	β	$\beta R \cdot l$, Па	$P_{\text{дин}}$, Па	$\Sigma \xi$	Z , Па	$(\beta R \cdot l) + Z$, Па
Расчет при $L_4 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$ $\Delta P^P = 9,81 \cdot (l_4 + h_3) \cdot (\rho_5 - \rho_{\text{int}}) = 9,81 \cdot (4,0 + 0,5) \cdot (1,27 - 1,21) = 2,65 \text{ Па}$													
ж.р.	50	-	150x200	-	0,0173	0,803	-	-	-	0,390	1,2	0,468	0,468
1	50	1,0	150x200	171	0,03	0,46	0,06	1,16	0,07	0,128	2,1	0,269	0,339
2	150	2,0	200x300	243	0,06	0,69	0,04	1,16	0,09	0,288	1,2	0,346	0,436
3	420	4,0	250x400	308	0,1	1,17	0,07	1,0	0,28	0,828	1,3	1,076	1,356
													$\Sigma 2,599$
$\Delta = \frac{2,65 - 2,599}{2,65} \cdot 100\% = 1,92\% < 10\%$ условие выполняется													
Расчет при $L_5 = 50 \text{ м}^3/\text{ч}$ $\Delta P^P = 9,81 \cdot (l_4 + h_2) \cdot (\rho_5 - \rho_{\text{int}}) = 9,81 \cdot (4,0 + 3,5) \cdot (1,27 - 1,21) = 4,42 \text{ Па}$													
ж.р.	50	-	150x150	-	0,0130	1,068	-	-	-	0,690	1,2	0,828	0,828
4	50	4,0	150x150	150	0,0255	0,55	0,05	1,14	0,228	0,183	2,3	0,421	0,649
5	100	1,0	150x200	171	0,03	0,93	0,1	1,17	0,117	0,523	1,1	0,575	0,692
2	150	2,0	200x300	243	0,06	0,69	0,04	1,16	0,09	0,288	1,2	0,346	0,436
3	420	4,0	250x400	308	0,1	1,17	0,07	1,0	0,28	0,828	1,3	1,076	1,356
													$\Sigma 3,961$
$\Delta = \frac{4,42 - 3,961}{2,65} \cdot 100\% = 17,3\% < 10\%$ условие не выполняется, выполняем пересчет участка 5													
5	100	1,0	150x150	150	0,0255	1,09	0,15	1,2	0,180	0,719	1,1	0,791	0,971
													$\Sigma 4,24$
$\Delta = \frac{4,42 - 4,24}{2,65} \cdot 100\% = 6,8\% < 10\%$ условие выполняется. Аналогично производится расчет остальных узлов.													

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. / ГОССТРОЙ РОССИИ. – М.: ФГУП ЦНС, 2004 - 71 с.
2. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий. / ГОССТРОЙ РОССИИ. – М.: ФГУП ЦНС, 2004 - 28 с.
3. СНиП 23-01-99* Строительная климатология. / ГОССТРОЙ РОССИИ. – М.: ФГУП ЦНС, 2003 - 70 с.
4. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. / ГОССТРОЙ РОССИИ. – М.: МНТКС, 1999 - 12 с.
5. Тихомиров К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Пром. и граждан. стр-во» / К.В. Тихомиров, Э.С. Сергеев. - Изд. 5-е. М.: Бастет. 2007. – 480с.
6. Богословский В.Н. Внутренние санитарно-технические устройства: В 3 ч. Ч. 1: Отопление / В.Н. Богословский [и др.]: под ред. И.Г. Старовойтова, Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – Курган: Интеграл, 2008. – 344с. – (Справочник проектировщика).
7. Хрусталева Б.М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование: учеб. пособие / Б.М. Хрусталева [и др.]: ред. Б.М. Хрусталева. – 3-е изд., испр. и доп. – М: Изд-во АСВ. 2010. – 783с.
8. Росс Д. Проектирование систем ОВК высотных общественных многофункциональных зданий [Текст] / Дональд Росс. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2004. – 166с. – Перевод изд.: HVAC Design Guide for Tall Commercial Buildings / Donald E. Ross. Atlanta, 2004. – 5000 экз.
9. Инженерные сети систем теплоснабжения и вентиляции: метод. указания к контрольной работе для студентов специальности 290300 – «Промышленное и гражданское строительство» / сост.: И.Б. Оленев, А.И. Авласевич, В.С. Курносов. – Красноярск: КрасГАСА, 2003. – 36с.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие положения	3
Теплотехнический расчет	3
Расчет теплопотерь	5
Расчет отопительных приборов	9
Гидравлический расчет системы отопления	11
Аэродинамический расчет системы естественной вентиляции	13
Задача 1	16
Задача 2	19
Задача 3	23
Задача 4	27
Задача 5	32
Список использованных источников	38

