

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ
РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
(ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ С ОСНОВАМИ ТЕПЛОТЕХНИКИ)**

Направление подготовки – 08.03.01 Строительство

Направленность (профиль) Проектирование зданий

Ставрополь

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Практическое занятие №1 Расчет теплопроводности в плоских стенках	4
Практическое занятие №2 Расчет теплопроводности в цилиндрических стенках.....	10
Практическое занятие №3 Расчет процессов теплопередачи и конвективного теплообмена около горизонтальной трубы	19
Практическое занятие №4 Расчет теплообменных аппаратов.....	26
Практическое занятие №5 Определение требуемой толщины теплоизоляционного слоя строительной конструкции	40
Практическое занятие № 6 Расчет теплотерь здания	57
Практическое занятие №7 Гидравлический расчет системы отопления жилого здания	75
Практическое занятие №8 Расчет системы естественной вентиляции.....	86
Практическое занятие №9 Расчет механической вытяжной системы вентиляции производственного цеха.	104

ВВЕДЕНИЕ

Инженерные системы зданий и сооружений – это функционально законченный комплекс технических средств, предназначенный для создания и поддержания условий, при которых наиболее эффективно осуществляется работа оборудования и жизнедеятельность людей. Функционирование зданий и прочих сооружений напрямую зависит от качества выполнения работ по проектированию и монтажу сетей этих систем.

Целью изучения дисциплины «Инженерные системы зданий и сооружений: (теплогазоснабжение с основами теплотехники)» является формирование компетенций ОПК-3; ОПК-4; ОПК-6.

Задачей дисциплины «Инженерные системы зданий и сооружений: (теплогазоснабжение с основами теплотехники)» является формирование у студентов твердых знаний и навыков расчетов элементов инженерных систем теплоснабжения в промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве.

Практическое занятие №1

Расчет теплопроводности в плоских стенках.

Цель: Изучить основные закономерности кондуктивного теплообмена и научиться их применять для расчетов в практических случаях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

Знать: основные сведения об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии (ОПК-3)

Уметь: выбирать метод или методику решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Владеть: навыком решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Знать: основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Уметь: выявлять основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Владеть: навыком выявления основных требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Знать: типовые проектные решения и технологического оборудования основных инженерных систем жизнеобеспечения здания в соответствии с техническими условиями (ОПК-6)

Уметь: определять базовые параметры теплового режима здания и производить расчётное обоснование режима работы инженерной системы жизнеобеспечения здания (ОПК-6)

Владеть: навыком определения основных параметров инженерных систем здания (ОПК-6)

Актуальность темы

Знание процессов теплопроводности необходимо для расчета теплозащитных свойств ограждающих конструкций, грамотного проектирования инженерных систем обеспечения микроклимата зданий и сооружений.

1.1. Теоретическая часть

Механизм кондуктивного способа теплообмена (теплопроводности) заключается в следующем: тепловая энергия в виде механического импульса колебательного движения молекул передается от одной молекулы к другой, и

так по цепочке, например, от одной поверхности тела к другой. При этом плотность теплового потока, проходящего через тело, прямо пропорциональна градиенту температуры внутри этого тела (закон Фурье).

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad } t}, \quad (1.1)$$

где q – удельный тепловой поток (плотность теплового потока), Вт/м^2 ; $\text{grad } t$ – градиент температуры, характеризующий напряженность температурного поля в теле, $^{\circ}\text{C/м}$.

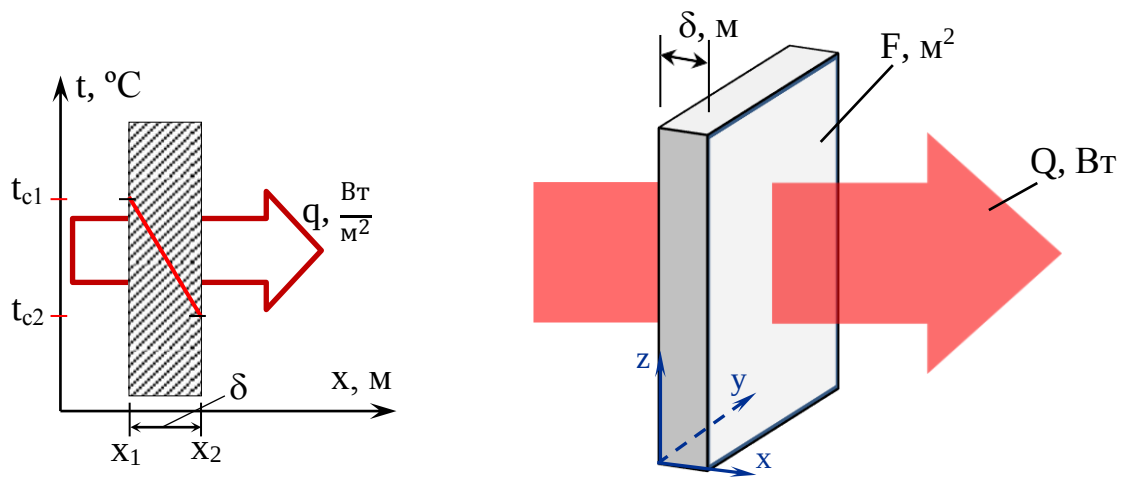
Градиент температуры показывает, насколько резко меняется температура по основным осям в пространстве. В общем случае это дифференциальная величина:

$$\text{grad } t = \frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} + \frac{\partial t}{\partial z}. \quad (1.2)$$

В самом простом случае, когда температурное поле одномерно (т.е. температура изменяется только вдоль одной оси, $\frac{\partial t}{\partial y} = 0$ и $\frac{\partial t}{\partial z} = 0$) уравнение теплопроводности (Фурье) может быть записано для плоской стенки в виде

$$q = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x}. \quad (1.3)$$

В уравнении имеется некий коэффициент пропорциональности λ , который характеризует физическую способность тела к пропусканию тепла и называется коэффициентом теплопроводности.



В практических инженерных расчетах используется уравнение в интегральном виде. Для случая теплопроводности в плоской стенке, уравнение имеет следующий интегральный вид:

$$q = \lambda \cdot \frac{\Delta t}{\delta}, \left(\frac{Вт}{м^2} \right) \quad (1.4)$$

где $\Delta t = (t_{c1} - t_{c2})$ – разность температур между поверхностями стенки, °С;
 $\delta = (x_2 - x_1)$ – толщина плоской стенки, м.

Величины полного и удельного теплового потока связаны уравнением:

$$Q = q \cdot F, \text{ Вт}. \quad (1.5)$$

где q – тепловой поток проходящий через 1 м^2 площади стенки (это удельный тепловой поток или плотность теплового потока), $Вт/м^2$; F – площадь стенки, $м^2$; Q – полный тепловой поток проходящий через всю стенку площадью F , $Вт$.

Термическое сопротивление для плоской стенки определяется по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \left(\frac{м^2 К}{Вт} \right) \quad (1.6)$$

Уравнение Фурье, записанное через соответствующее выражение термического сопротивления, для удельного и полного теплового потока:

$$q = \frac{\Delta t}{R}, \left(\frac{Вт}{м^2} \right) \quad \text{и} \quad Q = \frac{\Delta t}{R} \cdot F, (Вт) \quad (1.7)$$

Если расчет ведется для многослойной стенки, состоящей из слоев разного материала и разной толщины, то в уравнении Фурье необходимо учитывать сумму термических сопротивлений всех слоев:

$$Q = \frac{\Delta t}{\Sigma R} \cdot F, \quad (Вт)$$
(1.8)

где Δt – разность температур между крайними поверхностями многослойной плоской стенки, °С.

1.2. Вопросы и задания

Задание 1.

Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена: а) из стали [$\lambda = 40 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$]; б) из бетона [$\lambda = 1,1 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$]; в) из диатомитового кирпича [$\lambda = 0,11 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$]. Во всех трех случаях толщина стенки $\delta = 50 \text{ мм}$. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными: $t_{c1} = 100^\circ\text{С}$ и $t_{c2} = 90^\circ\text{С}$.

Ответ. Для стальной стенки $q = 8000 \text{ Вт/м}^2$; для бетонной стенки $q = 220 \text{ Вт/м}^2$; для стенки из диатомитового кирпича $q = 22 \text{ Вт/м}^2$.

Задание 2.

Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной $\delta = 50 \text{ мм}$ $q = 70 \text{ Вт/м}^2$. Определить разность температур на поверхностях стенки и численные значения градиента температуры в стенке, если она выполнена: а) из латуни [$\lambda = 70 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$]; б) из красного кирпича [$\lambda = 0,7 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$]; в) из пробки [$\lambda = 0,07 \text{ Вт/(м}^\circ\text{С)}$].

Ответ. Для латунной стенки $\Delta t = 0,05 \text{ }^\circ\text{С}$ и $|\text{grad}t| = 1 \text{ }^\circ\text{С/м}$; для кирпичной стенки $\Delta t = 5 \text{ }^\circ\text{С}$ и $|\text{grad}t| = 100 \text{ }^\circ\text{С/м}$; для пробковой стенки $\Delta t = 50 \text{ }^\circ\text{С}$ и $|\text{grad}t| = 1000 \text{ }^\circ\text{С/м}$.

Задание 3.

Определить потерю теплоты Q , Вт, через стенку из красного кирпича длиной $l = 5$ м, высотой $h = 4$ м и толщиной $\delta = 0,25$ м, если температуры на поверхности стенки поддерживаются $t_{c1} = 110^\circ\text{C}$ и $t_{c2} = 40^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности красного кирпича $\lambda = 0,7$ Вт/($^\circ\text{C}$).

Ответ. Потери теплоты $Q = 3920$ Вт.

Задание 4.

Определить коэффициент теплопроводности материала стенки, если при толщине ее $\delta = 40$ мм и разности температур на поверхностях $\Delta t = 20$ $^\circ\text{C}$ плотность теплового потока $q = 145$ Вт/ м^2 .

Ответ. Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,29$ Вт/($^\circ\text{C}$).

Задание 5.

Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали 450 Вт/ м^2 . Температура поверхности под изоляцией $t_{c1} = 450^\circ\text{C}$, температура внешней поверхности изоляции $t_{c2} = 50^\circ\text{C}$. Определить толщину изоляции для двух случаев: а) изоляция выполнена из совелита, для которого

$$\lambda = 0,09 + 0,0000874 \cdot t ; \quad (1.9)$$

б) изоляция выполнена из асботермита, для которого

$$\lambda = 0,109 + 0,000146 \cdot t . \quad (1.10)$$

1.3. Список литературы

1. Богачев, В. В. (СевКавГТУ). Основы тепломассообмена : учеб. пособие / В. В. Богачев ; Мин-во образования и науки Рос. Федерации, ГОУ ВПО Сев. Кав. гос. техн. ун-т. - Ставрополь : Издательство СевКавГТУ, 2006. - 79 с.
2. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : [учеб. пособие] / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ИД МЭИ, 2008. - 196 с.

3. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учеб. пособие / А. А. Кудинов. - М. : Инфра-М, 2012. - 375 с.
4. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : учебник / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко. - Москва : ИНФРА-М, 2012. - 463, [1] с.
5. Стоянов, Н.И. Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен). Учебно-методическое пособие (курс лекций) / Н.И. Стоянов, С.С. Смирнов, А.В. Смирнова. Ставрополь, СКФУ. 2014.

Практическое занятие №2

Расчет теплопроводности в цилиндрических стенках.

Цель: Изучить основные закономерности кондуктивного теплообмена и научиться их применять для расчетов в практических случаях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

Знать: основные сведения об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии (ОПК-3)

Уметь: выбирать метод или методику решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Владеть: навыком решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Знать: основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Уметь: выявлять основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Владеть: навыком выявления основных требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Знать: типовые проектные решения и технологического оборудования основных инженерных систем жизнеобеспечения здания в соответствии с техническими условиями (ОПК-6)

Уметь: определять базовые параметры теплового режима здания и производить расчётное обоснование режима работы инженерной системы жизнеобеспечения здания (ОПК-6)

Владеть: навыком определения основных параметров инженерных систем здания (ОПК-6)

Актуальность темы

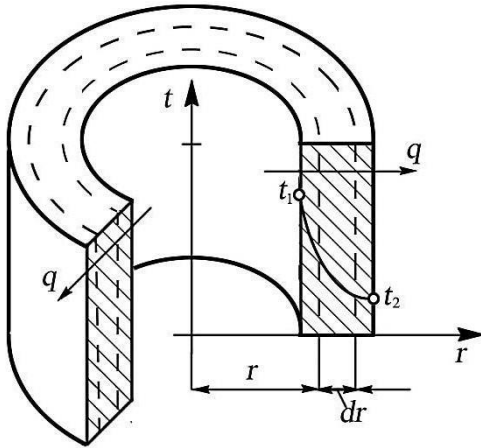
Знание процессов теплопроводности необходимо для расчета теплозащитных свойств ограждающих конструкций, грамотного проектирования инженерных систем обеспечения микроклимата зданий и сооружений.

2.1. Теоретическая часть

Уравнение Фурье для теплового потока, проходящего через цилиндрическую стенку

$$\vec{q} = -\lambda \cdot \overrightarrow{\text{grad } t}, \quad (2.1)$$

где q – плотность теплового потока, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$; $\text{grad } t$ – градиент температуры, характеризующий интенсивность изменения температуры вдоль толщины стенки, $\frac{1}{\text{м}}$



Для цилиндрической стенки градиент температуры можно представить в виде:

$$\text{grad } t = \frac{dt}{dr}$$

Полный тепловой поток, проходящий через всю площадь цилиндрической поверхности

$$Q = \dots \text{ Вт}$$

$$\text{где } S = \pi \cdot d \cdot L = 2\pi \cdot r \cdot L$$

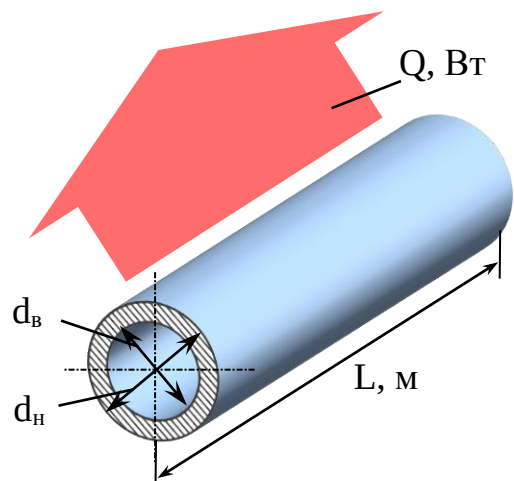
Тогда подставляя плотность теплового потока из уравнения (2.1) получаем:

$$Q = -2\pi\lambda \cdot dt \cdot \frac{r}{dr} \cdot L$$

Интегрирование этого выражения дает следующее уравнение теплопроводности для цилиндрической стенки:

$$Q = \frac{\Delta t}{\frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{d_n}{d_e}\right)} \cdot L, \quad (\text{Вт}) \quad (2.2)$$

где d_n и d_e – наружный и внутренний диаметры цилиндрической стенки, м; $\Delta t = (t_{c1} - t_{c2})$ – разность температур между внутренней и наружной поверхностью цилиндрической стенки, °С; L – длина цилиндра, м; Q – полный поток проходящий через стенку цилиндра длиной L , Вт.



Величина термического сопротивления цилиндрической стенки определяется из соотношения:

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln \left(\frac{d_n}{d_s} \right), \quad \left(\frac{m^{\circ}C}{Bm} \right); \quad (2.3)$$

Уравнение Фурье, записанное через выражение термического сопротивления для удельного и полного теплового потока, будет выглядеть так:

$$q = \frac{\Delta t}{R}, \quad \left(\frac{Bm}{m} \right); \quad \text{и} \quad Q = q \cdot L \quad \text{или} \quad Q = \frac{\Delta t}{R} \cdot L \quad (Bm). \quad (2.4)$$

Если расчет ведется для многослойной цилиндрической стенки, состоящей из слоев разного материала, разной толщины, то в уравнении Фурье необходимо учитывать сумму термических сопротивлений всех слоев:

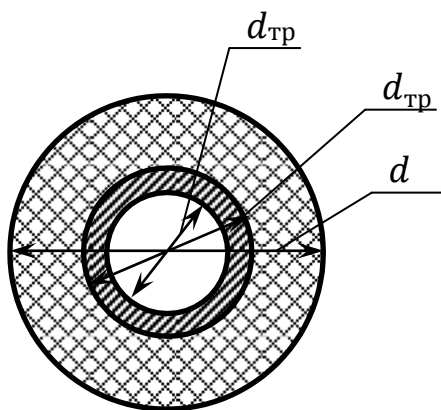
$$Q = \frac{\Delta t}{\Sigma R} \cdot L \quad (Bm). \quad (2.5)$$

где Δt – разность температур между крайними поверхностями многослойной цилиндрической стенки, °C.

Пример.

Задача №1:

Трубопровод теплотрассы имеет слой теплоизоляции с теплопроводностью 0,086 Вт/(м°C). Стальная труба с наружным диаметром 200 мм, имеет толщину стенки 7 мм, с коэффициентом теплопроводности 20 Вт/(м°C). Наружный диаметр слоя изоляции составляет 300 мм. Средняя температура воды и внутренней стенки трубопровода составляет 120 °C, средняя температура наружной поверхности изоляции составляет 30 °C. Определить теплотери трубопровода теплотрассы на участке длиной 1 км. Определить на сколько градусов снизится температура воды в трубопроводе на этом участке в результате теплотерь, если скорость воды в трубопроводе составляет 1,2 м/с.



Решение:

Уравнение Фурье для многослойных цилиндрических стенок

$$Q = \frac{\Delta t}{\sum R} L, \text{ Вт}$$

$$= R_{\text{тр}} + R$$

Определяем термические сопротивления слоев:

$$R_{\text{тр}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln\left(\frac{d_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}}\right)$$

$$d_{\text{тр}} = d_{\text{тр}} - 2 \cdot \delta_{\text{тр}} = 200 - 2 \cdot 7 = 186 \text{ мм}$$

$$R_{\text{тр}} = \frac{1}{2\pi \cdot 20} \ln\left(\frac{200}{186}\right) = 0,578 \cdot 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{Вт}}$$

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{d}{d}\right)$$

$d = d_{\text{тр}} = 200 \text{ мм}$ – внутренний диаметр изоляции соответствует

наружному диаметру трубы, на поверхность которой уложена эта изоляция.

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot 0,086} \ln\left(\frac{200}{200}\right) = 0,751 \frac{\text{м}}{\text{Вт}}$$

Определяем теплотери трубопровода на участке длиной 1 км

$$Q = \frac{120 - 0}{0,578 \cdot 10^{-3} + 0,751} \cdot 1000 = 120 \cdot 10^3 \text{ Вт} \quad 120 \text{ Вт}$$

Снижение температуры при остывании воды можно определить с помощью значения теплоемкости. При средней температуре воды 75 °С теплоемкость составляет 4,191 —

Т.о. тепловой поток при остывании воды определяется как произведение теплоемкости на массовый расход и разность температур воды (снижение температуры при остывании).

$$Q = \cdot \cdot \Delta t, \text{ Вт} \quad (2.6)$$

$$\left[\frac{\text{Вт}}{\cdot} \cdot \frac{\cdot}{\cdot} = \frac{\cdot}{\cdot} \right]$$

При известном внутреннем диаметре и скорости воды можно определить объемный расход воды в трубопроводе

$$V = w \cdot f, \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

где f – площадь сечения потока воды

$$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad \text{м}^2$$

$$V = w \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 1,2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,186^2}{4} = 0,0326 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Зная плотность воды можно объемный расход перевести в массовый расход. Плотность воды при средней температуре воды 75 °C составляет $975 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$= V \cdot \rho = 0,0326 \cdot 975 = 31,8 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

Тогда по формуле (2.6) снижение температуры воды Δt в трубопроводе при ее остывании за счет теплопотерь Q составит

$$\Delta t = \frac{Q}{c \cdot m} = \frac{120 \cdot 10^3}{41 \cdot 31,8} = 0,9$$

2.2. Вопросы и задания

Задача №2:

На трубопровод с наружным диаметром 150 мм уложен слой изоляции с коэффициентом теплопроводности 0,0725 Вт/(м°C). Определить толщину слоя изоляции, если его термическое сопротивление составляет $0,853 \frac{\text{м}^2}{\text{Вт}}$

(Математическая справка: $\frac{1}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b}} = \frac{a \cdot b}{a + b}$)

Задача №3:

Определить коэффициент теплопроводности тепловой изоляции, если изоляционный слой толщиной 50 мм уложен на трубу диаметром 200 мм, а термическое сопротивление изоляционного слоя составляет $1 \frac{\text{м}^2}{\text{Вт}}$

Задача №4:

Из котельной в теплосеть поступает горячая вода с температурой 150 °С. Вода движется по теплотрассе теплосети со скоростью 1,8 м/с. Надземный участок теплотрассы протяженностью 1,5 км выполнен из стальной трубы ($d_n = 325$ мм, $\delta_{ст} = 8$ мм). Для обеспечения нормируемых теплопотерь в размере 130 Вт/м трубопровод покрывается слоем тепловой изоляции с коэффициентом теплопроводности 0,0725 Вт/(м°С). Определить необходимую толщину изоляции, если температура ее наружной поверхности должна быть 30 °С. Термическим сопротивлением стальной трубы пренебречь. Температуру внутренней поверхности трубы принять равной температуре воды.

Задача №5:

Для условий задачи №4 определить температуру наружной поверхности изоляции, если толщина слоя изоляции будет 50 мм.

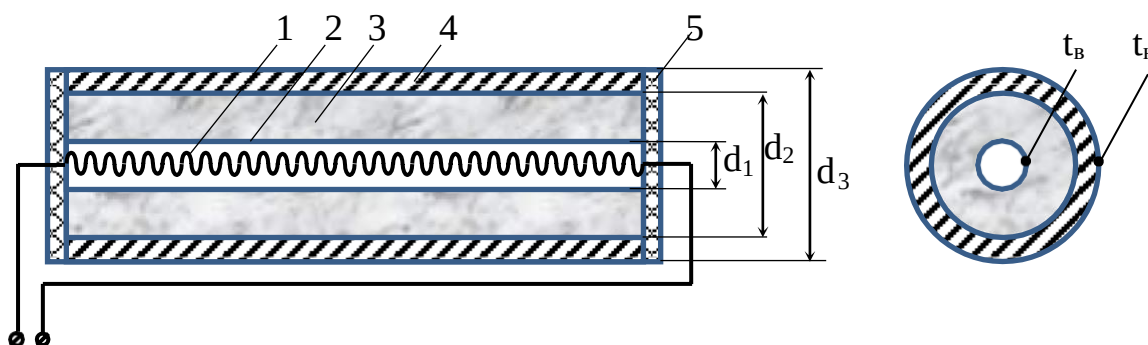
Задача №6:

Для условий задачи №5 определить температуру воды на выходе из надземного участка теплотрассы.

Задача №7:

Проводится эксперимент по определению коэффициента теплопроводности материала «методом трубы». Такой метод применяется для исследования сыпучего материала (например, строительный песок). Экспериментальная установка представляет собой две трубы различного диаметра, причем одна труба помещена в другую. Во внутреннюю трубу вставлена спираль электронагревателя, а в межтрубное пространство помещен исследуемый сыпучий материал. Т.о. исследуемому материалу придана форма цилиндрического слоя. Электронагреватель включается в сеть и фиксируется его тепловыделение. Тепловой поток от нагревателя, проходит через внутреннюю трубу, через исследуемый материал, через наружную трубу и затем уходит в окружающую среду. При этом, на внутренней и наружной поверхности этой многослойной конструкции со временем устанавливаются какие-то постоянные температуры: внутренняя температура выше (которая

ближе к нагревателю), а наружная температура – ниже. Эта разность температур зависит от теплопроводности исследуемого материала – чем меньше его коэффициент теплопроводности, тем больше получается разность температур.



1 – электронагреватель; 2 – цилиндрическая труба ($d_{\text{н}} = 20$ мм); 3 – исследуемый материал; 4 – наружная труба ($d_{\text{в}} = 130$ мм, $d_{\text{н}} = 140$ мм, коэффициент теплопроводности $23 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$); 5 – тепловая изоляция торцов.

По данным эксперимента определены следующие параметры установившегося теплового режима:

- тепловой поток, проходящий от электронагревателя через многослойную цилиндрическую конструкцию 70 Вт ;
- внутренняя и наружная температуры: $t_{\text{в}} = 120^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{н}} = 50^{\circ}\text{C}$.

По полученным экспериментальным данным рассчитайте коэффициент теплопроводности исследуемого материала.

2.3. Список литературы

1. Богачев, В. В. (СевКавГТУ). Основы тепломассообмена : учеб. пособие / В. В. Богачев ; Мин-во образования и науки Рос. Федерации, ГОУ ВПО Сев. Кав. гос. техн. ун-т. - Ставрополь : Издательство СевКавГТУ, 2006. - 79 с.

2. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : [учеб. пособие] / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ИД МЭИ, 2008. - 196 с.

3. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учеб. пособие / А. А. Кудинов. - М. : Инфра-М, 2012. - 375 с.

4. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : учебник / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко. - Москва : ИНФРА-М, 2012. - 463, [1] с.

5. Стоянов, Н.И. Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен). Учебно-методическое пособие (курс лекций) / Н.И. Стоянов, С.С. Смирнов, А.В. Смирнова. Ставрополь, СКФУ. 2014.

2.4. Приложения

Приложение 2.1

Физические свойства воды при атмосферном давлении

t, °C	ρ , кг/м ³	C_p , Дж/(кг·°C)	λ , Вт/(м·°C)	$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, °C ⁻¹	Pr
0	999,8	4217	0,569	13,2	1788	1,789	-0,63	13,5
10	999,7	4191	0,574	13,7	1306	1,306	0,7	9,52
20	998,3	4183	0,599	14,3	1004	1,006	1,82	7,02
30	995,7	4174	0,618	14,9	801,5	0,805	3,21	5,42
40	992,3	4174	0,635	15,3	653,3	0,659	3,87	4,31
50	988	4181	0,648	15,7	549,4	0,556	4,49	3,54
60	983,2	4182	0,659	16	469,9	0,478	5,11	2,93
70	977,7	4187	0,668	16,3	406,1	0,415	5,7	2,55
80	971,6	4195	0,674	16,6	355,1	0,365	6,32	2,21
90	965,2	4208	0,68	16,8	314,9	0,326	6,95	1,95
100	958,1	4220	0,683	16,9	282,5	0,295	7,52	1,75

Физические свойства воды на линии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$p \cdot 10^{-5}, \text{Па}$	$\rho', \text{кг/м}^3$	$h', \text{кДж/кг}$	$c_p, \text{кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\lambda \cdot 10^2, \text{Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$	$\alpha \cdot 10^8, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Па} \cdot \text{с}$	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	$\beta \cdot 10^4, \text{К}^{-1}$	$\sigma \cdot 10^4, \text{Н/м}$	Pr
100	1,0133	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,4326	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,9854	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,74
130	2,7012	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,6136	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,7597	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,1804	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,9202	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,027	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,552	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,551	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,079	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,201	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,979	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,480	813,6	1037,5	4,766	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,776	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86
260	46,940	784,0	1135,1	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,1	237,4	0,87
270	55,051	767,9	1185,3	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	21,6	214,8	0,88
280	64,191	750,7	1236,8	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23,7	191,3	0,90
290	74,448	732,3	1290,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26,2	168,7	0,93
300	85,917	512,5	1344,9	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,2	144,2	0,97

Практическое занятие №3

Расчет процессов теплопередачи и конвективного теплообмена около горизонтальной трубы

Цель: Изучить основные закономерности теплопередачи и конвективного теплообмена и научиться их применять для расчетов в практических случаях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

Знать: основные сведения об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии (ОПК-3)

Уметь: выбирать метод или методику решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Владеть: навыком решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Знать: основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Уметь: выявлять основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Владеть: навыком выявления основных требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Знать: типовые проектные решения и технологического оборудования основных инженерных систем жизнеобеспечения здания в соответствии с техническими условиями (ОПК-6)

Уметь: определять базовые параметры теплового режима здания и производить расчётное обоснование режима работы инженерной системы жизнеобеспечения здания (ОПК-6)

Владеть: навыком определения основных параметров инженерных систем здания (ОПК-6)

Актуальность темы

Знание процессов теплопередачи и конвективного теплообмена необходимо для расчета и проектирования оборудования инженерных систем зданий и сооружений.

3.1. Теоретическая часть

Конвективный теплообмен рассчитывается по уравнению Ньютона-Рихмана

$$Q = \alpha \cdot t_{\text{ст}} - t \cdot F, \text{ Вт},$$

где $\alpha, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ – коэффициент теплоотдачи, характеризующий интенсивность теплообмена между жидкостью и твердой стенкой; $t_{\text{ст}}$ и $t_{\text{жс}}$ – температура стенки и окружающей среды; F – площадь поверхности стенки.

Инженерный метод расчета коэффициента теплоотдачи предполагает определение критерия Нуссельта (Nu) по критериальному уравнению. Вид уравнения и эмпирические коэффициенты определяются по справочным данным.

Ниже приведены уравнения для некоторых случаев конвективного теплообмена.

Естественная конвекция

Для горизонтальных труб:

– при $10^3 < \text{Gr} \cdot \text{Pr} < 10^8$ $\text{Nu} = 0,5 \text{Gr} \cdot \text{r}^{-2} \text{r} / \text{r}^{-2}$.

Для вертикальных поверхностей (трубы, пластины):

– при $10^3 < \text{Gr} \cdot \text{Pr} < 10^9$ (ламинарный режим) $\text{Nu} = 0,76 \text{Gr} \cdot \text{r}^{-2} \text{r} / \text{r}^{-2}$

– при $\text{Gr} \cdot \text{Pr} > 10^9$ (турбулентный режим) $\text{Nu} = 0,15 \text{Gr} \cdot \text{r}^{-33} \text{r} / \text{r}^{-2}$

Принудительная конвекция при поперечном обтекании труб:

– при $\text{Re} < 10^3$: $\text{Nu} = 0,56 \text{Re} \text{r}^{-3} \text{r} / \text{r}^{-2}$

– при $\text{Re} > 10^3$: $\text{Nu} = 0,28 \text{Re} \text{r}^{-3} \text{r} / \text{r}^{-2}$

В этих формулах в качестве определяющей температуры принята температура окружающей среды. В качестве определяющего размера для горизонтальных труб принят наружный диаметр d , а для вертикальных поверхностей – высота h . r – критерий Прандтля определенный для жидкости и при температуре стенки.

$$\text{Gr} = \frac{\beta \cdot l^3 \cdot g \cdot \Delta t}{\nu^2}; \quad \text{Re} = \frac{w \cdot l}{\nu}; \quad \text{Nu} = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}$$

где l – определяющий (характерный) геометрический размер, м; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; ν, λ, β – физические свойства жидкости (окружающей среды), берутся при определяющей температуре

жидкости; Δt – перепад температур между стенкой и жидкостью;
 w , м/с – скорость потока; α , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$ – коэффициент теплоотдачи на поверхности.

Уравнение теплопередачи для цилиндрической стенки

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R + \sum R + R'}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

q – удельный тепловой поток, приходящийся на 1 м длины трубы;
 t_1, t_2 – температура внутренней и наружной среды; R, R' – сопротивление внутренней и наружной теплоотдаче; $\sum R$ – сумма термических сопротивлений слоев.

Чтобы рассчитать тепловой поток приходящийся на 1 м² поверхности трубы ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$), нужно удельный тепловой поток, приходящийся на 1 погонный метр трубы ($\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$), умножить на длину трубы, соответствующую 1 м² ее поверхности.

Задачи

Задача №1

Определить потерю теплоты путем конвекции на вертикальном участке неизолированного трубопровода диаметром 100 мм и высотой 4 м, если температура наружной поверхности неизолированной трубы 170 °С, а температура окружающей среды (воздуха) 30 °С.

Решение.

Определяем физические свойства воздуха при 30 °С :

$$\lambda = 0,0267 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \quad \nu = 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \text{Pr} = 0.701; \quad \text{Pr}/\text{Pr}_c = 1; \quad \beta = \frac{1}{303} = \frac{1}{303} \text{ К}^{-1}$$

$$\text{Gr} = \frac{\beta \cdot h^3 \cdot g \cdot \Delta t}{\nu^2} = \frac{4^3 \cdot 9.81 \cdot (170 - 30)}{303 \cdot (16 \cdot 10^{-6})^2} = 1.133 \cdot 10^{12}$$

$$\text{Gr} \cdot \text{Pr} = 1.133 \cdot 10^{12} \cdot 0.701 = 0.794 \cdot 10^{12}$$

При естественной конвекции выбираем формулу для турбулентного режима:

$$\text{Nu} = 0.15(\text{Gr} \cdot \text{Pr})^{0.33} (\text{Pr}/\text{Pr}_c)^{0.25} = 0.15 (0.794 \cdot 10^{12})^{0.33} \cdot 1 = 1268$$

По критерию Нуссельта определяем коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{h} = 1268 \cdot \frac{0,0267}{4} = 8.46 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Искомая потеря теплоты

$$Q = \alpha \cdot (t_{\text{ст}} - t_{\text{м}}) \cdot F; \quad F = \pi dL$$

$$Q = 8.46 \cdot (170 - 30) \pi \cdot 0.1 \cdot 4 = 1488 \text{ Вт}$$

Задача №2

По трубопроводу с теплоизоляцией течет вода со средней температурой 90 °С. Температура окружающего воздуха 15 °С. Коэффициенты теплоотдачи: от воды к стенке трубопровода $3000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$, с поверхности изоляции к наружному воздуху $20 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$. Наружный диаметр стальной трубы 175 мм, толщина стальной стенки 6 мм, толщина изоляции 60 мм. Теплопроводность: изоляции $0,123 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$, стали $23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$. Определить теплотери трубопровода с одного погонного метра.

Решение.

Уравнение теплопередачи применительно к условиям задачи можно записать в виде

$$= \frac{t - t}{R + \sum R + R}, \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Сопротивление теплоотдаче от воды к стенке трубы

$$R = \frac{1}{\pi \cdot d_{\text{тр}} \alpha}, \quad \frac{\text{м}}{\text{Вт}}$$

$$d_{\text{тр}} = d_{\text{тр}} - 2 \cdot \delta_{\text{тр}} = 175 - 2 \cdot 6 = 163 \text{ мм}$$

$$R = \frac{1}{\pi \cdot 0,163 \cdot 3000} = 6,51 \cdot 10^{-3}, \quad \frac{\text{м}}{\text{Вт}}$$

Рассчитываем термические сопротивления слоев

$$R_{\text{тр}} = \frac{1}{2\pi\lambda_{\text{тр}}} \ln\left(\frac{d_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}}\right)$$

$$R_{\text{тр}} = \frac{1}{2\pi \cdot 23} \ln\left(\frac{175}{163}\right) = 4,92 \cdot 10^{-3} \quad \frac{\text{м}}{\text{Вт}}$$

$$R = \frac{1}{2\pi\lambda} \ln\left(\frac{d}{d}\right)$$

$$d = d + 2\cdot\delta = 175 + 2 \cdot 60 = 295 \text{ мм}$$

$$R = \frac{1}{2\pi \cdot 0,123} \ln\left(\frac{295}{175}\right) = 0,536 \frac{\text{м}}{\text{Вт}}$$

Сопротивление теплоотдаче с поверхности изоляции к воздуху

$$R = \frac{1}{\pi \cdot d \cdot \alpha_p} \frac{\text{м}}{\text{Вт}}$$

$$R = \frac{1}{\pi \cdot 0,295 \cdot 20} = 0,0540 \frac{\text{м}}{\text{Вт}}$$

$$= \frac{90 - 15}{6,51 \cdot 10^{-3} + 4,92 \cdot 10^{-3} + 0,536 + 0,054} = 127 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

3.2.

Вопросы и задания

Задача №3

Определить потерю теплоты путем конвекции горизонтальным неизолированным трубопроводом диаметром 150 мм и длиной 10 м, если его поверхность имеет температуру 140 °С, а температура окружающей среды (воздуха) 20 °С.

Задача №4

Определить температуру поверхности изолированного трубопровода теплотрассы проложенной над землей. Горячая вода в трубе 150 °С, температура окружающего воздуха –10 °С. Снаружи труба обдувается ветром (10 м/с) под углом 90°. Наружный диаметр стальной трубы 180 мм, наружный диаметр слоя изоляции 310 мм; теплопроводность изоляции 0,093 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$. Сопротивлением внутренней теплоотдачи и стальной трубы пренебречь.

Задача №5

В стальной трубопровод ($d_{\text{тр}} = 190 \text{ мм}$, $\delta_{\text{тр}} = 8 \text{ мм}$) поступает горячая вода с температурой 150 °С со скоростью 1,2 м/с. Трубопровод имеет слой тепловой изоляции толщиной 5 см с коэффициентом теплопроводности 0,085 $\frac{\text{Вт}}{\text{м}}$. Трубопровод расположен на открытом воздухе и обдувается ветром (–10 °С) со средней скоростью 15 м/с под углом 90°. Определить среднюю температуру наружной поверхности изоляции и температуру воды на выходе из трубопровода. Термическим сопротивлением стальной трубы и сопротивлением теплоотдачи от воды к трубе пренебречь.

3.3. Список литературы

1. Теория тепломассообмена : учебник / под ред. А. И. Леонтьева. - М. : Высшая школа, 1979. - 495 с.
2. Теория тепломассообмена : учебник для вузов / [С. И. Исаев и др.] ; под ред. А. И. Леонтьева. - М. : Высшая школа, 1979. - 495 с.
3. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учеб. пособие / А. А. Кудинов. - М. : Инфра-М, 2012. - 375 с.
4. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : учебник / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко. - Москва : ИНФРА-М, 2012. - 463, [1] с.
5. Стоянов, Н.И. Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен). Учебно-методическое пособие (курс лекций) / Н.И. Стоянов, С.С. Смирнов, А.В. Смирнова. Ставрополь, СКФУ. 2014.
6. Богачев, В. В. (СевКавГТУ). Основы тепломассообмена : учеб. пособие / В. В. Богачев ; Мин-во образования и науки Рос. Федерации, ГОУ ВПО Сев. Кав. гос. техн. ун-т. - Ставрополь : Издательство СевКавГТУ, 2006. - 79 с.
7. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : [учеб. пособие] / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ИД МЭИ, 2008. - 196 с.

3.4. Приложения

Приложение 3.1

Физические свойства воды при атмосферном давлении

t, °C	ρ , кг/м ³	C_p , Дж/(кг·°C)	λ , Вт/(м·°C)	$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, °C ⁻¹	Pr
0	999,8	4217	0,569	13,2	1788	1,789	-0,63	13,5
10	999,7	4191	0,574	13,7	1306	1,306	0,7	9,52
20	998,3	4183	0,599	14,3	1004	1,006	1,82	7,02
30	995,7	4174	0,618	14,9	801,5	0,805	3,21	5,42
40	992,3	4174	0,635	15,3	653,3	0,659	3,87	4,31
50	988	4181	0,648	15,7	549,4	0,556	4,49	3,54
60	983,2	4182	0,659	16	469,9	0,478	5,11	2,93
70	977,7	4187	0,668	16,3	406,1	0,415	5,7	2,55
80	971,6	4195	0,674	16,6	355,1	0,365	6,32	2,21
90	965,2	4208	0,68	16,8	314,9	0,326	6,95	1,95
100	958,1	4220	0,683	16,9	282,5	0,295	7,52	1,75

Физические свойства воды на линии насыщения

t, °C	$p \cdot 10^{-5}$, Па	ρ' , кг/м ³	h' , кДж/кг	$c_{p,}$ кДж/(кг·°C)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·°C)	$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, К ⁻¹	$\sigma \cdot 10^4$, Н/м	Pr
100	1,0133	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,4326	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,9854	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,74
130	2,7012	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,6136	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,7597	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,1804	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,9202	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,027	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,552	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,551	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,079	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,201	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,979	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,480	813,6	1037,5	4,766	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,776	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86
260	46,940	784,0	1135,1	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,1	237,4	0,87
270	55,051	767,9	1185,3	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	21,6	214,8	0,88
280	64,191	750,7	1236,8	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23,7	191,3	0,90
290	74,448	732,3	1290,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26,2	168,7	0,93
300	85,917	712,5	1344,9	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,2	144,2	0,97

Практическое занятие №4

Расчет теплообменных аппаратов.

Цель: Изучить основные принципы расчета теплообменных аппаратов и научиться их применять для расчетов в практических случаях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

Знать: основные сведения об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии (ОПК-3)

Уметь: выбирать метод или методику решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Владеть: навыком решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Знать: основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Уметь: выявлять основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Владеть: навыком выявления основных требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Знать: типовые проектные решения и технологического оборудования основных инженерных систем жизнеобеспечения здания в соответствии с техническими условиями (ОПК-6)

Уметь: определять базовые параметры теплового режима здания и производить расчётное обоснование режима работы инженерной системы жизнеобеспечения здания (ОПК-6)

Владеть: навыком определения основных параметров инженерных систем здания (ОПК-6)

Актуальность темы

Знание принципов расчета теплообменных аппаратов необходимо при проектировании оборудования инженерных систем зданий и сооружений.

4.1.

Теоретическая часть

Теплопередача – сложный теплообмен.

Теплопередача это наиболее часто встречающийся и практически важный случай передачи тепла от одной жидкости или газа к другой через разделяющую их стенку. При этом могут иметь место все виды переноса тепла (конвекция, теплопроводность, излучение).

При теплопередаче процесс переноса тепла протекает в 3 этапа:

- на 1 этапе тепло передается за счет конвективного теплообмена и излучения от первого теплоносителя к стенке;
- на 2 этапе тепло передается за счет теплопроводности через твердую стенку (одно- или многослойную);
- на 3 этапе тепло передается за счет конвективного теплообмена и излучения от стенки ко второму теплоносителю.

Количество переданного тепла в единицу времени при теплопередаче через стенку определяется по уравнению теплопередачи:

$$Q = K \cdot (t_1 - t_2) \cdot F, \text{ Вт. (4.1)}$$

где K – коэффициент теплопередачи, определяемый в зависимости от условий протекания процесса, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}$.

Величина K определяется по основным характеристикам процесса переноса тепла на отдельных этапах передачи для каждого вида теплопередачи отдельно.

Рассмотрим теплопередачу для наиболее распространенных на практике случаев.

Теплопередача через плоские стенки

а) Однослойная плоская стенка

Рассмотрим процесс теплопередачи через твердую плоскую стенку от теплоносителя 1 к теплоносителю 2 (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**). температура теплоносителей t_1 и t_2 , температура на поверхностях стенки t_{cm1} и t_{cm2} , характеристики стенки λ и δ , характеристики процесса теплоотдачи обоих теплоносителей – коэффициенты α_1 и α_2 учитывают суммарную теплоотдачу конвекцией и излучением.

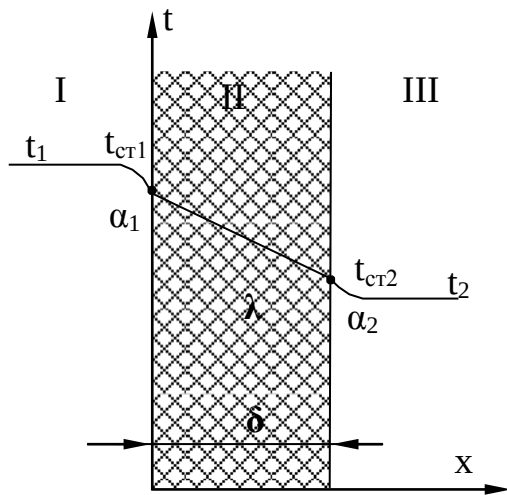


Рис. 4.1 – Схема теплопередачи через плоскую стенку

Для плоской стенки удельный тепловой поток q – величина постоянная на каждом этапе теплопередачи.

В соответствии с рассмотренными выше закономерностями разных процессов переноса тепла для каждого этапа теплопередачи, можно записать уравнение теплового потока:

$$1 \text{ этап: } q = \alpha_1 (t_1 - t_{cm1}),$$

$$2 \text{ этап: } q = \frac{t_{cm1} - t_{cm2}}{\frac{\delta}{\lambda}},$$

$$3 \text{ этап: } q = \alpha_2 (t_{cm2} - t_2).$$

Проведя некоторые преобразования уравнений получаем систему в виде:

$$\begin{cases} \frac{1}{\alpha_1} q = t_1 - t_{cm1}; \\ \frac{\delta}{\lambda} q = t_{cm1} - t_{cm2}; \\ \frac{1}{\alpha_2} q = t_{cm2} - t_2. \end{cases}$$

Складывая полученные равенства и сокращая противоположные по знаку температуры (t_{cm}), получим с учетом $q = \text{const}$:

$$q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) = t_1 - t_2 \quad \text{или} \quad q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (4.2)$$

Сравнивая полученное уравнение и исходное уравнение теплового потока (4.1), получим выражение коэффициента теплопередачи для плоской стенки:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{Bm}{m^2 K}. \quad (4.3)$$

Сопротивление теплопередаче через плоскую стенку

$$R_T = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}, \frac{m^2 K}{Bm}.$$

Плотность теплового потока при теплопередаче составит:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R_T}, \frac{Bm}{m^2}.$$

Из полученного уравнения следует, что сопротивление теплопередачи через плоскую стенку равно сумме сопротивлений на всех этапах теплопередачи: сопротивление теплоотдачи от первого теплоносителя – $1/\alpha_1$, сопротивление теплопроводности через стенку – δ/λ , сопротивление теплоотдаче ко второму теплоносителю – $1/\alpha_2$.

б) Многослойная плоская стенка

При теплопередаче через многослойные плоские стенки, термические сопротивления всех слоев последовательно складываются, и сопротивление теплопередаче будет равно:

$$R_{T.мн.} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}, \frac{m^2 K}{Bm} \quad (4.4)$$

И соответственно тепловой поток через многослойную плоскую стенку:

$$q = \frac{t_1 - t_2}{R_{T.мн.}}, \frac{Bm}{m^2}. \quad (4.5)$$

Теплообменные аппараты

Теплообменные аппараты – это устройства для передачи тепла от одного теплоносителя к другому. По принципу работы они делятся на рекуперативные, регенеративные и смесительные.

В основном применяются рекуперативные теплообменные аппараты, в которых передача тепла происходит через разделительную стенку. Конструктивно они выполняются в виде аппаратов с трубчатой (или реже с пластинчатой) поверхностью нагрева.

В регенеративном теплообменном аппарате передача тепла осуществляется через аккумулирующее устройство (пластины, набивка и т. д.), которое попеременно омывается обоими теплоносителями.

В смесительных теплообменных аппаратах передача тепла осуществляется при непосредственном контакте (смешивании) теплоносителей.

В зависимости от взаимного направления движения теплоносителей различают теплообменные аппараты прямоточные, противоточные, с перекрестным током и со смешанным током.

Характеристиками теплообменного аппарата являются следующие величины:

Q – тепловая производительность аппарата, количество тепла, передаваемое в единицу времени, Вт;

F – поверхность теплообмена. Поверхность твердой стенки или поверхность раздела теплоносителей, через которую передается тепло, м².

Методика расчета теплообменных аппаратов

Расчет теплообменных аппаратов производится по двум основным уравнениям:

1. Уравнение теплопередачи:

$$Q = K_{cp} \cdot \Delta t_{cp} \cdot F \quad (4.6)$$

где Δt_{cp} – средняя разность температур, K_{cp} – средний коэффициент теплопередачи.

2. Уравнение теплового баланса:

$$Q = m_1 (i'_1 - i''_1) = m_2 (i''_2 - i'_2), \quad (4.7)$$

$$Q = m_1 C_{p1} (t'_1 - t''_1) = m_2 C_{p2} (t''_2 - t'_2), \quad (4.8)$$

где m_1 и m_2 – массовый расход первого и второго теплоносителя, кг/с; t' и i' – температура и теплосодержание теплоносителя на входе в аппарат, К и Дж/кг; t'' и i'' – температура и теплосодержание теплоносителя на выходе из аппарата, К и Дж/кг; t_1 и i_1 – температура и теплосодержание первого теплоносителя; t_2 и i_2 – температура и теплосодержание второго теплоносителя; C_{p1} и C_{p2} – средняя теплоемкость при постоянном давлении первого и второго теплоносителя, Дж/кг К.

Решая совместно оба уравнения, находим два неизвестных параметра теплообменного аппарата, при заданных или принятых остальных.

Определение величин, входящих в расчетные уравнения

Средняя разность температур теплоносителей определяется из формулы среднелогарифмической разности:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\max} - \Delta t_{\min}}{\ln \frac{\Delta t_{\max}}{\Delta t_{\min}}} \quad (4.9)$$

где $\Delta t_{\max}$ и $\Delta t_{\min}$ – максимальная и минимальная разность теплоносителей на концах теплообменника, которые определяются в зависимости от конкретной схемы работы теплообменника (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Рис. 4.2 – Схема температурного профиля теплообменного аппарата

Если $\Delta t_{\max} < 1,7 \cdot \Delta t_{\min}$, то Δt_{cp} можно определять по формуле среднеарифметической разности:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\max} + \Delta t_{\min}}{2}. \quad (4.10)$$

Поверхность теплообмена и коэффициент теплопередачи в случае трубчатого теплообменника с достаточной степенью точности могут быть определены по формулам теплопередачи для плоской поверхности.

$$F = \pi \cdot d_{cp} \cdot l \cdot n, \quad (4.11)$$

$$K_{cp} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1cp}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_c} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_{2cp}}}, \quad (4.12)$$

где $d_{cp} = 0,5(d_{вн} + d_{нар})$ – средний диаметр трубы, м; n – число труб в теплообменнике, шт.; l – длина одной трубы, м; α_{1cp} и α_{2cp} – средние коэффициенты теплоотдачи для первого и второго теплоносителя, рассчитываемые для средних температур каждого из теплоносителей в теплообменнике, Вт/(м²·К); δ_{cm} и λ_{cm} – толщина стенки и коэффициент теплопроводности материала труб, м и Вт/(м·К) соответственно; δ_3 и λ_3 – толщина и коэффициент теплопроводности загрязнений на поверхности труб теплообмена (учитываются при их наличии), м и Вт/(м·К).

При расчете теплообменников по расчетным формулам (4.7, 4.8) могут быть определены только две неизвестные величины, остальные должны быть заданы или определены иным путем.

Расчет теплообменных аппаратов бывает двух типов:

Конструкторский – когда определяются основные размеры аппарата при заданных параметрах и тепловой производительности.

Поверочный – когда определяют тепловую производительность и параметры теплоносителя по известным размерам теплообменного аппарата.

Пример решения задачи:

В водо-водяном теплообменнике типа «труба в трубе», теплоносители движутся навстречу друг-другу: греющий теплоноситель со скоростью w_1 движется по внутренней трубе, а холодный (подогреваемый) теплоноситель со скоростью w_2 по кольцевому каналу (между внутренней и наружной трубой). Определить тепловую мощность аппарата Q , площадь теплообмена F , расходы теплоносителей G_1 G_2 и температуру греющего теплоносителя на выходе t_1'' , если известны температуры теплоносителей: греющего t_1' ; подогреваемого t_2' и t_2'' ; коэффициенты теплоотдачи теплоносителей: горячего α_1 , холодного α_2 , коэффициент теплопроводности металлической трубки λ .

Решение.

Исходные данные: $w_1 = 2$ м/с, $w_2 = 1,8$ м/с, $t_1' = 120$ °С, $t_2' = 5$ °С, $t_2'' = 55$ °С, $d_{1н} = 0,1$ м, $\delta = 3$ мм, $d_{2в} = 0,12$ м, $\alpha_1 = 7300 \frac{\text{Вт}}{2^\circ\text{М}}$, $\alpha_2 = 11800 \frac{\text{Вт}}{2^\circ\text{М}}$, $\lambda = 45 \frac{\text{Вт}}{\text{М}}$.

Определяем внутренний диаметр внутренней трубы

$$d_{1в} = d_{1н} - 2 \cdot \delta = 0,1 - 2 \cdot 0,003 = 0,094 \text{ м}$$

Площадь сечения канала

$$f_1 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,094^2}{4} = 0,00694 \text{ м}^2$$

Объемный расход греющего теплоносителя

$$V_1 = w_1 \cdot f_1 = 2 \cdot 0,00694 = 0,0139 \text{ м}^3/\text{с}$$

Массовый расход греющего теплоносителя

$$G_1 = V_1 \cdot \rho_1 = 0,0139 \cdot 943,1 = 13,1 \text{ кг/с}$$

В первом приближение принимаем $t_{1ср} = t_1' = 120$ °С, тогда $\rho_1 = 943,1 \text{ кг/м}^3$.

Площадь сечения кольцевого канала для холодного теплоносителя:

$$f_2 = \frac{\pi d_{2в}^2}{4} - f_1 = \frac{3,14 \cdot 0,12^2}{4} - 0,00694 = 0,00437 \text{ м}^2$$

Объемный расход холодного теплоносителя

$$V_2 = w_2 \cdot f_2 = 1,8 \cdot 0,00437 = 0,00786 \text{ м}^3/\text{с}$$

Массовый расход холодного теплоносителя

$$G_2 = V_2 * \rho_2 = 0.00786 * 995,7 = 7,83 \text{ /с}$$

Принимаем $t_{2cp} = (5+55)/2 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, тогда $\rho_2 = 995,7 \text{ /м}^3$.

По уравнению (4.8) определяем тепловую мощность аппарата

При $t_{2cp} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, теплоемкость составит $C_{p2} = 4174 \frac{\text{м}}{^\circ}$.

$$Q = G_2 * C_{p2} * (t_2'' - t_2') = 7.83 * 4174 * (55 - 5) = 1,63 * 10^6 \text{ Вт}$$

Тогда по уравнению (4.8) определяем температуру горячего теплоносителя на выходе из теплообменника:

$$t_1 = t_1' - \frac{Q}{G_1 * C_{p1}} = 120 - \frac{1,63 * 10^6}{13,1 * 4250} = 90,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

где при $t_{1cp} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$, теплоемкость составляет $C_{p1} = 4250 \frac{\text{м}}{^\circ}$.

Уточняем среднюю температуру горячего теплоносителя и по ней плотность, теплоемкость, массовый расход и температуру на выходе:

$t_{1cp} = (120+90,6)/2 = 105,3 \text{ }^\circ\text{C}$, тогда $\rho_1 = 956,2 \text{ /м}^3$, $C_{p2} = 4227 \frac{\text{м}}{^\circ}$.

$$G_1 = V_1 * \rho_1 = 0.0139 * 956,2 = 13,3 \text{ /с}$$
$$t_1 = t_1' - \frac{Q}{G_1 * C_{p1}} = 120 - \frac{1,63 * 10^6}{13,3 * 4227} = 91 \text{ }^\circ\text{C}$$

Площадь теплообмена определяем по уравнению теплопередачи (4.6)

$$F = \frac{Q}{K * \Delta t_{cp}}, \text{ м}^2$$

Коэффициент теплопередачи определяем по уравнению (4.3)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{7300} + \frac{0.003}{45} + \frac{1}{11800}} = 3467 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ }^\circ}$$

Определяем средний температурный напор между теплоносителями Δt_{cp}

Разность температур между теплоносителями:

– с одной стороны $\Delta t_m = 120 - 55 = 65 \text{ }^\circ\text{C}$

– с другой стороны $\Delta t_6 = 90 - 5 = 85 \text{ }^\circ\text{C}$

$\Delta t_6 / \Delta t_m = 85/65 = 1,3$, что меньше, чем 1,7.

Тогда выбираем расчетную формулу (4.10)

$$\Delta t_{\text{cp}} = \frac{\Delta t + \Delta t_{\text{м}}}{2} = \frac{85 + 65}{2} = 75^{\circ}$$

Тогда площадь теплообмена составит:

$$F = \frac{1,63 \cdot 10^6}{3467 \cdot 75} = 6,27 \text{ м}^2$$

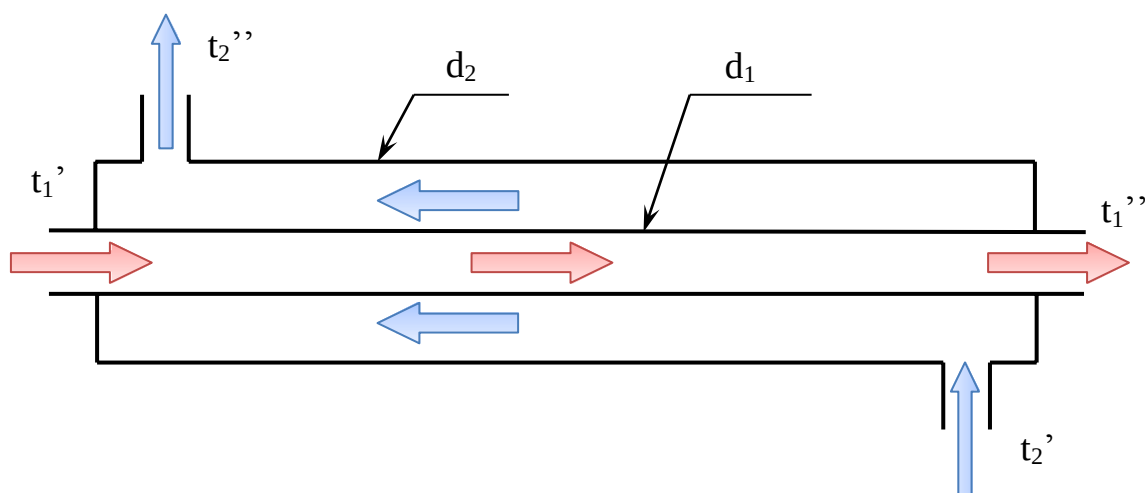


Рис. 4.3 – Схема теплообменника «труба в трубе»

4.2. Вопросы и задания

Задача №1

Автомобильный радиатор передает от охлаждаемой жидкости в окружающую среду $Q = 20$ кДж/с. Средняя температура охлаждаемой жидкости в радиаторе $t_{\text{ож}} = 98^{\circ}\text{C}$, а охлаждающей среды – воздуха $t_{\text{в}} = 35^{\circ}\text{C}$. Теплорассеивающая поверхность радиатора $F = 8 \text{ м}^2$. Определить коэффициент теплопередачи.

Задача №2

Определить плотность теплового потока q через плоскую стенку металлического водонагревателя, если заданы: температура греющих газов $t_{\text{г}} = 300^{\circ}\text{C}$, температура воды в баке $t_{\text{в}} = 90^{\circ}\text{C}$, коэффициенты теплоотдачи соответственно $\alpha_1 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$ и $\alpha_2 = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$, толщина стенки $\delta_{\text{с}} = 2 \text{ мм}$ и коэффициент теплопроводности материала стенки $\lambda_{\text{с}} = 32 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$.

Задача №3

Определить площадь поверхности калорифера для нагрева воздуха с объемным расходом $V = 310 \text{ м}^3/\text{ч}$ от температуры $t_1 = 5^\circ\text{C}$ до $t_2 = 25^\circ\text{C}$, если температура воды на входе в калорифер $t_{\text{вх}} = 95^\circ\text{C}$, на выходе $t_{\text{вых}} = 60^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопередачи принять равным $K = 21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$. Теплоносители движутся по схеме противотока. Теплоемкость воздуха $C_v = 1,2 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$, плотность воздуха $\rho = 1,15 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Задача №4

Определить температуры теплоносителей на выходе из водо-водяного теплообменника типа «труба в трубе». Также определить тепловую мощность теплообменника и массовые расходы теплоносителей. Известна площадь теплообмена F и температуры теплоносителей на входе: греющего t_1' , подогреваемого t_2' . Теплоносители движутся навстречу друг-другу: греющий теплоноситель со скоростью w_1 движется по внутренней трубе d_1 , а холодный (подогреваемый) теплоноситель – по кольцевому пространству между внутренней и наружной трубой d_2 . Коэффициенты теплоотдачи теплоносителей: горячего α_1 , холодного α_2 . Исходные данные взять по варианту из таблицы 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные к задаче 4

№ п/п	$d_{1н},$ м	$d_{2в},$ м	$t_1',$ $^\circ\text{C}$	$w_1,$ м/с	$\alpha_1,$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ}$	№ п/п	$w_2,$ м/с	$\alpha_2,$ $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ}$	$t_2',$ $^\circ\text{C}$	$F,$ м^2
1	0,06	0,09	110	1,5	6000	1	1,6	12000	5	15
2	0,07	0,11	120	1,8	6500	2	2,0	12500	10	14
3	0,08	0,13	130	2,1	7000	3	2,4	13000	15	13
4	0,09	0,15	140	2,4	7500	4	1,6	13500	20	12
5	0,1	0,16	150	1,5	8000	5	2,0	14000	25	11
6	0,06	0,13	110	1,8	6000	6	2,4	14500	5	10
7	0,07	0,13	120	2,1	6500	7	1,6	15000	10	9
8	0,08	0,13	130	2,4	7000	8	2,0	12000	15	8
9	0,09	0,12	140	1,8	7500	9	2,4	12500	20	7
0	0,1	0,14	150	2,1	8000	0	2,0	13000	25	6

*Толщина стенки внутренней трубы $\delta = 3 \text{ мм}$, теплопроводность $\lambda = 45 \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{м}}$.

4.3. Список литературы

1. Стоянов, Н.И. Теоретические основы теплотехники (техническая термодинамика и тепломассообмен). Учебно-методическое пособие (курс лекций) / Н.И. Стоянов, С.С. Смирнов, А.В. Смирнова. Ставрополь, СКФУ. 2014.
2. Богачев, В. В. (СевКавГТУ). Основы тепломассообмена : учеб. пособие / В. В. Богачев ; Мин-во образования и науки Рос. Федерации, ГОУ ВПО Сев. Кав. гос. техн. ун-т. - Ставрополь : Издательство СевКавГТУ, 2006. - 79 с.
3. Цветков, Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : [учеб. пособие] / Ф.Ф. Цветков, Р.В. Керимов, В.И. Величко. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : ИД МЭИ, 2008. - 196 с.
4. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : [учеб. пособие] / О.Н. Брюханов, С.Н. Шевченко. - М. : АСВ, 2005. - 460 с.
5. Теория тепломассообмена : учебник / под ред. А. И. Леонтьева. - М. : Высшая школа, 1979. - 495 с.
6. Теория тепломассообмена : учебник для вузов / [С. И. Исаев и др.] ; под ред. А. И. Леонтьева. - М. : Высшая школа, 1979. - 495 с.
7. Кудинов, А. А. Тепломассообмен : учеб. пособие / А. А. Кудинов. - М. : Инфра-М, 2012. - 375 с.
8. Брюханов, О. Н. Тепломассообмен : учебник / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко. - Москва : ИНФРА-М, 2012. - 463, [1] с.

4.4. Приложения

Приложение 4.1

Физические свойства воды при атмосферном давлении

t, °C	ρ , кг/м ³	C_p , Дж/(кг·°C)	λ , Вт/(м·°C)	$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, °C ⁻¹	Pr
0	999,8	4217	0,569	13,2	1788	1,789	-0,63	13,5
10	999,7	4191	0,574	13,7	1306	1,306	0,7	9,52
20	998,3	4183	0,599	14,3	1004	1,006	1,82	7,02
30	995,7	4174	0,618	14,9	801,5	0,805	3,21	5,42
40	992,3	4174	0,635	15,3	653,3	0,659	3,87	4,31
50	988	4181	0,648	15,7	549,4	0,556	4,49	3,54
60	983,2	4182	0,659	16	469,9	0,478	5,11	2,93
70	977,7	4187	0,668	16,3	406,1	0,415	5,7	2,55
80	971,6	4195	0,674	16,6	355,1	0,365	6,32	2,21
90	965,2	4208	0,68	16,8	314,9	0,326	6,95	1,95
100	958,1	4220	0,683	16,9	282,5	0,295	7,52	1,75

Физические свойства воды на линии насыщения

t, °C	$p \cdot 10^{-5}$, Па	ρ' , кг/м ³	h' , кДж/кг	$c_{p,}$ кДж/(кг·°C)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·°C)	$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, К ⁻¹	$\sigma \cdot 10^4$, Н/м	Pr
100	1,0133	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,4326	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,9854	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,74
130	2,7012	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,6136	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,7597	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,1804	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,9202	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,027	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,552	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,551	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,079	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,201	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,979	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,480	813,6	1037,5	4,766	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,776	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86
260	46,940	784,0	1135,1	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,1	237,4	0,87
270	55,051	767,9	1185,3	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	21,6	214,8	0,88
280	64,191	750,7	1236,8	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23,7	191,3	0,90
290	74,448	732,3	1290,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26,2	168,7	0,93
300	85,917	712,5	1344,9	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,2	144,2	0,97

Физические свойства сухого воздуха ($P_B = 760$ мм рт. ст.)

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho,$ кг/м^3	$c_p,$ $\text{кДж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$	$\lambda \cdot 10^3,$ $\text{Вт/(м}\cdot^\circ\text{C)}$	$\alpha \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^6,$ $\text{Па}\cdot\text{с}$	$\nu \cdot 10^6,$ $\text{м}^2/\text{с}$	Pr
—50	1,584	1,013	2,04	12,7	14,6	9,23	0,728
—40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,728
—30	1,453	1,013	2,20	14,9	15,7	10,80	0,723
—20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	11,61	0,716
—10	1,342	1,009	2,36	17,4	16,7	12,43	0,712
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
10	1,247	1,005	2,51	20,0	17,6	14,16	0,705
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
30	1,165	1,005	2,67	22,9	18,6	16,00	0,701
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
50	1,093	1,005	2,83	25,7	19,6	17,95	0,698
60	1,060	1,005	2,90	27,2	20,1	18,97	0,696
70	1,029	1,009	2,96	28,6	20,6	20,02	0,694
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
90	0,972	1,009	3,13	31,9	21,5	22,10	0,690
100	0,946	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	61,0	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	81,9	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	163,4	41,8	115,4	0,706
800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,8	0,713
900	0,301	1,172	7,63	216,2	46,7	155,1	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	245,9	49,0	177,1	0,719
1100	0,257	1,197	8,50	276,2	51,2	199,3	0,722
1200	0,239	1,210	9,15	316,5	53,5	233,7	0,724

Практическое занятие №5

Определение требуемой толщины теплоизоляционного слоя строительной конструкции.

Цель: Изучить методику расчета требуемой толщины изоляции и научиться ее применять для расчетов в практических случаях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

Знать: основные сведения об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии (ОПК-3)

Уметь: выбирать метод или методику решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Владеть: навыком решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Знать: основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Уметь: выявлять основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Владеть: навыком выявления основных требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Знать: типовые проектные решения и технологического оборудования основных инженерных систем жизнеобеспечения здания в соответствии с техническими условиями (ОПК-6)

Уметь: определять базовые параметры теплового режима здания и производить расчётное обоснование режима работы инженерной системы жизнеобеспечения здания (ОПК-6)

Владеть: навыком определения основных параметров инженерных систем здания (ОПК-6)

Актуальность темы

Знание методики расчета требуемой толщины изоляции строительных конструкций необходимо при проектировании зданий и сооружений и оценке их теплозащитных свойств. Методика определения внутренних и наружных расчетных условий необходима при проектировании систем отопления.

5.1. Теоретическая часть

1. Расчетные параметры внутреннего и наружного воздуха.

Расчетная температура внутреннего воздуха ($t_{в,}$ °C), при расчете жилых зданий принимается 20 - 22 °C.

Для расчета ограждающей конструкции необходимо определить следующие параметры наружного воздуха (для заданного района), согласно данным [табл. 3.1 в СП 131.13330]:

- среднюю температуру воздуха наиболее холодной пятидневки (t_n) с коэффициентом обеспеченности 0,92;
- среднюю температуру отопительного периода (t_{om});
- продолжительность отопительного периода (Z_{om});

Отопительный период принимается как период со среднесуточной температурой наружного воздуха не более 8 °C.

2. Требуемое термическое сопротивление ограждения

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, ($R_{отр}$, м²°C/Вт), следует принимать в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП, °C·сут/год), региона строительства и определять по таблице 3.

Таблица 3 - Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (СП 50.13330)

Здания и помещения, коэффициенты a и b	Градусо-сутки отопительного периода, °C·сут/год	Базовые значения требуемого сопротивления теплопередаче $R_{отр}$, (м ² ·°C)/Вт, ограждающих конструкций				
		Стен	Покрытий и перекрытий над проездами	Перекрытий чердачных над неотапливаемым и подпольями и подвалами	Окон и балконных дверей, витрин и витражей	Фонарей
1	2	3	4	5	6	7
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты, гостиницы и общежития	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
a	-	0,00035	0,0005	0,00045	-	0,000025
b	-	1,4	2,2	1,9	-	0,25

Градусо-сутки отопительного периода, °C·сут/год, определяют по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_b - t_{от})z_{от},$$

где $t_{от}$, $z_{от}$ - средняя температура наружного воздуха, °С, и продолжительность, сут/год, отопительного периода;

$t_{в}$ - расчетная температура внутреннего воздуха здания, °С.

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

$$R_o^{тр} = a \cdot \text{ГСОП} + b,$$

где ГСОП - градусо-сутки отопительного периода, °С·сут/год, для конкретного пункта; а, b - коэффициенты, значения которых следует принимать по данным таблицы для соответствующих групп зданий.

3. Требуемая толщина теплоизоляционного слоя

Толщина теплоизоляционного слоя определяется по величине термического сопротивления слоя изоляции

$$R = \frac{\delta}{\lambda}$$

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \cdot R, \text{ м}, \quad (3.2)$$

где $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности теплоизоляционного материала;

Термическое сопротивление слоя изоляции определяется на основе требуемого сопротивления теплопередаче ($R_o^{тр}$) ограждающей конструкции

$$R = R_o^{тр} - R_{т}^{стр}$$

$R_{т}^{стр} = R_n + \sum R_i^{стр} + R_v$ - сопротивление теплопередачи строительных элементов; $\sum R_i^{стр}$ - сумма термических сопротивлений строительных элементов (за исключением слоя изоляции),

$$R = \frac{1}{\alpha_n} \quad R_v = \frac{1}{\alpha_v} \quad R_{стр} = \frac{\delta}{\lambda}$$

где α_n и α_v - коэффициенты теплоотдачи (Таблицы 4, 5); δ_i и λ_i - толщина и коэффициент теплопроводности элемента ограждающей конструкции.

Коэффициенты теплопроводности материалов принять по условиям эксплуатации здания «Б» [(Прил. Т) СП 50.13330]

Полученное значение толщины изоляционного слоя округлить до ближайшего большего значения, кратного 10 мм и уточнить R по факту.

4. Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{R_0}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}$$

где $R_0 = R_n + \sum R_i + R_v, \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}$

ΣR_i – сумма термических сопротивлений **всех** слоев ограждающей конструкции.

$$\Sigma R_i = R_i^{\text{стр}} + R$$

Расчет сопротивлений для каждой ограждающей конструкции вести в табличной форме:

Расчет тепловых сопротивлений (*Название ограждающей конструкции*)

№ п/п	Наименование элемента	Обозначение	δ , м	λ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^\circ}$	R , $\frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ}{\text{Вт}}$
1.1	(Название слоя 1)				
1.2	(Название слоя 2)				
1.3	(Название слоя 3)				
1.4	(Название изоляционного слоя)	$R_{\text{из}}$	(факт.)		(факт.)
1...	(Название слоя ...)				
2.1	Сумма термических сопротивлений строительных элементов	$\Sigma R_i^{\text{стр}}$		—	
2.2	Сопротивление наружной теплоотдачи	R_n	—	(α_n)	
2.3	Сопротивление внутренней теплоотдачи	R_v	—	(α_v)	
2.4	Сопротивление теплопередачи строительных элементов	$R_t^{\text{стр}}$	—	—	
2.5	Требуемое сопротивление теплопередаче	$R_o^{\text{тр}}$	—	—	
2.6	Термическое сопротивление слоя изоляции	R	(расч.)		(расч.)
3.1	Сумма термических сопротивлений всех элементов ограждающей конструкции	ΣR_i	(факт.)	—	(факт.)
3.2	Общее сопротивление теплопередачи ограждающей конструкции	R_0	—	—	

5.2. Вопросы и задания

По варианту выписать состав каждой ограждающей конструкции.

Выполнить указания следующих пунктов:

1. Расчетные параметры внутреннего и наружного воздуха.
2. Требуемое термическое сопротивление ограждения
3. Требуемая толщина теплоизоляционного слоя

(Расчет сопротивлений вести в табличной форме)

4. Коэффициент теплопередачи

Расчет пунктов 2-4 ведется для каждой ограждающей конструкции отдельно.

Город, климатические данные которого являются исходными, принимается по второй цифре шифра варианта из таблицы 1.1: в случае, если первая цифра шифра НЕЧЕТНАЯ – из ряда А; при первой ЧЕТНОЙ цифре – из ряда Б. Порядковый номер города в любом ряде должен соответствовать ВТОРОЙ цифре шифра.

Таблица 1.1 – Выбор района строительства

Ряд А Первая цифра нечетная		Ряд Б Первая цифра четная		Ряд А Первая цифра нечетная		Ряд Б Первая цифра четная	
1	Москва	1	Волгоград	6	Ростов н/Д	6	Новосибирск
2	Владикавказ	2	Томск	7	Воронеж	7	Ставрополь
3	Курск	3	Владимир	8	Свердловск	8	Ярославль
4	Астрахань	4	Уфа	9	Махачкала	9	Курган
5	Орел	5	Омск	0	С.-Петербург	0	Хабаровск

Таблица 1.4 - Конструкция наружных стен здания

Название слоя	Первая цифра: 1; 3; 5; 7; 9	Первая цифра: 0; 2; 4; 6; 8
1-й слой (наружный)	Облицовка из кирпича керамического цельного, $\delta=12$ см	Облицовка из кирпича силикатного, $\delta=12$ см
2-й слой	Теплоизоляционный (см. таблицу 1.5)	Теплоизоляционный (см. таблицу 1.5)
3-й слой	Плита железобетонная, $\delta=25$ см	Кладка из кирпича глиняного, $\delta=38$ см
4-й слой	Штукатурка цементно-песчаная, $\delta=2$ см	Штукатурка известково- песчаная, $\delta=2$ см

Таблица 1.5 - Теплоизоляция наружных стен здания

Вторая цифра шифра									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Маты минераловатные прошивные	Плиты мягкие минераловатные	Плиты полужесткие минераловатные	Плиты из стеклянного штапельного волокна	Пенополистирол	Пенопласт	Пенополиуретан	Перлитопласт-бетон	Плиты из резольноформальдегидн ого пенопласта	Маты из стеклянного волокна прошивные

Таблица 1.6 - Конструкция перекрытия (пола) здания

Название слоя	Вторая цифра: 1; 3; 5; 7; 9	Вторая цифра: 0; 2; 4; 6; 8
1-й слой (несущий)	Плита железобетонная, $\delta=22$ см	Плита железобетонная, $\delta=22$ см
2-й слой	Стяжка из бетона на вулканическом шлаке, $\delta=5$ см	Стяжка из керамзитобетона, $\delta=10$ см
3-й слой	Гидро-пароизоляция: битум, $\delta=1$ см	Гидро-пароизоляция: Рубероид, $\delta=0,8$ см
4-й слой	Теплоизоляция (см. таблицу 1.7)	Теплоизоляция (см. таблицу 1.7)
5-й слой	Стяжка цементно-перлитовая, $\delta=15$ см	Стяжка цементно-песчаная, $\delta=10$ см
6-й слой	Пол – паркет дубовый, $\delta=1,5$ см	Пол – Линолеум, $\delta=0,5$ см

Таблица 1.7 - Теплоизоляция перекрытия (пола) здания

Первая цифра шифра									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Засыпка из гравия керамзитового	Плиты минераловатные повышенной жесткости	Плиты полужесткие минераловатные	Плиты из стеклянного штапельного волокна	Пенополистирол	Щебень из перлита вспученного	Гравий шунгизитовый	Перлитопласт-бетон	Вермикулит вспученный	Щебень из аглопорита

Таблица 1.8 - Конструкция покрытия здания

Название слоя	Первая цифра: 1; 3; 5; 7; 9	Первая цифра: 0; 2; 4; 6; 8
1-й слой (несущий)	Плита железобетонная, $\delta=22$ см	Плита железобетонная, $\delta=22$ см
2-й слой	Стяжка из туфобетона, $\delta=10$ см	Стяжка из пемзобетона, $\delta=15$ см
3-й слой	Гидро-пароизоляция: вспученный перлит на битумном связующем, $\delta=5$ см	Гидро-пароизоляция: битум, $\delta=2$ см
4-й слой	Теплоизоляция (см. таблицу 1.9)	Теплоизоляция (см. таблицу 1.9)
5-й слой	Стяжка шунгизитобетонная, $\delta=15$ см	Стяжка пенозолобетонная, $\delta=10$ см
6-й слой (наружный)	Рубероид, $\delta=2,5$ см	Пергамин, $\delta=3$ см

Таблица 1.9 - Теплоизоляция покрытия здания

Вторая цифра шифра									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пенопласт	Плиты минераловатные повышенной жесткости	Плиты полужесткие минераловатные	Плиты из стеклянного штапельного волокна	Пенополистирол	Щебень из перлита вспученного	Гравий шунгизитовый	Перлитопласт-бетон	Вермикулит вспученный	Щебень из аглопорита

5.3. Список литературы

1. Малявина, Е. Г. Теплотери здания : справочное пособие / Е. Г. Малявина. - Москва : АВОК-Пресс, 2007. - 141 с.
2. Внутренние санитарно-технические устройства : в 3 ч. Ч. 1. Отопление / [В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Ска-нави и др.] ; под ред. И.Г. Староверова, Ю.И. Шиллера. – Курган : Изд-во «Интеграл» , 2008 – 343 с.
3. ГОСТ 12.1.005–88*. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ГОСТ 30494–96. Здания жилые и общественные. Пара-метры микроклимата в помещениях.
5. Еремкин, А.И. Отопление и вентиляция жилого здания / А.И. Еремкин, Т.И. Королева, Н.А. Орлова. – М. : Изд-во АСВ, 2003. – 129 с.

5.4. Приложения

Приложение 5.1

Коэффициенты теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции
(Табл. 4 – СП 50.13330)

Внутренняя поверхность ограждения	Коэффициент теплоотдачи α_v , Вт/(м ² ·°С)
1 Стен, полов, гладких потолков, потолков с выступающими ребрами при отношении высоты h ребер к расстоянию a , между гранями соседних ребер $h/a \leq 0,3$	8,7
2 Потолков с выступающими ребрами при отношении $h/a > 0,3$	7,6
3 Окон	8,0
4 Зенитных фонарей	9,9

Приложение 5.2

Коэффициенты теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции
(Табл. 6 – СП 50.13330)

Наружная поверхность ограждающих конструкций	Коэффициент теплоотдачи для зимних условий, α_n , Вт/(м ² ·°С)
1 Наружных стен, покрытий, перекрытий над проездами и над холодными (без ограждающих стенок) подпольями в Северной строительной-климатической зоне	23
2 Перекрытий над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытий над холодными (с ограждающими стенками) подпольями и холодными этажами в Северной строительной-климатической зоне	17
3 Перекрытий чердачных и над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах, а также наружных стен с воздушной прослойкой, вентилируемой наружным воздухом	12
4 Перекрытий над неотапливаемыми подвалами и техническими, подпольями, не вентилируемых наружным воздухом	6

Климатические параметры холодного периода года (Таблица 3.1*– СП 131.13330)

Республика, край, область, пункт	Температура воздуха наиболее холодных суток, °С, обеспечен- ностью		Температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С, обеспечен- ностью		Темпера- тура воздуха, °С, обеспеченн остью 0,94	Абсолют- ная минимал- ная темпера- тура воздуха, °С	Средняя суточная амплитуда температу ры воздуха наиболее холодного месяца, °С	Продолжительность, сут, и средняя температура воздуха, °С, периода со средней суточной температурой воздуха						Средняя месячная относительн ая влажность воздуха наиболее холодного месяца, %	Средняя месячная относительн ая влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца, %	Количес тво осадков за ноябрь - март, мм
								≤ 0 °С		≤ 8 °С		≤ 10 °С				
	Продолжи- тельность	средняя температу ра	Продолжи- тельность	средняя температу ра				Продолжи- тельность	средняя температу ра							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Москва	-35	-28	-29	-25	-13	-43	5,4	135	-5,5	205	-2,2	223	-1,3	83	82	225
Владикавказ	-19	-17	-15	-13	-7	-28	9,1	90	-2,1	169	0,7	189	1,6	81	69	176
Курск	-29	-27	-24	-24	-12	-35	5,6	132	-5,3	194	-2,3	211	-1,4	85	83	217
Астрахань	-25	-24	-23	-21	-10	-33	6,8	103	-3,5	164	-0,8	179	0,1	83	76	73
Орел	-31	-29	-26	-25	-13	-39	6	135	-5,5	199	-2,4	216	-1,5	84	82	178
Волгоград	-27	-26	-25	-22	-12	-35	5,6	122	-5,1	176	-2,3	190	-1,5	85	82	151
Томск	-44	-43	-41	-39	-22	-55	8,2	176	-11,8	233	-7,9	249	-6,8	79	78	171
Владимир	-38	-34	-32	-28	-16	-48	6,3	148	-6,9	213	-3,5	230	-2,6	84	83	194
Уфа	-41	-38	-38	-33	-18	-49	8,9	155	-9,5	209	-6	224	-5	82	79	205
Омск	-42	-40	-38	-37	-22	-49	8,6	165	-11,9	216	-8,1	232	-6,9	80	78	104
Ростов н/Д	-25	-23	-22	-19	-9	-33	5,2	97	-2,8	166	-0,1	182	0,7	82	77	219
Воронеж	-31	-29	-25	-24	-13	-37	5,9	130	-5,5	190	-2,5	206	-1,6	82	80	201
Екатеринбург	-41	-38	-37	-32	-18	-47	6,8	158	-9,2	221	-5,4	239	-4,3	78	75	112
Махачкала	-20	-17	-17	-13	-3	-25	5,6	0	-	144	2,7	164	3,5	83	78	140
С.-Петербург	-32	-27	-28	-24	-11	-36	5,3	131	-4,6	213	-1,3	232	-0,4	86	84	202
Новосибирск	-43	-41	-41	-37	-22	-50	9	169	-11,8	221	-8,1	238	-6,9	79	76	104
Ставрополь	-25	-23	-22	-18	-6	-31	6,6	91	-2,2	168	0,5	185	1,3	84	78	159
Ярославль	-37	-34	-34	-31	-17	-46	8,3	152	-7,8	221	-4	239	-2,8	83	82	174
Курган	-42	-40	-39	-36	-21	-48	8,5	161	-11,3	212	-7,6	229	-6,3	80	79	89
Хабаровск	-34	-32	-32	-29	-25	-43	7,7	158	-13,6	204	-9,5	219	-8,3	74	67	81

Расчетные теплотехнические показатели строительных материалов и изделий
(Приложение Т. – СП 50.13330)

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
	плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°C)	влажность, w, %		теплопроводность λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
Теплоизоляционные материалы										
1 Плиты из пенополистирола	До 10	1,34	0,049	2	10	0,052	0,059	0,23	0,28	0,05
2 То же	10-12	1,34	0,041	2	10	0,044	0,050	0,23	0,28	0,05
3 "	12-14	1,34	0,040	2	10	0,043	0,049	0,25	0,30	0,05
4 "	14-15	1,34	0,039	2	10	0,042	0,048	0,26	0,30	0,05
5 "	15-17	1,34	0,038	2	10	0,041	0,047	0,27	0,32	0,05
6 "	17-20	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,29	0,34	0,05
7 "	20-25	1,34	0,036	2	10	0,038	0,044	0,31	0,38	0,05
8 "	25-30	1,34	0,036	2	10	0,038	0,044	0,34	0,41	0,05
9 "	30-35	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,38	0,45	0,05
10 "	35-38	1,34	0,037	2	10	0,040	0,046	0,38	0,45	0,05
11 Плиты из пенополистирола с графитовыми добавками	15-20	1,34	0,033	2	10	0,035	0,040	0,27	0,32	0,05
12 То же	20-25	1,34	0,032	2	10	0,034	0,039	0,30	0,35	0,05
13 Экструдированный пенополистирол	25-33	1,34	0,029	1	2	0,030	0,031	0,30	0,31	0,005
14 То же	35-45	1,34	0,030	1	2	0,031	0,032	0,35	0,36	0,005
15 Пенополиуретан	80	1,47	0,041	2	5	0,042	0,05	0,62	0,70	0,05
16 То же	60	1,47	0,035	2	5	0,036	0,041	0,49	0,55	0,05
17 "	40	1,47	0,029	2	5	0,031	0,04	0,37	0,44	0,05
18 Плиты из резольно-фенолформальдегидного пенопласта	80	1,68	0,044	5	20	0,051	0,071	0,75	1,02	0,23
19 То же	50	1,68	0,041	5	20	0,045	0,064	0,56	0,77	0,23
20 Перлитопластбетон	200	1,05	0,041	2	3	0,052	0,06	0,93	1,01	0,008
21 То же	100	1,05	0,035	2	3	0,041	0,05	0,58	0,66	0,008
22 Перлитофосфогелевые изделия	300	1,05	0,076	3	12	0,08	0,12	1,43	2,02	0,2
23 То же	200	1,05	0,064	3	12	0,07	0,09	1,1	1,43	0,23
24 Теплоизоляционные изделия из вспененного синтетического каучука	60-95	1,806	0,034	5	15	0,04	0,054	0,65	0,71	0,003
25 Плиты минераловатные из каменного волокна	180	0,84	0,038	2	5	0,045	0,048	0,74	0,81	0,3
26 То же	40-175	0,84	0,037	2	5	0,043	0,046	0,68	0,75	0,31
27 "	80-125	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,53	0,59	0,32
28 "	40-60	0,84	0,035	2	5	0,041	0,044	0,37	0,41	0,35

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
	плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°C)	влажность, w, %		теплопроводность λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
29 "	25-50	0,84	0,036	2	5	0,042	0,045	0,31	0,35	0,37
30 Плиты из стеклянного штапельного волокна	85	0,84	0,044	2	5	0,046	0,05	0,51	0,57	0,5
31 То же	75	0,84	0,04	2	5	0,042	0,047	0,46	0,52	0,5
32 "	60	0,84	0,038	2	5	0,04	0,045	0,4	0,45	0,51
33 "	45	0,84	0,039	2	5	0,041	0,045	0,35	0,39	0,51
34 "	35	0,84	0,039	2	5	0,041	0,046	0,31	0,35	0,52
35 "	30	0,84	0,04	2	5	0,042	0,046	0,29	0,32	0,52
36 "	20	0,84	0,04	2	5	0,043	0,048	0,24	0,27	0,53
37 "	17	0,84	0,044	2	5	0,047	0,053	0,23	0,26	0,54
38 "	15	0,84	0,046	2	5	0,049	0,055	0,22	0,25	0,55
39 Плиты древесноволокнистые и древесностружечные	1000	2,3	0,15	10	12	0,23	0,29	6,75	7,7	0,12
40 То же	800	2,3	0,13	10	12	0,19	0,23	5,49	6,13	0,12
41 "	600	2,3	0,11	10	12	0,13	0,16	3,93	4,43	0,13
42 "	400	2,3	0,08	10	12	0,11	0,13	2,95	3,26	0,19
43 Плиты древесноволокнистые и древесностружечные	200	2,3	0,06	10	12	0,07	0,08	1,67	1,81	0,24
44 Плиты фибролитовые и арболит на портландцементе	500	2,3	0,095	10	15	0,15	0,19	3,86	4,50	0,11
45 То же	450	2,3	0,09	10	15	0,135	0,17	3,47	4,04	0,11
46 "	400	2,3	0,08	10	15	0,13	0,16	3,21	3,70	0,26
47 Плиты камышитовые	300	2,3	0,07	10	15	0,09	0,14	2,31	2,99	0,45
48 То же	200	2,3	0,06	10	15	0,07	0,09	1,67	1,96	0,49
49 Плиты торфяные теплоизоляционные	300	2,3	0,064	15	20	0,07	0,08	2,12	2,34	0,19
50 То же	200	2,3	0,052	15	20	0,06	0,064	1,6	1,71	0,49
51 Пакля	150	2,3	0,05	7	12	0,06	0,07	1,3	1,47	0,49
52 Плиты из гипса	1350	0,84	0,35	4	6	0,50	0,56	7,04	7,76	0,098
53 То же	1100	0,84	0,23	4	6	0,35	0,41	5,32	5,99	0,11
54 Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	1050	0,84	0,15	4	6	0,34	0,36	5,12	5,48	0,075
55 То же	800	0,84	0,15	4	6	0,19	0,21	3,34	3,66	0,075
56 Изделия из вспученного перлита на битумном связующем	300	1,68	0,087	1	2	0,09	0,099	1,84	1,95	0,04
57 То же	250	1,68	0,082	1	2	0,085	0,099	1,53	1,64	0,04
58 "	225	1,68	0,079	1	2	0,082	0,094	1,39	1,47	0,04
59 "	200	1,68	0,076	1	2	0,078	0,09	1,23	1,32	0,04
Засыпки										
60 Гравий керамзитовый	600	0,84	0,14	2	3	0,17	0,19	2,62	2,83	0,23
61 То же	500	0,84	0,14	2	3	0,15	0,165	2,25	2,41	0,23

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
	плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°C)	влажность, w, %		теплопроводность λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
62 "	450	0,84	0,13	2	3	0,14	0,155	2,06	2,22	0,235
63 Гравий керамзитовый	400	0,84	0,12	2	3	0,13	0,145	1,87	2,02	0,24
64 То же	350	0,84	0,115	2	3	0,125	0,14	1,72	1,86	0,245
65 "	300	0,84	0,108	2	3	0,12	0,13	1,56	1,66	0,25
66 "	250	0,84	0,099	2	3	0,11	0,12	1,22	1,3	0,26
67 "	200	0,84	0,090	2	3	0,10	0,11	1,16	1,24	0,27
68 Гравий шунгизитовый (ГОСТ 9757)	700	0,84	0,16	2	4	0,18	0,21	2,91	3,29	0,21
69 То же	600	0,84	0,13	2	4	0,16	0,19	2,54	2,89	0,22
70 "	500	0,84	0,12	2	4	0,15	0,175	2,25	2,54	0,22
71 "	450	0,84	0,11	2	4	0,14	0,16	2,06	2,30	0,22
72 "	400	0,84	0,11	2	4	0,13	0,15	1,87	2,10	0,23
73 Щебень шлакопемзовый и аглопоритовый (ГОСТ 9757)	800	0,84	0,18	2	3	0,21	0,26	3,36	3,83	0,22
74 То же	700	0,84	0,16	2	3	0,19	0,23	2,99	3,37	0,23
75 "	600	0,84	0,15	2	3	0,18	0,21	2,7	2,98	0,24
76 "	500	0,84	0,14	2	3	0,16	0,19	2,32	2,59	0,25
77 "	450	0,84	0,13	2	3	0,15	0,17	2,13	2,32	0,255
78 "	400	0,84	0,122	2	3	0,14	0,16	1,94	2,12	0,26
79 Пористый гравий с остеклованной оболочкой из доменного и ферросплавного шлаков (ГОСТ 25820)	700	0,84	0,14	2	3	0,17	0,19	2,84	3,06	0,22
80 То же	600	0,84	0,13	2	3	0,16	0,18	2,54	2,76	0,235
81 "	500	0,84	0,12	2	3	0,14	0,15	2,17	2,30	0,24
82 "	400	0,84	0,10	2	3	0,13	0,14	1,87	1,98	0,245
83 Щебень и песок из перлита вспученного (ГОСТ 10832)	500	0,84	0,09	1	2	0,1	0,11	1,79	1,92	0,26
84 То же	400	0,84	0,076	1	2	0,087	0,095	1,5	1,6	0,3
85 "	350	0,84	0,07	1	2	0,081	0,085	1,35	1,42	0,3
86 "	300	0,84	0,064	1	2	0,076	0,08	0,99	1,04	0,34
87 Вермикулит вспученный (ГОСТ 12865)	200	0,84	0,065	1	3	0,08	0,095	1,01	1,16	0,23
88 То же	150	0,84	0,060	1	3	0,074	0,098	0,84	1,02	0,26
89 "	100	0,84	0,055	1	3	0,067	0,08	0,66	0,75	0,3
90 Песок для строительных работ (ГОСТ 8736)	1600	0,84	0,35	1	2	0,47	0,58	6,95	7,91	0,17
Конструкционные и конструкционно-теплоизоляционные материалы										
<i>Бетоны на заполнителях из пористых горных пород</i>										
91 Туфобетон	1800	0,84	0,64	7	10	0,87	0,99	11,38	12,79	0,09
92 То же	1600	0,84	0,52	7	10	0,7	0,81	9,62	10,91	0,11

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
	плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°C)	влажность, w, %		теплопроводность λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
93 "	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63	0,11
94 "	1200	0,84	0,32	7	10	0,41	0,47	6,38	7,2	0,12
95 Бетон на литоидной пемзе	1600	0,84	0,52	4	6	0,62	0,68	8,54	9,3	0,075
96 То же	1400	0,84	0,42	4	6	0,49	0,54	7,1	7,76	0,083
97 "	1200	0,84	0,30	4	6	0,4	0,43	5,94	6,41	0,098
98 "	1000	0,84	0,22	4	6	0,3	0,34	4,69	5,2	0,11
99 "	800	0,84	0,19	4	6	0,22	0,26	3,6	4,07	0,12
100 Бетон на вулканическом шлаке	1600	0,84	0,52	7	10	0,64	0,7	9,2	10,14	0,075
101 То же	1400	0,84	0,41	7	10	0,52	0,58	7,76	8,63	0,083
102 "	1200	0,84	0,33	7	10	0,41	0,47	6,38	7,2	0,09
103 "	1000	0,84	0,24	7	10	0,29	0,35	4,9	5,67	0,098
104 "	800	0,84	0,20	7	10	0,23	0,29	3,9	4,61	0,11
<i>Бетоны на искусственных пористых заполнителях</i>										
105 Керамзитобетон на керамзитовом песке	1800	0,84	0,66	5	10	0,80	0,92	10,5	12,33	0,09
106 То же	1600	0,84	0,58	5	10	0,67	0,79	9,06	10,77	0,09
107 "	1400	0,84	0,47	5	10	0,56	0,65	7,75	9,14	0,098
108 "	1200	0,84	0,36	5	10	0,44	0,52	6,36	7,57	0,11
109 "	1000	0,84	0,27	5	10	0,33	0,41	5,03	6,13	0,14
110 "	800	0,84	0,21	5	10	0,24	0,31	3,83	4,77	0,19
111 "	600	0,84	0,16	5	10	0,2	0,26	3,03	3,78	0,26
112 "	500	0,84	0,14	5	10	0,17	0,23	2,55	3,25	0,3
113 Керамзитобетон на кварцевом песке с умеренной (до 12%) поризацией	1200	0,84	0,41	4	8	0,52	0,58	6,77	7,72	0,075
114 То же	1000	0,84	0,33	4	8	0,41	0,47	5,49	6,35	0,075
115 "	800	0,84	0,23	4	8	0,29	0,35	4,13	4,9	0,075
116 Керамзитобетон на перлитовом песке	1000	0,84	0,28	9	13	0,35	0,41	5,57	6,43	0,15
117 То же	800	0,84	0,22	9	13	0,29	0,35	4,54	5,32	0,17
118 Керамзитобетон беспесчаный	700	0,84	0,135	3,5	6	0,145	0,155	2,70	2,94	0,145
119 То же	600	0,84	0,130	3,5	6	0,140	0,150	2,46	2,68	0,155
120 "	500	0,84	0,120	3,5	6	0,130	0,140	2,16	2,36	0,165
121 "	400	0,84	0,105	3,5	6	0,115	0,125	1,82	1,99	0,175
122 "	300	0,84	0,095	3,5	6	0,105	0,110	1,51	1,62	0,195
123 Шунгзитобетон	1400	0,84	0,49	4	7	0,56	0,64	7,59	8,6	0,098
124 То же	1200	0,84	0,36	4	7	0,44	0,5	6,23	7,04	0,11
125 "	1000	0,84	0,27	4	7	0,33	0,38	4,92	5,6	0,14
126 Перлитобетон	1200	0,84	0,29	10	15	0,44	0,5	6,96	8,01	0,15
127 То же	1000	0,84	0,22	10	15	0,33	0,38	5,5	6,38	0,19
128 "	800	0,84	0,16	10	15	0,27	0,33	4,45	5,32	0,26
129 Перлитобетон	600	0,84	0,12	10	15	0,19	0,23	3,24	3,84	0,3

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
	плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°C)	влажность, w, %		теплопроводность λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
130 Бетон на шлакопемзовом щебне	1800	0,84	0,52	5	8	0,63	0,76	9,32	10,83	0,075
131 То же	1600	0,84	0,41	5	8	0,52	0,63	7,98	9,29	0,09
132 "	1400	0,84	0,35	5	8	0,44	0,52	6,87	7,9	0,098
133 "	1200	0,84	0,29	5	8	0,37	0,44	5,83	6,73	0,11
134 "	1000	0,84	0,23	5	8	0,31	0,37	4,87	5,63	0,11
135 Бетон на остеклованном шлаковом гравии	1800	0,84	0,46	4	6	0,56	0,67	8,60	9,80	0,08
136 То же	1600	0,84	0,37	4	6	0,46	0,55	7,35	8,37	0,085
137 "	1400	0,84	0,31	4	6	0,38	0,46	6,25	7,16	0,09
138 "	1200	0,84	0,26	4	6	0,32	0,39	5,31	6,10	0,10
139 "	1000	0,84	0,21	4	6	0,27	0,33	4,45	5,12	0,11
140 Мелкозернистые бетоны на гранулированных доменных и ферросплавных (силикомарганца и ферромарганца) шлаках	1800	0,84	0,58	5	8	0,7	0,81	9,82	11,18	0,083
141 То же	1600	0,84	0,47	5	8	0,58	0,64	8,43	9,37	0,09
142 "	1400	0,84	0,41	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,098
143 "	1200	0,84	0,36	5	8	0,49	0,52	6,57	7,31	0,11
144 Аглопоритобетон и бетоны на заполнителях из топливных шлаков	1800	0,84	0,7	5	8	0,85	0,93	10,82	11,98	0,075
145 То же	1600	0,84	0,58	5	8	0,72	0,78	9,39	10,34	0,083
146 "	1400	0,84	0,47	5	8	0,59	0,65	7,92	8,83	0,09
147 "	1200	0,84	0,35	5	8	0,48	0,54	6,64	7,45	0,11
148 "	1000	0,84	0,29	5	8	0,38	0,44	5,39	6,14	0,14
149 Бетон на зольном обжиговом и безобжиговом гравии	1400	0,84	0,47	5	8	0,52	0,58	7,46	8,34	0,09
150 То же	1200	0,84	0,35	5	8	0,41	0,47	6,14	6,95	0,11
151 "	1000	0,84	0,24	5	8	0,3	0,35	4,79	5,48	0,12
152 Вермикулитобетон	800	0,84	0,21	8	13	0,23	0,26	3,97	4,58	-
153 То же	600	0,84	0,14	8	13	0,16	0,17	2,87	3,21	0,15
154 "	400	0,84	0,09	8	13	0,11	0,13	1,94	2,29	0,19
155 "	300	0,84	0,08	8	13	0,09	0,11	1,52	1,83	0,23
<i>Бетоны особо легкие на пористых заполнителях и ячеистые</i>										
156 Полистиролбетон на портландцементе (ГОСТ Р 51263)	600	1,06	0,145	4	8	0,175	0,20	3,07	3,49	0,068
157 То же	500	1,06	0,125	4	8	0,14	0,16	2,5	2,85	0,075
158 "	400	1,06	0,105	4	8	0,12	0,135	2,07	2,34	0,085
159 "	350	1,06	0,095	4	8	0,11	0,12	1,85	2,06	0,09
160 "	300	1,06	0,085	4	8	0,09	0,11	1,55	1,83	0,10
161 "	250	1,06	0,075	4	8	0,085	0,09	1,38	1,51	0,11
162 "	200	1,06	0,065	4	8	0,07	0,08	1,12	1,28	0,12
163 "	150	1,06	0,055	4	8	0,057	0,06	0,87	0,96	0,135

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
	плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°C)	влажность, w, %		теплопроводность λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
164 Полистиролбетон модифицированный на шлакопортландцементе	500	1,06	0,12	3,5	7	0,13	0,14	2,39	2,63	0,075
165 То же	400	1,06	0,09	3,5	7	0,10	0,11	1,87	1,98	0,08
166 "	300	1,06	0,08	3,5	7	0,08	0,09	1,45	1,63	0,10
167 "	250	1,06	0,07	3,5	7	0,07	0,08	1,24	1,40	0,11
168 "	200	1,06	0,06	3,5	7	0,06	0,07	1,02	1,09	0,12
169 Газо- и пенобетон на цементном вяжущем	1000	0,84	0,29	8	12	0,38	0,43	5,71	6,49	0,11
170 То же	800	0,84	0,21	8	12	0,33	0,37	4,92	5,63	0,14
171 "	600	0,84	0,14	8	12	0,22	0,26	3,36	3,91	0,17
172 "	400	0,84	0,11	8	12	0,14	0,15	2,19	2,42	0,23
173 Газо- и пенобетон на известняковом вяжущем	1000	0,84	0,31	12	18	0,48	0,55	6,83	7,98	0,13
174 То же	800	0,84	0,23	11	16	0,39	0,45	6,07	7,03	0,16
175 "	600	0,84	0,15	11	16	0,28	0,34	5,15	6,11	0,18
176 "	500	0,84	0,13	11	16	0,22	0,28	4,56	5,55	0,235
177 Газо- и пенозолобетон на цементном вяжущем	1200	0,84	0,37	15	22	0,60	0,66	7,99	9,18	0,085
178 То же	1000	0,84	0,32	15	22	0,52	0,58	7,43	8,62	0,098
179 "	800	0,84	0,23	15	22	0,41	0,47	6,61	7,60	0,12
<i>Кирпичная кладка из сплошного кирпича</i>										
180 Глиняного обыкновенного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,56	1	2	0,7	0,81	9,2	10,12	0,11
181 Глиняного обыкновенного на цементно-шлаковом растворе	1700	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,76	8,64	9,7	0,12
182 Глиняного обыкновенного на цементно-перлитовом растворе	1600	0,88	0,47	2	4	0,58	0,7	8,08	9,23	0,15
183 Силикатного на цементно-песчаном растворе	1800	0,88	0,7	2	4	0,76	0,87	9,77	10,9	0,11
184 Трепельного на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	2	4	0,47	0,52	6,26	6,49	0,19
185 То же	1000	0,88	0,29	2	4	0,41	0,47	5,35	5,96	0,23
186 Шлакового на цементно-песчаном растворе	1500	0,88	0,52	1,5	3	0,64	0,7	8,12	8,76	0,11
<i>Кирпичная кладка из пустотного кирпича</i>										

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
	плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°С)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°С)	влажность, w, %		теплопроводность λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s, Вт/(м ² ·°С)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
187 Керамического пустотного плотностью 1400 кг/м ³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1600	0,88	0,47	1	2	0,58	0,64	7,91	8,48	0,14
188 Керамического пустотного плотностью 1300 кг/м ³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,41	1	2	0,52	0,58	7,01	7,56	0,16
189 Керамического пустотного плотностью 1000 кг/м ³ (брутто) на цементно-песчаном растворе	1200	0,88	0,35	1	2	0,47	0,52	6,16	6,62	0,17
190 Силикатного одиннадцатипустотного на цементно-песчаном растворе	1500	0,88	0,64	2	4	0,7	0,81	8,59	9,63	0,13
191 Силикатного четырнадцатипустотного на цементно-песчаном растворе	1400	0,88	0,52	2	4	0,64	0,76	7,93	9,01	0,14
Дерево и изделия из него										
192 Сосна и ель поперек волокон	500	2,3	0,09	15	20	0,14	0,18	3,87	4,54	0,06
193 Сосна и ель вдоль волокон	500	2,3	0,18	15	20	0,29	0,35	5,56	6,33	0,32
194 Дуб поперек волокон	700	2,3	0,1	10	15	0,18	0,23	5,0	5,86	0,05
195 Дуб вдоль волокон	700	2,3	0,23	10	15	0,35	0,41	6,9	7,83	0,3
196 Фанера клееная	600	2,3	0,12	10	13	0,15	0,18	4,22	4,73	0,02
197 Картон облицовочный	1000	2,3	0,18	5	10	0,21	0,23	6,2	6,75	0,06
198 Картон строительный многослойный	650	2,3	0,13	6	12	0,15	0,18	4,26	4,89	0,083
Конструкционные материалы										
<i>Бетоны</i>										
199 Железобетон	2500	0,84	1,69	2	3	1,92	2,04	17,98	18,95	0,03
200 Бетон на гравии или щебне из природного камня	2400	0,84	1,51	2	3	1,74	1,86	16,77	17,88	0,03
201 Раствор цементно-песчаный	1800	0,84	0,58	2	4	0,76	0,93	9,6	11,09	0,09
202 Раствор сложный (песок, известь, цемент)	1700	0,84	0,52	2	4	0,7	0,87	8,95	10,42	0,098
203 Раствор известково-песчаный	1600	0,84	0,47	2	4	0,7	0,81	8,69	9,76	0,12

Материал	Характеристики материалов в сухом состоянии			Расчетные характеристики материалов при условиях эксплуатации конструкций А и Б						
	плотность ρ_0 , кг/м ³	удельная теплоемкость c_0 , кДж/(кг·°C)	теплопроводность λ_0 , Вт/(м·°C)	влажность, w, %		теплопроводность λ , Вт/(м·°C)		теплоусвоение (при периоде 24 ч) s, Вт/(м ² ·°C)		Паропроницаемость μ , мг/(м·ч·Па)
				А	Б	А	Б	А	Б	А, Б
<i>Облицовка природным камнем</i>										
204 Гранит, гнейс и базальт	2800	0,88	3,49	0	0	3,49	3,49	25,04	25,04	0,008
205 Мрамор	2800	0,88	2,91	0	0	2,91	2,91	22,86	22,86	0,008
206 Известняк	2000	0,88	0,93	2	3	1,16	1,28	12,77	13,7	0,06
207 То же	1800	0,88	0,7	2	3	0,93	1,05	10,85	11,77	0,075
208 "	1600	0,88	0,58	2	3	0,73	0,81	9,06	9,75	0,09
209 "	1400	0,88	0,49	2	3	0,56	0,58	7,42	7,72	0,11
210 Туф	2000	0,88	0,76	3	5	0,93	1,05	11,68	12,92	0,075
211 То же	1800	0,88	0,56	3	5	0,7	0,81	9,61	10,76	0,083
212 "	1600	0,88	0,41	3	5	0,52	0,64	7,81	9,02	0,09
213 "	1400	0,88	0,33	3	5	0,43	0,52	6,64	7,6	0,098
214 "	1200	0,88	0,27	3	5	0,35	0,41	5,55	6,25	0,11
215 "	1000	0,88	0,21	3	5	0,24	0,29	4,2	4,8	0,11
Материалы кровельные, гидроизоляционные, облицовочные и рулонные покрытия для полов										
216 Листы асбестоцементные плоские	1800	0,84	0,35	2	3	0,47	0,52	7,55	8,12	0,03
217 То же	1600	0,84	0,23	2	3	0,35	0,41	6,14	6,8	0,03
218 Битумы нефтяные строительные и кровельные	1400	1,68	0,27	0	0	0,27	0,27	6,8	6,8	0,008
219 То же	1200	1,68	0,22	0	0	0,22	0,22	5,69	5,69	0,008
220 "	1000	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	4,56	4,56	0,008
221 Асфальтобетон	2100	1,68	1,05	0	0	1,05	1,05	16,43	16,43	0,008
222 Рубероид, пергамин, толь	600	1,68	0,17	0	0	0,17	0,17	3,53	3,53	-
223 Пенополиэтилен	26	2,0	0,048	1	2	0,049	0,050	0,44	0,44	0,001
224 То же	30	2,0	0,049	1	2	0,050	0,050	0,47	0,48	0,001
225 Линолеум поливинилхлоридный на теплоизолирующей подоснове	1800	1,47	0,38	0	0	0,38	0,38	8,56	8,56	0,002
226 То же	1600	1,47	0,33	0	0	0,33	0,33	7,52	7,52	0,002
227 Линолеум поливинилхлоридный на тканевой основе	1800	1,47	0,35	0	0	0,35	0,35	8,22	8,22	0,002
228 То же	1600	1,47	0,29	0	0	0,29	0,29	7,05	7,05	0,002
Металлы и стекло										
230 Сталь стержневая арматурная	7850	0,482	58	0	0	58	58	126,5	126,5	0
231 Чугун	7200	0,482	50	0	0	50	50	112,5	112,5	0
232 Алюминий	2600	0,84	221	0	0	221	221	187,6	187,6	0
233 Медь	8500	0,42	407	0	0	407	407	326	326	0
234 Стекло оконное	2500	0,84	0,76	0	0	0,76	0,76	10,79	10,79	0

Практическое занятие № 6

Расчет теплопотерь здания

Цель: Изучить методику расчета теплопотерь здания и научиться ее применять для расчетов реальных зданий.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

Знать: основные сведения об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии (ОПК-3)

Уметь: выбирать метод или методику решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Владеть: навыком решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Знать: основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Уметь: выявлять основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Владеть: навыком выявления основных требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Знать: типовые проектные решения и технологического оборудования основных инженерных систем жизнеобеспечения здания в соответствии с техническими условиями (ОПК-6)

Уметь: определять базовые параметры теплового режима здания и производить расчётное обоснование режима работы инженерной системы жизнеобеспечения здания (ОПК-6)

Владеть: навыком определения основных параметров инженерных систем здания (ОПК-6)

Актуальность темы

Расчет теплопотерь здания является основой для гидравлического расчета системы отопления и дальнейшего ее проектирования.

6.1. Теоретическая часть

I. Теплопотери ограждающих конструкций

При расчете теплопотерь следует учитывать основные и добавочные потери тепла. **Основные** теплопотери определяются для наружных ограждающих конструкций по формуле:

$$Q = K \cdot \Delta t \cdot F, \text{ Вт} \quad (6.1)$$

где $K, \frac{\text{Вт}}{2^\circ\text{М}}$ – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции;

$\Delta t = t_{\text{в}} - t_{\text{н}}, ^\circ$ – разность температур между внутренним и наружным воздухом;

$F, \text{ м}^2$ – площадь поверхности ограждающей конструкции;

Примечания:

1. В угловых помещениях жилых зданий, повышают расчетную температуру внутреннего воздуха на 2°С .

2. Угловыми считаются помещения, имеющие две и более наружные стены разной ориентации.

Коэффициент теплопередачи определяется на основе сопротивления теплопередачи: $K = 1/R$

нормативное сопротивление теплопередачи принимается:

– для окон и балконных дверей $R_o = 0,55 \frac{\text{м}^2}{\text{Вт}}$.

– для входных дверей $R = 0,80 \frac{\text{м}^2}{\text{Вт}}$.

Теплопотери наружных стен принято рассчитывать по суммарной площади стены и расположенных в ней окон или дверей. Поэтому в графу коэффициента теплопередачи для окна или двери заносится разность:

$$= \quad - \quad \text{с}$$

$$= \quad - \quad \text{с}$$

Добавочные теплопотери определяют в долях от основных теплопотерь. Они учитывают ориентацию наружных ограждений по сторонам света и другие особенности ограждений и здания в целом.

1. Добавку (α) на ориентацию ограждения по сторонам горизонта принимают для всех наружных вертикальных и наклонных ограждений, обращенных:

– на север, восток, северо-восток и северо-запад в размере $\alpha = 0,1$

– на запад и юго-восток $\alpha = 0,05$.

Схематически добавки на ориентацию представлены на Рис. 6.1.

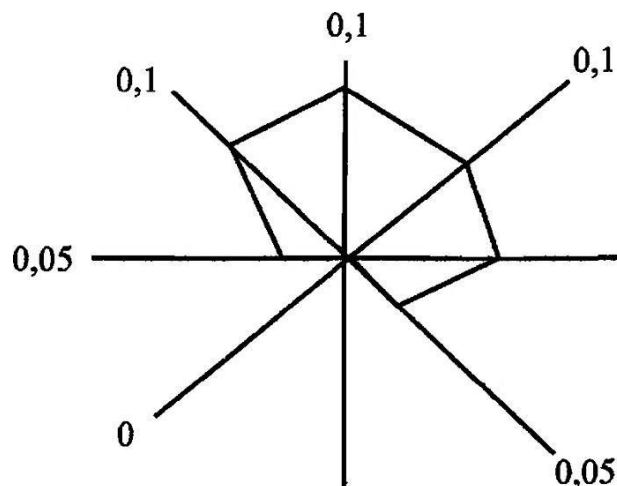


Рис. 6.1 – Схема определения добавок к основным теплопотерям на ориентацию ограждения

2. Добавка (β) на врывание холодного воздуха через наружные двери в здание, не оборудованное воздушно-тепловой завесой, при их кратковременном открывании принимается к основным теплопотерям дверей. Так, в здании высотой H для двойных дверей с тамбуром $\beta = 0,27 \cdot H$, для двойных дверей без тамбура $\beta = 0,34 \cdot H$. Для наружных ворот при отсутствии тамбура и воздушно-тепловой завесы теплопотери рассчитываются с добавкой $\beta = 3$. Указанные добавки не относятся к летним и запасным наружным дверям.

Теплопотери через ограждение с учетом добавок:

$$Q = Q_0 \cdot (1 + \Sigma\beta), \text{ Вт.} \quad (6.2)$$

Теплопотери всех ограждений суммируются по каждому помещению.

Расчет теплопотерь ведется в табличной форме.

Таблица 6.1 – Пример расчета теплопотерь ограждающих конструкций

№ пом.	Огр.	Стор. света	a	b	F	K	t_b	t_n	Δt	Q_0	$1+\Sigma\beta$	Q	ΣQ
—	—	—	м	м	м ²	Вт/(м ² ·°C)	°C	°C	°C	Вт	—	Вт	Вт
01у	нс	юв	3,1	3,0	9,30	0,42	20	-15	35	137	1,05	144	1101
	нс	св	4,5	3,0	13,50	0,42	20	-15	35	198	1,1	218	
	о	св	1,5	1,5	2,25	1,26	20	-15	35	99	1,1	109	
	пл	—	3,1	4,5	13,95	0,72	20	-15	35	352	—	352	
	пт	—	3,1	4,5	13,95	0,57	20	-15	35	278	—	278	

02	нс	св	2,8	3,0	8,40	0,42	18	-15	33	116	1,1	128	
	о	св	1,5	1,5	2,25	1,26	18	-15	33	94	1,1	103	
	пл	—											
	пт	—											
...	...	...	...										

Рассчитываемые помещения в плане здания нумеруются. При нумерации углового помещения к номеру добавляется «у».

Наименования ограждений указываются сокращенно: нс – наружная стена, о – окно, д – дверь, пт – потолок, пл – пол.

Площадь поверхности ограждений определяется по формуле: $F = a \cdot b$, m^2 , где a , b – размеры ограждающей конструкции, m .

Правила обмера поверхности ограждающей конструкции помещения

Площадь наружных и внутренних ограждений при расчете теплопотерь вычисляют с точностью до $0,01 m^2$, используя размеры ограждений в метрах, снятые с точностью $0,1 m$ с планов и разрезов здания.

Длину наружных стен угловых помещений принимают по внешней поверхности от наружных углов до осей внутренних стен.

Длину наружных стен рядовых (не угловых) помещений принимают по расстоянию между осями внутренних стен.

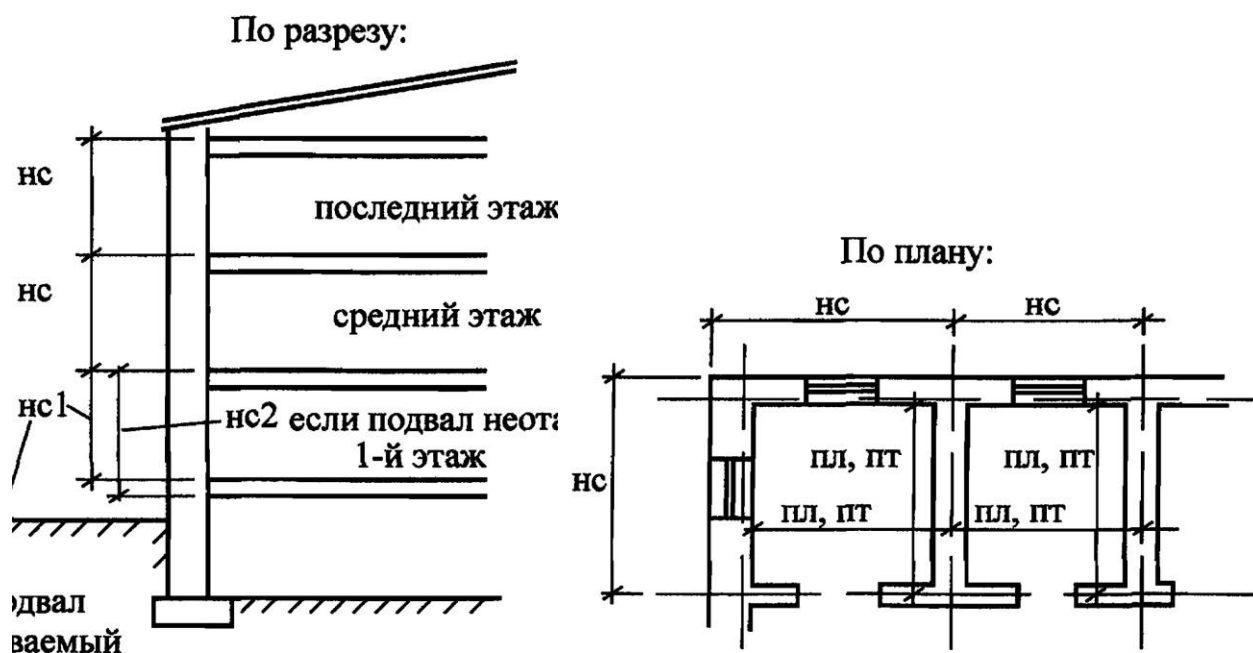


Рис. 6.2 – Схемы обмера ограждений при расчете трансмиссионных теплопотерь

Высоту наружных стен определяют по разрезам здания.

Площадь потолков (пт) и полов (пл) над холодным пространством измеряют между осями внутренних стен и внутренней поверхностью наружных стен.

II. Теплотери помещений

Теплотери помещений с учетом инфильтрации и бытовых тепловыделений определяются по формуле

$$Q = Q_{\tau} + Q_{\text{т}} - Q_{\text{т}}, \text{ Вт.} \quad (6.3)$$

Трансмиссионные теплотери каждого помещения (Q_{τ}) определяются как сумма теплотерь соответствующих ограждающих конструкций по каждому помещению (последняя колонка табл. 6.1).

Бытовые тепловыделения определяют по формуле

$$Q_{\text{т}} = q_{\text{т}} \cdot F, \text{ Вт} \quad (6.4)$$

где F – площадь жилой комнаты, м^2 ; $q_{\text{т}}$ – величина бытовых тепловыделений на 1 м^2 площади жилых помещений, $\text{Вт}/\text{м}^2$, принимаемая по [6, с. 21–22].
Может быть принято $q_{\text{т}} = 17 \text{ Вт}/\text{м}^2$,

Дополнительные потери тепла на инфильтрацию:

$$Q_{\text{инф}} = 0,28 L_{\text{инф}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) k, \quad (6.5)$$

где $k = 0,9$ – коэффициент, учитывающий влияние встречного теплового потока.

В работе допустимо принимать количество инфильтрующегося воздуха $L_{\text{инф}}$ по нормам вытяжки, т. е. для кухонь с 4-хконфорочной газовой плитой – $90 \text{ м}^3/\text{ч}$, а для жилых комнат – в размере $3 \cdot F \text{ м}^3/\text{ч}$ (где F – площадь жилых помещений, м^2).

Расчет теплотерь помещений ведется в табличной форме:

Таблица 6.2 – Пример таблицы для расчета теплотерь помещений

№ пом.	Назн.	F	Q _т	т	Q _{быт}	L _{инф}	Δt	Q _{инф}	Q _п
–	–	м ²	Вт	Вт/м ²	Вт	м ³ /ч	°С	Вт	Вт
01у	кух								
02	гост								
03	спалн								
04	спалн								
...	...	...	...						

6.2. Вопросы и задания

Исходные данные к расчету выбираются по индивидуальному шифру варианта. К расчету принимается одноэтажное жилое здание (коттедж).

Необходимо определить теплотери отдельных помещений здания.

Номер плана здания определяется по **первой** цифре шифра. Планы жилых зданий представлены в приложении 0.

Таблица 6.3 – Номер плана здания

Первая цифра шифра	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ плана здания	105	106	107	401	402	403	404	549	553	555

Размеры ограждающих конструкций в плане определять в масштабе. Высота помещений (от поверхности пола до поверхности потолка) принять 3 м. Высоту здания с учетом вентиляционной шахты здания принять 5 м.

Ориентацию фасада по странам света принимают по **второй** цифре шифра.

Таблица 6.4 – Ориентация фасада здания по странам света

Вторая цифра шифра	0; 1	2; 3	4	5	6	7	8	9
Ориентация фасада здания	С	Ю	СВ	В	ЮВ	ЮЗ	З	СЗ

(За фасад принимается та сторона здания, где расположен главный вход)

6.3. Список литературы

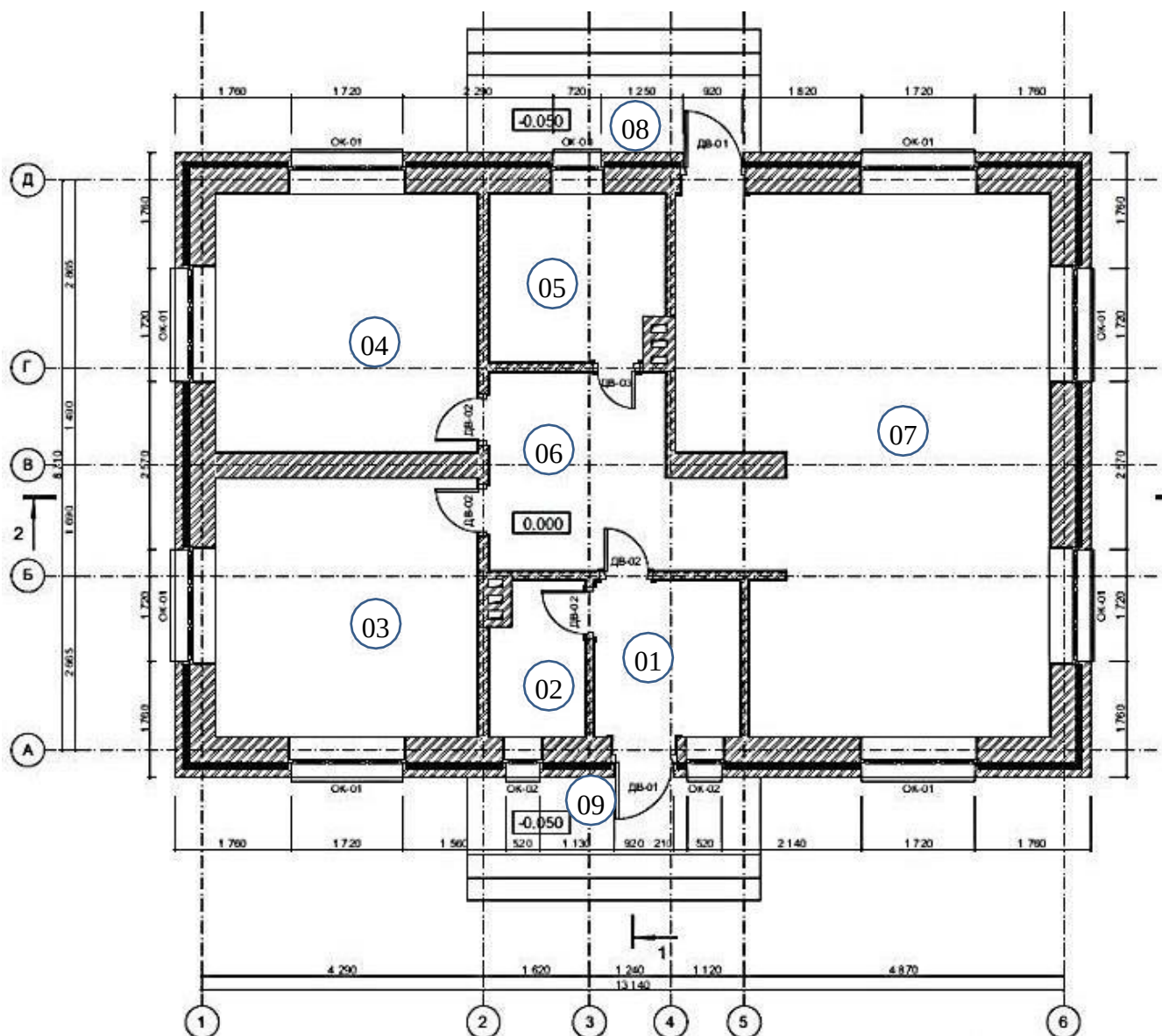
1. Малявина, Е. Г. Теплотери здания : справочное пособие / Е. Г. Малявина. - Москва : АВОК-Пресс, 2007. - 141 с.
2. Внутренние санитарно-технические устройства : в 3 ч. Ч. 1. Отопление / [В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Ска-нави и др.] ; под ред. И.Г. Староверова, Ю.И. Шиллера. – Курган : Изд-во «Интеграл» , 2008 – 343 с.
3. ГОСТ 12.1.005–88*. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
4. ГОСТ 30494–96. Здания жилые и общественные. Пара-метры микроклимата в помещениях.
5. Еремкин, А.И. Отопление и вентиляция жилого здания / А.И. Еремкин, Т.И. Королева, Н.А. Орлова. – М. : Изд-во АСВ, 2003. – 129 с.
6. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями об-щественного назначения и стоянками автомобилей. Коттеджи: справочное пособие / под ред. Г.И. Стомахиной – М. : Изд-во «Пантори», 2003. – 308 с.
7. Еремкин, А.И. Тепловой режим зданий / А.И. Еремкин, Т.И. Королева. – М. : Изд-во АСВ, 2000. – 368 с.
8. Сканави, А.Н. Отопление : учебник для вузов / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.

6.4. Приложения

Приложение 6.1

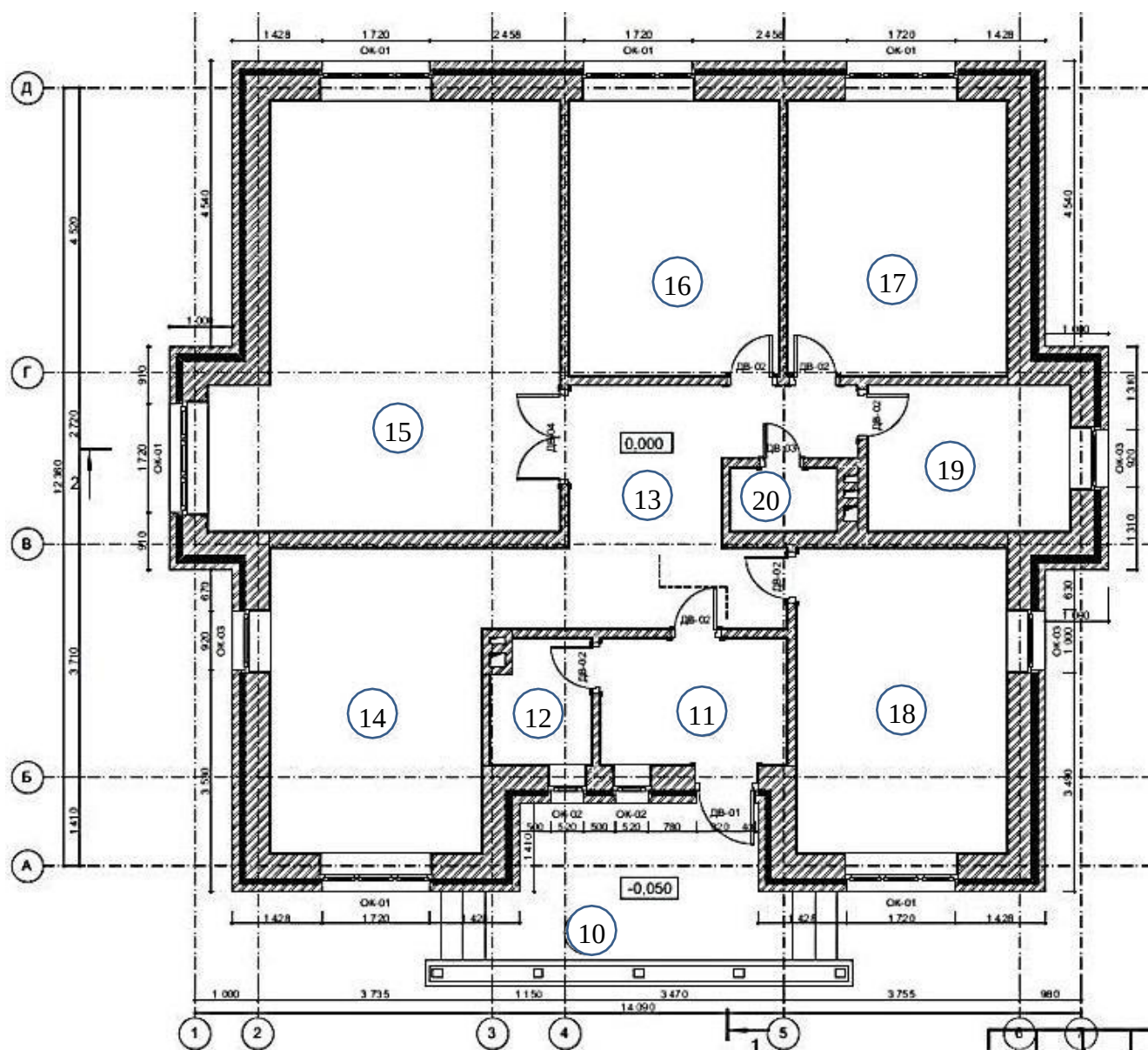
Планы этажей жилых зданий

План № 105



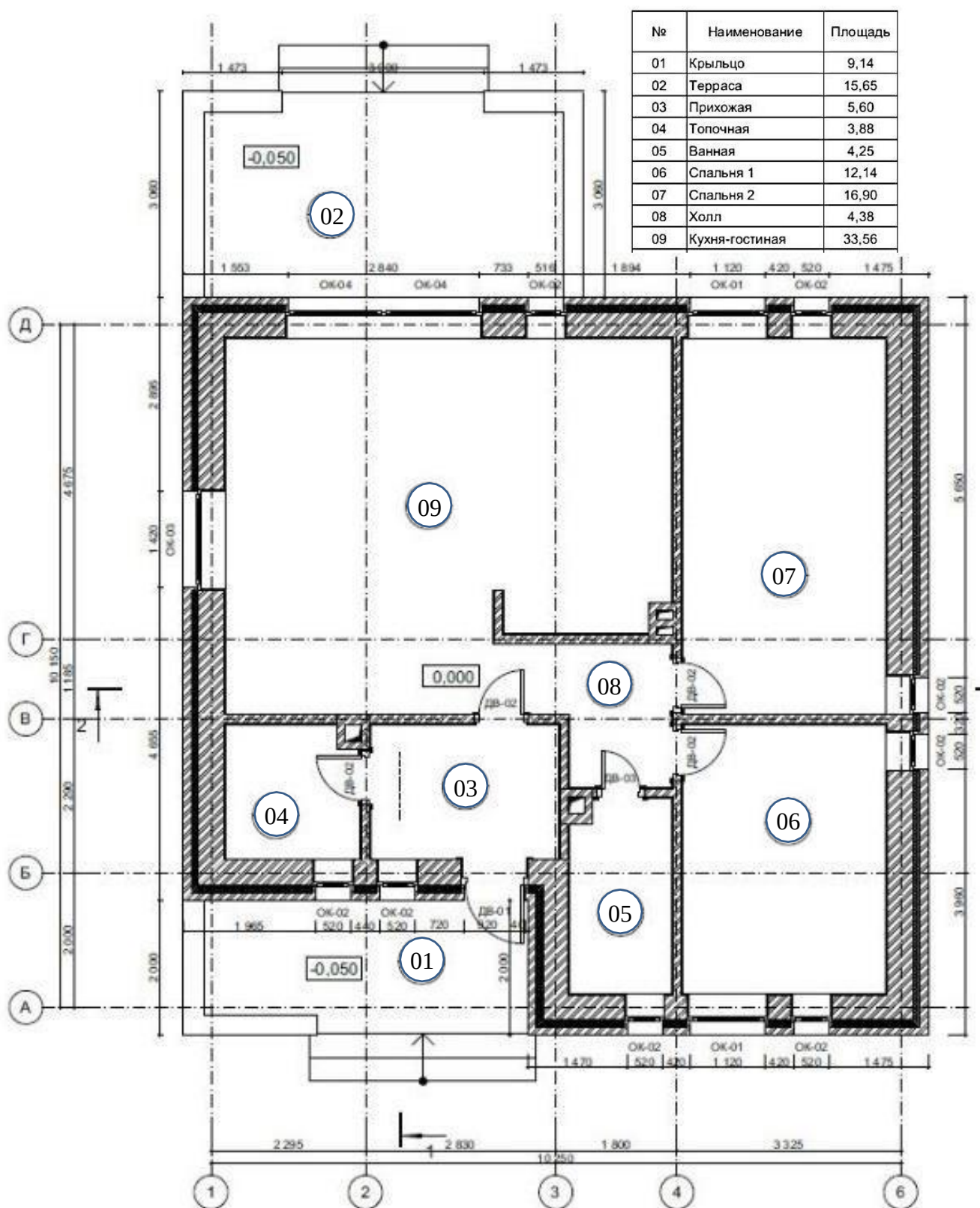
№	Наименование	Площадь
01	Прихожая	5,23
02	Топочная	3,23
03	Спальня 1	15,74
04	Спальня 2	15,74
05	Ванная	6,71
06	Холл	10,76
07	Кухня/гостиная	41,23
08	Крыльцо	5,33
09	Крыльцо	5,33
		109,30 м ²

План № 106

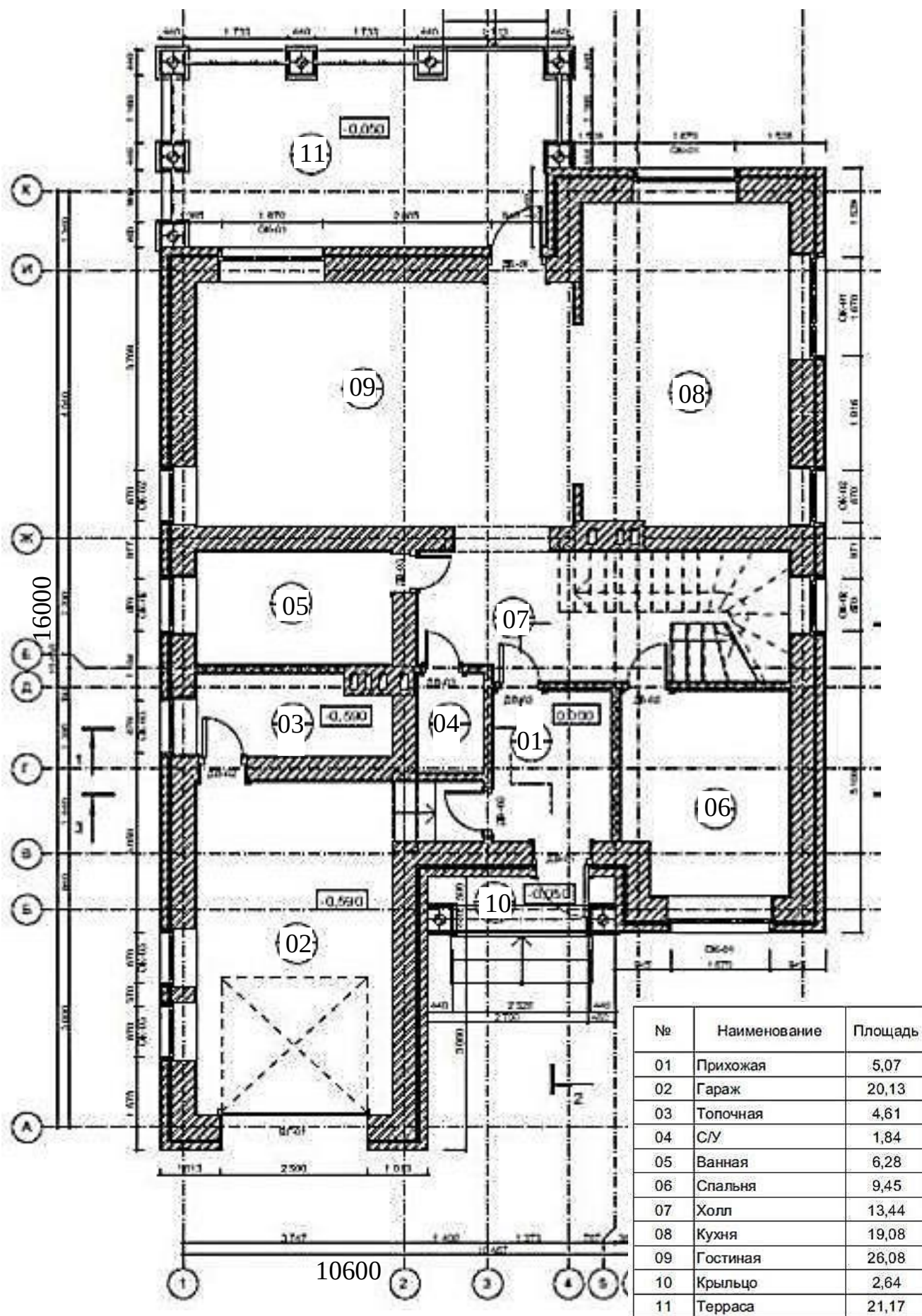


№	Наименование	Площадь
10	Крыльцо	10,92
11	Прихожая	5,88
12	Топочная	3,00
13	Холл	14,84
14	Кухня	16,14
15	Гостиная	33,73
16	Спальня 1	14,50
17	Спальня 2	15,18
18	Спальня 3	16,14
19	Ванная	7,37
20	С/У	1,67
		139,37 м²

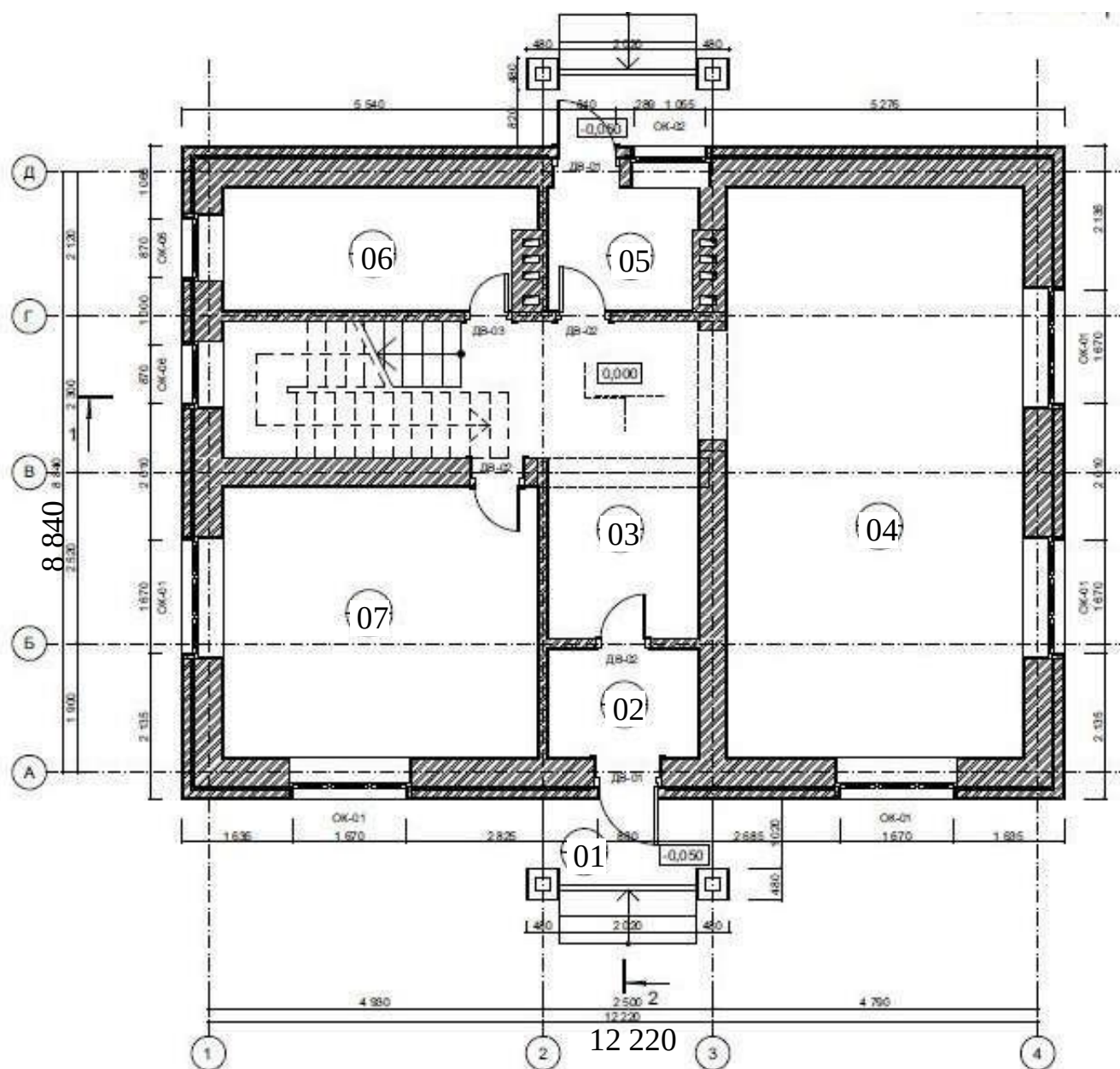
План № 107



План № 401

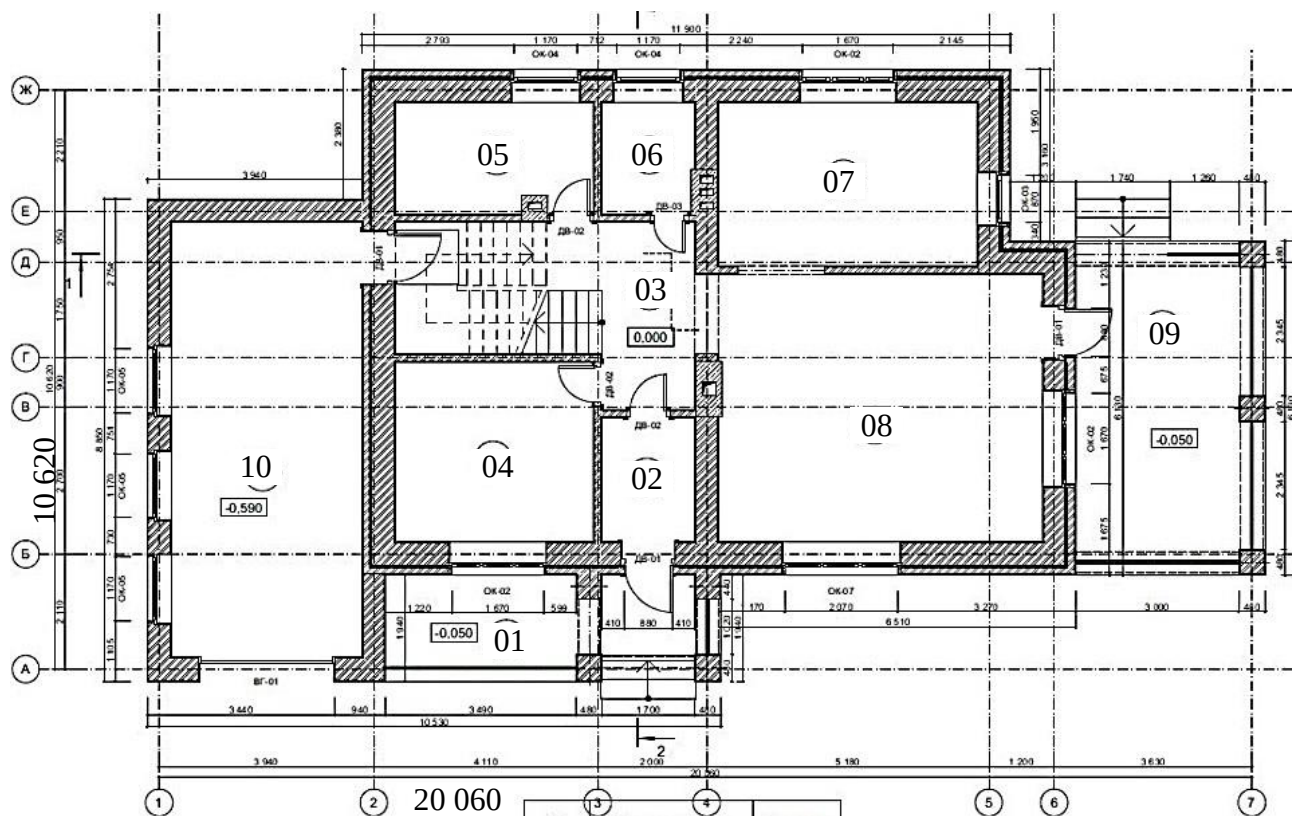


План № 402



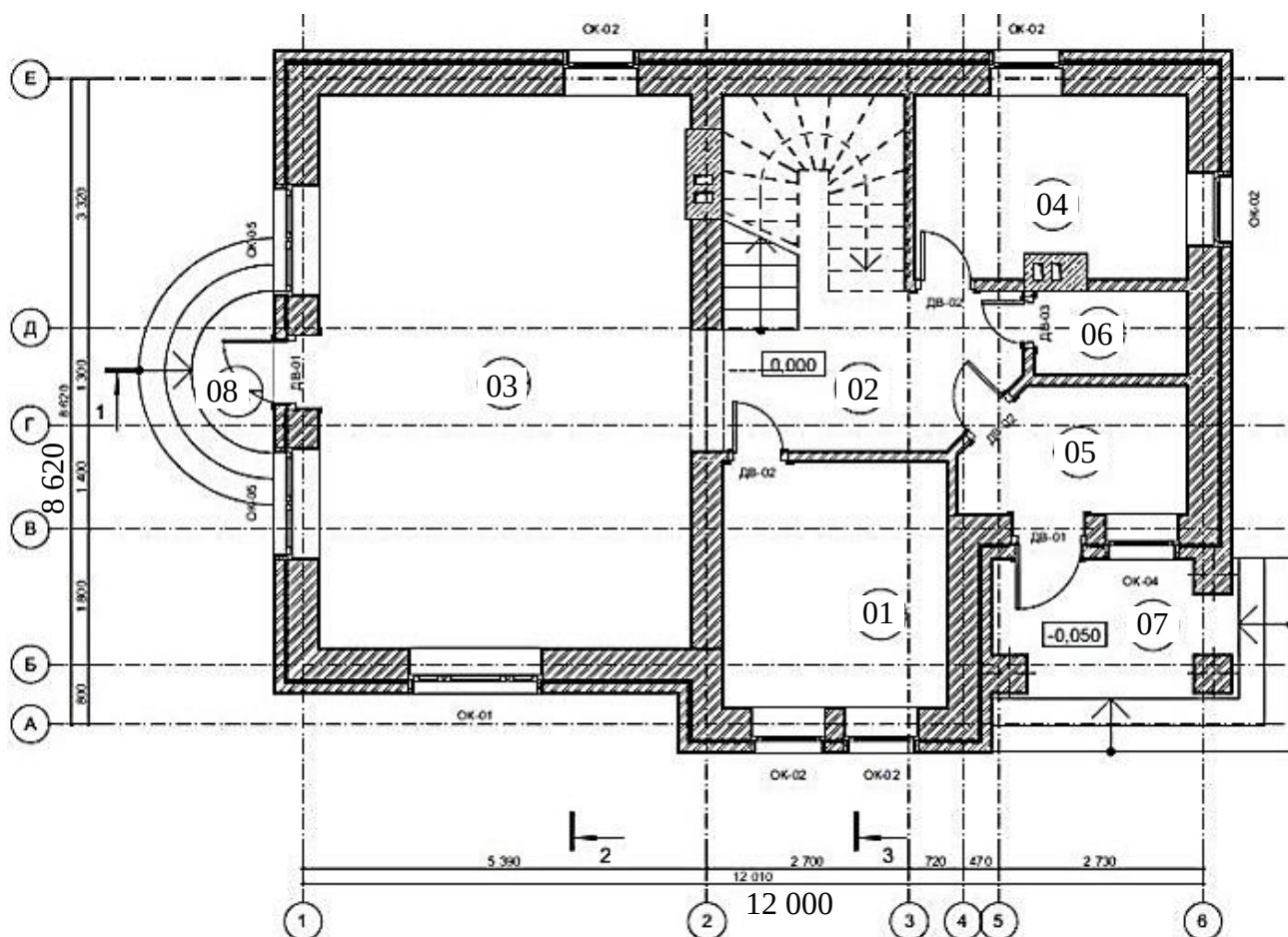
№	Наименование	Площадь
01	Крыльцо	3,03
02	Тамбур	3,52
03	Холл	19,83
04	Кухня-гостиная	36,54
05	Топочная	3,90
06	Ванная	7,99
07	Спальня	18,43
		93,24 м²

План № 403



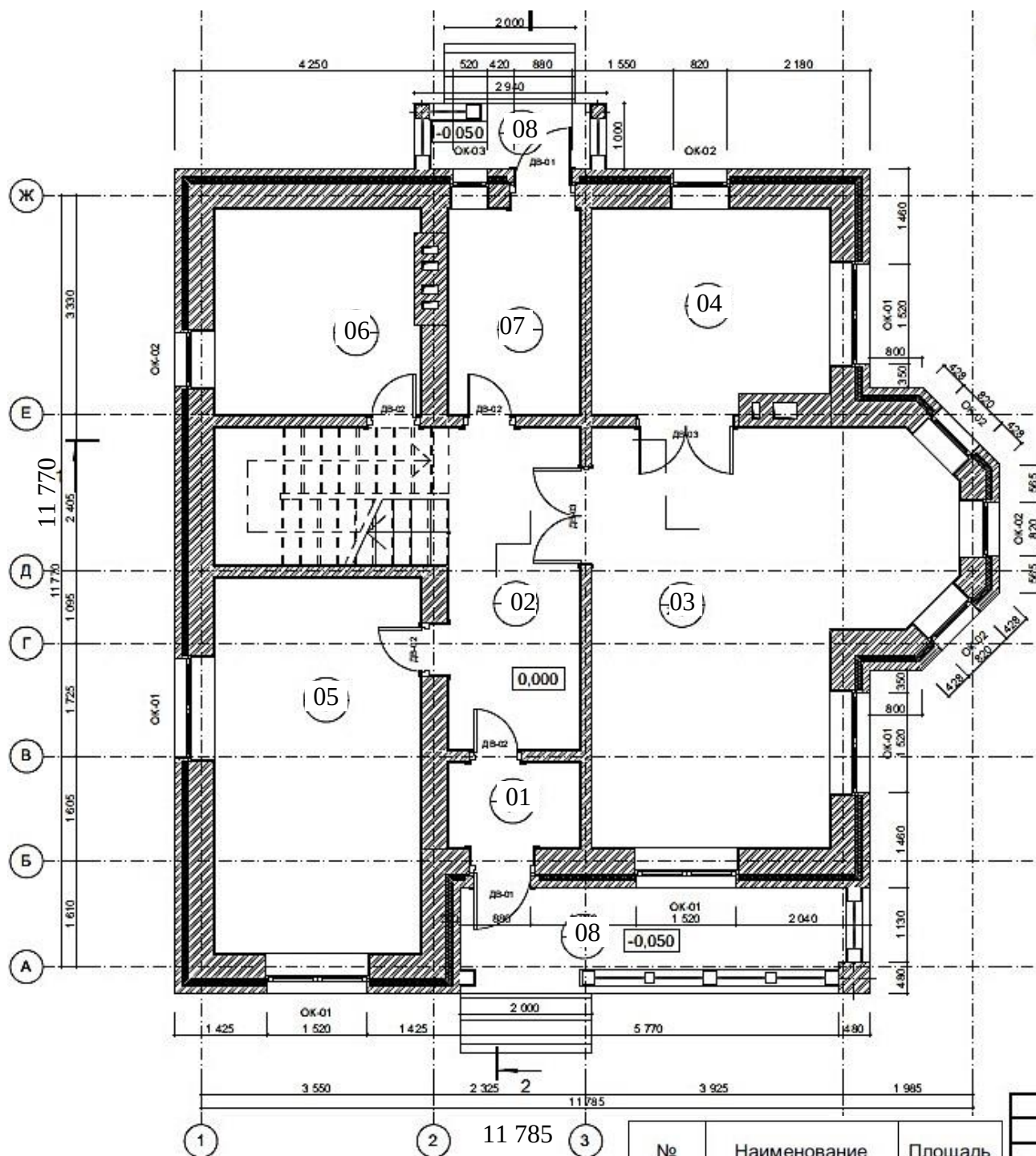
№	Наименование	Площадь
01	Крыльцо	10,40
02	Прихожая	3,88
03	Холл	14,93
04	Спальня 1	12,01
05	Ванная	7,46
06	Топочная	3,49
07	Кухня	14,22
08	Гостиная	29,17
09	Терраса	20,64
10	Гараж	27,90
		144,10 м²

План № 404

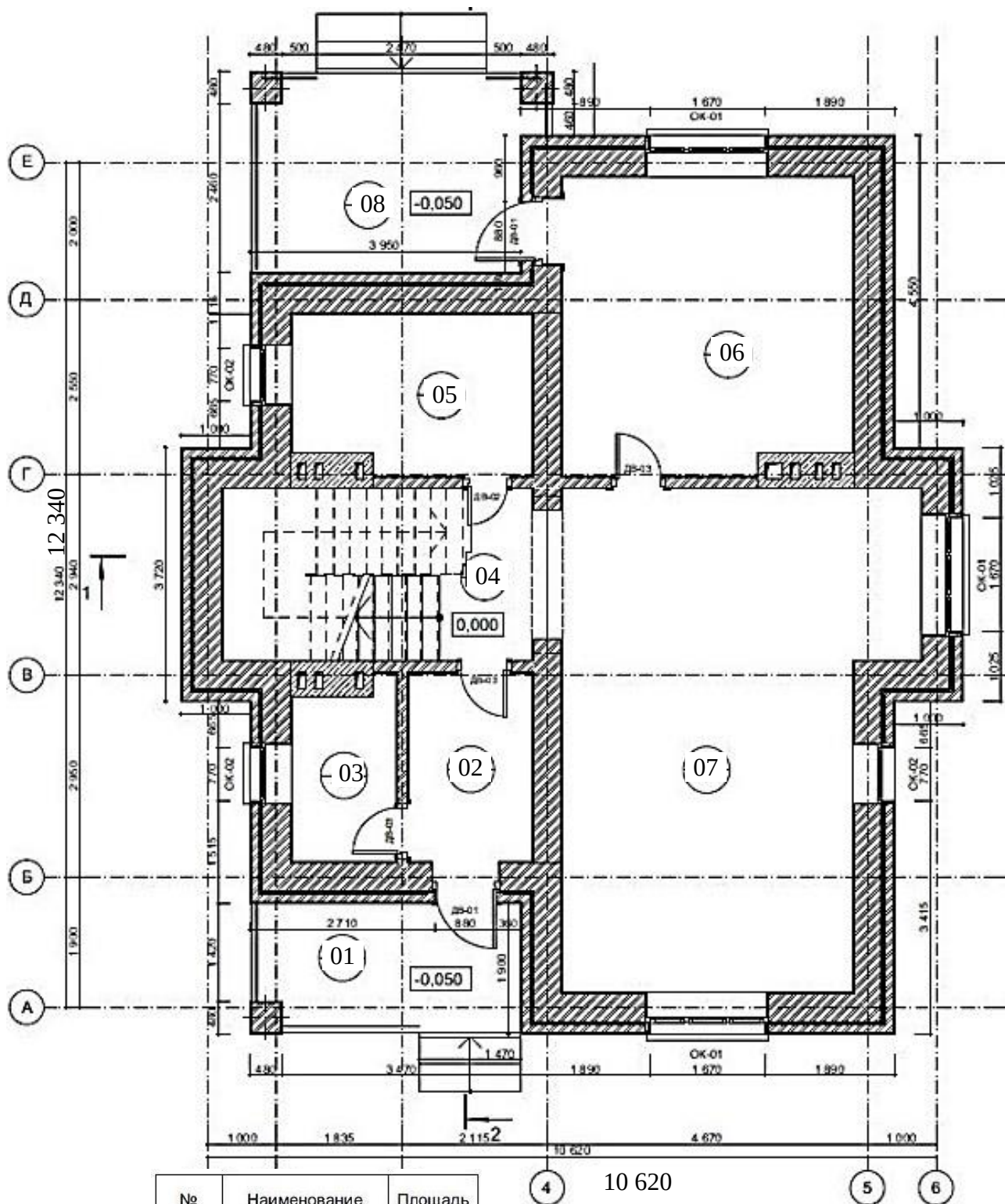


№	Наименование	Площадь
01	Кабинет	9,77
02	Холл	14,25
03	Кухня-гостиная	36,46
04	Топочная	8,62
05	Прихожая	4,74
06	С/У	2,22
07	Крыльцо	4,99
08	Крыльцо	1,88
		82,93 м²

План № 549

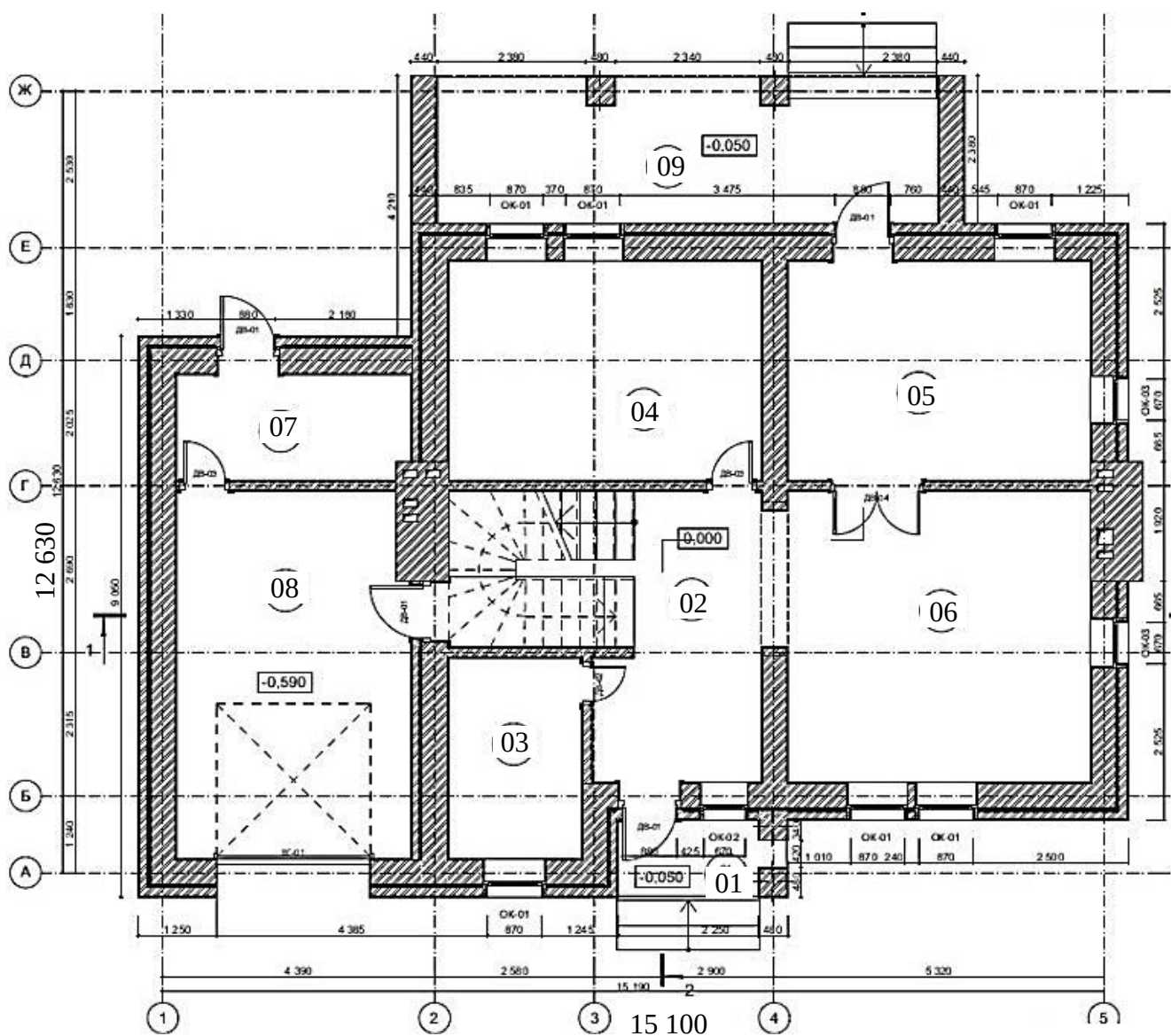


План № 553



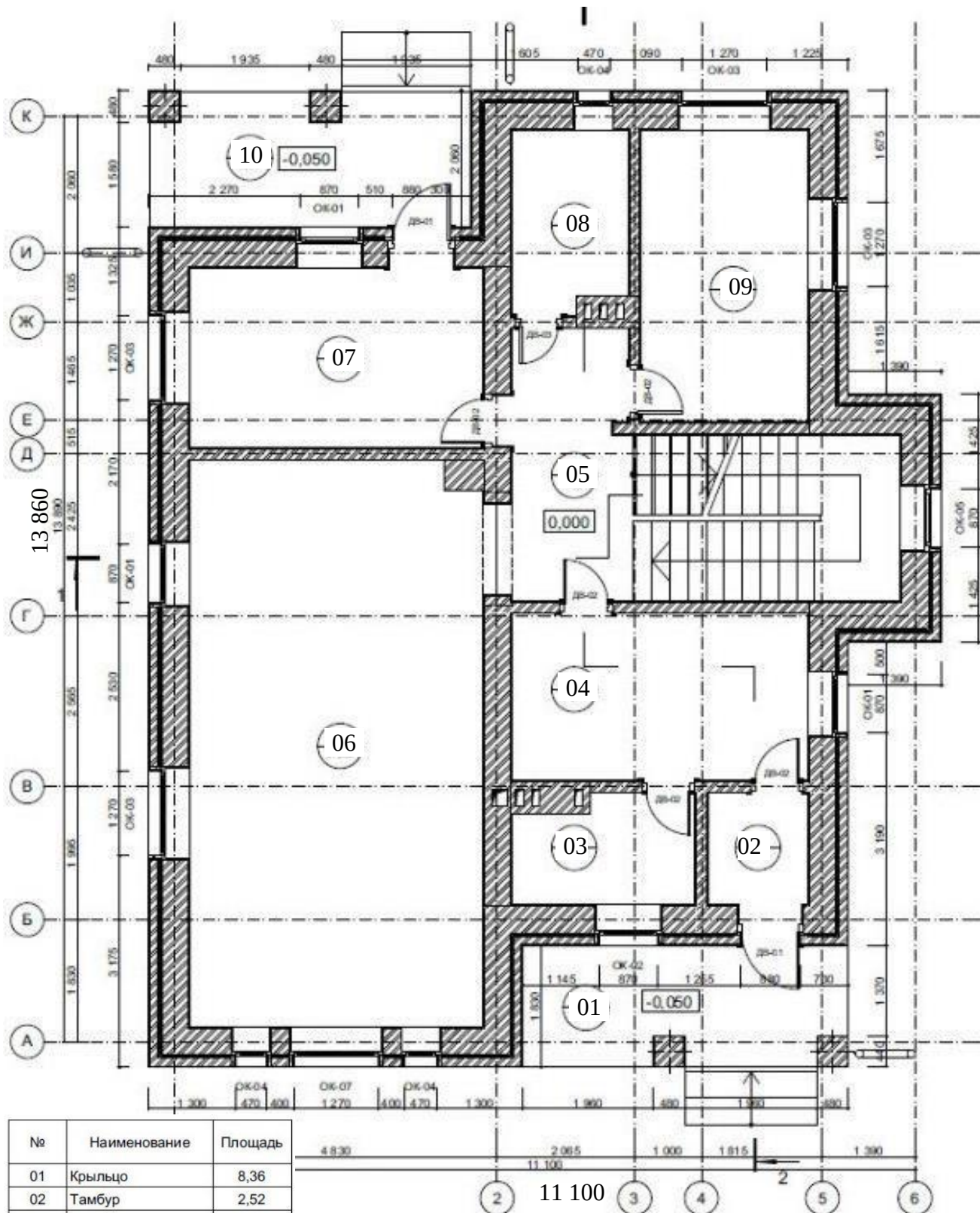
№	Наименование	Площадь
01	Крыльцо	7,18
02	Прихожая	4,97
03	Топочная	4,20
04	Холл	11,28
05	Ванная	8,28
06	Кухня-столовая	18,44
07	Гостиная	33,59
08	Терраса	11,48
		99,42 м²

План № 554



№	Наименование	Площадь
01	Крыльцо	2,99
02	Холл	14,66
03	Ванная	6,93
04	Гостевая	17,84
05	Кухня-столовая	17,28
06	Гостиная	22,89
07	Топочная	6,39
08	Гараж	22,07
09	Терраса	18,58
		129,63 м ²

План № 555



Практическое занятие №7

Гидравлический расчет системы отопления жилого здания

Цель: Изучить методику гидравлического расчета системы отопления и научиться ее применять для расчета системы в реальных зданиях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

Знать: основные сведения об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии (ОПК-3)

Уметь: выбирать метод или методику решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Владеть: навыком решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Знать: основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Уметь: выявлять основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Владеть: навыком выявления основных требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Знать: типовые проектные решения и технологического оборудования основных инженерных систем жизнеобеспечения здания в соответствии с техническими условиями (ОПК-6)

Уметь: определять базовые параметры теплового режима здания и производить расчётное обоснование режима работы инженерной системы жизнеобеспечения здания (ОПК-6)

Владеть: навыком определения основных параметров инженерных систем здания (ОПК-6)

Актуальность темы

В процессе гидравлического расчета системы отопления определяются такие важные параметры как: диаметры участков сети, расходы теплоносителя, гидравлическое сопротивление системы. На основе этих данных выбирается оборудование и проектируются основные узлы системы.

7.1. Теоретическая часть

Для выполнения требований по установке терморегуляторов на отопительные приборы и организации поквартирного учета тепла, следует

применять системы двухтрубные: коллекторные (лучевые) или с горизонтальной разводкой (плитусные).

Коллекторная система – центрально расположенные стояки, от которых осуществляется подача теплоносителя через коллекторы (разделители) к отопительным приборам. Система является удобной в отношении возможностей регулировки, наиболее экономичной в эксплуатации. Каждая подводка к прибору рассчитывается на пропуск теплоносителя только одного конкретного прибора.

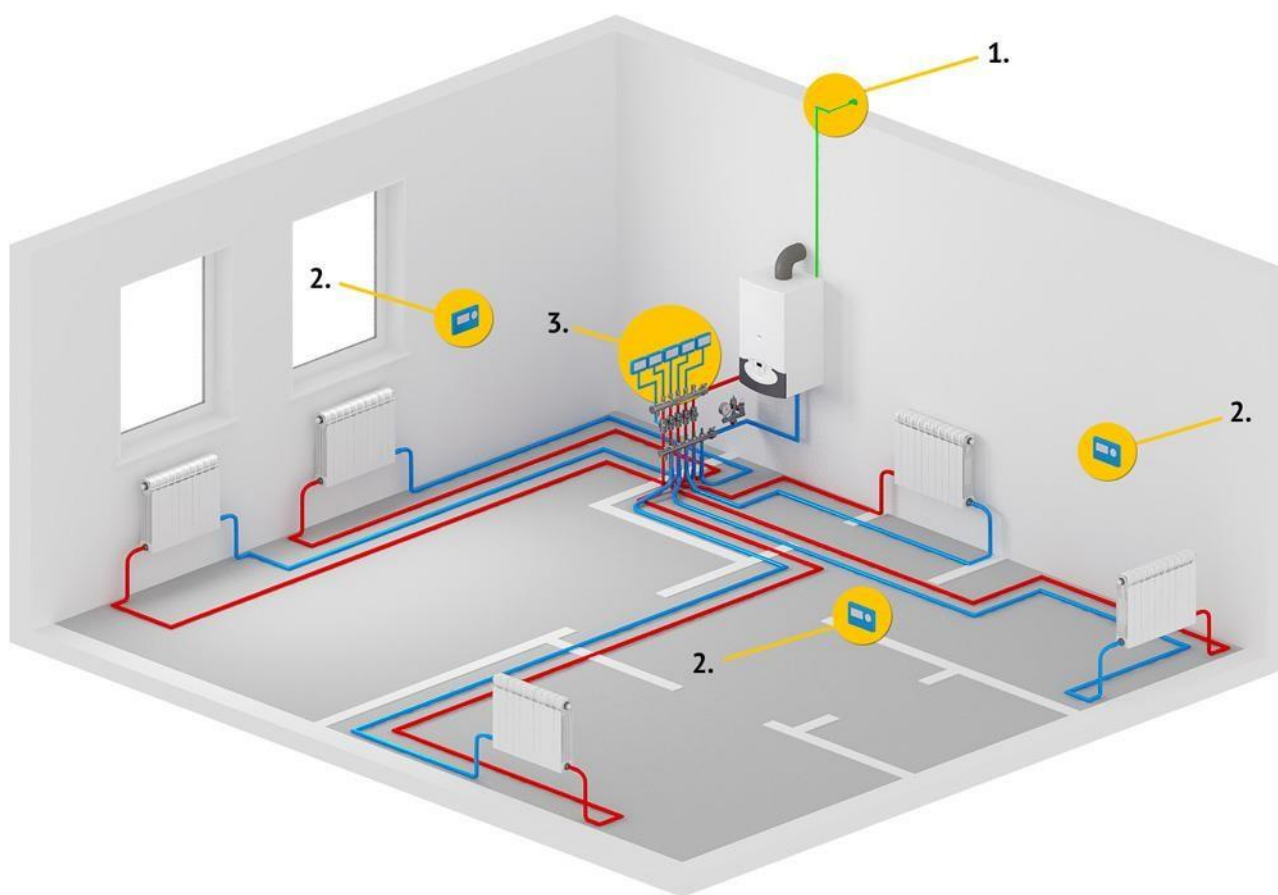


Рис. 7.1. Коллекторная система (лучевая).

Плитусная – разводка в виде двухтрубной петли по периметру квартиры, с подключением нескольких радиаторов от стояка. При закладке тройников в пол следует применять пресс-фитинги. Система также позволяет организовать узел учета тепловой энергии. Горизонтальная магистраль рассчитывается на пропуск суммарного расхода теплоносителя для всех, расположенных по ходу теплоносителя, приборов.

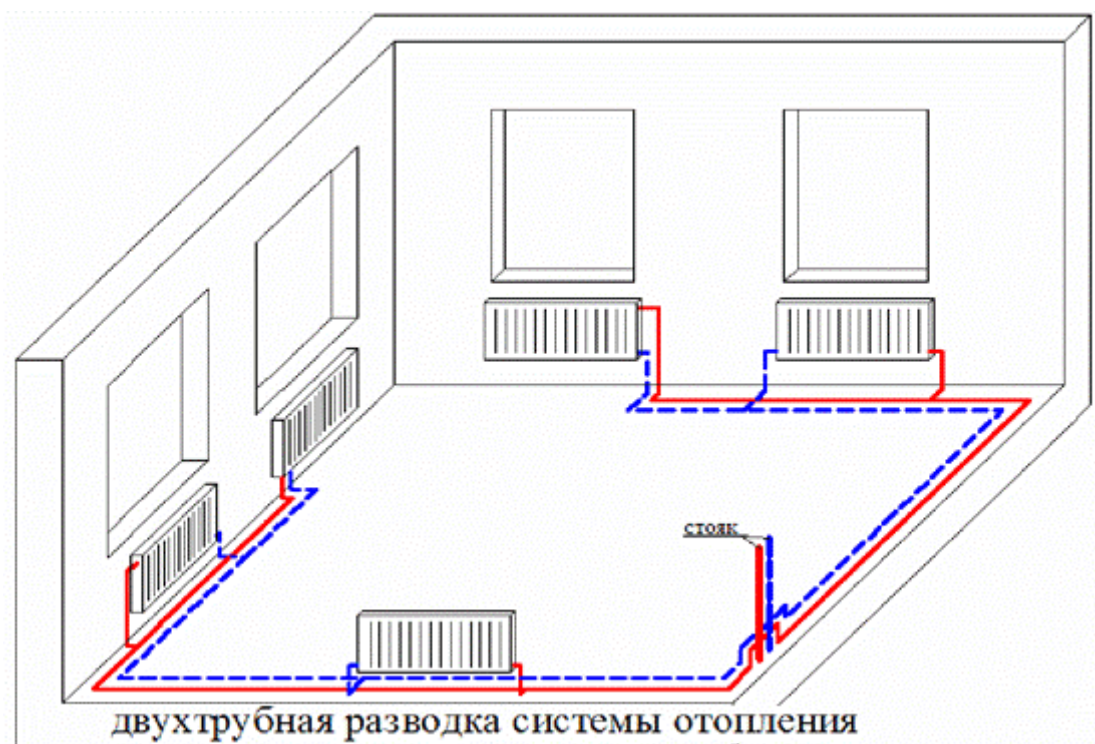


Рис. 7.2. Плинтусная система.

В данной работе предлагается реализовать одноэтажную систему отопления с горизонтальной разводкой, скрытой под стяжкой.

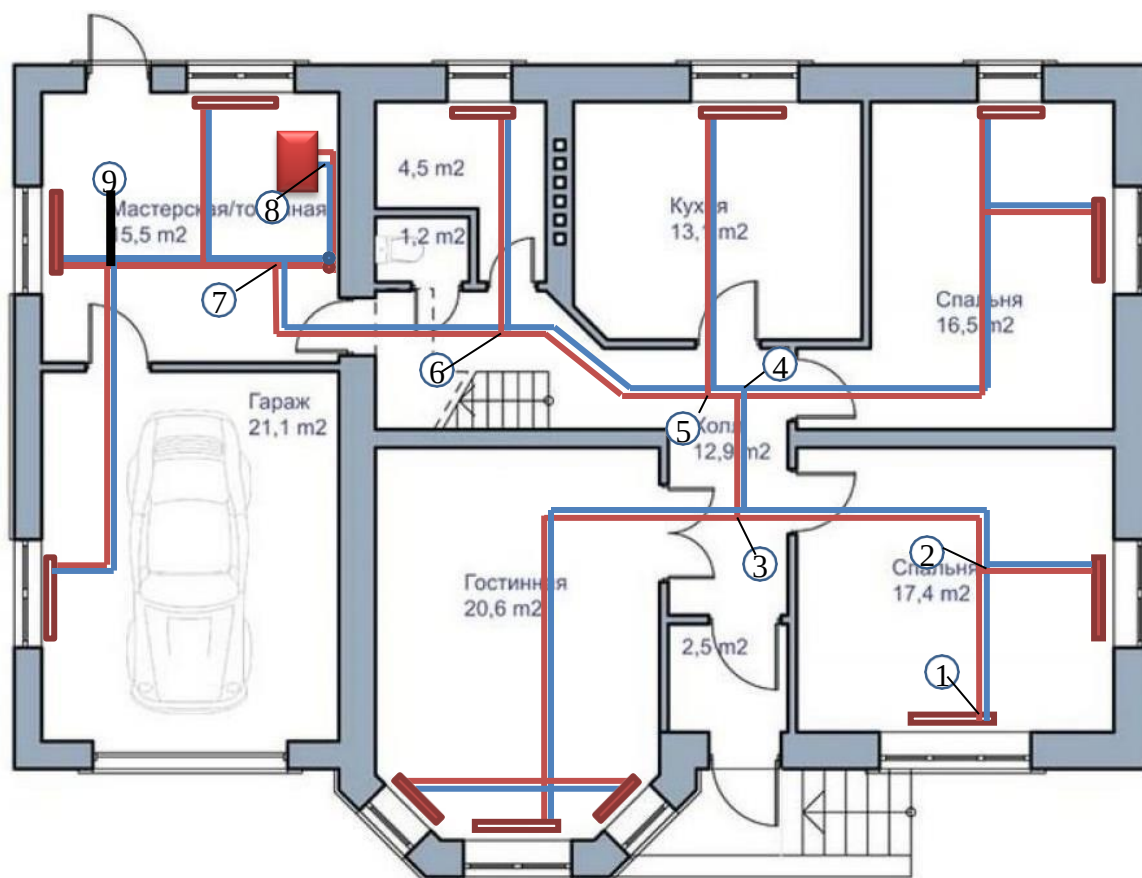


Рис. 7.3. Пример горизонтальной разводки с отмеченными участками

Нагревательные приборы (отопительные приборы, радиаторы) следует размещать под окнами и в отдельных случаях у наружных стен. На лестничных клетках всю необходимую поверхность нагрева (радиаторы или рециркуляционные воздухонагреватели) надо размещать на первом этаже. На планах они обозначаются прямоугольниками с примерным соблюдением масштаба по длине и глубине.

Обозначать на планах трубопроводы и приборы системы следует более толстыми линиями, чем конструкцию здания.

До начала расчета на основании размещенных на планах нагревательных приборов, стояков, подводов и магистралей, заданных высот этажей вычерчивается аксонометрическая схема системы отопления.

Определение диаметров трубопроводов производится для двух циркуляционных колец в одной (наиболее длинной) ветви системы, причем первое (основное) расчетное кольцо должно проходить через отопительный прибор, наиболее нагруженный и удаленный от котла, второе – через ближайшее от котла ответвление.

Для проведения гидравлического расчета составляется таблица, форма которой приведена в приложении 0.

1. Участок трубопровода. Рассчитываемые кольца разбиваются на расчетные участки, начиная с головного участка после котла в котельной и кончая последним участком перед последним отопительным прибором.

2. Длина участка измеряется в метрах и определяется в масштабе по аксонометрической схеме (или в плане этажа для горизонтальных участков). Один участок заканчивается и начинается другой в том месте, где изменяется расход теплоносителя. У каждого участка в кружке проставляется его номер и рядом дробью – тепловая нагрузка (числитель) в Вт и длина (знаменатель) в м.

3. Тепловая нагрузка участка (Q) определяется по суммарной мощности всех отопительных приборов, теплоноситель к которым поступает через этот участок.

Тепловая мощность отопительного прибора принимается по мощности теплопотерь помещения. Принимая во внимание, что отопительные приборы состоят из стандартных секций с определенной теплоотдачей, то мощность отопительного прибора принимается кратной теплоотдаче 1 секции с округлением в большую сторону. Если в помещении несколько отопительных приборов, то величина теплопотерь помещения распределяется между ними.

4. Расход воды на участке определяется по формуле:

$$G = \frac{Q}{c \cdot (t - t_0)} \cdot \frac{1000}{\rho} \cdot 3600, \text{ л/ч}$$

где Q – тепловая нагрузка на участке, Вт; t – температура горячего теплоносителя (на входе в отопительные приборы); t_0 – температура обратного теплоносителя (на выходе из отопительных приборов); c – теплоемкость теплоносителя при средней температуре (прил. 4.1); ρ – плотность теплоносителя при средней температуре (прил. 4.1); 1000 – коэффициент перевода м^3 в л; 3600 – коэффициент перевода сек в час.

5. Скорость движения теплоносителя. Оптимальная скорость движения теплоносителя – $w = 0,3 \div 0,7$ м/с.

Чем меньше внутренний диаметр труб — тем выше скорость. Достигая отметки 0,6 м/с, движение воды начинает сопровождаться шумом в системе, если же она менее 0,2 м/с, появляется риск возникновения воздушных пробок.

В горизонтальных трубопроводах, проходящих в конструкции пола или за плинтусом, следует принимать значение скорости не ниже 0,11 м/с, и значения, соответствующие экономичным гидравлическим сопротивлениям

($R_{\text{эконом}} = 150 \div 250$ Па/м):

- $\varnothing 16 \times 2,0$ $V = 0.25 \dots 0.35 \text{ м/с}$
- $\varnothing 20 \times 2,0$ $V = 0.40 \dots 0.60 \text{ м/с}$
- $\varnothing 26 \times 3,0$ $V = 0.50 \dots 0.65 \text{ м/с}$
- $\varnothing 32 \times 3,0$ $V = 0.25 \dots 0.40 \text{ м/с}$

Скорость теплоносителя на участке определяется путем интерполяции в зависимости от расхода и выбранного диаметра (прил. 7.1).

6. Диаметр трубопровода на участке выбирается наименьший возможный, при условии соблюдения оптимальной скорости теплоносителя (прил. 7.1).

7. Удельная потеря давления на трение (R) определяется также по расходу теплоносителя при заданном диаметре путем интерполяции (прил. 7.1).

8. Потеря давления на трение определяется путем произведения удельной потери давления (R , Па/м) на длину участка (l , м).

9. Коэффициенты местных сопротивлений на участке (прил. 7.2). Тройники и крестовины (находящиеся на границе участков) записываются на участок с большим расходом. Коэффициенты местных сопротивлений радиаторного узла и самого радиатора определяются в зависимости от диаметра условного прохода по техническим характеристикам завода-изготовителя.

10. Потеря давления в местных сопротивлениях (Z , Па) определяется пропорционально квадрату скорости теплоносителя (w^2) по формуле

$$Z = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

где $\sum \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на рассчитываемом участке трубопровода;

ρ – плотность теплоносителя, при его температуре, кг/м³.

11. Общая потеря давления на участке определяется по формуле:

$$\Delta = R + Z,$$

После определения по каждому участку общей потери давления эти потери суммируются для всех участков первого расчетного кольца. Получившаяся сумма $\sum(Rl+Z)$ проставляется под чертой (см. прил. 7.3).

После расчета основного циркуляционного кольца приступают к расчету второстепенного кольца. Подбор диаметров участков, входящих во второстепенное наиболее короткое циркуляционное кольцо той же ветви, следует производить таким образом, чтобы разница в потерях давления в необщих участках обоих колец составляла не более 15%.

Величина полных потерь давления в главном циркуляционном кольце позволяет обоснованно подобрать циркуляционный насос системы.

7.2. Вопросы и задания

Необходимо выполнить гидравлический расчет системы отопления.

В процессе расчета должны быть определены следующие характеристики системы: диаметры участков и полное гидравлическое сопротивление системы от выхода из котла до входа в котел (Па).

Величину теплотерь помещений и план здания принять из предыдущего практического занятия.

Начертить план этажа (или получить готовые распечатки у преподавателя).

В плане этажа выполнить расстановку отопительных приборов по помещениям и разводку трубопроводов системы отопления. Разводка осуществляется металлопластиковыми трубами под стяжкой, стараясь не пересекать стены и перегородки (см. пример).

К установке принимаются алюминиевые секционные радиаторы с межосевым расстоянием 0,5м и мощностью теплоотдачи 1 секции 180 Вт. Коэффициенты местных сопротивлений для радиаторного узла с нижним подключением принять 21, а для самого радиатора – 2,5

Температура теплоносителя в расчетном режиме работы системы должна быть: на выходе из котла (на входе в отопительные приборы) – 90 °С, обратной воды (на выходе из отопительных приборов) – 70 °С. Теплоотдачей трубопроводов системы пренебречь.

7.3. Список литературы

1. *Внутренние санитарно-технические устройства* : в 3 ч. Ч. 1. Отопление / [В.Н. Богословский, Б.А. Крупнов, А.Н. Ска-нави и др.] ; под ред. И.Г. Старовойрова, Ю.И. Шиллера. – Курган: Изд-во «Интеграл» , 2008 – 343 с.
2. *Еремкин, А.И.* Отопление и вентиляция жилого здания / А.И. Еремкин, Т.И. Королева, Н.А. Орлова. – М. : Изд-во АСВ, 2003. – 129 с.
3. *Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Жилые здания со встроенно-пристроенными помещениями об-щественного назначения*

и стоянками автомобилей. Коттеджи: справочное пособие / под ред. Г.И. Стомахиной – М. : Изд-во «Пантори», 2003. – 308 с.

4. Еремкин, А.И. Тепловой режим зданий / А.И. Еремкин, Т.И. Королева. – М. : Изд-во АСВ, 2000. – 368 с.

5. Сканави, А.Н. Отопление : учебник для вузов / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М. : Изд-во АСВ, 2002. – 576 с.

6. СП 40–108–2004. Проектирование и монтаж внутренних систем водоснабжения и отопления зданий из медных труб.

7. СП 41–102–98. Проектирование и монтаж трубопроводов систем отопления с использованием металлополимерных труб.

8. СНиП 2.01.07–85*. Нагрузки и воздействия.

9. СНиП 23–01–99*. Строительная климатология.

10. СНиП 23–02–2003. Тепловая защита зданий.

11. СНиП 41–01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

12. СП 23–101–2004. Проектирование тепловой защиты

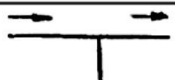
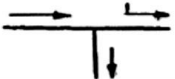
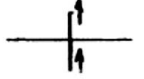
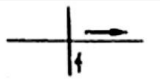
7.4. Приложения

Приложение 7.1

Потери давления в металлопластиковых трубах «Compipe»
(Температура теплоносителя 80° С)

R, Па/м	Ø 12/16		Ø 16/20		Ø 20/26	
	V, м/с	G, л/ч	V, м/с	G, л/ч	V, м/с	G, л/ч
0,98	0,010	3,95	0,020	13,27	0,020	22,50
1,96	0,020	7,90	0,030	19,91	0,030	33,74
3,92	0,030	11,84	0,040	26,55	0,050	56,24
5,88	0,040	15,79	0,060	39,82	0,070	78,73
7,84	0,050	19,74	0,070	46,46	0,080	89,98
9,81	0,060	23,69	0,080	53,10	0,100	112,48
19,62	0,100	39,48	0,120	79,64	0,150	168,71
39,23	0,150	59,22	0,180	119,47	0,220	247,45
58,84	0,190	75,02	0,230	152,65	0,280	314,93
78,45	0,220	86,86	0,270	179,20	0,330	371,17
98,06	0,250	98,71	0,310	205,75	0,370	416,16
117,68	0,280	110,55	0,340	225,66	0,410	461,15
137,29	0,310	122,40	0,370	245,57	0,450	506,14
156,90	0,330	130,29	0,400	265,48	0,480	539,88
176,52	0,350	138,19	0,430	285,39	0,520	584,87
196,13	0,380	150,03	0,450	298,67	0,550	618,62
215,74	0,400	157,93	0,480	318,58	0,580	652,36
235,36	0,420	165,83	0,500	331,85	0,600	674,85
254,97	0,440	173,72	0,520	345,13	0,630	708,60
274,58	0,450	177,67	0,550	365,04	0,660	742,34
313,81	0,490	193,47	0,590	391,58	0,710	798,58
333,42	0,510	201,36	0,610	404,86	0,730	821,07
353,04	0,520	205,31	0,630	418,13	0,760	854,81
372,65	0,540	213,21	0,650	431,41	0,780	877,31
392,26	0,560	221,10	0,670	444,68	0,800	899,80
411,88	0,570	225,05	0,690	457,95	0,820	922,30
431,49	0,590	232,95	0,700	464,59	0,840	944,79
451,10	0,600	236,90	0,720	477,87	0,870	978,54
470,72	0,610	240,84	0,740	491,14	0,890	1001,03
490,33	0,630	248,74	0,750	497,78	0,910	1023,53
509,94	0,640	252,69	0,770	511,05	0,930	1046,02
529,56	0,660	260,59	0,790	524,32	0,940	1057,27
549,17	0,670	264,53	0,800	530,96	0,960	1079,76
568,78	0,680	268,48	0,820	544,24	0,980	1102,26
588,40	0,700	276,38	0,830	550,87	1,000	1124,76
608,01	0,710	280,33	0,850	564,15	1,020	1147,25
627,62	0,720	284,28	0,860	570,78	1,040	1169,75
647,24	0,730	288,22	0,880	584,06	1,050	1180,99

Коэффициенты местных сопротивлений

№ п. п.	Детали	Схематическое изображение деталей	Значение коэффициент а
1	Отвод с радиусом закругления $\gg 5d$: 90° 45°		0,3-0,5
2	Тройники: на проход		0,5
3	на ответвление 90°		1,5
4	на слияние 90°		1,5
5	на разделение потока		3,0
6	Крестовина: на проход		2,0
7	на ответвление		3,0
8	Отступ		0,5
9	Обход		1-0
10	Внезапное расширение сужение		1,0 0,5

Форма таблицы гидравлического расчета системы отопления

Номер участка	Длина участка трубопровода l , м	Тепловая нагрузка Q , Вт	Расход воды G , кг/ч	Скорость движения воды w , м/с	Диаметр участка трубопровода d , мм	Удельная потеря давления на трение R , Па	Потеря давления на трение Rl , Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений, $\Sigma\zeta$	Потеря давления в местных сопротивлениях Z , Па	Общая потеря давления на участке $Rl+Z$, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Основное циркуляционное кольцо										
$\Sigma(Rl+Z)$										
Второстепенные циркуляционные кольца										
$\Sigma(Rl+Z)$										

Практическое занятие №8

Расчет системы естественной вентиляции

Цель: Изучить методику расчета системы вентиляции и научиться ее применять для расчета вентиляции в реальных зданиях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

Знать: основные сведения об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии (ОПК-3)

Уметь: выбирать метод или методику решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Владеть: навыком решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Знать: основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Уметь: выявлять основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Владеть: навыком выявления основных требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Знать: типовые проектные решения и технологического оборудования основных инженерных систем жизнеобеспечения здания в соответствии с техническими условиями (ОПК-6)

Уметь: определять базовые параметры теплового режима здания и производить расчётное обоснование режима работы инженерной системы жизнеобеспечения здания (ОПК-6)

Владеть: навыком определения основных параметров инженерных систем здания (ОПК-6)

Актуальность темы

Для комфортного самочувствия и высокого уровня трудоспособности каждому человеку необходим свежий и чистый воздух. Обеспечить циркуляцию свежего воздуха в помещении способна система вентиляции. Для того, чтобы она функционировала должным образом стоит побеспокоиться о правильной организации еще на этапе проектирования здания. Именно от правильности разработки системы вентиляции на данном этапе зависит её правильное функционирование в будущем.

8.1. Теоретическая часть

Методика расчета системы вентиляции графическим методом (по номограммам)

Задачей расчета является подбор диаметров воздуховодов на всех участках проектируемой системы.

Так как в этой системе механические побудители вентиляции отсутствуют, то расчет сводится к установлению баланса сил естественного гравитационного напора и суммарных сил сопротивления (линейных и местных потерь).

Задача решается расчетно-графическим методом с помощью номограммы (приложение 8.3). Задаваясь нормируемыми значениями скоростей воздуха для систем естественной вентиляции ($W = 0,6 \div 1,2$ м/с) и принимая расчетный расход воздуха на данном участке, находят рабочую точку на диаграмме.

Этой точке соответствует проектный диаметр воздуховода, коэффициент удельных линейных потерь давления ($R_{\text{л}}$, Па/м) и динамическое давление для расчета местных потерь (h_w , Па).

Суммируя все виды местных сопротивлений (φ) по приложению 8.4, определяют потери давления на местные сопротивления.

Общие потери давления на участках определяют, как сумму линейных и местных потерь. Полученный результат сравнивают с располагаемым гравитационным напором и, если расхождение не превышает 10-15 %, то результат расчета принимается.

Располагаемый гравитационный напор определяют исходя из строительной высоты вентиляционного канала от входной решетки вытяжки до дефлектора, устанавливаемого на крыше здания. При этом плотность наружного воздуха принимается по среднегодовой температуре окружающей среды ($t = + 5^\circ \text{C}$).

В случае невыполнения баланса требуется изменить проектный диаметр воздуховода.

Методика расчета системы вентиляции аналитическим методом

В жилых зданиях предусматривают, в основном, естественную вентиляцию из помещений кухонь и санузлов.

Вытяжной воздух через жалюзийные решетки поступает в вертикальные каналы, затем по сборному каналу и через шахту удаляется наружу. Для усиления вытяжки воздуха из помещений на шахте часто устанавливают специальную насадку – дефлектор. Количество воздуха регулируется жалюзийными решетками в вытяжных отверстиях, а также дроссель-клапанами в сборном воздуховоде и в шахте.

Для естественной вентиляции в зданиях используют специальные вентиляционные панели с каналами различного сечения. Если в зданиях внутренние стены кирпичные, то вентиляционные каналы устраивают в толще стен или бороздах, заделываемых плитами. Если нет внутренних кирпичных стен, то устраивают приставные воздуховоды из блоков или плит.

Сборные воздуховоды размещают на чердаке. В бесчердачных зданиях каналы объединяют в сборный воздуховод, расположенный под потолком коридора, лестничных клеток и других вспомогательных помещений.

Количество воздуха, которое требуется удалять из помещений жилых зданий, а также расчетная температура воздуха приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1

Расчетные параметры воздуха и кратность воздухо-обмена в помещениях жилых зданий
(СНиП 2.08.01-89* «Жилые здания»)

Помещения	Расчетная температура, °С	Кратность обмена или количество удаляемого из помещения воздуха	
		Приток	вытяжка
Жилая комната	18	3 м ³ /ч на 1 м ² жилых помещений	-
То же, в районах с расчетной температурой минус 31°С и ниже	20	То же	-
Кухня квартиры: с электроплитами	18	-	не менее 60 м ³ /ч
с газовыми плитами:	18	-	Не менее 60 м ³ /ч
двухкомфорочными		-	Не менее 75 м ³ /ч
трехкомфорочными		-	Не менее 90 м ³ /ч
четырекомфорочными			
Ванная	25	-	25 м ³ /ч
Уборная индивидуальная	18	-	25 м ³ /ч
Совмещенный санитарный узел	25	-	50 м ³ /ч
Примечание: В угловых помещениях расчетная температура воздуха должна быть на 2°С выше указанной в таблице.			

Перемещение воздуха в канальных системах естественной вытяжной вентиляции происходит под действием естественного давления Δp_e , возникающего вследствие разности плотности холодного наружного и теплого внутреннего воздуха:

$$\Delta p_e = H_i (\rho_n - \rho_e) g, \quad (8.1)$$

где H_i - расстояние от вытяжной решетки на входе воздуха до устья вытяжной шахты;

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

ρ_n - плотность воздуха при температуре наружного воздуха, равной $+ 5^\circ\text{C}$, кг/м^3 ;

ρ_n - плотность воздуха при температуре t_n , кг/м^3 .

Плотность воздуха при расчетных температурах можно определить по формуле

$$\rho = \frac{353}{273 + t} . \quad (8.2)$$

Аэродинамический расчет сети воздуховодов заключается в определении площади их поперечного сечения. Для расчета вычерчивают схему системы вентиляции в аксонометрической проекции (рисунок 7.1).

Аксонометрическая схема разбивается на участки и определяются расходы воздуха на расчетных участках. Участки основной расчетной ветви нумеруются, начиная с участка с меньшим расходом. Номер участка, его длину, количество удаляемого воздуха наносят на аксонометрическую схему.

Основная расчетная ветвь – это самая нагруженная ветвь, имеющая наименьшее располагаемое давление на единицу длины расчетной ветви, Па/м

$$\Delta p_{e,yo} = \frac{\Delta p_e}{\sum l} , \quad (8.3)$$

где $\sum l$ – сумма длин участков расчетной ветви, м.

Как правило, это ветвь, по которой удаляется воздух с верхнего этажа.

Аэродинамический расчет ведут в табличной форме (прил. 0).

Определяется сечение канала. Для этого рассчитывают ориентировочную площадь поперечного сечения по формуле

$$f_p = \frac{L}{3600v} . \quad (8.4)$$

Предварительно скорость воздуха принимают в каналах верхнего этажа - 0,6 м/с; в каналах нижнего этажа и сборных каналах на чердаке - 1 м/с; в вытяжной шахте – (1 - 1,5) м/с.

По величине f_p подбирают стандартные размеры воздуховодов [5, табл. 12.1-12.7; 4, табл. III.4] таким образом, чтобы $f_\phi \approx f_p$.

Фактическую площадь поперечного сечения f_ϕ , диаметр d или размеры ($a \times b$) воздуховода заносят в графы 4, 5.

Для расчета потерь давления на трение $\Delta p_{тр}$ и в местных сопротивлениях Z определяется фактическая скорость движения воздуха в каналах, м/с.

$$v_\phi = \frac{L}{3600 f_\phi} \quad (8.5)$$

Определяются потери давления на трение. Таблицы и номограммы для определения потерь давления на трение и в местных сопротивлениях составлены для круглых стальных воздуховодов, поэтому для прямоугольных воздуховодов значения $\Delta p_{тр}$ и Z определяются по эквивалентному диаметру.

$$d_{э\kappa\text{в}} = \frac{2ab}{a+b} \quad (8.6)$$

Значение $d_{э\kappa\text{в}}$ заносят в графу 6. Если воздуховоды изготовлены не из стали (т.е. имеют другой коэффициент шероховатости), то при расчете $\Delta p_{тр}$ вводится поправка на шероховатость [4, табл. III.5].

Потери давления на трение на расчетном участке длиной l определяются по формуле

$$\Delta p_{тр} = R l \beta_{ш} \quad (8.7)$$

где R – удельные потери давления на 1 м стального воздуховода, Па/м [4, табл. III.12 или прил. 13; 5, табл. 12.17].

Определяются потери давления в местных сопротивлениях, используя формулу:

$$Z = \sum \xi \frac{v^2}{2} \rho \quad (8.8)$$

где $\Sigma \xi$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на расчетном участке [4, прил. 14 или 5, табл. 12.18-12.49].

Если коэффициент местного сопротивления приведен не для скорости на расчетном участке, то необходимо сделать перерасчет

$$\xi = \xi_m \left(\frac{v}{v_m} \right)^2, \quad (8.9)$$

где ξ_m – табличное значение коэффициента местного сопротивления;

v_m – скорость воздуха, приведенная в таблицах.

Величину динамического давления $P_d = \frac{v^2}{2} \rho$ определяют по тем же таблицам и номограммам, что и $\Delta p_{тр}$.

Значения R , $\beta_{из}$, $\Delta p_{тр}$, $\Sigma \xi$, P_d , Z заносят в таблицу.

Определяются полные потери давления на расчетном участке,

$$\Delta p_{уч} = R l \beta_{из} + Z. \quad (8.10)$$

Определяются полные потери давления основной расчетной ветви

$$\Delta p = \sum_i (R l \beta_{из} + Z), \quad (8.11)$$

где i – номера участков основной ветви.

Для нормальной работы системы естественной вентиляции необходимо, чтобы было выполнено равенство:

$$\sum (R l \beta_{из} + Z) \leq \Delta p_e \quad (8.12)$$

Величина запаса давления составляет 5-10%, т.е.

$$\frac{\Delta p_e - \sum (R l \beta_{из} + Z)}{\Delta p_e} 100 = (5 - 10)\% \quad (8.13)$$

Если $\Delta p > \Delta p_e$, то необходимо увеличить размеры вентканалов.

После расчета основной ветви выполняется увязка ответвления с учетом разности естественных давлений

8.2. Вопросы и задания

Выполнить расчет автономной системы вентиляции для административного корпуса, предназначенной для обеспечения нормативных санитарно-гигиенических условий рабочей среды.

На основании исходных данных выполнить следующее:

- Разработать и обосновать выбор аксонометрической схемы системы естественной вентиляции.
- По заданным санитарным нормам интенсивности воздухообмена в отдельных помещениях определить расчетные расходы вентилируемого воздуха на всех участках разводки воздуховодов вытяжных каналов естественной вентиляции.
- Произвести гидравлические расчеты всех участков воздуховодов, по результатам которых определить проектные сечения воздуховодов.
- Выбрать основное и вспомогательное оборудование проектируемых систем.

Индивидуальные исходные данные принимаются в соответствии с индивидуальным шифром задания, который выдаётся каждому студенту преподавателем. Шифр задания представляет собой двухзначное число, по цифрам которого (первая, последняя), из таблиц принимаются исходные данные.

Таблица 8.2

Расчетные значения количества удаляемого воздуха по вентиляционным
каналам административного корпуса, м³/ч

Последняя цифра шифра	Номер вытяжного вентиляционного канала							
	L ₁	L ₇	L ₈	L ₉	L ₁₀	L ₁₅	L ₁₆	L ₁₇
1	80	76	96	65	85	85	60	65
2	75	80	100	70	90	90	65	70
3	70	85	105	75	95	95	70	75
4	65	90	110	80	100	100	75	80
5	60	95	115	85	105	105	80	85
6	80	75	95	65	85	85	60	65
7	75	80	100	70	90	90	65	70
8	70	85	105	75	95	95	70	75
9	65	90	110	80	100	100	75	80
0	60	95	115	85	105	105	80	85

Таблица 8.3

Проектные значения длин участков воздуховодов, м

Предпоследняя цифра шифра	Нумерация воздуховодов																
	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	l ₆	l ₇	l ₈	l ₉	l ₁₀	l ₁₁	l ₁₂	l ₁₃	l ₁₄	l ₁₅	l ₁₆	l ₁₇
1	0,9	0,5	1,5	0,5	1,4	4,2	4,1	4,1	0,9	4,1	1,0	0,6	0,9	2,0	4,1	0,9	0,9
2	0,8	0,6	2,0	0,6	1,5	4,3	4,2	4,2	0,8	4,2	1,1	0,7	1,0	2,1	4,2	0,8	0,8
3	0,7	0,7	2,5	0,7	1,6	4,4	4,3	4,3	0,7	4,3	1,2	0,8	1,1	2,2	4,3	0,7	0,7
4	0,6	0,8	3,0	0,8	1,7	4,5	4,4	4,4	0,6	4,4	1,3	0,9	1,2	2,3	4,4	0,6	0,6
5	0,5	0,9	3,5	0,9	1,8	4,6	4,5	4,5	0,5	4,5	1,4	1,0	1,3	2,4	4,5	0,5	0,5
6	0,9	1,0	1,5	1,0	1,9	4,2	4,1	4,1	0,9	4,1	1,0	0,6	0,9	2,0	4,1	0,9	0,9
7	0,8	1,1	2,0	1,1	2,0	4,3	4,2	4,2	0,8	4,2	1,1	0,7	1,0	2,1	4,2	0,8	0,8
8	0,7	1,2	2,5	1,2	2,1	4,4	4,3	4,3	0,7	4,3	1,2	0,8	1,1	2,2	4,3	0,7	0,7
9	0,6	1,3	3,0	1,3	2,2	4,5	4,4	4,4	0,6	4,4	1,3	0,9	1,2	2,3	4,4	0,6	0,6
0	0,5	1,4	3,5	1,4	2,3	4,6	4,5	4,5	0,5	4,5	1,4	1,0	1,3	2,4	4,5	0,5	0,5

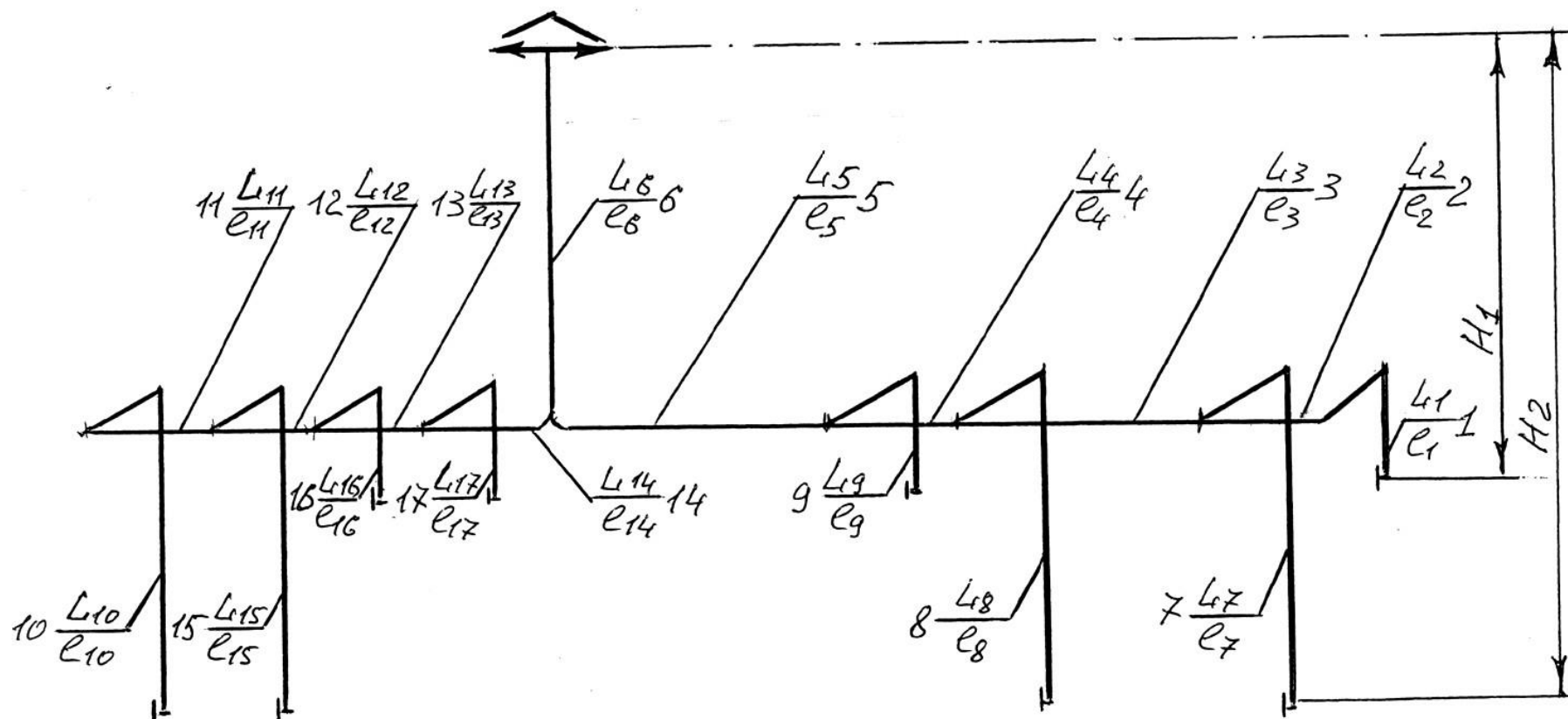


Рис. 8.1 – Аксонометрическая схема естественной вытяжной вентиляции административного корпуса

8.3. Список литературы

1. Вентиляция промышленных зданий и сооружений Электронный ресурс : Учебное пособие / сост. А. Г. Кочев. - Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2011. - 178 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 5-87941-434-5.

2. Свистунов, В.М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Электронный ресурс : учебник / Н.К. Пушняков / В.М. Свистунов. - Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства, 2020-03-02. - Санкт-Петербург : Политехника, 2016. - 429 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-7325-1088-1.

3. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Ч.1 Теоретические основы создания микроклимата зданий: Уч. пособие./ Полушкин В.И., Русак О.Н. и др. – СПб: Профессия. 2006. Доступно <http://e.lanbook.com>.

4. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства. С-Петербург. Политехника, 2001. - 576 с.

5. Инженерные сети, оборудование зданий и сооружение: Учебник / Е.Н. Бухаркин, В.М. Овсянников, К.С. Орлов и др.; Под ред. Ю.П. Соснина. – М.: Высшая школа, 2001. – 415с.: ил.

6. Богачев В.В. Вентиляция : учебное пособие (курс лекций) / В.В. Богачев. Ставрополь : ГОУ ВПО «СевКавГТУ», 2012. – 188 с.

7. Богачев В.В. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Теплоснабжение» для студентов специальности 290700 (270109) «Вентиляция». – Ставрополь : Издательство «СевКавГТУ», 2005. – 33 с.

8.4. Приложения

Приложение 8.1

Эквивалентные по трению диаметры для кирпичных каналов

№ п/п	Размер в кирпичах	Площадь, м ²	d _{экв} , мм
1	1/2 x 1/2	0,02	140
2	1/2 x 1	0,038	180
3	1 x 1	0,073	265
4	1 x 1/2	0,11	320
5	1 x 2	0,14	375
6	2 x 2	0,28	545

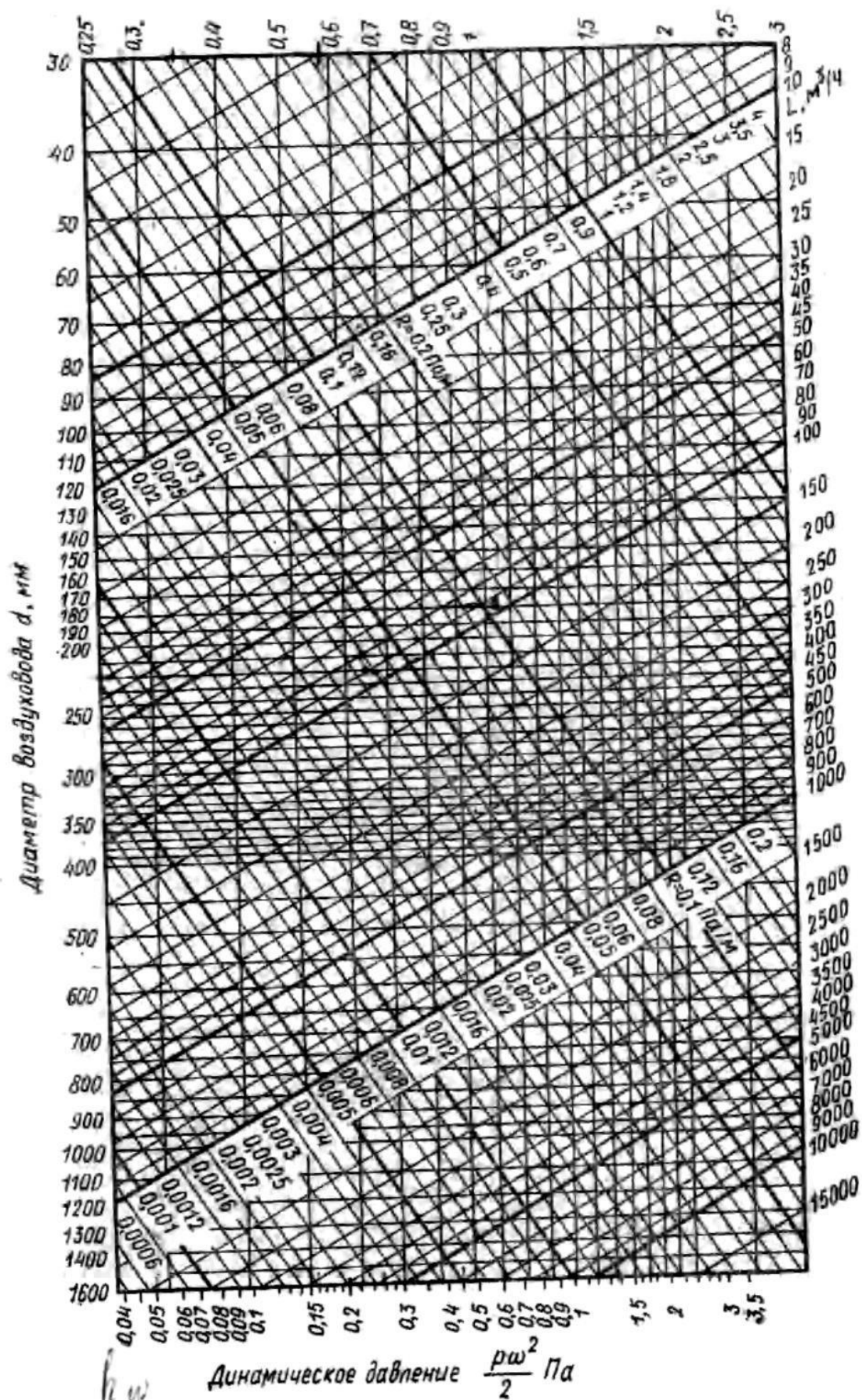
Примечание. Для каналов квадратного сечения эквивалентный по трению диаметр (d_{экв}) равен стороне квадратного канала а

Приложение 8.2

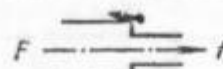
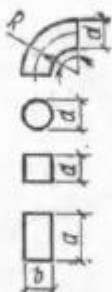
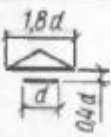
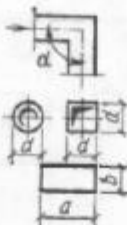
Значения поправочных коэффициентов на шероховатость поверхности β

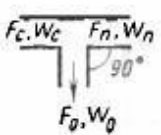
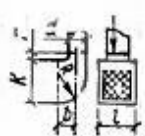
Скорость движения воздуха, м/с	При материале воздуховода			
	шлако-гипсе	шлако-бетоне	кирпиче	штукатурке
0,4	1,08	1,11	1,25	1,48
0,8	1,13	1,19	1,40	1,69
1,2	1,18	1,25	1,50	1,84
1,6	1,22	1,31	1,58	1,95
2,0	1,25	1,35	1,65	2,04
2,4	1,28	1,38	1,70	2,11
3,0	1,32	1,43	1,77	2,20
4,0	1,37	1,49	1,86	2,32
5,0	1,41	1,54	1,93	2,41
6,0	1,44	1,58	1,98	2,48
7,0	1,47	1,61	2,03	2,54
8,0	1,49	1,64	2,06	2,58

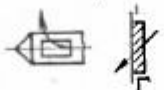
Номограмма для расчета круглых стальных воздуховодов



Значение коэффициентов местных сопротивлений для некоторых фасонных частей воздуховодов

Сопротивление	Эскиз	Коэффициент местного сопротивления					
1	2	3					
Внезапное расширение		$\xi = \left(1 - \frac{f}{F}\right)^2$					
Внезапное сужение		$\xi = 0,5 \left(1 - \frac{f}{F}\right)$					
Отводы круглые, квадратные и прямоугольные		α	30	45	60	90	130
		$R/d=1$					
		ξ	0,09	0,13	0,16	0,21	0,25
		$R/d=2$					
		ξ	0,07	0,09	0,12	0,15	0,18
		Для прямоугольных отводов умножить на коэффициент c					
Вытяжная шахта с диффузором		h/d	0,3	0,4	0,6	0,9	1
		ξ	0,8	0,65	0,6	0,6	0,6
Вытяжная шахта с зонтом		$\xi = 1,3$					
Колено круглое, квадратное и прямоугольное		α	30	45	60	90	
		ξ	0,16	0,32	0,56	1,2	
		Для прямоугольных колен умножить на c					
		b/a	0,25	0,5	1	1,5	
Дефлектор круглый ЦАГИ		c	1,1	1,07	1	0,95	
		$\xi = 0,64$					

Сопротивление	Эскиз	Коэффициент местного сопротивления						
1	2	3						
Тройник под углом 90° на притоке воздуха		Проход $F_n + F_o > F_c$; $F_n = F_o$						
		ω_o/ω_c	0,4	0,5	0,6	0,8	1	
		ζ	0,4	0	-0,1	-0,1	0	
		Проход $F_o + F_n = F_c$						
		ω_n/ω_o	0,4	0,5	0,6	0,8	1	
		ζ	4,4	2	0,8	1	0	
		Ответвление $F_o + F_n > F_c$; $F_n = F_c$						
		ω_n/ω_c	0,4	0,6	0,8	1,2	1,4	
		ζ	9,4	4,2	2,3	1,6	1	
		Тройник под углом 90° на вытяжке воздуха		Для прохода воздуха				
F_n/F_c	ζ при L_n/L_o							
	0,2			0,4	0,6	0,7	0,8	
	0,1			0,5	1,5	4,4	8,4	20
	0,4			0,4	1	2,8	5,2	12,3
	1			0,4	0,7	1,6	2,8	6,3
Для отвлечения								
F_o/F_n	ζ при L_n/L_c							
	0,1			0,2	0,4	0,5	0,7	
	0,1			0,3	0,9	1	1	1
	0,2			-1,7	0,6	1	1	1
	0,4			-9,4	-0,6	1	1	1,1
0,6	-21			-2,7	0,9	1,1	1,2	
Выход с плавным поворотом потока воздуха через расширенный патрубок				$\zeta = 1,7$ при живом сечении сетки 80% $r = 0,2 d$; $R = 1,2 d$, $b = 0,7 d$; $l = 1,25 d$; $k = 1,8 d$.				

Сопротивление	Эскиз	Коэффициент местного сопротивления
1	2	3
Вход с поворотом потока воздуха (в отверстие с острыми краями)	Конечная щель воздухопровода Жалюзийная решетка 	$\zeta = 2$
Выход с поворотом потока воздуха	Щель в конце воздухопровода Жалюзийная решетка 	$\zeta = 2,5$

ПРИЛОЖЕНИЕ 15

Техническая характеристика калориферов КВБ

Модель и номер калорифера	Площадь поверхности нагрева, м ²	Площадь живого сечения, м ²		Масса, кг
		по воздуху	по теплоносителю	
КВБ-2	9,9	0,115	0,0046	53
КВБ-3	13,2	0,154	0,0061	69
КВБ-4	16,7	0,195	0,0061	85
КВБ-5	20,9	0,244	0,0076	106
КВБ-6	25,3	0,295	0,0076	125
КВБ-7	30,4	0,354	0,0092	152
КВБ-8	35,7	0,416	0,0092	174
КВБ-9	41,6	0,486	0,0107	201
КВБ-10	47,8	0,558	0,0107	224

ПРИЛОЖЕНИЕ 16

Сопротивление проходу воздуха R калориферов модели КВБ, Па

Массовая скорость движения воздуха в живом сечении, w_p , кг/(м ² ·с)	4	6	8	10	12	14
Сопротивление R , Па	16	32	51	75	102	132

ПРИЛОЖЕНИЕ 17

Коэффициент теплопередачи k калориферов модели КВБ

Теплоноситель	Скорость движения теплоносителя в трубках w_T , м/с	Значения k , Вт/(м ² ·К), при массовой скорости движения воздуха в живом сечении, кг/(м ² ·с)											
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Пар Вода		26,2	28,9	31,3	33,2	34,9	36,7	38,3	39,7	41,0	42,6	43,9	44,9
	0,04	16,0	17,1	18,0	18,8	19,6	20,2	20,8	21,3	21,8	22,2	22,6	23,0
	0,05	16,7	18,0	18,8	19,7	20,5	21,1	21,8	22,5	23,0	23,3	23,8	24,2
	0,06	17,2	18,4	19,6	20,5	21,3	22,0	22,7	23,3	23,8	24,4	24,8	25,4

Аэродинамический расчет системы вентиляции

Номер участка	Расход воздуха L , м ³ /ч	Длина участка l , м	Размеры воздуховодов			Скорость воздуха $v_{ср}$, м/с	Удельные потери давления на трение R , Па/м	Коэффициент шероховатости канала $\beta_{ш}$	Потери давления на трение $R/\beta_{ш}$	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$	Динамическое давление P_d , Па	Потери давлений в местных сопротивлениях Z , Па	Общие потери давления на участке $(R/\beta_{ш} + Z)$
			$a \times b$, мм	Площадь сечения f_f , м ²	Эквивалентный диаметр $d_{экв}$, мм								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Практическое занятие №9

Расчет механической вытяжной системы вентиляции производственного цеха.

Цель: Изучить методику расчета естественной вытяжной системы вентиляции и научиться ее применять для расчета в реальных зданиях.

Знания и умения, приобретаемые студентом в результате освоения темы, формируемые компетенции или их части:

Знать: основные сведения об объектах и процессах профессиональной деятельности посредством использования профессиональной терминологии (ОПК-3)

Уметь: выбирать метод или методику решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Владеть: навыком решения задачи профессиональной деятельности (ОПК-3)

Знать: основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Уметь: выявлять основные требования нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Владеть: навыком выявления основных требований нормативно-правовых и нормативно-технических документов, предъявляемых к инженерным системам жизнеобеспечения (ОПК-4)

Знать: типовые проектные решения и технологического оборудования основных инженерных систем жизнеобеспечения здания в соответствии с техническими условиями (ОПК-6)

Уметь: определять базовые параметры теплового режима здания и производить расчётное обоснование режима работы инженерной системы жизнеобеспечения здания (ОПК-6)

Владеть: навыком определения основных параметров инженерных систем здания (ОПК-6)

Актуальность темы

Для комфортного самочувствия и высокого уровня трудоспособности каждому человеку необходим свежий и чистый воздух. Обеспечить циркуляцию свежего воздуха в помещении способна система вентиляции. Для того, чтобы она функционировала должным образом стоит побеспокоиться о правильной организации еще на этапе проектирования здания. Именно от правильности разработки системы вентиляции на данном этапе зависит её правильное функционирование в будущем.

9.1. Теоретическая часть

Задачей расчета является подбор диаметров воздуховодов на всех участках проектируемой системы и выбор радиального вентилятора механической вытяжной системы.

Задача решается расчетно-графическим методом с помощью номограммы (приложение 9.1). Задаваясь нормируемыми значениями скоростей воздуха для систем механической вентиляции ($W = 5 \div 15$ м/с) и принимая заданный по условиям проектирования расход воздуха, находят рабочую точку на диаграмме.

Этой точке соответствует проектный диаметр воздуховода, коэффициент удельных линейных потерь давления ($R_{\text{л}}$, Па/м) и динамическое давление для расчета местных потерь (h_w , Па).

Виды местных сопротивлений показываются на аксонометрической схеме механической вытяжной системы (Рис. 9.1), а значения коэффициентов местных сопротивлений приводятся ниже.

Подбор радиального вентилятора серии Ц 4 – 70 производят по номограмме, представленной в приложении 9.2.

Подбор осуществляется на основании заданной производительности механической вытяжной системы (L , м³/ч) и полученному расчетом полного динамического давления (p , Па).

Для принятого типа вентилятора производят выбор электродвигателя. Электродвигатель выбирают из таблицы технических характеристик вентилятора (приложение 9.3). С этой целью определяют расчетом мощность электродвигателя с учетом проектного расхода воздуха и расчетного полного динамического давления.

На завершающем этапе приводится схема и описание вентиляционной приточной камеры КП-3 (приложение 9.4) заданной проектной производительности.

9.2. Вопросы и задания

Выполнить расчет автономной системы вентиляции для производственных помещений промышленного предприятия, предназначенной для обеспечения нормативных санитарно-гигиенических условий рабочей среды.

На основании исходных данных выполнить следующее:

- Разработать и обосновать выбор аксонометрической схемы системы принудительной вентиляции.
- По заданным санитарным нормам интенсивности воздухообмена в отдельных помещениях определить расчетные расходы вентилируемого воздуха на всех участках разводки воздуховодов принудительной вентиляции.
- Произвести гидравлические расчеты всех участков воздуховодов, по результатам которых определить проектные сечения воздуховодов.
- Выбрать основное и вспомогательное оборудование проектируемых систем.

Индивидуальные исходные данные принимаются в соответствии с индивидуальным шифром задания, который выдаётся каждому студенту преподавателем. Шифр задания представляет собой двухзначное число, по цифрам которого (первая, последняя), из таблиц принимаются исходные данные.

Таблица 9.1

Характеристики стального круглого воздуховода системы
принудительной вентиляции цеха промышленного предприятия

Последняя цифра шифра	$L_{\text{под.в.}}$ $\text{м}^3/\text{ч}$	Общая протяженность воздуховода, $\Sigma l_i, \text{м}$	Кол-во элементов, шт			
			поворот 30°	поворот 90°	Вибро- вставка	Дроссельный клапан
1	800	10	1	2	5	1
2	900	11	2	3	4	2
3	1000	12	3	4	3	1
4	1100	13	1	5	2	2
5	1200	14	2	2	1	1
6	1300	15	3	3	5	2
7	1400	16	1	4	4	1
8	1500	17	2	5	3	2
9	1600	18	3	2	2	1
0	1700	19	1	3	1	2

Коэффициенты местных сопротивлений:

- вход (внезапное сужения потока) $\varphi = 0,5$
- колено круглое (поворот) 30° $\varphi = 0,16$
- поворот 90° $\varphi = 0,5$
- вибровставка $\varphi = 0,5$
- вытяжная шахта с зонтом $\varphi = 1 \div 1,3$
- дроссельный клапан $\varphi = 0,05 \div \infty$
- фильтр $\varphi = 2,5$

Теплофизические характеристики воздуха:

- расчетная температура воздуха в помещении: $t^p_{\text{в}} = +18^\circ\text{C}$;
- средняя удельная теплоемкость в рабочем интервале температур: $C_{\text{воз.}} = 1,005 \text{ кДж/кг}\cdot\text{К}$;

– средняя плотность воздуха в рабочем интервале температур: $\rho_{\text{воз.}} = 1,247$ кг/м³.

Экономически обоснованная скорость движения воздуха в воздуховодах составляет $w = 5 \div 15$ м/с.

Диаметрами воздуховодов задаваться в пределах $200 \div 325$ мм.

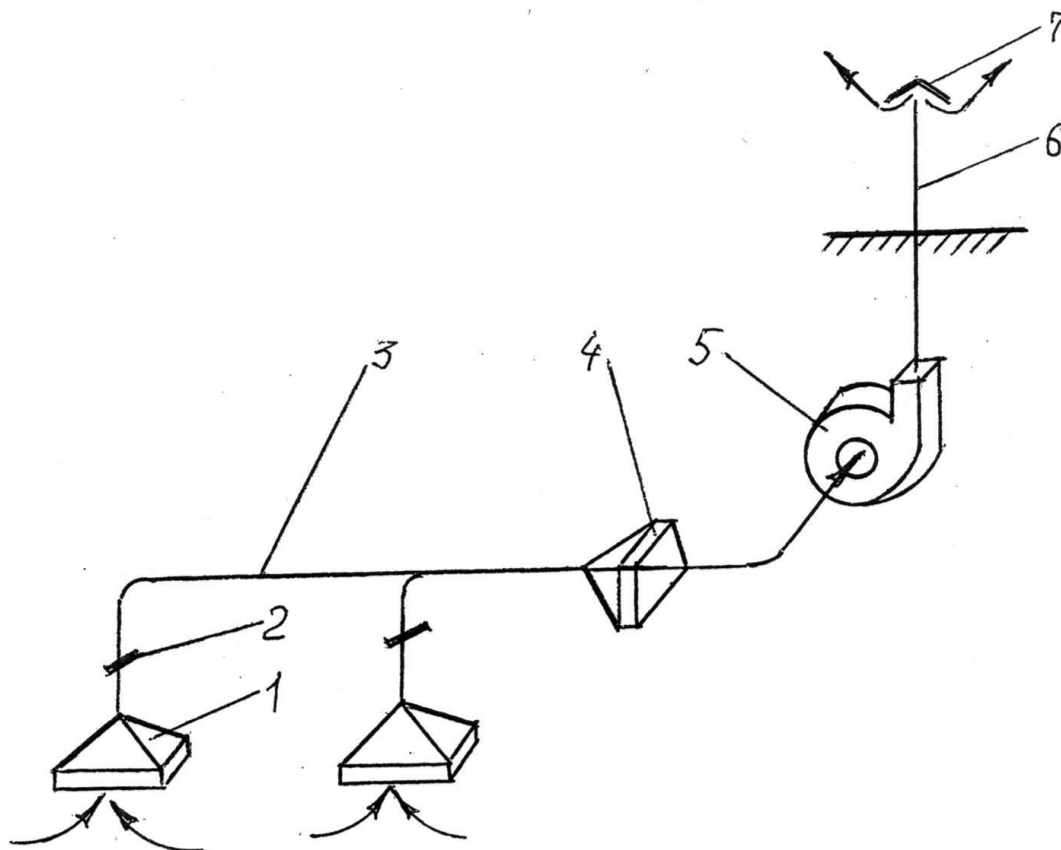


Рис. 9.1 – Аксонометрическая схема механической вытяжной системы вентиляции

- 1 – воздухоприемник (зонт);
- 2 – клапан, регулирующий отсос воздуха;
- 3 – стальные воздуховоды;
- 4 – фильтр;
- 5 – вентиляционный агрегат;
- 6 – вытяжная шахта;
- 7 – зонт над шахтой

9.3. Список литературы

1. Вентиляция промышленных зданий и сооружений Электронный ресурс : Учебное пособие / сост. А. Г. Кочев. - Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2011. - 178 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 5-87941-434-5.

2. Свистунов, В.М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Электронный ресурс : учебник / Н.К. Пушняков / В.М. Свистунов. - Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства, 2020-03-02. - Санкт-Петербург : Политехника, 2016. - 429 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. - ISBN 978-5-7325-1088-1.

3. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Ч.1 Теоретические основы создания микроклимата зданий: Уч. пособие./ Полушкин В.И., Русак О.Н. и др. – СПб: Профессия. 2006. Доступно <http://e.lanbook.com>.

4. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства. С-Петербург. Политехника, 2001. - 576 с.

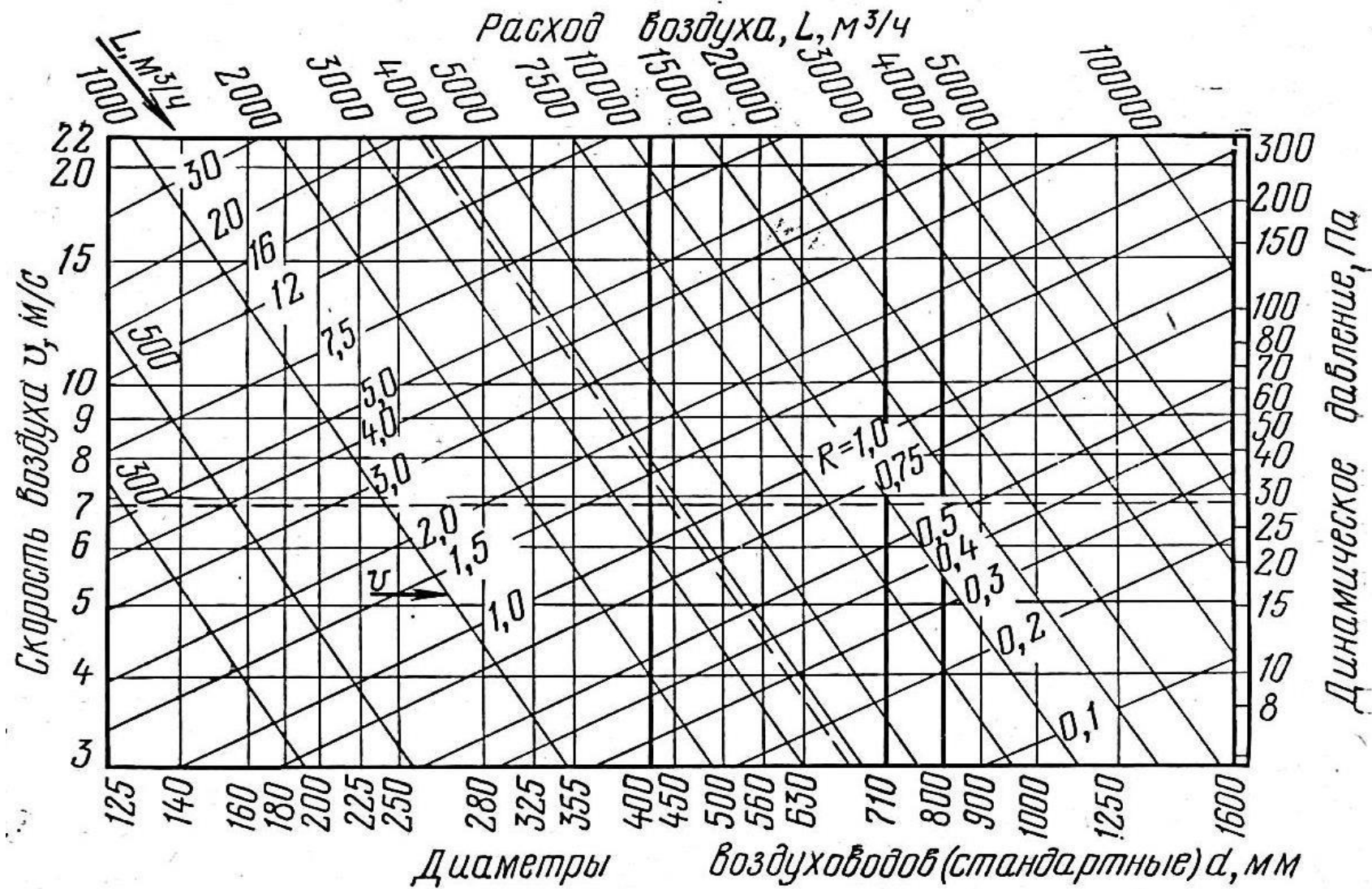
5. Инженерные сети, оборудование зданий и сооружение: Учебник / Е.Н. Бухаркин, В.М. Овсянников, К.С. Орлов и др.; Под ред. Ю.П. Соснина. – М.: Высшая школа, 2001. – 415с.: ил.

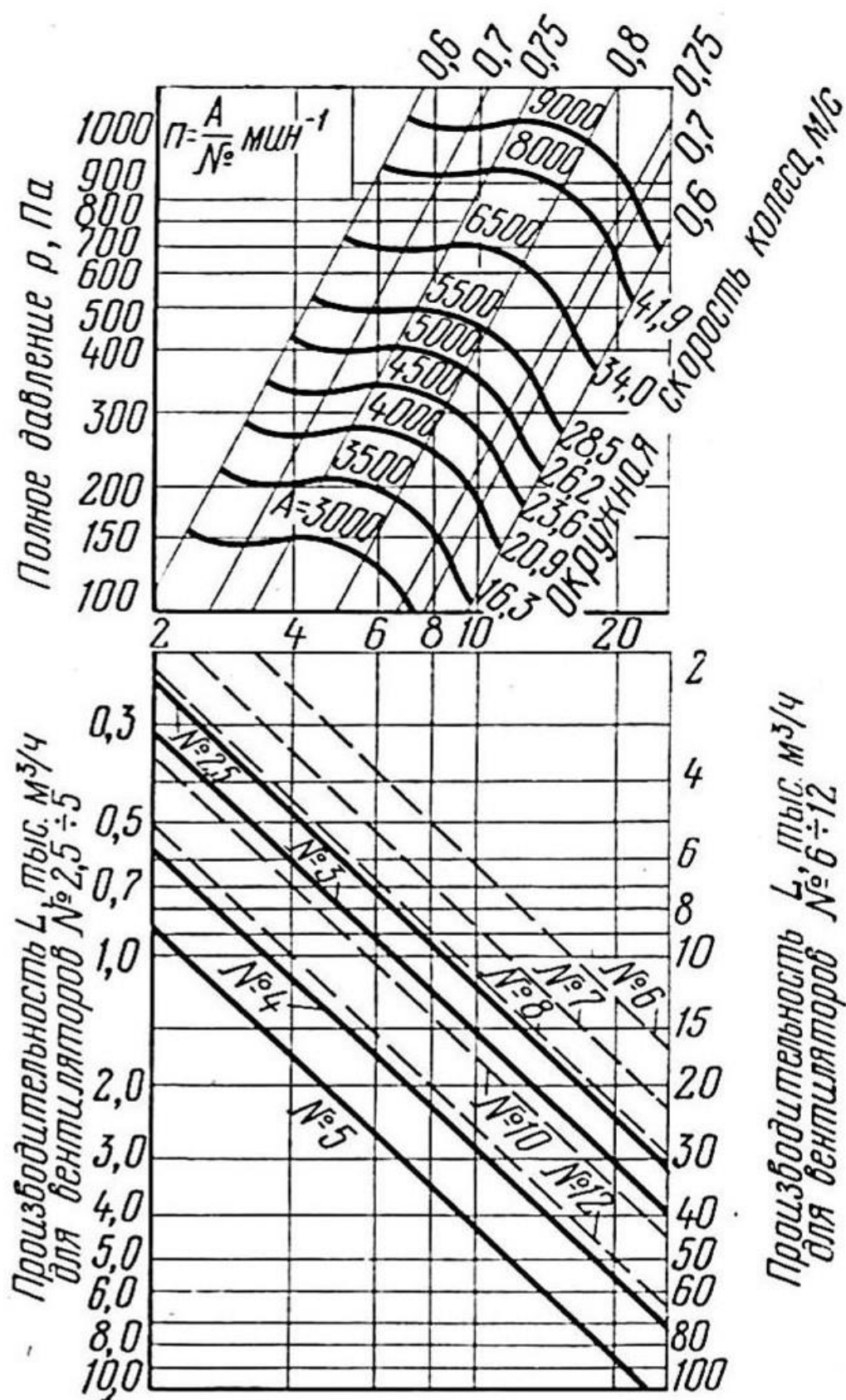
6. Богачев В.В. Вентиляция : учебное пособие (курс лекций) / В.В. Богачев. Ставрополь : ГОУ ВПО «СевКавГТУ», 2012. – 188 с.

7. Богачев В.В. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Теплоснабжение» для студентов специальности 290700 (270109) «Вентиляция». – Ставрополь : Издательство «СевКавГТУ», 2005. – 33 с.

9.4. Приложения

Приложение 9.1

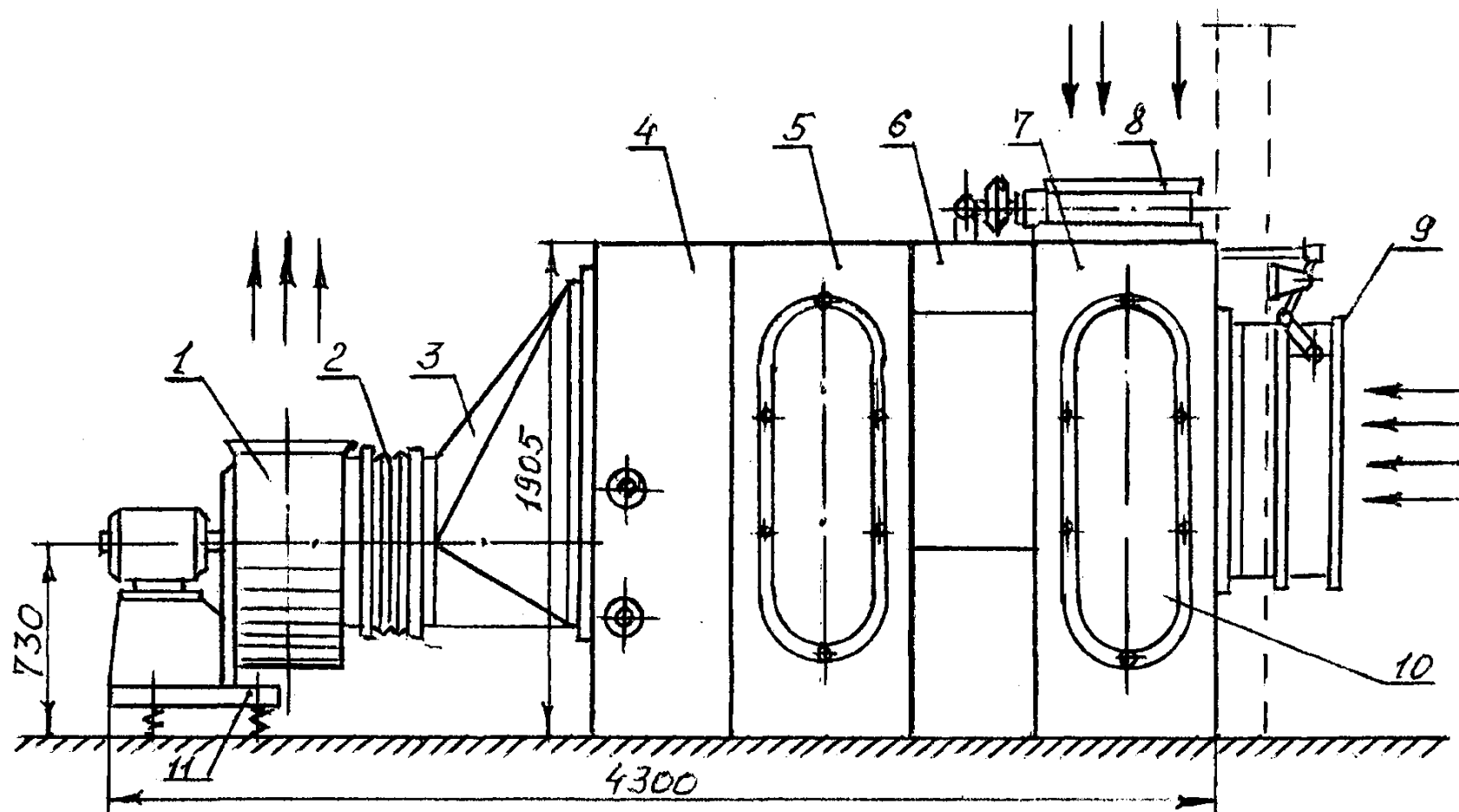




Технические характеристики вентиляторов

Вентилятор	Электродвигатель		
	Тип	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность, кВт
Радиальный Ц 14-46 № 2; 2,5; 3,15	4AA63A4	1500	0,25
	4A80A6	1000	0,75
	4A80B2	3000	2,20
	4A112MA6	1000	3,00
Радиальный Ц4-70 № 2,5; 3,15; 4; 6	4AA56A4	1500	0,12
	4A80A2	3000	1,5
	4A112MA2	3000	7,5
	4A80A4	1000	1,1
Осевой 06-300 № 8; 10; 12,5	B80A6	1000	0,75
	4A112MA8	750	3,0
	BA0324	1500	3,0
Осевой 2,3-130 № 8; 10	4A132M4	1500	11
	4A160M6	1000	15

Схема вентиляционной приточной камеры КП-3 производительностью 4500 - 8500 м³/ч:



- 1 - вентилятор; 2 - гибкая вставка; 3 - конфузор; 4 - секция подогрева; 5 - промежуточная секция;
 6 - секция фильтров; 7 - приемная секция; 8 - клапан рециркуляционный с пневмоприводом;
 9 - клапан утепленный с пневмоприводом; 10 - герметичный люк; 11 - виброизолирующее основание

Аэродинамический расчет системы вентиляции

Номер участка	Расход воздуха L , м ³ /ч	Длина участка l , м	Размеры воздуховодов			Скорость воздуха $v_{ср}$, м/с	Удельные потери давления на трение R , Па/м	Коэффициент шероховатости канала $\beta_{ш}$	Потери давления на трение $R/\beta_{ш}$	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma \xi$	Динамическое давление P_d , Па	Потери давлений в местных сопротивлениях Z , Па	Общие потери давления на участке $(R/\beta_{ш} + Z)$
			$a \times b$, м	Площадь сечения f_f , м ²	Эквивалентный диаметр $d_{экв}$, мм								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Устройство воздуховодов системы вентиляции

Воздуховодами называются специальные каналы, служащие для перемещения воздуха в системах вентиляции и кондиционирования. С помощью воздуховодов наружный (атмосферный) воздух в приточных системах вентиляции подводится к различным аппаратам для обработки, а затем распределяется по помещениям сооружения. В вытяжных системах, наоборот, воздух из помещений при помощи воздуховодов направляется к вытяжной шахте и выбрасывается наружу.

Движение воздуха в воздуховодах происходит благодаря работе вентилятора, который создает в одной части сети воздуховодов давление выше атмосферного, а в другой – ниже атмосферного. Поэтому сеть воздуховодов делится на две части: нагнетательную и всасывающую. В приточных системах вентиляции более разветвленной является нагнетательная часть, а в вытяжных системах – обычно всасывающая. Кроме того, как мы видели, в системах кондиционирования предусмотрены воздуховоды, используемые для рециркуляции части воздуха.

Классифицировать воздуховоды можно по ряду признаков. По материалу, из которого они изготовлены, воздуховоды делятся на две большие группы: металлические и неметаллические.

К металлическим воздуховодам относятся наиболее распространенные стальные воздуховоды из малоуглеродистой черной и оцинкованной листовой стали. Малоуглеродистые стали марок Ст. 1, Ст. 2 и Ст. 3, содержащие незначительный процент углерода (до 0,2%), являются мягкими, обладают достаточной прочностью и необходимой пластичностью и вязкостью. Применяются два типа тонколистовой стали: кровельная и оцинкованная в виде листов 710х1420 мм и 1000х2000 мм с толщиной листа 0,5-2,0 мм и имеющая толщину листа 0,8-4,0 мм, ширину 600-1400 мм и длину 1200— 1400 мм.

Соединение отдельных стальных листов для получения деталей воздуховодов производится с помощью фальцев (рис. 9.1) или сварки.

Сварные соединения применяются при толщине листовой стали не менее 0,8 мм, при этом дуговая сварка допускается, если толщина сварных листов не менее 1,5 мм. Для сварки более тонких листов используются газовые сварные соединения.

В настоящее время разработаны металлические воздуховоды весьма совершенного типа – так называемые спирально-навивные воздуховоды. Эти воздуховоды, в отличие от воздуховодов с фланцевыми соединениями, обладают большими плотностью и жесткостью.

В зависимости от свойств транспортируемого в воздуховодах воздуха применяются обычные или защитные покраски и покрытия внутренней поверхности стальных воздуховодов. При наличии в перемещаемом воздухе особо агрессивных примесей используются воздуховоды из нержавеющей стали и алюминия.

Из числа неметаллических воздуховодов наибольшее распространение получили воздуховоды, изготовленные из винипласта, асбестоцементные воздуховоды и воздуховоды из других строительных материалов. Воздуховоды последней разновидности могут быть выполнены в виде самостоятельных конструкций. Примером их являются приведенные на рис. 9.2 приставные шлакогипсовые воздуховоды.

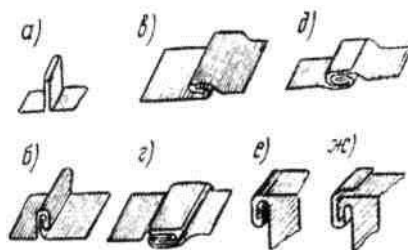


Рис. 9.1. Типы фальцевых соединений:

а - одинарный стоячий; б – двойной стоячий; в - одинарный лежачий;
г - двойной лежачий; д – полуторный комбинированный; е - одинарный угловой;

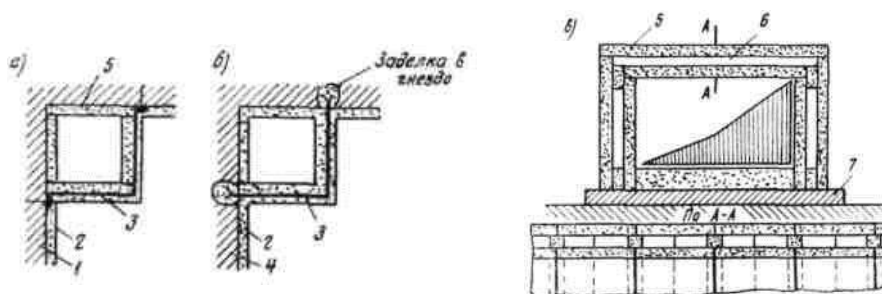


Рис. 9.2. Приставные шлакогипсовые воздуховоды:

а - у деревянных конструкций; б -у каменных конструкции; в – двойной чердачный короб:
1 - деревянная стенка; 2 - штукатурка; 3 - пачечная сталь; 4 - кирпичная стена; 5 - плита;
6 - воздушная прослойка; 7 - настил

Кроме того, к этой же разновидности воздуховодов относятся различные каналы, представляющие собой часть строительных ограждений. На рис.9.3 показаны воздуховоды в подземном сооружении, составляющие часть выработки (ее подсводное пространство).

В последнее время были предложены воздуховоды из нового конструкционного материала - металлопласта, получаемого нанесением различных пластмассовых пленок на металлические листы. Эти воздуховоды являются весьма перспективными, так как позволяют заменить дорогостоящую и дефицитную нержавеющую сталь.

Выбор того или иного материала для изготовления воздуховодов должен производиться в зависимости от свойств перемещаемой среды на основании рекомендаций, содержащихся в СНиП 41-01-2003.

Воздуховоды могут отличаться не только по материалу, но и по форме поперечного сечения. Если воздуховоды представляют собой самостоятельную конструкцию, они чаще всего изготавливаются круглыми или прямоугольными. Круглые воздуховоды требуют меньше материала, они более жесткие и допускают большую степень индустриализации при изготовлении. Поэтому во всех случаях следует стремиться применять круглые воздуховоды.

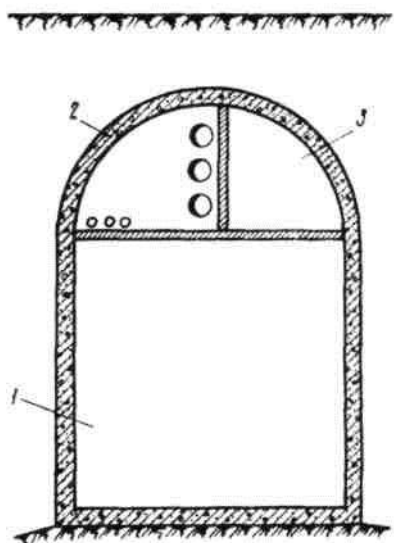


Рис. 9.3.
Вентиляционные каналы
в подземных
сооружениях: выработки
для инженерных
коммуникаций;

В сооружениях производственного назначения, как правило, используются воздуховоды круглого поперечного сечения. Но круглые воздуховоды могут применяться не всегда. Причиной тому, во-первых, являются архитектурно-эстетические соображения. Прямоугольная форма воздуховодов в большей степени, чем круглая, позволяет размещать их в помещениях, не нарушая архитектурного облика последних. Второе обстоятельство, которое заставляет переходить на прямоугольные воздуховоды, - ограниченная высота помещений. Так, если высота помещения составляет 2,4 м, то обычно нельзя применять круглые воздуховоды с диаметром поперечного сечения более 0,5 м, так как это затруднит проход людей. В этом случае необходимо переходить на прямоугольные воздуховоды, равновеликие по площади поперечного сечения круглым.

На самые распространенные металлические воздуховоды из тонкой листовой стали разработаны нормы, предусматривающие такие размеры сечений круглых и прямоугольных воздуховодов, которые обеспечивают минимальные количества отходов при раскрое стандартного листа. Строительными нормами ВСН 353-86 предусмотрены 22 диаметра от 100 до 2000 мм для воздуховодов круглого сечения и 33 размера от 100x150 до 1600x2000 мм воздуховодов прямоугольного сечения.

Для выполнения разветвленной сети воздуховодов той или иной конфигурации необходимы прямые звенья и фасонные части.

При изготовлении круглых и прямоугольных металлических воздуховодов применяются следующие фасонные части:

а) Переходы с одного сечения на другое. Сечения могут отличаться формой, размерами, а также тем и другим. Различают переходы с круглого сечения на круглое, с прямоугольного на прямоугольное и с прямоугольного сечения на круглое. Переходы могут быть прямые, когда центры сечений лежат на одной оси, и косые, когда центры смещены.

б) Отводы и колена. Эти фасонные части служат для осуществления поворотов трассы воздухопроводов под тем или иным углом. Отводы отличаются от колен более

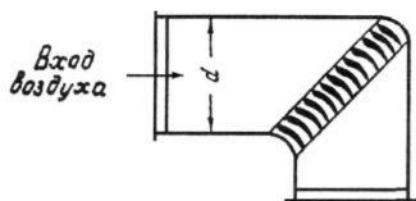


Рис.9.4. Колено с профилированными направляющими лопатками

плавным очертанием. Чем больше радиус закругления отвода, тем меньше его сопротивление. Сопротивления колен значительно больше, чем отводов. Для уменьшения сопротивления колена в нем может быть предусмотрена специальная аэродинамическая решетка в виде направляющих лопаток (рис.9.4). Следует заметить, что на отводы под углом 90° с круглым и прямоугольным поперечным сечением имеются нормали.

в) Тройники. Они являются, так же как и отводы, весьма распространенными фасонными частями и устанавливаются в таких местах сети воздухопроводов, в которых необходимы ответвления. В тройниках происходит разделение или слияние воздушных потоков. Различают прямые и штанообразные тройники. Геометрически тройники характеризуются углом примыкания ответвления α и отношением площадей поперечных сечений ответвления и проходной части к площади сечения сборной части, т. е. $\int_0 / \int$ и $\int_n / \int$.

В настоящее время на прямые и штанообразные тройники круглого и прямоугольного поперечного сечения имеются нормали. На рис. 9.5 представлена схема нормализованного прямого тройника для круглых воздухопроводов. Угол примыкания

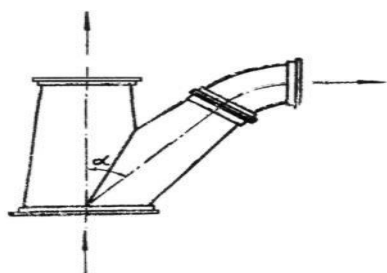


Рис. 9.5. Нормализованный прямой тройник круглого сечения

ответвления для этого тройника составляет 30° при диаметре воздухопроводов $d < 440 \text{ мм}$ и 45° при $d > 440 \text{ мм}$. Как видно из рис. 9.5, установка этого нормализованного тройника предусматривается с полуотводом.

Кроме рассмотренных фасонных частей, для тех же целей (поворотов трассы воздухопроводов и присоединения ответвлений) применяются крестовины и утки.

Следует выделить фасонные части, являющиеся по существу переходами, но называемые диффузорами и конфузорами. В диффузоре происходит расширение движущегося потока воздуха, а в конфузоре - сужение. Эти фасонные части обычно устанавливаются перед оборудованием, предназначенным для обработки воздуха (калориферы, масляные фильтры) и имеющим поперечное сечение значительно больших размеров, чем сечение воздуховодов.

Соединение отдельных звеньев и фасонных частей воздуховодов между собой, а также их присоединение к оборудованию осуществляется с помощью фланцев.

Фланцы могут выполняться из полосовой стали (обычно 25х4 мм) или угловой стали (сортаментом от 25х25х3 мм до 50х50х4 мм).

Для воздуховодов диаметров до 375 мм и соответствующих прямоугольных воздуховодов с фальцевыми соединениями могут применяться фланцы из полосовой стали. Звенья фальцевых воздуховодов с более крупными поперечными сечениями и сварных воздуховодов должны соединяться на фланцах из угловой стали.

В зависимости от свойств движущегося воздуха прокладки между фланцами воздуховодов рекомендуется выполнять из следующих материалов:

- для воздуха нормальной влажности при температуре до 70 °С из пряди смоляного каната или шнурового асбеста;
- для воздуха с повышенной влажностью - из листовой резины;
- для воздуха с температурой более 70 °С - из асбестового картона;
- для воздуха, содержащего пары кислот, - из кислотостойкой резины.

Для изменения количества перемещаемого в сети воздуховодов воздуха и для отключения отдельных ветвей или всей сети воздуховодов применяются различные регулировочные и запорные устройства. К наиболее распространенным из них относятся:

а) шибер, позволяющий изменять величину проходного сечения воздуховода путем перемещения заслонки в направлении, поперечном движению воздуха. Во избежание излишних утечек воздуха следует рекомендовать устраивать шибер в конверте (рис. 9.6). Обычным местом установки шибера является сечение воздуховода в непосредственной близости от выхлопного отверстия вентилятора. С помощью шибера регулируется суммарный расход воздуха, перемещаемого вентилятором;

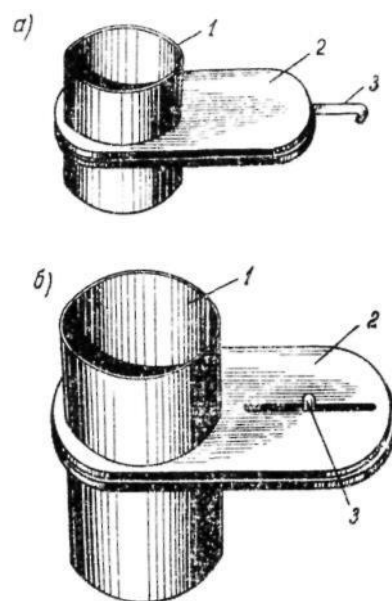


Рис. 9.6. Шиберы в конвертах:
а – с выдвижной ручкой; б –
потайной ручкой: 1 - воздуховод;
2 - конверт; 3 – ручка

б) дроссельный клапан, в котором, в отличие от шибера, изменение сечения происходит благодаря вращению заслонки вокруг оси (рис. 9.7). Естественно, что форма и размеры заслонки должны соответствовать проходному сечению воздуховода в месте установки дроссель клапана. Обычно ось, вокруг которой вращается заслонка, соединяется с рукояткой, выведенной наружу. По положению рукоятки можно судить о степени открытия заслонки. Для фиксирования заслонки в нужном положении на секторе предусмотрены специальные гнезда, в них может входить шпилька, имеющаяся на рукоятке. Дроссельные клапаны, как правило, устанавливаются на ответвлениях сети воздухопроводов и служат для регулирования количества перемещаемого воздуха. Эти регулировочные устройства не отличаются высокой герметичностью, что от них и не требуется;

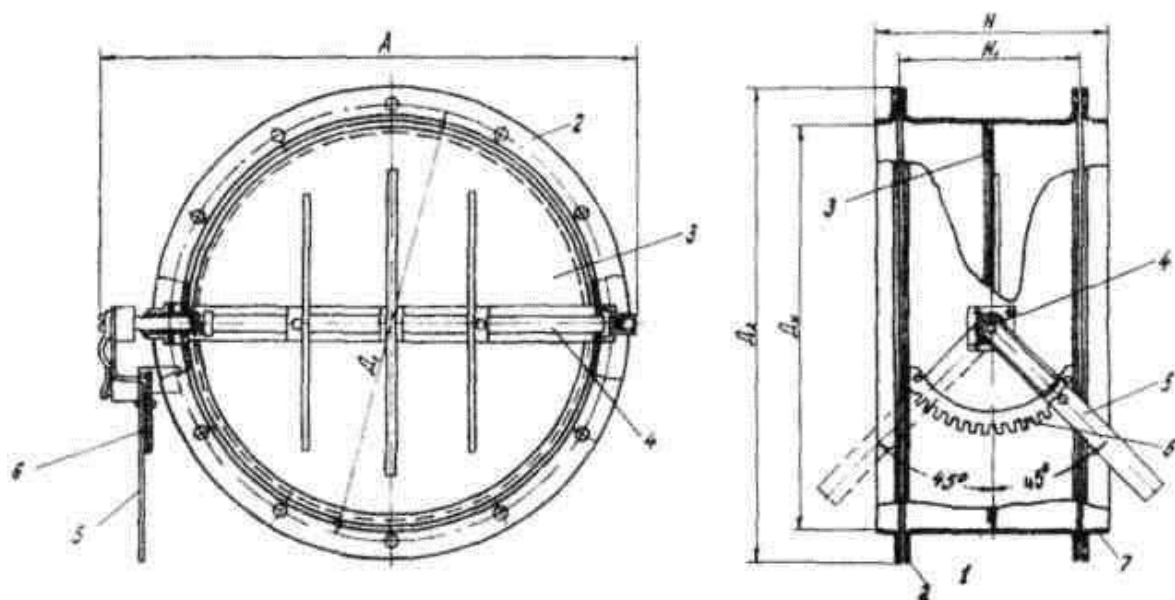


Рис. 9.7. Дроссельный клапан

1 - корпус; 2 - фланцы; 3- полотно клапана; 4 - ось 5 - ручка; 6 - фиксирующий сектор; 7 - воздуховод

Таблица размеров

Дроссель клапана ДУ	Д ₁	Д ₂	Д	Н	Н ₁	Вес, кг
200	224	240	294	174	130	4,6
300	324	340	394	184	140	6,25
400	424	440	494	214	140	9,1
500	540	564	627	280	210	22,6
600	640	664	727	310	240	25,44
800	840	864	927	370	380	41,25

в) дроссельный клапан с электрическим и пневматическим приводом. Этот тип регулировочного устройства отличается от предыдущего тем, что заслонка в движение приводится не вручную, а с помощью исполнительного механизма. Это позволяет осуществлять дистанционное управление дроссельными клапанами, которые нередко называются также воздушными заслонками.

Заслонками этого типа оборудуются автоматизированные системы вентиляции и кондиционирования воздуха. Известно несколько разновидностей воздушных заслонок с электрическим и пневматическим приводом;

г) герметический клапан. Представляет собой более сложное устройство (рис. 9.8). Он предназначен для полного отключения всей сети воздухопроводов или отдельных ответвлений. Герметичность достигается плотным прижатием подвижной части клапана, называемой тарелью, к выступающим бортикам. Для увеличения плотности применяется резиновое уплотнение. Герметические клапаны выпускаются с ручным и электрическим приводом. В клапанах с электрическим приводом для перемещения тарели используется электродвигатель. Клапан с электроприводом допускает дистанционное управление и применяется в автоматизированных системах вентиляции и кондиционирования воздуха;

д) обратные клапаны. Предназначаются для автоматического закрытия воздуховода в целях обеспечения движения воздуха только в каком-либо одном направлении и предотвращения движения в противоположном направлении (рис. 9.9). Рабочая часть клапана состоит из двух створок, которые вращаются вокруг оси, проходящей через центр поперечного сечения воздуховода. При движении воздуха в нужном направлении створки под действием динамического давления воздушного потока находятся в открытом положении. Если поток воздуха отсутствует, створки под действием груза и пружины расходятся в стороны и закрывают сечение воздуховода.

Обратные клапаны чаще всего устанавливаются для отключения вентиляционных камер от взрывоопасных помещений в случае остановки вентилятора.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания к
лабораторным работам по дисциплине

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
(ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЕ С ОСНОВАМИ ТЕПЛОТЕХНИКИ)**

Направление подготовки – 08.03.01 Строительство

Ставрополь

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

Тема: Схемы включения отопительных приборов системы отопления

Цель работы: Изучить устройство системы отопления и ее основные элементы, схемы подключения отопительных приборов по однотрубной и двухтрубной системе.

Формируемые компетенции или их части:

- Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно- коммунального хозяйства
- Способен использовать в профессиональной деятельности распорядительную и проектную документацию, а также нормативные правовые акты в области строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства
- Способен участвовать в проектировании объектов строительства и жилищно-коммунального хозяйства, в подготовке расчетного и технико-экономического обоснований их проектов, участвовать в подготовке проектной документации, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и вычислительных программных комплексов

1.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

По порядку подключения отопительных приборов системы отопления подразделяются на системы:

- с последовательным подключением (однотрубные системы),
- с параллельным подключением (двухтрубные системы).

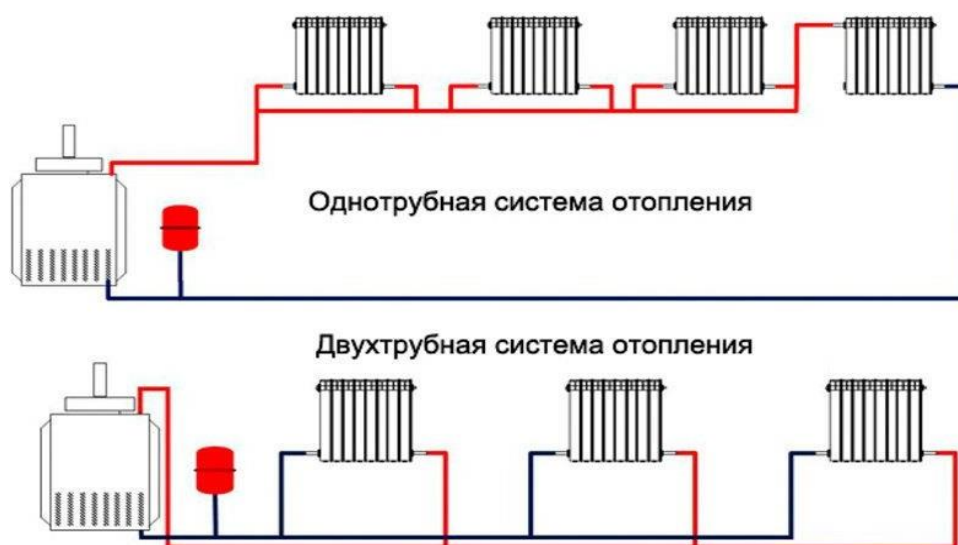


Рис. 1.1 – Однотрубная и двухтрубная система отопления

Двухтрубная система отопления

В двухтрубной системе отопления нагретый теплоноситель циркулирует от нагревателя к радиаторам и обратно. Отличается такая система наличием двух веток трубопровода. По одной ветке происходит транспортировка и распределение горячего теплоносителя, по второй — охлажденная жидкость от радиатора возвращается в котел.

Двухтрубные системы отопления, как и однотрубные, делятся на открытые и закрытые в зависимости от типа расширительного бака. В современных двухтрубных закрытых системах отопления используются расширительные баки мембранного типа. Системы официально признаны наиболее экологичными и безопасными.

Преимущества двухтрубной системы отопления:

- еще на этапе проектирования предусмотрена установка автоматических терморегуляторов для радиаторов отопления и, следовательно, возможность регулирования температуры в каждой комнате;
- трубы по помещениям разводятся по особой коллекторной системе, что обеспечивает независимость работы устройств цепи;
- в эту систему можно врезать батареи даже после сборки основной линии, что невозможно при однотрубной системе;

Недостатки двухтрубной отопительной системы:

- более сложная схема подключения;
- более высокая цена проекта (требуется гораздо больше труб);
- более трудоемкий монтаж.

Однотрубная система отопления

Принцип работы однотрубной системы: по одной магистральной трубе (стояку) теплоноситель поднимается на верхний этаж дома (в случае многоэтажного дома); к нисходящей магистрали последовательно подключены все отопительные устройства. В этом случае все верхние этажи будут обогреваться интенсивнее чем нижние. Частные дома, чаще всего имеют 2-3 этажа, поэтому однотрубное отопление не грозит большой контрастностью температур на разных этажах. В одноэтажном строении обогрев практически равномерный.

Преимущества однотрубной системы отопления

Основными преимуществами являются: гидродинамическая устойчивость, легкость проектирования и монтажа, малые затраты материалов и средств, так как требуется установка только одной магистрали для теплоносителя. Такая система получила у нас очень широкое распространение из-за высокой экономии материала.

Недостатки однотрубной системы отопления:

- сложный тепловой и гидравлический расчет сети;
- сложно устранить ошибки в расчетах устройств отопления;
- взаимозависимость работы всех элементов сети;
- высокое гидродинамическое сопротивление;
- ограниченное количество обогревательных устройств на одном стояке;

Усовершенствование однотрубных отопительных систем

Разработано техническое решение, позволяющее регулировать работу отдельных отопительных приборов, подключенных на одну трубу. В сеть подключаются специальные замыкающие участки — байпасы. Байпас представляет собой перемычку в виде отрезка трубы, который соединяет между собой прямую трубу радиатора отопления и обратную. Он оснащен кранами или клапанами. Байпас дает возможность подключать к радиатору автоматические терморегуляторы. Это позволяет регулировать температуру каждой батареи и при необходимости перекрывать подачу теплоносителя на любой отдельный нагревательный прибор. Благодаря этому можно ремонтировать и заменять отдельные приборы, не отключая полностью всю отопительную систему. Правильное подключение байпаса дает возможность перенаправить поток теплоносителя по стояку, минуя заменяемый или ремонтируемый элемент.

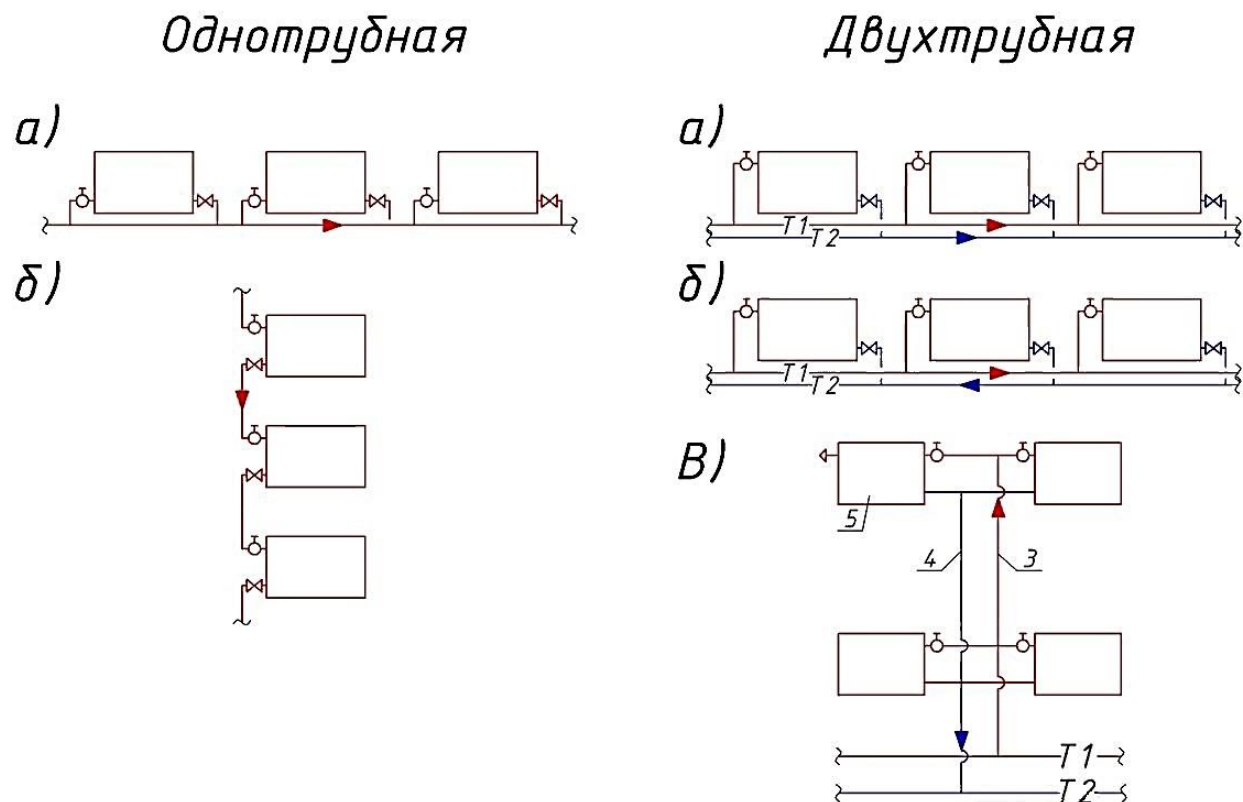


Рис 1.2 – Горизонтальные и вертикальные системы (однотрубная: а – горизонтальная, б – вертикальная; двухтрубная: а,б – горизонтальная, в – вертикальная)

Схемы бокового подключение радиаторов к трубопроводной системе

Независимо от вида системы отопления: однотрубная, двухтрубная или лучевая существует три типа бокового подключения радиаторов: одностороннее, диагональное и нижнее подключение.

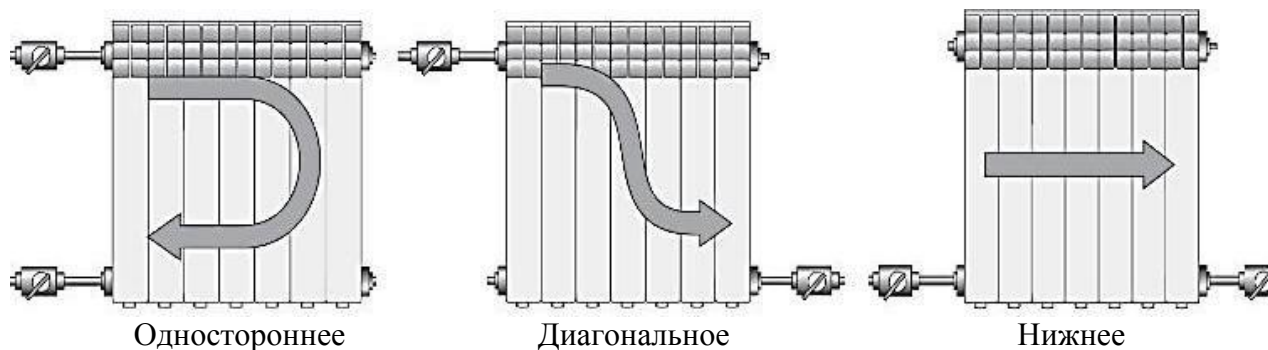


Рис 1.3 – Боковое подключение радиаторов отопления

Одностороннее подключение

Как понятно из названия, подключаются трубопроводы с одной стороны — подача сверху, обратка — снизу. Этот вариант удобен, когда стояк проходит сбоку от отопительного прибора, что часто бывает в квартирах, потому именно такой тип подключения обычно и преобладает. Когда теплоноситель подводится снизу, такая схема используется нечасто — не очень удобно располагать трубы.

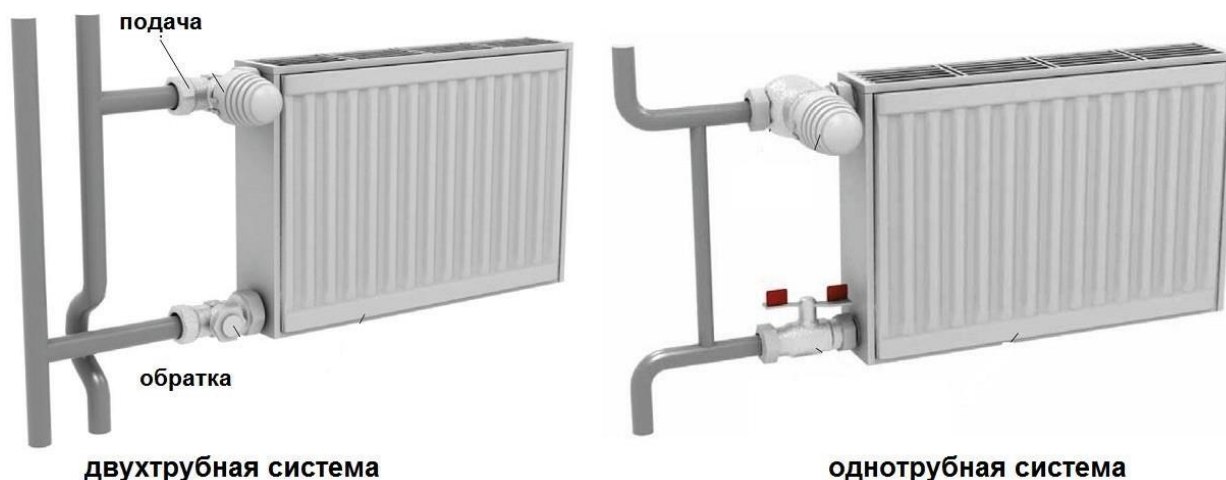


Рис 1.4 – Одностороннее подключение для двухтрубной и однотрубной системы

При таком подключении радиаторов эффективность нагрева только чуть ниже — на 2 %. Но это только если секций в радиаторах немного — не более 10. При более длинной батарее ее дальний край будет плохо греться или вообще останется холодным. В панельных радиаторах для решения проблемы ставят удлинители потока — трубки, которые доводят теплоноситель чуть дальше середины. Такие же устройства можно устанавливать в алюминиевые или биметаллические радиаторы, улучшая при этом теплоотдачу.

Диагональное подключение

Такое подключение радиаторов отопления считают наиболее эффективным, его берут за эталон и именно так испытывают производители свои отопительные приборы и данные в паспорте по тепловой мощности — для такой подводки. Все остальные типы подключения менее эффективно отдают тепло.

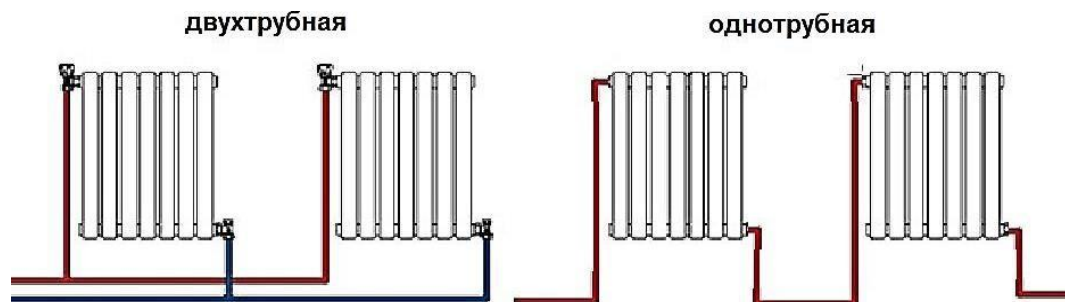


Рис 1.5 – Диагональная схема подключения радиаторов отопления

Все потому, что при диагональном подключении батарей горячий теплоноситель подается на верхний вход с одной стороны, проходит через весь радиатор и выходит с противоположной, нижней стороны.

Боковое нижнее подключение (седельное)

Из всех вариантов седельное подключение радиаторов отопления самое малоэффективное. Потери составляют примерно 12-14%. Но данный вариант самый незаметный — трубы обычно укладываются по полу или под ним и такой способ наиболее оптимальный с точки зрения эстетики. А чтобы потери не влияли на температуру в помещении, можно радиатор взять чуть более мощный чем требуется.

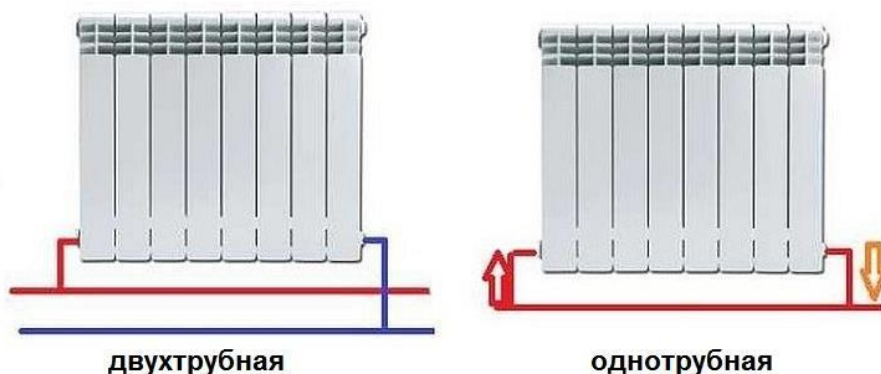


Рис 1.6 – Седельное подключение радиаторов отопления

В системах с естественной циркуляцией такой тип подключения делать не стоит, а вот при наличии насоса работает она неплохо. В некоторых случаях даже не хуже бокового. Просто при какой-то скорости движения теплоносителя возникают вихревые потоки, вся поверхность разогревается, повышается теплоотдача. Данные явления пока не изучены до конца, потому спрогнозировать поведение теплоносителя пока невозможно.

Обвязка радиатора при боковом подключении.



Рис 1.7 – Пример расположения элементов обвязки радиатора

Верхний коллектор:

— Вход B1 – левая проходная пробка, в которую будет устанавливаться кран Маевского. Входящий в установочный комплект кран имеет собственное кольцевое уплотнение, так что подмотка паклей здесь не требуется.

— Вход B2 – правая проходная пробка, в которую запаковывается штуцер с «американкой» под шаровой кран или термоклапан.

Нижний коллектор:

— Вход B3 – левая глухая пробка, либо проходная, с последующей установкой на нее заглушки (также, как и кран Маевского, не требующей подмотки).

— Вход B4 – правая проходная пробка с запаковкой «американки», также под шаровой кран или под балансировочный вентиль.

1.2. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 22-116. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

1.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Рис 1.8 – Схема лабораторного стенда

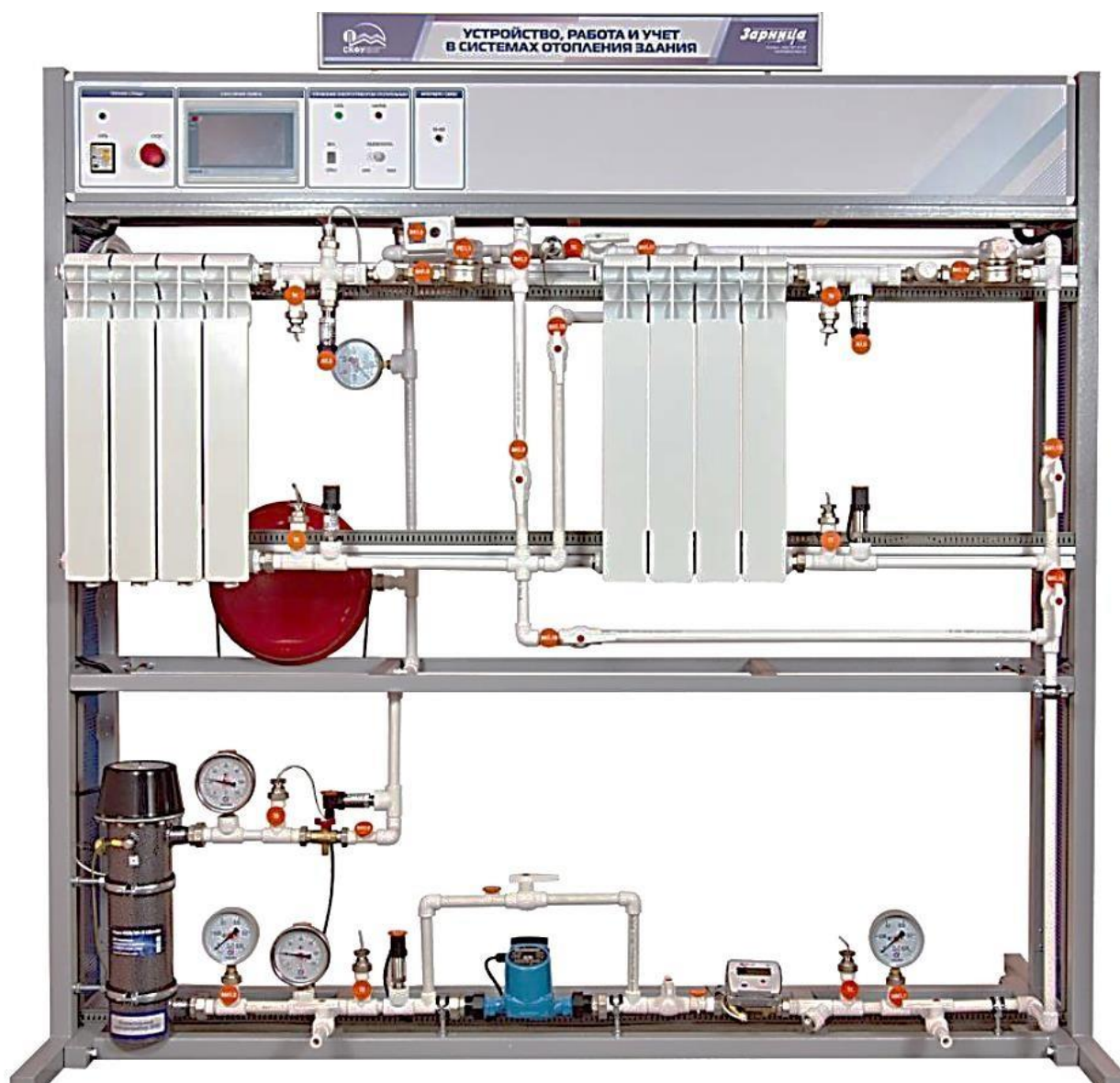


Рис 1.9 – Лабораторный стенд

1.4. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Зарисовать схему лабораторной установки. На схеме должны быть отображены: котел, насос, трубопроводы, отопительные приборы и вентили. Вентили подписываются простой нумерацией (1, 2, 3 и т.д.) в порядке, как указано на схеме лабораторного стенда.
2. Необходимо включить лабораторный стенд. Главная задвижка на подающей магистрали должна быть открыта и должен быть включен насос. Нагрев должен быть отключен.
3. Необходимо закрыть/открыть вентили таким образом, чтобы отопительные приборы были включены по последовательной (однотрубной) схеме.
4. Необходимо закрыть/открыть вентили таким образом, чтобы отопительные приборы были включены по параллельной (двухтрубной) схеме.
5. Правильность подключения отопительных приборов можно проконтролировать по показаниям расходомеров.
6. Зафиксировать список открытых и закрытых вентилей в виде таблицы

№ вентиля Схема подключения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Последовательная														
Параллельная														

В таблице поставить отметки: Х – закрыто, О – открыто.

7. Установить максимальный расход теплоносителя в системе, затем через 3-5 мин. зафиксировать (путем фотоснимка) показания датчиков температуры.
8. Рассчитать относительные отклонения показаний датчиков температуры. Оформить расчеты в виде таблицы.

Датчики температуры

№ датчика	Показания	Отклонение (погрешность)
1		0
2		
3		
и т.д.		

При максимальном расходе теплоносителя и отключенном нагреве (когда температура теплоносителя близка к температуре окружающего воздуха), все датчики, теоретически, должны показывать одинаковые значения. Однако в силу наличия погрешностей датчиков, их показания будут немного отличаться

друг от друга. Важно зафиксировать погрешности датчиков, чтобы потом их можно было учесть при проведении экспериментов. Для этого принимаем за эталон показание первого датчика и рассчитываем отклонения остальных датчиков относительно первого датчика. Т.е. $t_1 - t_2$, $t_1 - t_3$, $t_1 - t_4$, и т.д.

9. Отключить насос и открыть все вентили, затем зафиксировать (путем фотоснимка) показания датчиков давления.
10. Рассчитать относительные отклонения показаний датчиков давления. Оформить расчеты в виде таблицы.

Датчики давления

№ датчика	Показания P , Па	Гидростатика P_g , Па	Корректировка на гидростатику $P_{изб} = P - P_g$	Отклонение (Погрешность)
1				
2				
3				
и т.д.				

При отключенном насосе и открытых вентилях избыточное давление в системе должно быть одинаковым. Однако из-за наличия гидростатического давления показания датчиков должны отличаться на величину давления столба жидкости между датчиками, находящимися на разной высоте.

В верхнем горизонтальном трубопроводе гидростатическое давление принимается равным нулю. Для нижних трубопроводов определяется высота столба жидкости (h) от верхнего трубопровода. Затем для датчиков нижних трубопроводов рассчитывается гидростатическое давление по формуле

$$P_g = \rho gh, \text{ Па.}$$

За эталон по давлению принимаем наименьшее давление в верхнем трубопроводе. Это давление будем считать как чистое избыточное давление в системе и будем сверять с ним показания остальных датчиков давления с поправкой на гидростатику.

1.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет оформляется на листах формата А4 и должен содержать следующие пункты:

- тема работы,
- цель работы,
- краткое описание работы;
- принципиальная схема лабораторной установки;
- протокол записи экспериментальных данных в форме таблицы;
- результаты обработки экспериментальных данных в форме таблиц
- выводы по результатам работы.

Данная лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме. После выполнения лабораторной работы студент должен её защитить – ответить на контрольные вопросы.

1.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Принцип работы двухтрубной и однотрубной системы отопления.

Нарисовать схемы.

2. Достоинства и недостатки однотрубной схемы.
3. Достоинства и недостатки двухтрубной схемы.
4. Байпас и его роль в системах отопления
5. Особенности одностороннего подключения
6. Особенности диагонального подключения
7. Особенности седельного подключения
8. Схемы бокового подключения радиаторов
9. Обвязка радиатора при боковом подключении
10. Определение погрешности температурных датчиков стенда
11. Определение погрешности датчиков давления стенда
12. Гидростатическое давление

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

Тема: Характеристики отопительных приборов

Цель работы: Изучить виды отопительных приборов и их характеристики. Опытным путем определить мощность теплоотдачи радиатора, его коэффициент теплопередачи и тепловое напряжение.

Формируемые компетенции или их части:

- Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно- коммунального хозяйства
- Способен использовать в профессиональной деятельности распорядительную и проектную документацию, а также нормативные правовые акты в области строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства
- Способен участвовать в проектировании объектов строительства и жилищно-коммунального хозяйства, в подготовке расчетного и технико-экономического обоснований их проектов, участвовать в подготовке проектной документации, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и вычислительных программных комплексов

2.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Отопительными приборами называются устройства для передачи тепла от теплоносителя к отапливаемому помещению. Через стенки прибора происходит теплообмен между теплоносителем, протекающим внутри отопительного прибора, и воздухом помещения. Отопительный прибор должен отдавать помещению расчетное количество тепла, определяемое величиной теплопотерь здания.

Различают следующие показатели отопительных приборов:

- величина тепловой инерции (большая или малая инерция);
- материал, используемый при изготовлении (металлический, неметаллический и комбинированный);
- способ передачи тепла (конвективные, конвективно-радиационные и радиационные).

Классификация отопительных приборов

К радиационным приборам относят:

- потолочные излучатели;
- секционные чугунные радиаторы;
- трубчатые радиаторы.

К конвективно-радиационным приборам относят:

- напольные отопительные панели;
- радиаторы секционные и панельные;
- гладкотрубные приборы.

К конвективным приборам относят:

- панельные радиаторы;
- ребристые трубы;
- пластинчатые конвекторы;
- трубчатые конвекторы.

По конструктивному исполнению отопительные приборы подразделяют на радиаторы, конвекторы, гладкие и ребристые трубы.

Наиболее популярные отопительные приборы это радиаторы в двух вариантах исполнения: **секционные и панельные**.

Секционные радиаторы изготавливают путем соединения чугунных, алюминиевых или биметаллических секций.

Секционные чугунные отопительные радиаторы – классика отопительной техники. Они производятся с начала XX века и временем проверены на надежность и практичность.

Основное достоинство этих радиаторов – стойкость к коррозии и большая тепловая мощность на единицу длины. К тому же, они наиболее подходят для наших центральных тепловых сетей с их резкими перепадами давления и низким качеством теплоносителя.

Не каждый отопительный прибор из стали или алюминия способен выдержать такую проверку в отечественных системах отопления. Самый распространённый вариант чугунного радиатора – радиаторы, скомпонованные из отдельных одно-, двух- или трехканальных секций в виде батареи с помощью специальных прокладок и ниппелей.

Чугунные секционные отопительные приборы рассчитаны на рабочее давление в диапазоне 6÷9 атм., опрессовочное – 15÷18 атм. и максимальную температуру теплоносителя 130 °С. Пожалуй, единственный их недостаток – большой вес.

Стальные панельные радиаторы отопления известны где-то с 50-х годов. Нагревательная панель образована двумя сваренными между собой штампованными стальными листами толщиной 1.5 мм.

Стальные панели выпускаются в одно-, двух- и трехрядном исполнении, с конвективным оребрением и без него, с декоративным покрытием термостойкой эмалью. Однако сталь более подвержена коррозии, чем чугун и алюминий, и не очень надежна при использовании с централизованной системой отопления.

Наиболее целесообразно использовать стальные отопительные радиаторы для закрытых систем теплоснабжения, при наличии индивидуального теплового пункта – например, в коттеджах. Рабочее давление этих приборов – 6÷10 атм., опрессовочное – 13 атм., максимальная температура теплоносителя 110÷150 °С.

Алюминиевые секционные отопительные радиаторы в отличие от предыдущих менее металлоемки и более эффектны внешне. Их главное достоинство – возможность нагревать помещение быстрее, чем чугунные и

стальные аналоги. К тому же они лучше управляются при помощи термостатических вентилей, так популярных на сегодняшний день.

Алюминиевые отопительные радиаторы представляют собой прессованные секции и коллекторы, соединенные с помощью специальных ниппелей и стяжных болтов. Они обладают отличными параметрами: рабочее давление 6÷25 атм., опрессовочное – 9÷37 атм. и максимальная рабочая температура – 130 °С.

Следует учитывать, что алюминиевые секционные радиаторы надежно служат в отопительных системах с кислотностью теплоносителя (рН) – 7÷8 и где нет резких перепадов давления и температур. Как правило, их использование оправдано в домах с индивидуальной системой отопления. В местах соединения алюминиевых труб со стальными трубами следует использовать специальные оцинкованные переходники, иначе не избежать электрохимической коррозии.

Биметаллические секционные отопительные радиаторы представляют собой стальные трубы, залитые в монолитные алюминиевые панели с оребрением или без. Эти радиаторы не имеют недостатков присущих алюминиевым приборам (электрохимическая коррозия и другие химические реакции), при этом не уступают в теплоотдаче.

Рабочее давление составляет 25 атм., опрессовочное – 37 атм., максимальная температура теплоносителя – 110 °С. Биметаллические радиаторы не боятся перепадов температур и давления, так что их можно применять в любых системах отопления.

Большинство современных отопительных радиаторов любого типа можно использовать в однетрубных и двухтрубных отопительных системах, в концевом и проходном вариантах. Все отопительные радиаторы могут комплектоваться термостатическими вентилями, с возможностью ручной или автоматической регулировки.

2.2. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 22-116. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

2.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

Рис 2.1 – Схема лабораторного стенда

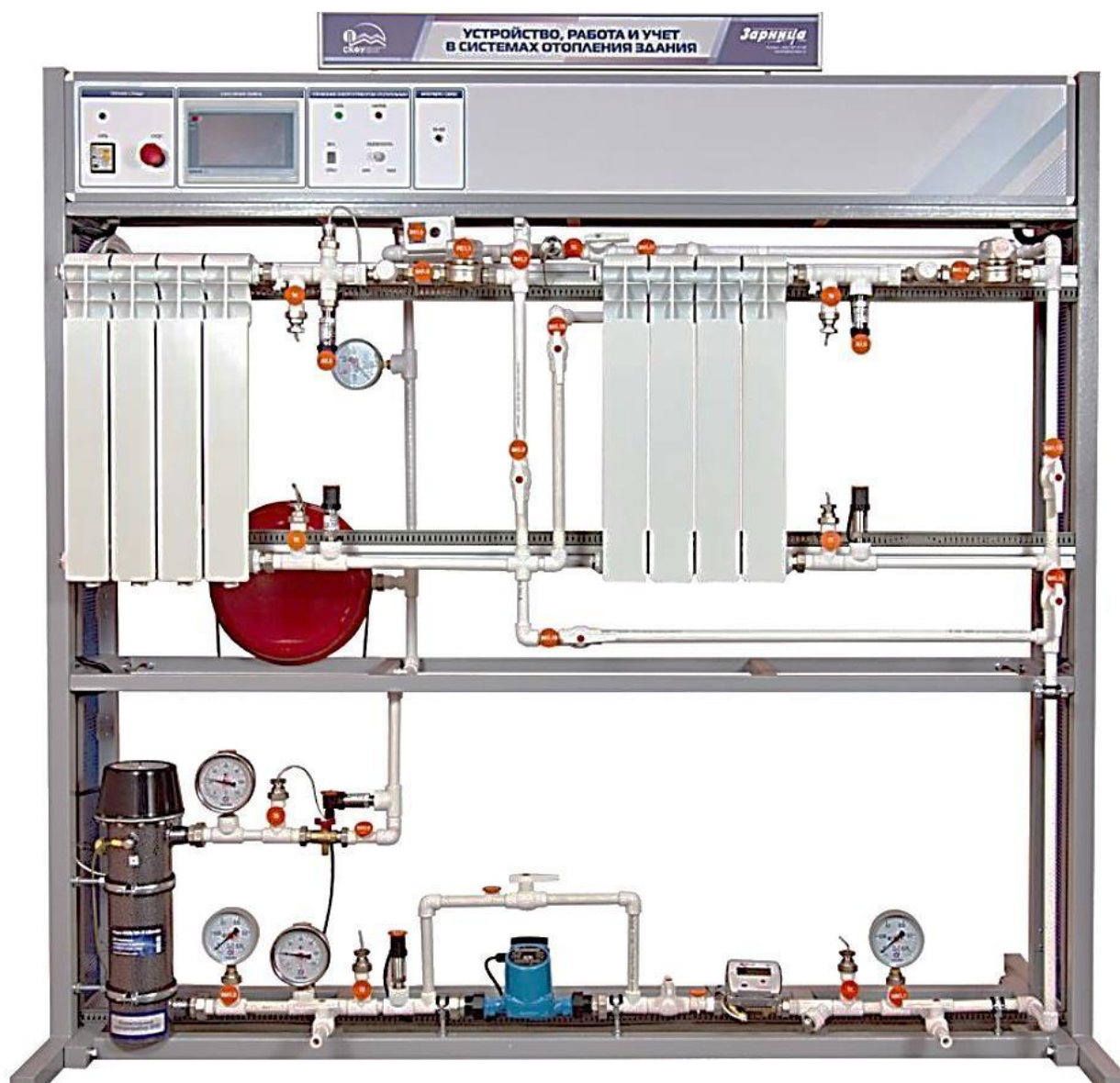


Рис 2.2 – Лабораторный стенд

2.4. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Зарисовать схему лабораторной установки. На схеме должны быть отображены: котел, насос, трубопроводы, отопительные приборы и вентили. Вентили подписываются простой нумерацией (1, 2, 3 и т.д.) в порядке, как указано на схеме лабораторного стенда.
2. Необходимо включить лабораторный стенд. Главная задвижка на подающей магистрали должна быть открыта и должен быть включен насос. Нагрев должен быть включен.
3. Необходимо закрыть/открыть вентили таким образом, чтобы весь расход проходил через один отопительный прибор.
4. С помощью регулировочного вентиля перед отопительным прибором установить расход теплоносителя, соответствующий скорости потока в трубе $w = 0,5$ м/с.

Для определения величины требуемого расхода нужно воспользоваться уравнением неразрывности потока

$$G = w \cdot f, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.1)$$

f – площадь поперечного сечения потока. Эту площадь можно рассчитать, зная внутренний диаметр трубы.

5. Определить температуры теплоносителя перед отопительным прибором и после него. Скорректировать показания на величину погрешностей термодатчиков.
6. По уравнению теплового баланса рассчитать тепловой поток, отдаваемый отопительным прибором за счет остывания воды

$$Q = M \cdot C_p \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}), \text{ Вт}, \quad (2.2)$$

где Q – тепловая мощность радиатора, Вт; M – расход теплоносителя, кг/с; C_p – изобарная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг°C); $t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ – средняя температура теплоносителя на входе и на выходе из радиатора, °C.

Физические свойства воды определяются по справочным данным (Прил. П.I).

1. Температурный перепад теплоносителя в радиаторе это разница между температурами теплоносителя на входе и выходе из радиатора

$$\Delta t_{\text{воды}} = t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}, \text{ °C}. \quad (2.3)$$

2. Температурный напор радиатора это разница температур между средней температурой теплоносителя в радиаторе и температурой окружающего воздуха ($t_{\text{ов}}$)

$$\Delta t_{\text{рад}} = (t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}})/2 - t_{\text{ов}}, \text{ °C}. \quad (2.4)$$

3. Коэффициент теплопередачи радиатора определяется из уравнения теплопередачи

$$Q = k \cdot \Delta t \cdot F, \text{ Вт} \quad (2.5)$$

где Q – мощность теплового потока (тепловая мощность радиатора), Вт; k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²°C); Δt – перепад температур между теплоносителем в радиаторе и окружающим воздухом ($\Delta t_{\text{рад}}$), °C; F – площадь теплообмена, м². Технические характеристики радиаторов от завода-изготовителя приведены в приложениях (П.І, П.ІІ).

4. Тепловое напряжение радиатора определяется по формуле

$$g = Q / (M \cdot \Delta t), \text{ Вт/(кг°C)} \quad (2.6)$$

где Q – мощность теплового потока (тепловая мощность радиатора), Вт; g – тепловое напряжение радиатора, Вт/(кг°C); Δt – перепад температур между теплоносителем в радиаторе и окружающим воздухом ($\Delta t_{\text{рад}}$), °C; M – масса радиатора, кг. Технические характеристики радиаторов от завода-изготовителя приведены в приложениях (П.І, П.ІІ).

5. Удельный тепловой поток, отнесенный на 1 погонный метр длины радиатора

$$q_l = Q / l, \text{ Вт/м} \quad (2.7)$$

где Q – мощность теплового потока (тепловая мощность радиатора), Вт; l – длина радиатора, м.

6. Тепловая мощность одной секции радиатора

$$q_{\text{секц}} = Q / n, \text{ Вт/секц.} \quad (2.8)$$

где Q – мощность теплового потока (тепловая мощность радиатора), Вт; n – число секций, составляющих радиатор, шт.

Результаты расчетов и характеристики радиатора должны быть сведены в форме таблицы. (Таблица П.І.1)

Таблица П.І.1 – Таблица расчетных данных по отопительному прибору

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Скорость теплоносителя в трубе	w	м/с	
Объемный расход теплоносителя	G	м ³ /с	
Массовый расход теплоносителя	M	кг/с	
Тепловая мощность радиатора	Q	Вт	
Температура воды на входе	$t_{\text{вх}}$	°C	
Температура воды на выходе	$t_{\text{вых}}$	°C	

Температурный перепад теплоносителя	$\Delta t_{\text{воды}}$	°C	
Температурный напор радиатора	$\Delta t_{\text{рад}}$	°C	
Коэффициент теплопередачи	k	Вт/(м ² ·°C)	
Тепловое напряжение радиатора	g	Вт/(кг·°C)	
Удельный тепловой поток (на 1 пог. м)	q _l	Вт/м	
Тепловая мощность одной секции	Q _{сек}	Вт/секц.	

2.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет оформляется на листах формата А4 и должен содержать следующие пункты:

- тема работы,
- цель работы,
- краткое описание работы;
- принципиальная схема лабораторной установки;
- протокол записи экспериментальных данных в форме таблицы;
- формулы и расчеты для определения всех величин,
- результаты обработки экспериментальных данных в форме таблиц,
- выводы по результатам работы.

Лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме. После выполнения лабораторной работы студент должен её защитить – ответить на контрольные вопросы.

2.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Методика проведения эксперимента и обработки полученных данных в лабораторной работе.
2. Сущность проектного и поверочного расчетов.
3. Классификация теплообменников.
4. Основные положения методики расчета теплообменных аппаратов.
5. Виды тепловой нагрузки, виды теплоносителей.
6. Материалы, применяемые для отопительных приборов.
7. Назвать основные виды отопительных приборов.
8. Назначение ребрения в отопительных приборах.
9. Предельные температуры поверхностей отопительных приборов для различных типов зданий.
10. Средний температурный напор отопительного прибора.
11. Схема рекуперативного теплообменника, включенного по прямотоку и противотоку. В чем заключаются преимущества противоточной схемы по сравнению с прямоточной?

12. Формула для определения среднего логарифмического температурного напора рекуперативного теплообменника.

13. Что такое умягчение и деаэрация воды? Для чего производятся эти операции?

14. Коэффициент теплопередачи для однослойной плоской стенки, размерность коэффициента теплопередачи.

15. Коэффициент теплопередачи для однослойной цилиндрической стенки, размерность коэффициента теплопередачи.

16. Основное уравнение теплопередачи, обозначить входящие величины.

18. Автомобильный радиатор передает от охлаждаемой жидкости в окружающую среду $Q = 20$ кДж/с. Средняя температура охлаждаемой жидкости в радиаторе $t_{ож} = 98^\circ\text{C}$, а охлаждающей среды – воздуха $t_{в} = 35^\circ\text{C}$. Теплорассеивающая поверхность радиатора $F = 8$ м². Определить коэффициент теплопередачи.

19. Определить плотность теплового потока q через плоскую стенку металлического водонагревателя, если заданы: температура греющих газов $t_{г} = 300^\circ\text{C}$, температура воды в баке $t_{в} = 90^\circ\text{C}$, коэффициенты теплоотдачи соответственно $\alpha_1 = 50$ Вт/(м²*К) и $\alpha_2 = 500$ Вт/(м²*К), толщина стенки $\delta_c = 2$ мм и коэффициент теплопроводности материала стенки $\lambda_c = 32$ Вт/(м*К).

20. Определить площадь поверхности калорифера для нагрева воздуха с объемным расходом $V = 310$ м³/ч от температуры $t_1 = 5^\circ\text{C}$ до $t_2 = 25^\circ\text{C}$, если температура воды на входе в калорифер $t_{вх} = 95^\circ\text{C}$, на выходе $t_{вых} = 60^\circ\text{C}$; коэффициент теплопередачи принять равным $K = 21$ Вт/(м²*К). Теплоемкость воздуха $C_{в} = 1,2$ кДж/(кг*К), плотность воздуха $\rho = 1,15$ кг/м³.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Тема: Влияние температуры теплоносителя на теплоотдачу системы отопления

Цель работы: Определить теплоотдачу системы отопления и установить зависимость теплоотдачи от температуры теплоносителя.

Формируемые компетенции или их части:

- Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно- коммунального хозяйства
- Способен использовать в профессиональной деятельности распорядительную и проектную документацию, а также нормативные правовые акты в области строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства

3.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Однотрубная вертикальная система

Возможны различные варианты исполнения однотрубных систем водяного отопления (Рис 3.1):

- с верхней разводкой (а) при прокладке подающей магистрали выше отопительных приборов;
- с нижней разводкой (б) при расположении и подающей и обратной магистралей ниже приборов;
- с «опрокинутой» циркуляцией воды (в) при прокладке обратной магистрали выше приборов.

Системы отопления с верхним расположением подающей магистрали применяются в гражданских зданиях с чердаком или с техническим этажом, а также при возможности прокладывать подающую магистраль под покрытием верхнего этажа.

Из таких систем воздух удаляется через воздухоборники, располагаемые в верхних точках подающих магистралей системы. Из систем с нижним расположением обеих магистралей удаление воздуха осуществляется через воздушные краны, устанавливаемые в пробках радиаторов верхних этажей или в верхних точках стояков, когда в качестве отопительных приборов применяют конвекторы, гладкие и ребристые трубы.

На рисунке ниже (Рис 3.1) приняты следующие обозначения: 1 – обратная магистраль; 2 – отопительный прибор; 3 – кран регулирующий проходной; 4 – осевой замыкающий участок; 5 – подающая магистраль; 6 – главный стояк; 7 – расширительный бак; 8 – смещённый замыкающий участок; 9 – проточный воздухоборник; 10 – обходной участок; 11 – кран регулирующий трехпроходной; 12 – циркуляционный насос; 13 – теплообменник; 14 – воздушный краны.

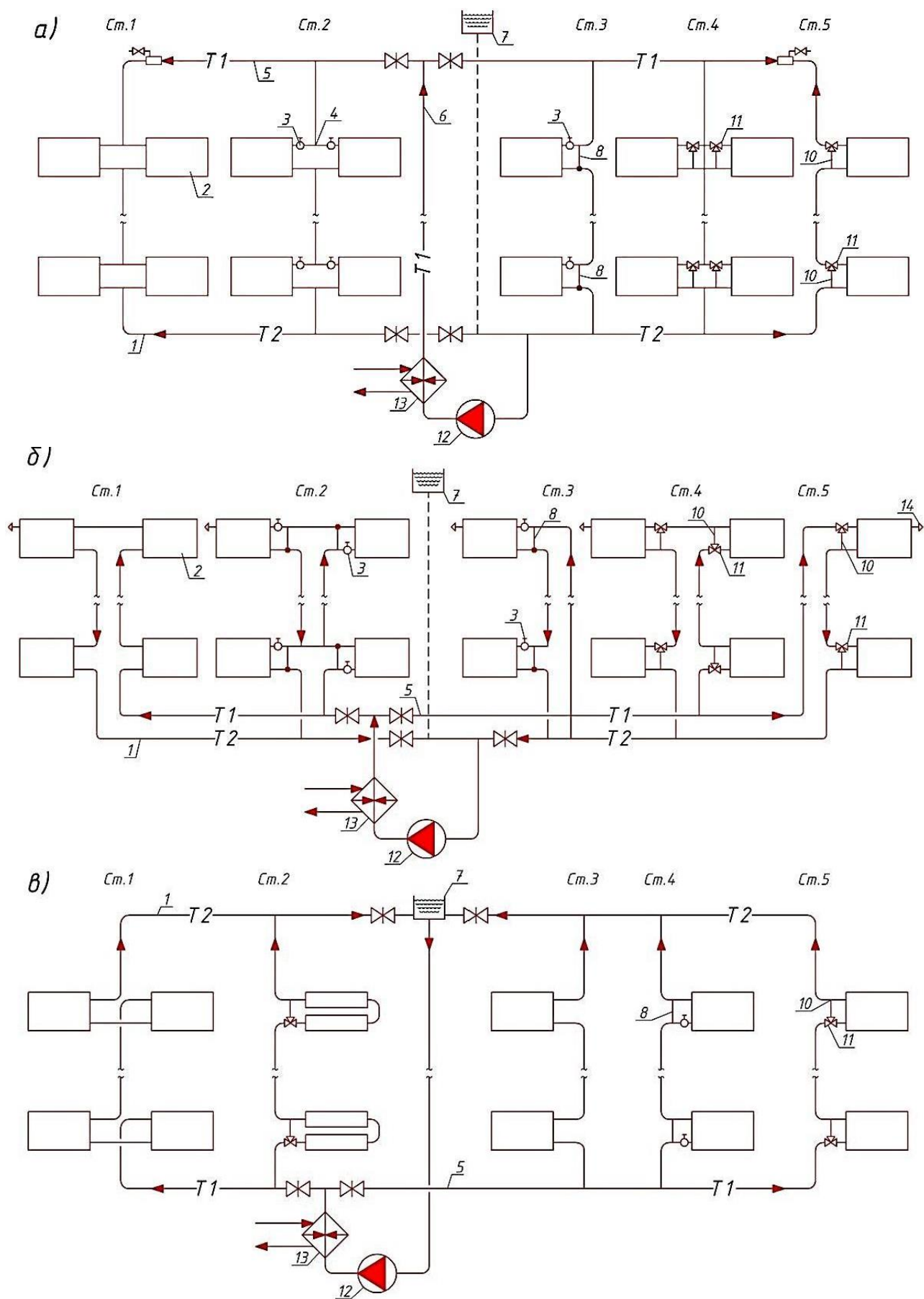


Рис 3.1 – Схемы вертикальных однотрубных систем насосного водяного отопления

На рис. 3.1 (а) приведена схема вертикальной одноконтурной системы насосного водяного отопления с верхней разводкой, с двусторонним (стояки 1, 2, 4) и односторонним (стояки 3, 5) присоединением приборов к стоякам. Стояки показаны условно трех различных типов: нерегулируемого проточного (стояк 1); с замыкающими участками осевыми (стояк 2) и смещенными (стояк 3) с проходными регулирующими кранами (КРП, поставленные со стороны входа теплоносителя в приборы); проточно-регулируемого с обходными участками (стояки 4, 5) с трехходовыми регулирующими кранами (КРТ).

На рис. 3.1 (б) дана схема вертикальной одноконтурной системы насосного водяного отопления с нижней разводкой и П-образными стояками условно трех типов (по аналогии с рис. 1а): нерегулируемого проточного (стояк 7), регулируемого со смещенными замыкающими участками и кранами КРП (стояки 2, 2), проточно-регулируемого с обходными участками и кранами КРТ (стояки 4, 5). При непарных отопительных приборах восходящую часть стояков делают «холостой» (стояки 3, 5).

На рис. 3.1 (в) показана схема вертикальной одноконтурной системы насосного отопления с опрокинутой циркуляцией воды и проточным расширительным баком. Стояки могут быть проточными (стояки 1, 5) или со смещенными обходными (стояки 2, 5) и замыкающими (стояк 4) участками. Проточный стояк 1 изображен с конвекторами типа «Комфорт-20», имеющими две горизонтально расположенные греющие трубы и регулирующий воздушный клапан.

Одноконтурная горизонтальная система

На рис. 3.2 приведена схема горизонтальной одноконтурной системы насосного водяного отопления с ветвями условно различной конструкции.

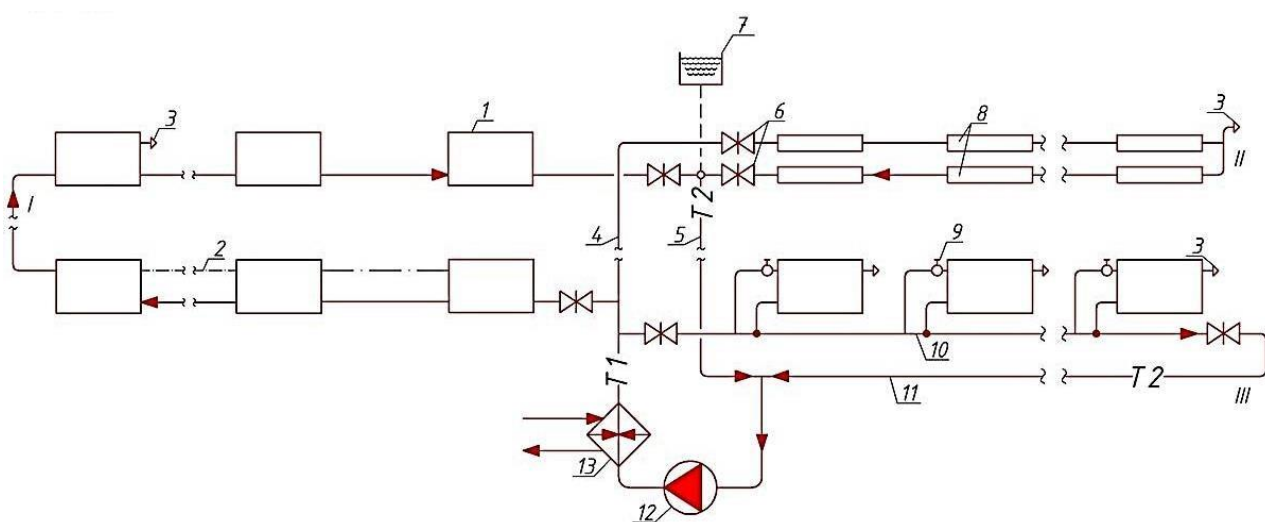


Рис 3.2 – Схемы горизонтальной одноконтурной системы с ветвями: I – проточной для радиаторов на разных этажах, II – проточной бифилярной, III – с замыкающими участками постоянной длины. 1 – радиаторы; 2 – воздушная труба; 3 – воздушные краны; 4 – подающий стояк, 5 – обратный стояк; 6 – вентили; 7 – расширительный бак; 8 – конвектор двухтрубный; 9 – кран регулируемый проходной, 10 – замыкающий участок, 11 – обратная магистраль; 12 – циркуляционный насос.

Проточная ветвь I изображена для радиаторов, установленных на двух этажах, причем радиаторы на первом этаже объединены воздушной трубой, на втором этаже снабжены воздушными кранами. Бифилярная ветвь II показана для трубчатых отопительных приборов (конвекторов, гладких и ребристых труб). Ветвь III дана для регулируемых приборных узлов с кранами КРП и замыкающими участками постоянной длины с дросселирующими вставками. Аналогично может быть выполнена ветвь с обходными участками и кранами КРТ, хотя в этом случае затруднен централизованный спуск воды.

3.2. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 22-116. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

3.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

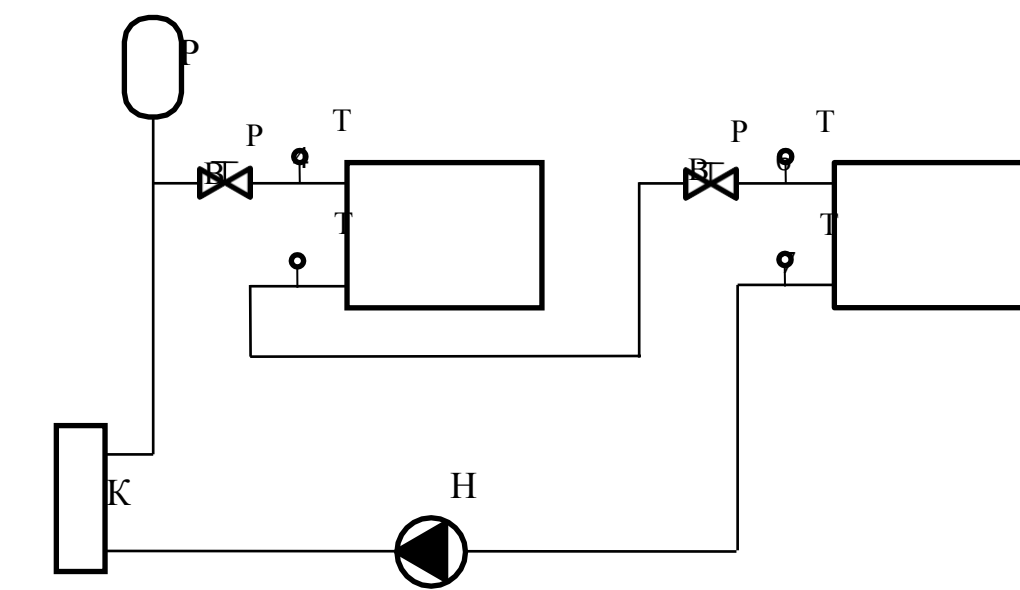


Рис 3.3 – Схема лабораторной установки

3.4. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Необходимо включить лабораторный стенд. Главная задвижка на подающей магистрали должна быть открыта и должен быть включен насос. Нагрев должен быть включен.

2. Необходимо закрыть/открыть вентили таким образом, чтобы отопительные приборы были подключены по однотрубной (последовательной) схеме.

3. Дождаться прогрева системы до максимальной температуры. Отключить котел (нагрев).

4. При остывании циркулирующего теплоносителя зафиксировать показания термодатчиков Т4-Т7. Измерения производить через каждые 10 °С, при этом ориентироваться на показания термодатчика Т4 (Измерения производим при показаниях Т4 приблизительно равным: 70, 60, 50, 40 °С).

5. Скорректировать показания термодатчиков на величину погрешностей, определенных в ЛР1.

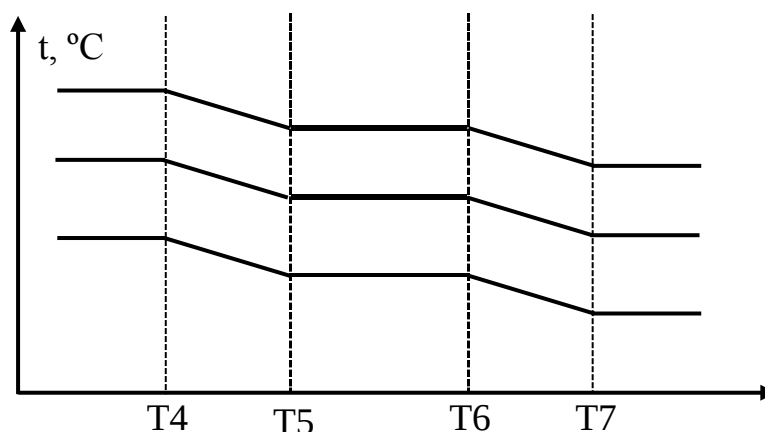


Рис 3.4 – Падение температуры теплоносителя в процессе прохождения системы отопления

6. По уравнению теплового баланса рассчитать тепловой поток, отдаваемый системой отопления за счет остывания воды в отопительных приборах

$$Q = M \cdot C_p \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}), \text{ Вт}, \quad (3.1)$$

где Q – тепловая мощность системы отопления, Вт;

M – расход теплоносителя, кг/с;

C_p – изобарная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг°С);

$t_{\text{вх}}$ и $t_{\text{вых}}$ – температура теплоносителя на входе и на выходе из отопительной системы (термодатчики Т4 и Т7), °С.

Физические свойства воды определяются по справочным данным (Прил. П.1).

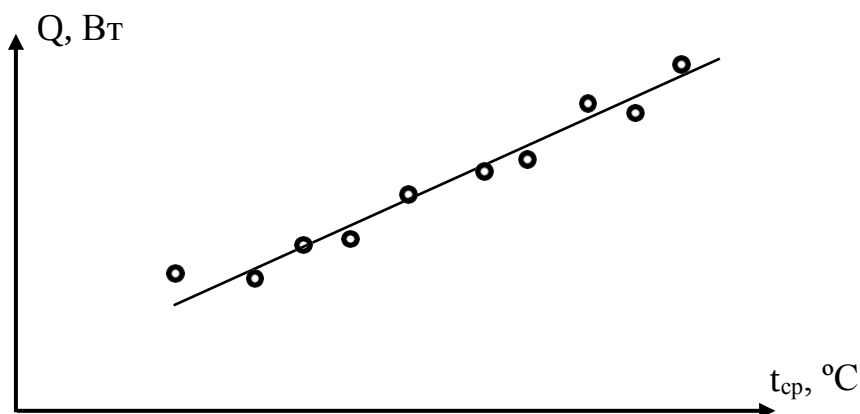


Рис 3.5 – Зависимость теплоотдачи системы от температуры теплоносителя

$$t_{cp} = \frac{t_4 + t_5 + t_6 + t_7}{4}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

3.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет оформляется на листах формата А4 и должен содержать следующие пункты:

- тема работы,
- цель работы,
- краткое описание работы;
- принципиальная схема лабораторной установки;
- протокол записи экспериментальных данных в форме таблицы;
- формулы и расчеты для определения всех величин,
- результаты обработки экспериментальных данных в форме таблиц,
- выводы по результатам работы.

Лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме. После выполнения лабораторной работы студент должен её защитить – ответить на контрольные вопросы.

3.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Методика проведения эксперимента и обработки полученных данных в лабораторной работе.
2. Сущность проектного и поверочного расчетов.
3. Классификация теплообменников.
4. Основные положения методики расчета теплообменных аппаратов.
5. Виды тепловой нагрузки, виды теплоносителей.
6. Материалы, применяемые для отопительных приборов.
7. Назвать основные виды отопительных приборов.
8. Назначение обогрева в отопительных приборах.
9. Предельные температуры поверхностей отопительных приборов для различных типов зданий.

10. Средний температурный напор отопительного прибора.

11. Схема рекуперативного теплообменника, включенного по прямотоку и противотоку. В чем заключаются преимущества противоточной схемы по сравнению с прямоточной?

12. Формула для определения среднего логарифмического температурного напора рекуперативного теплообменника.

13. Что такое умягчение и деаэрация воды? Для чего производятся эти операции?

14. Коэффициент теплопередачи для однослойной плоской стенки, размерность коэффициента теплопередачи.

15. Коэффициент теплопередачи для однослойной цилиндрической стенки, размерность коэффициента теплопередачи.

16. Основное уравнение теплопередачи, обозначить входящие величины.

18. Автомобильный радиатор передает от охлаждаемой жидкости в окружающую среду $Q = 20$ кДж/с. Средняя температура охлаждаемой жидкости в радиаторе $t_{ож} = 98^{\circ}\text{C}$, а охлаждающей среды – воздуха $t_{в} = 35^{\circ}\text{C}$. Теплорассеивающая поверхность радиатора $F = 8$ м². Определить коэффициент теплопередачи.

19. Определить плотность теплового потока q через плоскую стенку металлического водонагревателя, если заданы: температура греющих газов $t_r = 300^{\circ}\text{C}$, температура воды в баке $t_{в} = 90^{\circ}\text{C}$, коэффициенты теплоотдачи соответственно $\alpha_1 = 50$ Вт/(м²*К) и $\alpha_2 = 500$ Вт/(м²*К), толщина стенки $\delta_c = 2$ мм и коэффициент теплопроводности материала стенки $\lambda_c = 32$ Вт/(м*К).

20. Определить площадь поверхности калорифера для нагрева воздуха с объемным расходом $V = 310$ м³/ч от температуры $t_1 = 5^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = 25^{\circ}\text{C}$, если температура воды на входе в калорифер $t_{вх} = 95^{\circ}\text{C}$, на выходе $t_{вых} = 60^{\circ}\text{C}$; коэффициент теплопередачи принять равным $K = 21$ Вт/(м²*К). Теплоемкость воздуха $C_{в} = 1,2$ кДж/(кг*К), плотность воздуха $\rho = 1,15$ кг/м³.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Тема: Гидравлическое сопротивление системы отопления

Цель работы: Определить гидравлическое сопротивление системы отопления и установить зависимость гидравлического сопротивления от скорости теплоносителя.

Формируемые компетенции или их части:

- Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно- коммунального хозяйства
- Способен использовать в профессиональной деятельности распорядительную и проектную документацию, а также нормативные правовые акты в области строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства
- Способен участвовать в проектировании объектов строительства и жилищно-коммунального хозяйства, в подготовке расчетного и технико-экономического обоснований их проектов, участвовать в подготовке проектной документации, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и вычислительных программных комплексов

4.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Отопительными приборами называются устройства для передачи тепла от теплоносителя к отапливаемому помещению. Через стенки прибора происходит теплообмен между теплоносителем, протекающим внутри отопительного прибора, и воздухом помещения. Отопительный прибор должен отдавать помещению расчетное количество тепла, определяемое величиной теплотерь здания.

Различают следующие показатели отопительных приборов:

- величина тепловой инерции (большая или малая инерция);
- материал, используемый при изготовлении (металлический, неметаллический и комбинированный);
- способ передачи тепла (конвективные, конвективно-радиационные и радиационные).

Классификация отопительных приборов

К радиационным приборам относят:

- потолочные излучатели;
- секционные чугунные радиаторы;
- трубчатые радиаторы.

К конвективно-радиационным приборам относят:

- напольные отопительные панели;
- радиаторы секционные и панельные;
- гладкотрубные приборы.

К конвективным приборам относят:

- панельные радиаторы;
- ребристые трубы;
- пластинчатые конвекторы;
- трубчатые конвекторы.

По конструктивному исполнению отопительные приборы подразделяют на радиаторы, конвекторы, гладкие и ребристые трубы.

Наиболее популярные отопительные приборы это радиаторы в двух вариантах исполнения: **секционные и панельные**.

Секционные радиаторы изготавливают путем соединения чугунных, алюминиевых или биметаллических секций.

Секционные чугунные отопительные радиаторы – классика отопительной техники. Они производятся с начала XX века и временем проверены на надежность и практичность.

Основное достоинство этих радиаторов – стойкость к коррозии и большая тепловая мощность на единицу длины. К тому же, они наиболее подходят для наших центральных тепловых сетей с их резкими перепадами давления и низким качеством теплоносителя.

Не каждый отопительный прибор из стали или алюминия способен выдержать такую проверку в отечественных системах отопления. Самый распространённый вариант чугунного радиатора – радиаторы, скомпонованные из отдельных одно-, двух- или трехканальных секций в виде батареи с помощью специальных прокладок и ниппелей.

Чугунные секционные отопительные приборы рассчитаны на рабочее давление в диапазоне 6÷9 атм., опрессовочное – 15÷18 атм. и максимальную температуру теплоносителя 130 °С. Пожалуй, единственный их недостаток – большой вес.

Стальные панельные радиаторы отопления известны где-то с 50-х годов. Нагревательная панель образована двумя сваренными между собой штампованными стальными листами толщиной 1.5 мм.

Стальные панели выпускаются в одно-, двух- и трехрядном исполнении, с конвективным оребрением и без него, с декоративным покрытием термостойкой эмалью. Однако сталь более подвержена коррозии, чем чугун и алюминий, и не очень надежна при использовании с централизованной системой отопления.

Наиболее целесообразно использовать стальные отопительные радиаторы для закрытых систем теплоснабжения, при наличии индивидуального теплового пункта – например, в коттеджах. Рабочее давление этих приборов – 6÷10 атм., опрессовочное – 13 атм., максимальная температура теплоносителя 110÷150 °С.

Алюминиевые секционные отопительные радиаторы в отличие от предыдущих менее металлоемки и более эффектны внешне. Их главное достоинство – возможность нагревать помещение быстрее, чем чугунные и

стальные аналоги. К тому же они лучше управляются при помощи термостатических вентилей, так популярных на сегодняшний день.

Алюминиевые отопительные радиаторы представляют собой прессованные секции и коллекторы, соединенные с помощью специальных ниппелей и стяжных болтов. Они обладают отличными параметрами: рабочее давление 6÷25 атм., опрессовочное – 9÷37 атм. и максимальная рабочая температура – 130 °С.

Следует учитывать, что алюминиевые секционные радиаторы надежно служат в отопительных системах с кислотностью теплоносителя (рН) – 7÷8 и где нет резких перепадов давления и температур. Как правило, их использование оправдано в домах с индивидуальной системой отопления. В местах соединения алюминиевых труб со стальными трубами следует использовать специальные оцинкованные переходники, иначе не избежать электрохимической коррозии.

Биметаллические секционные отопительные радиаторы представляют собой стальные трубы, залитые в монолитные алюминиевые панели с оребрением или без. Эти радиаторы не имеют недостатков присущих алюминиевым приборам (электрохимическая коррозия и другие химические реакции), при этом не уступают в теплоотдаче.

Рабочее давление составляет 25 атм., опрессовочное – 37 атм., максимальная температура теплоносителя – 110 °С. Биметаллические радиаторы не боятся перепадов температур и давления, так что их можно применять в любых системах отопления.

Большинство современных отопительных радиаторов любого типа можно использовать в однетрубных и двухтрубных отопительных системах, в концевом и проходном вариантах. Все отопительные радиаторы могут комплектоваться термостатическими вентилями, с возможностью ручной или автоматической регулировки.

4.2. УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

Студенты обязаны выполнять общие требования безопасности согласно Инструкции по охране труда в лаборатории 22-116. Инструктаж по технике безопасности проводится преподавателем под подпись студента в специальном журнале по технике безопасности.

4.3. АППАРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

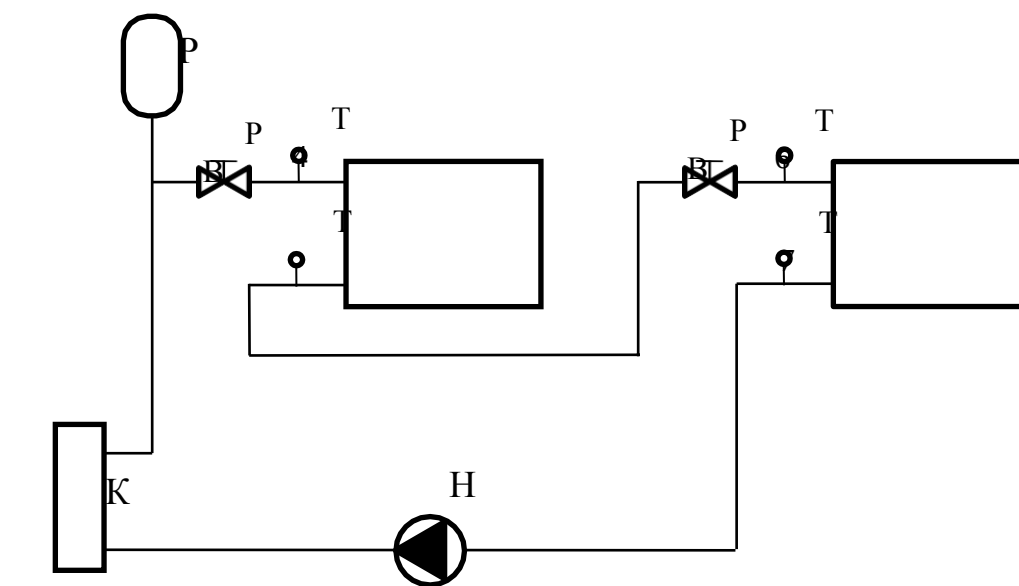


Рис 4.1 – Схема лабораторной установки

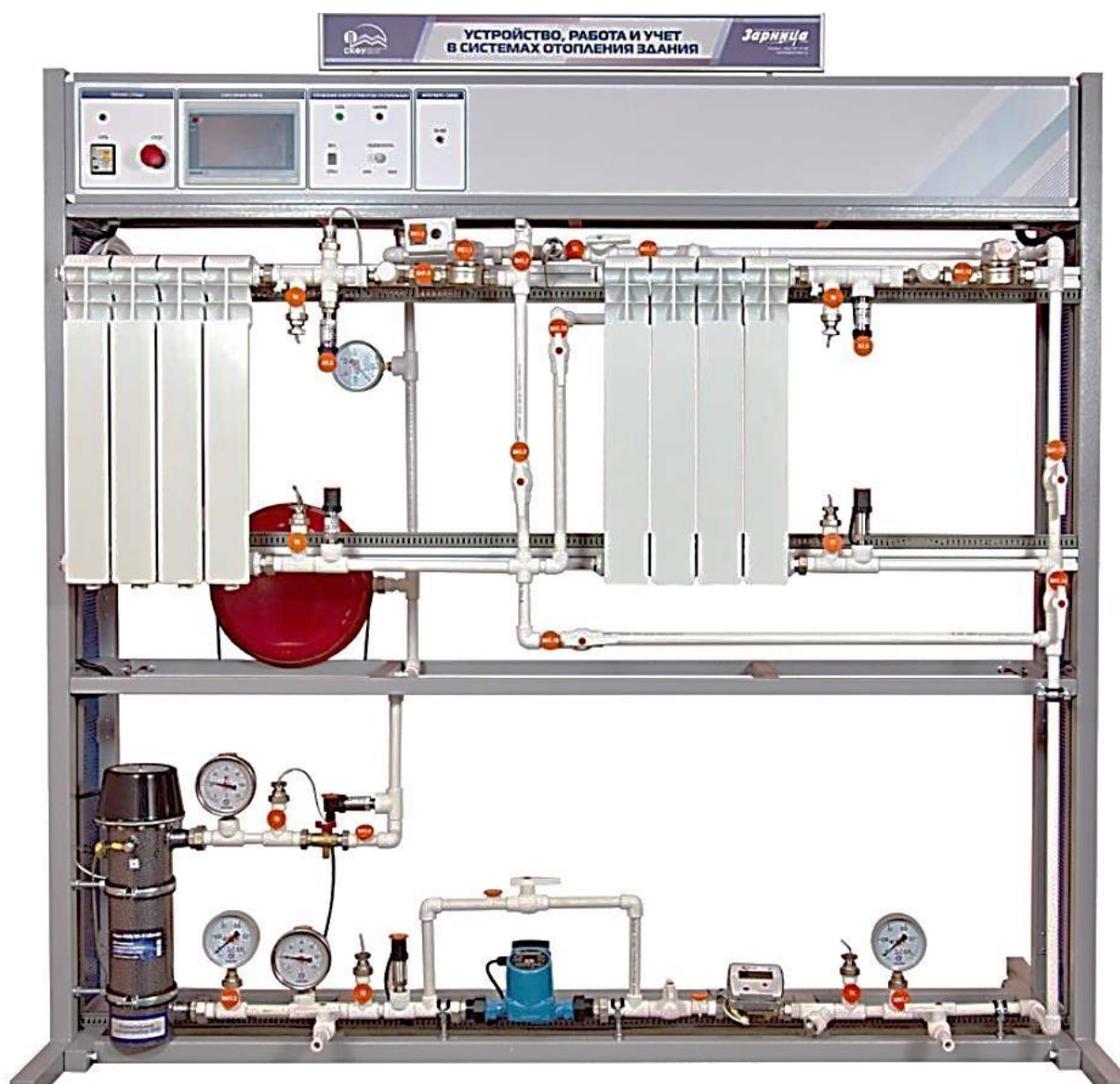


Рис 4.2 – Лабораторный стенд

4.4. МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Необходимо включить лабораторный стенд. Главная задвижка на подающей магистрали должна быть открыта и должен быть включен насос.

2. Необходимо закрыть/открыть вентили таким образом, чтобы отопительные приборы были подключены по однострунной (последовательной) схеме.

3. С помощью регулирующего вентиля последовательно устанавливать расход 20%, 40%, 60%, 80%, 100%. При каждом расходе снимать показания датчиков давления.

4. Скорректировать показания датчиков давления на гидростатическое давление и погрешности (определенные в ЛР1).

5. При максимальном расходе построить в масштабе изменение давления в системе отопления по длине циркуляционного кольца (начиная от насоса) используя скорректированные показания датчиков давления А1.1 – А1.6.

6. В каждом опыте определить скорость движения воды в трубопроводах ($d_{\text{в}} = 16\text{мм}$) и потери давления в системе

7. Построить напорную характеристику системы отопления.

Показания датчиков лабораторного стенда

Расход	Расход	А1.1	А1.2	А1.3	А1.4	А1.5	А1.6
%	л/мин	Па	Па	Па	Па	Па	Па
100							
80							
60							
40							
20							

Корректировка расхода и давления

Расход	$G \cdot 10^3$	А1.1	А1.2	А1.3	А1.4	А1.5	А1.6	W
%	м ³ /с	Па	Па	Па	Па	Па	Па	м/с
100								
80								
60								
40								
20								

Расчет скорости воды в трубе и потери давления в системе

Расход	W	ΔP_k	ΔP_1	ΔP_2	$\Sigma(\Delta P_i)$	ΔP_o	$\Delta P_{тр}$
%	м/с	Па	Па	Па	Па	Па	Па
100							
80							
60							
40							
20							

ΔP_k – потеря давления в котле (A1.1 – A1.2),

ΔP_1 – потеря давления в первом отопительном приборе (A1.3 – A1.4),

ΔP_2 – потеря давления во втором отопительном приборе (A1.5 – A1.6),

$\Sigma(\Delta P_i) = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_k$ – сумма потерь в отопительных приборах и котле,

ΔP_o – потеря давления в системе отопления в целом (A1.1– A1.6),

$\Delta P_{тр} = \Delta P - \Sigma(\Delta P_i)$ – потери давления в трубопроводах системы отопления.

4.5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет оформляется на листах формата A4 и должен содержать следующие пункты:

- тема работы,
- цель работы,
- краткое описание работы;
- принципиальная схема лабораторной установки;
- протокол записи экспериментальных данных в форме таблицы;
- формулы и расчеты для определения всех величин,
- результаты обработки экспериментальных данных в форме таблиц,
- выводы по результатам работы.

Лабораторная работа считается выполненной, когда студент, присутствующий на занятии и выполнивший практическую часть работы, представляет преподавателю отчет выполненной лабораторной работы в полном объеме. После выполнения лабораторной работы студент должен её защитить – ответить на контрольные вопросы.

4.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Методика проведения эксперимента и обработки полученных данных в лабораторной работе.
2. Сущность проектного и поверочного расчетов.

3. Классификация теплообменников.
4. Основные положения методики расчета теплообменных аппаратов.
5. Виды тепловой нагрузки, виды теплоносителей.
6. Материалы, применяемые для отопительных приборов.
7. Назвать основные виды отопительных приборов.
8. Назначение оребрения в отопительных приборах.
9. Предельные температуры поверхностей отопительных приборов для различных типов зданий.
10. Средний температурный напор отопительного прибора.
11. Схема рекуперативного теплообменника, включенного по прямотоку и противотоку. В чем заключаются преимущества противоточной схемы по сравнению с прямоточной?
12. Формула для определения среднего логарифмического температурного напора рекуперативного теплообменника.
13. Что такое умягчение и деаэрация воды? Для чего производятся эти операции?
14. Коэффициент теплопередачи для однослойной плоской стенки, размерность коэффициента теплопередачи.
15. Коэффициент теплопередачи для однослойной цилиндрической стенки, размерность коэффициента теплопередачи.
16. Основное уравнение теплопередачи, обозначить входящие величины.
18. Автомобильный радиатор передает от охлаждаемой жидкости в окружающую среду $Q = 20$ кДж/с. Средняя температура охлаждаемой жидкости в радиаторе $t_{ож} = 98^{\circ}\text{C}$, а охлаждающей среды – воздуха $t_{в} = 35^{\circ}\text{C}$. Теплорассеивающая поверхность радиатора $F = 8$ м². Определить коэффициент теплопередачи.
19. Определить плотность теплового потока q через плоскую стенку металлического водонагревателя, если заданы: температура греющих газов $t_{г} = 300^{\circ}\text{C}$, температура воды в баке $t_{в} = 90^{\circ}\text{C}$, коэффициенты теплоотдачи соответственно $\alpha_1 = 50$ Вт/(м²*К) и $\alpha_2 = 500$ Вт/(м²*К), толщина стенки $\delta_c = 2$ мм и коэффициент теплопроводности материала стенки $\lambda_c = 32$ Вт/(м*К).
20. Определить площадь поверхности калорифера для нагрева воздуха с объемным расходом $V = 310$ м³/ч от температуры $t_1 = 5^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = 25^{\circ}\text{C}$, если температура воды на входе в калорифер $t_{вх} = 95^{\circ}\text{C}$, на выходе $t_{вых} = 60^{\circ}\text{C}$; коэффициент теплопередачи принять равным $K = 21$ Вт/(м²*К). Теплоемкость воздуха $C_{в} = 1,2$ кДж/(кг*К), плотность воздуха $\rho = 1,15$ кг/м³.

ПРИЛОЖЕНИЯ

П.1 Физические свойства теплоносителей и материалов

Таблица П.1.1– Физические свойства сухого воздуха при атмосферном давлении

t, °C	ρ , кг/м ³	c_p , кДж/(кг·°C)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·°C)	$\alpha \cdot 10^6$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
0	1.293	1.005	2.44	18.8	17.2	13.28	0.707
10	1.247	1.005	2.51	20.0	17.6	14.16	0.705
20	1.205	1.005	2.59	21.4	18.1	15.06	0.703
30	1.165	1.005	2.67	22.9	18.6	16.00	0.701
40	1.128	1.005	2.76	24.3	19.1	16.96	0.699
50	1.093	1.005	2.83	25.7	19.6	17.95	0.698
60	1.060	1.005	2.90	27.2	20.1	18.97	0.696
70	1.029	1.009	2.96	28.6	20.6	20.02	0.694
80	1.000	1.009	3.05	30.2	21.1	21.09	0.692
90	0.972	1.009	3.13	31.9	21.5	22.10	0.690
100	0.946	1.009	3.21	33.6	21.9	23.13	0.688

Таблица П.1.2– Физические свойства воды при атмосферном давлении

t, °C	ρ , кг/м ³	C_p , Дж/(кг·°C)	λ , Вт/(м·°C)	$a \cdot 10^8$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, °C ⁻¹	Pr
0	999,8	4217	0,569	13,2	1788	1,789	-0,63	13,5
10	999,7	4191	0,574	13,7	1306	1,306	0,7	9,52
20	998,3	4183	0,599	14,3	1004	1,006	1,82	7,02
30	995,7	4174	0,618	14,9	801,5	0,805	3,21	5,42
40	992,3	4174	0,635	15,3	653,3	0,659	3,87	4,31
50	988	4181	0,648	15,7	549,4	0,556	4,49	3,54
60	983,2	4182	0,659	16	469,9	0,478	5,11	2,93
70	977,7	4187	0,668	16,3	406,1	0,415	5,7	2,55
80	971,6	4195	0,674	16,6	355,1	0,365	6,32	2,21
90	965,2	4208	0,68	16,8	314,9	0,326	6,95	1,95
100	958,1	4220	0,683	16,9	282,5	0,295	7,52	1,75

Таблица П.І.3– Теплопроводность металлов

Металл	Вт/(м*К)
Алюминий	209,3
Бронза	47-58
Железо	74,4
Золото	312,8
Латунь	85,5
Медь	389,6
Платина	70
Серебро	418,7
Сталь	45,4
Чугун	62,8

Таблица П.І.4– Теплопроводность строительных материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м*С)
Бетон	2400	1,51
Гипсокартон	800	0,15
ДСП, ОСП	1000	0,15
Железобетон	2500	1,69
Керамзит	200	0,1
Керамзитобетон	500	0,14
Керамзитобетон	1800	0,66
Кирпич красный глиняный	1800	0,56
Кирпич, силикатный	1800	0,7
Линолеум	1600	0,33
Минвата	100	0,056
Пенобетон	300	0,08
Пенобетон	1000	0,29
Пенопласт ПВХ	125	0,052
Пенополистирол	40	0,038
Пенополиуретан	40	0,029
Пеностекло	200	0,07
Пеностекло	400	0,11
Песок	1600	0,35
Полиэтилен	1500	0,3
Рубероид, пергамин	600	0,17
Сосна, ель вдоль волокон	500	0,18
Сосна, ель поперек волокон	500	0,09

II. II – Технические характеристики алюминиевых секционных радиаторов

Различают количественные и качественные характеристики алюминиевых радиаторов. Количественные позволяют сравнить отопительные приборы по их массогабаритным параметрам и мощности теплового потока. В свою очередь, качественные характеристики учитывают особенности конструкции и технологии изготовления.

I.1 Количественные характеристики

Количественные характеристики должны быть подтверждены в ходе испытаний, результаты которых служат основанием для получения сертификата соответствия. Перечень подтверждаемых характеристик, а также методы и условия испытаний указаны в нормативной документации – российских (ГОСТ) и европейских (EN 442-2) стандартах, либо специально выпущенных и утвержденных технических условиях (ТУ).

Количество секций

подавляющее большинство моделей алюминиевых радиаторов состоит из отдельных секций. Деление на секции позволяет подобрать прибор необходимой мощности в зависимости от площади отапливаемого помещения.

Тепловая мощность (номинальный тепловой поток)

Данный параметр (измеряется в Вт) позволяет определить, сколько секций должен иметь радиатор для обогрева определенной площади.

Согласно ГОСТ 31311-2005 «Приборы отопительные. Общие технические условия», тепловая мощность определяется при следующих условиях:

- температурный напор (разность между температурами теплоносителя и воздуха в помещении) $\Delta T = 70^{\circ}\text{C}$;
- атмосферное давление $B = 760$ мм.рт.ст;
- теплоноситель движется по отопительному прибору «сверху вниз».

Некоторые производители дополнительно указывают тепловую мощность, измеренную при температурном напоре 30°C и 50°C .

Площадь наружной поверхности нагрева

Данная величина включает в себя площадь всех поверхностей радиаторной секции, которые контактируют с воздухом в комнате, включая площадь оребрения. Площадь наружной поверхности обычно составляет:

- для секций с межосевым расстоянием 350 мм – $0,3 \dots 0,4 \text{ м}^2$;
- для секций с межосевым расстоянием 500 мм – $0,4 \dots 0,5 \text{ м}^2$.

Геометрические характеристики

Габаритные и монтажные (присоединительные) размеры определяют возможность установки радиатора отопления при конкретных условиях размещения. Также габариты отопительного прибора влияют на его тепловую мощность.



Рисунок 4.3 – Габаритные размеры

Межосевое расстояние

Межосевым называют расстояние между осями верхнего и нижнего коллектора. Среди выпускаемых серийно радиаторов преобладают модели с межосевым расстоянием 200, 300, 350, 500, 600, 800 мм. Межосевое расстояние 500 мм является наиболее распространенным, а радиаторы данного

типоразмера присутствуют в модельном ряде всех производителей. Компания Global производит модели серии Oscar с межосевым расстоянием от 900 до 2000 мм.

Ширина секции

подавляющее большинство моделей алюминиевых радиаторов имеет ширину секции 80 мм. Реже производят секции шириной 70 мм, 100 мм и других значений.

Глубина

Данная величина определяет монтажное расстояние от оси коллектора до прилегающей стены помещения. Наиболее распространены изделия глубиной 80 мм, но для увеличения тепловой мощности производители в некоторых моделях увеличивают глубину радиатора до 100 мм.

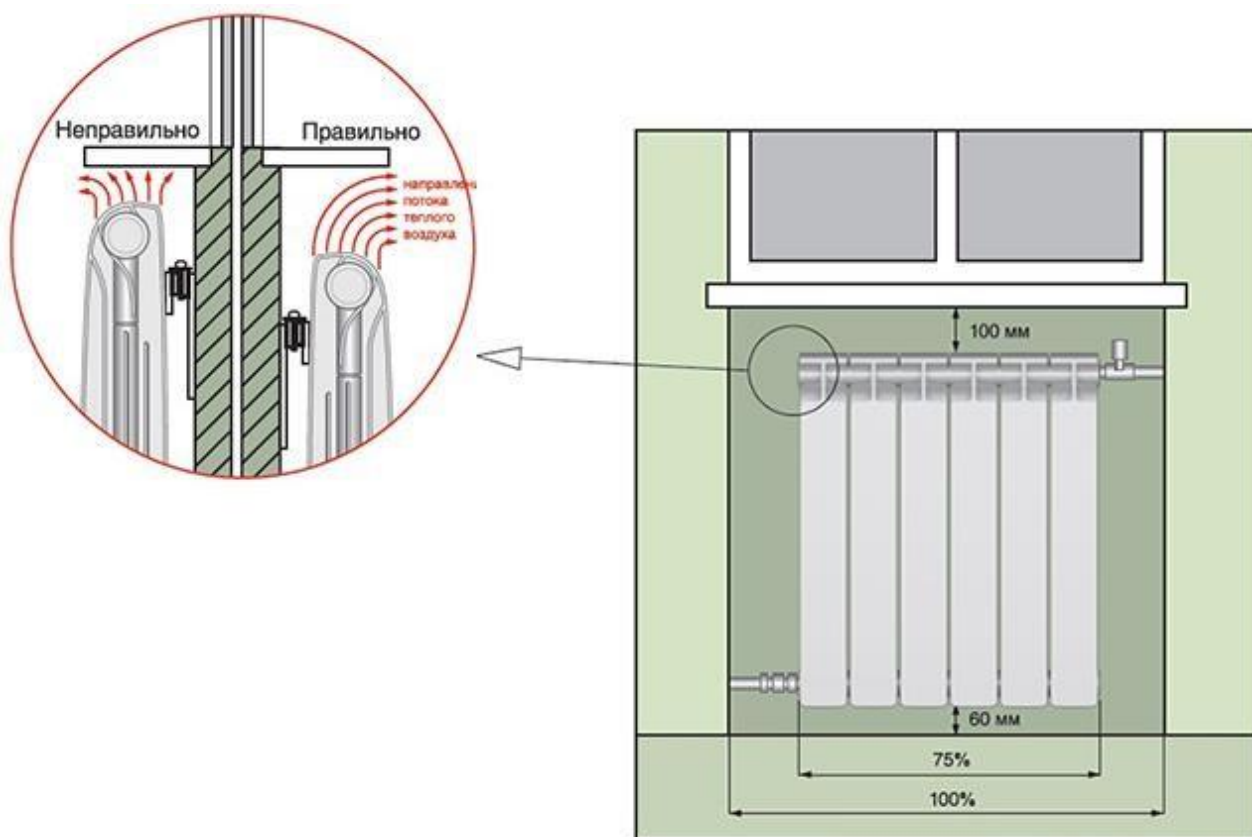


Рисунок 4.4 – Монтажные размеры

Внутренний объем секции

Один из параметров, определяющих мощность отопительного прибора. Внутренний объем секции (измеряется в литрах) зависит от высоты радиатора, а также формы и площади сечения вертикального канала. Для увеличения

внутреннего объема некоторые изготовители производят модели с овальным сечением канала (радиаторы Royal Thermo).

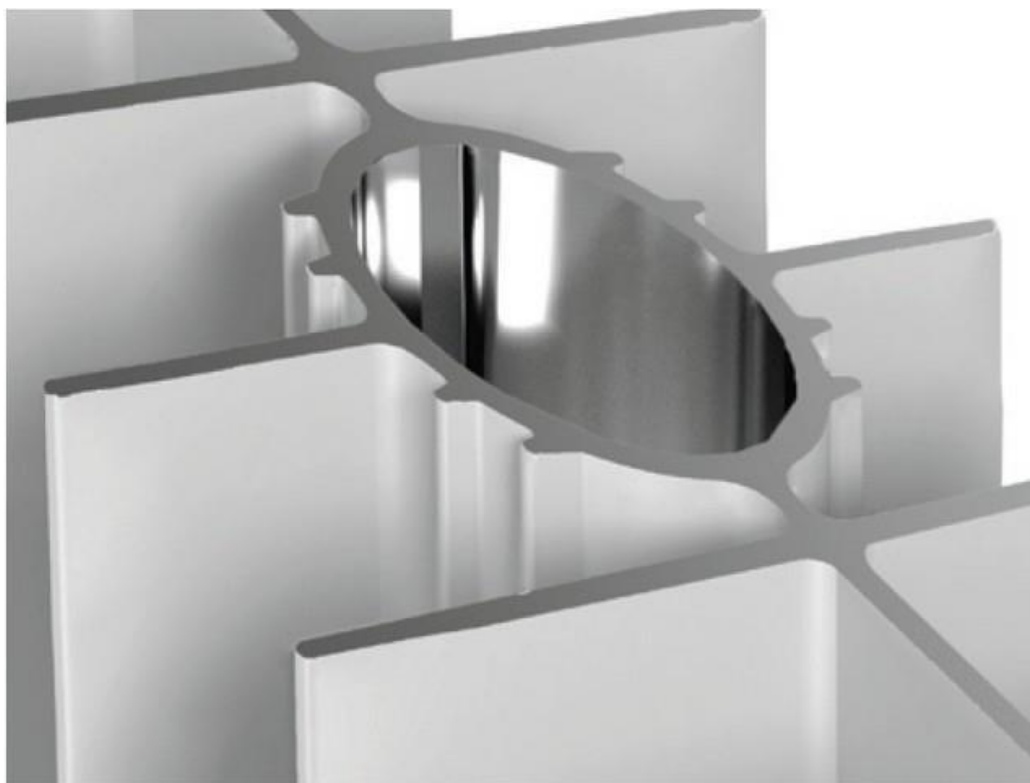


Рисунок 4.5 – Вертикальный канал овального сечения.

Масса секции

Масса секции включает в себя вес лакокрасочного покрытия, а также усредненную массу прокладок и ниппелей. Иногда в паспорте на изделие указывают удельное значение массы (материалоемкость), которая измеряется в кг/кВт.

Давление

Большинство алюминиевых радиаторов рассчитаны на рабочее давление 16 атм (1,6 МПа). Некоторые модели предполагают эксплуатацию в системах с рабочим давлением 20 и 25 атм.

Испытательное (опрессовочное) давление, при котором радиатор не должен разрушаться, должно быть в 1,5 раза выше рабочего. Также производители указывают максимальное (разрушающее) давление, которое обычно составляет 40÷60 атм, но не менее, чем в 2 раза выше рабочего.

Температура теплоносителя

Отопительные приборы данного типа рассчитаны на температуру теплоносителя 110°C. Некоторые модели (например, Rifar серии Alum) допускают эксплуатацию при 135°C.

В таблицах П.П.1 и П.П.2 приведены технические характеристики моделей с межосевым расстоянием 350 и 500 мм. В сравнительных таблицах указаны массогабаритные параметры, объем теплоносителя и номинальный тепловой поток секции производства 7 различных компаний.

Таблица П.П.1 – Технические характеристики алюминиевых радиаторов (межосевое расстояние 350 мм)

Модель	Габаритные размеры, мм			Объем секции, л	Масса секции, кг	Тепловая мощность, Вт
	высота	ширина	глубина			
Rifar (Alum 350)	415	80	90	0,19	1,20	139
Royal Thermo (Indigo 350)	435	80	100	0,29	1,30	155
Konner (LUX 80/350)	430	80	80	0,28	1,05	145
Ferroli (POL 350)	431,5	80	98	0,31	1,10	155
General Hydraulic Lietax B 350-80	420	80	80	0,22	0,80	135
Global VOX R 350	440	80	95	0,35	1,12	145
Varmega Almega 350/80	426	80	80	0,30	1,10	147

Таблица П.П.2 – Технические характеристики алюминиевых радиаторов (межосевое расстояние 500 мм)

Модель	Габаритные размеры, мм			Объем секции, л	Масса секции, кг	Тепловая мощность, Вт
	высота	ширина	глубина			
Rifar (Alum 350)	565	80	90	0,27	1,45	183
Royal Thermo (Indigo 350)	585	80	100	0,37	1,65	205
Konner (LUX 80/350)	582	80	80	0,43	1,25	190
Ferroli (POL 350)	581,5	80	98	0,38	1,40	180
General Hydraulic Lietax B 350-80	582	80	80	0,36	1,03	180
Global VOX R 350	590	80	95	0,46	1,45	195
Varmega Almega 350/80	576	80	80	0,38	1,20	191

I.2 Качественные характеристики

Теплоносители

В техническом паспорте на изделие должно быть указано, с какими теплоносителями допускается его эксплуатация. Также может быть указан допустимый диапазон значений водородного показателя (pH) теплоносителя. Если предполагается работа алюминиевого радиатора с незамерзающими жидкостями (антифризами), в его конструкции применяются специальные межсекционные прокладки.

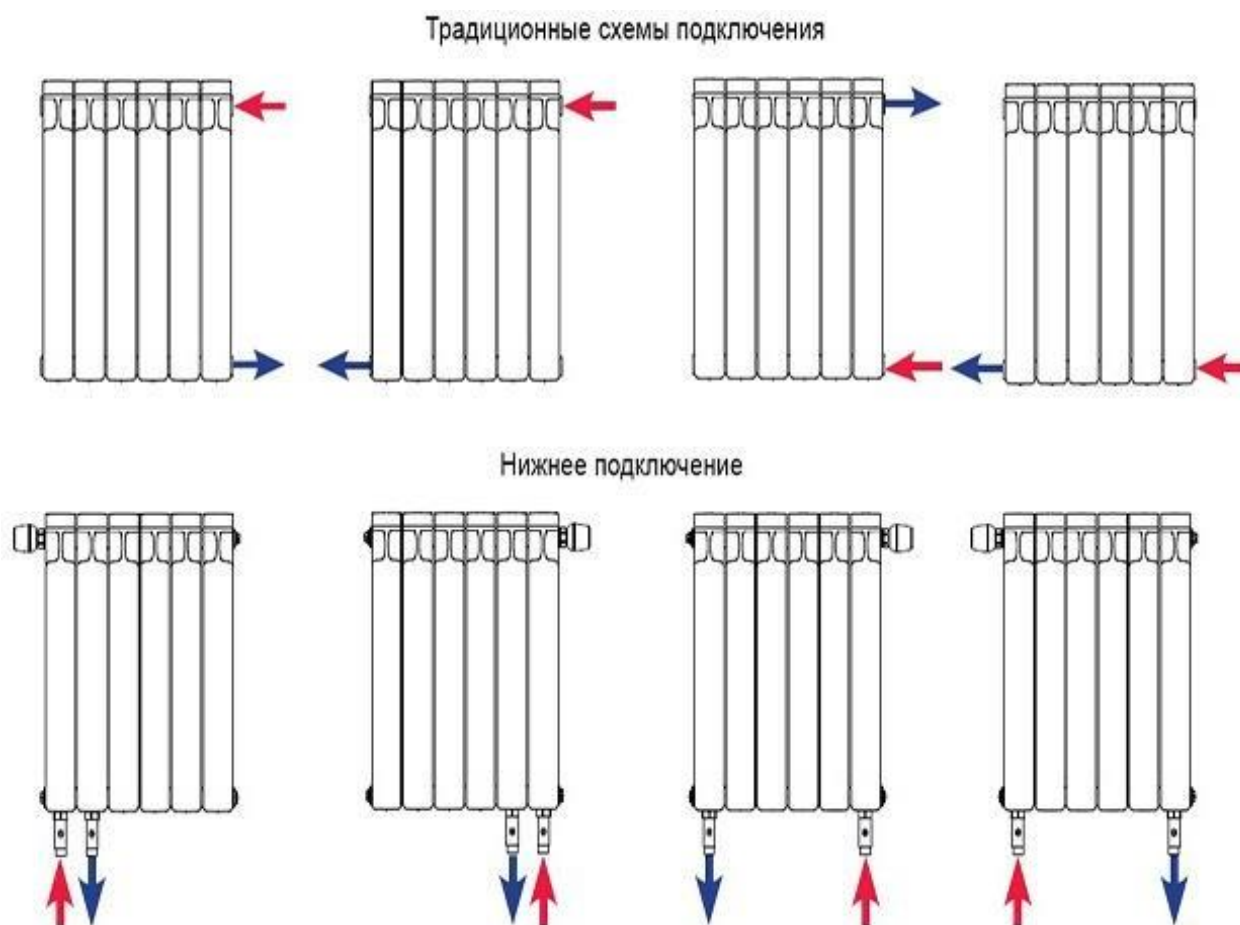


Рисунок 4.6 – Схемы подключения алюминиевых радиаторов

Способы подключения

Стандартная секция алюминиевого радиатора имеет верхний и нижний коллекторы, допускающие один из известных способов бокового подключения. Некоторые модели отопительных приборов снабжены коллектором с нижним присоединительным патрубком, позволяющим осуществлять удобное при монтаже коллекторной системы отопления нижнее подключение.

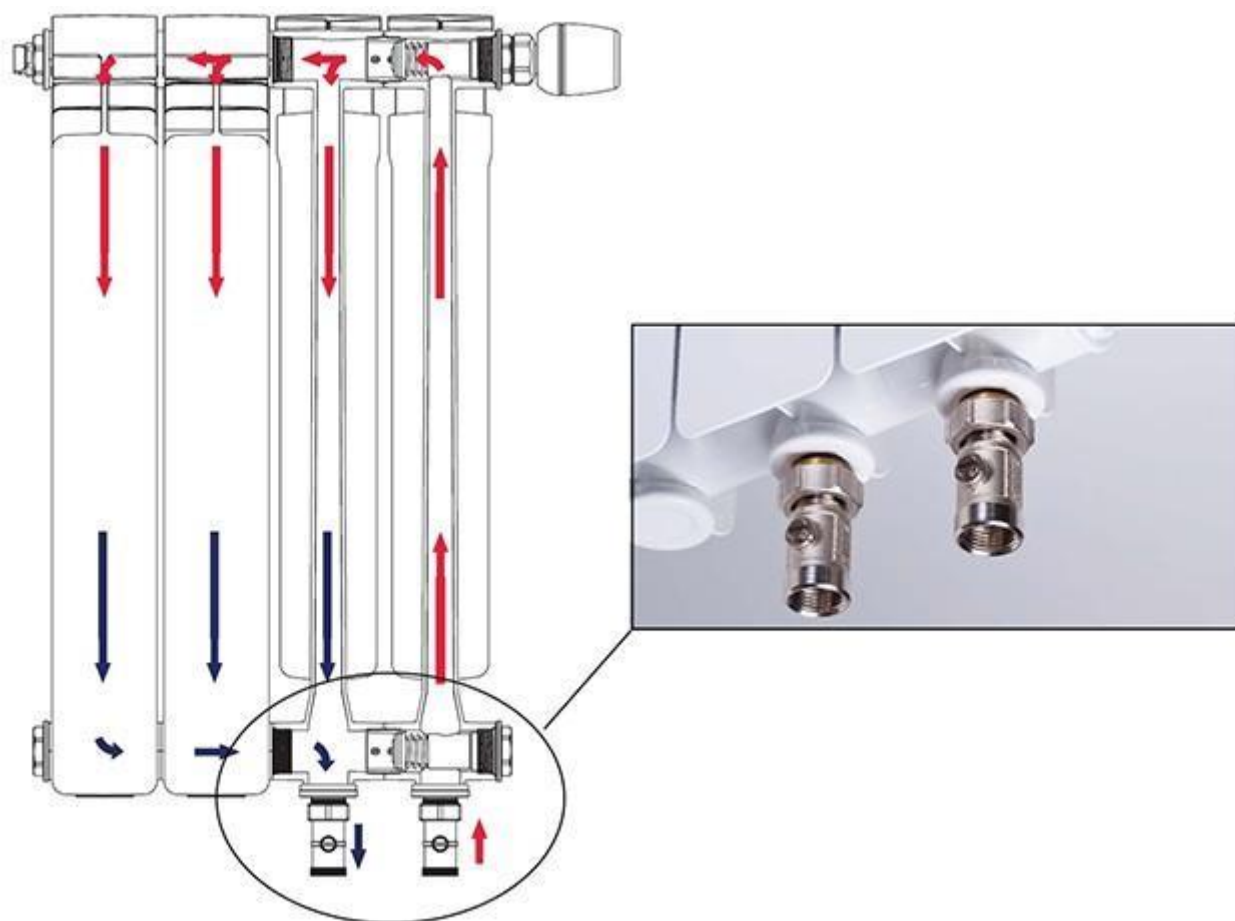


Рисунок 4.7 – Схема движения теплоносителя при нижнем подключении

Метод изготовления

Секции могут быть изготовлены литьем под давлением либо методом экструзии. Экструзия представляет собой метод обработки давлением, в результате чего получается заготовка повышенной плотности. Радиаторы, изготовленные данным методом, имеют более высокую прочность, что позволяет выдерживать повышенное давление.

Метод литья предполагает, что все секции делают отдельно. Их льют из силумина (сплав алюминия с добавкой кремния). Содержание кремниевых добавок не превышает 12 % – этого вполне хватает для прочности. Литье идет при повышенном давлении. В результате можно получить секции самой разной формы. Они способны выдержать от 6 до 16 атмосфер. Чтобы вода свободно проходила по радиаторам, делают расширенные водные каналы. А чтобы батарея была крепкой, ее стенки делают достаточно толстыми.

Метод экструзии. Экструзия – это выдавливание (говоря более понятным языком). Данный метод предполагает изготовление отдельных частей

радиатора. Потом их скрепляют друг с другом. Впрочем, экструзионным способом делают лишь вертикальные детали. Изготавливая их из алюминия с определенными добавками. А вот коллектор льют из силуминового сплава. Хотя иногда он тоже делается методом выдавливания, сразу определенной ширины. Чтобы соединить между собой все элементы, используется метод прессовки, в результате чего добавить или отсоединить дополнительные секции радиатора не представляется возможным. Данный метод является дешевым, но батарея, изготовленная с его помощью, не может быть усовершенствована в процессе использования.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению контрольной работы
по дисциплине
«Инженерные системы зданий и сооружений
(теплогазоснабжение с основами теплотехники)»
для студентов направления 08.03.01 «Строительство»

Ставрополь

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И РЕАЛИЗУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ.....	4
2. ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ И ЕГО ОБЪЕМ.....	5
Описание структуры жилого района.....	8
3. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ ...	9
4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ.....	10
4.1. Расчет максимальных тепловых нагрузок жилого района по всем видам телопотребления	10
Максимальная тепловая нагрузка на отопление жилых и общественных зданий	10
Максимальная тепловая нагрузка на вентиляцию общественных зданий ...	11
Максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение	12
Суммарная максимальная тепловая нагрузка жилого района.....	13
4.2. Расчет трубопровода теплотрассы от котельной до жилого района	14
Гидравлический расчет трубопровода теплотрассы	15
Прочностной расчет трубопровода теплотрассы.....	17
Тепловой расчет трубопровода теплотрассы	18
4.3. Годовой расход тепла, топлива и выбор основного оборудования котельной.....	23
Годовой расход тепловой энергии на отопление.....	23
Годовой расход тепловой энергии на вентиляцию.....	23
Годовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение	24
Годовой расход тепловой энергии на потери в теплосети.....	24
Суммарный годовой расход тепловой энергии на теплоснабжение жилого района	24
Тепловая мощность котельной и выбор основного оборудования.	25
Годовой расход топлива на теплоснабжение жилого района.....	25
5. ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ	26
6. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РАБОТЫ.....	27
7. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ РАБОТЫ.....	28
8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	29
ПРИЛОЖЕНИЯ	30

ВВЕДЕНИЕ

Контрольная работа выполняется на тему «Теплоснабжение жилого района». В методических указаниях даны рекомендации по расчету тепловых нагрузок жилого района по укрупненным показателям по всем видам теплопотребления, гидравлическому, прочностному и тепловому расчету трубопровода теплотрассы, а также даны рекомендации по расчету годовых расходов тепла и топлива на теплоснабжение жилого района.

1. ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ И РЕАЛИЗУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ

Целью выполнения контрольной работы является выработка у студентов практического навыка теплотехнических расчетов по системам теплоснабжения зданий и сооружений.

Задачей контрольной работы является выполнение расчета теплоснабжения жилого района с использованием укрупненных показателей на основе индивидуального задания, характеристик жилого района и места строительства.

В методических указаниях реализуются следующие компетенции

- владением технологией, методами доводки и освоения технологических процессов строительного производства, эксплуатации, обслуживания зданий, сооружений, инженерных систем, производства строительных материалов, изделий и конструкций, машин и оборудования;
- знанием правил и технологии монтажа, наладки, испытания и сдачи в эксплуатацию и эксплуатацию конструкций, инженерных систем и оборудования строительных объектов, объектов жилищно-коммунального хозяйства, правил приемки образцов продукции, выпускаемой предприятием;
- способностью организовать профилактические осмотры, ремонт, приемку и освоение вводимого оборудования, составлять заявки на оборудование и запасные части, готовить техническую документацию и инструкции по эксплуатации и ремонту оборудования, инженерных систем.

2. ФОРМУЛИРОВКА ЗАДАНИЯ И ЕГО ОБЪЕМ

Произвести расчет системы теплоснабжения жилого района для чего выполнить следующие виды расчетов:

- расчет максимальных тепловых нагрузок по всем видам теплопотребления (отопление, вентиляция и горячее водоснабжение) с использованием укрупненных показателей;
- расчет подающего трубопровода теплотрассы от котельной до жилого района (гидравлический, прочностной и тепловой расчет);
- расчет годового расхода тепловой энергии и топлива на теплоснабжение жилого района с учетом потерь в теплосетях и собственных нужд котельной, а так же выбор основного оборудования котельной.

Выполнить в масштабе эскиз узла теплотрассы и изоляции трубопровода на листе формата А4.

Контрольная работа выполняется на основе индивидуальных исходных данных, которые выбираются по таблицам 2.1 – 2.7 в соответствии с индивидуальным шифром задания. Шифр задания представляет собой семизначную цифру, которая определяется по первым семи буквам фамилии и имени студента с помощью таблицы 2.8. В таблицах 2.1 – 2.5 цифра шифра приведена в верхней строке, а в таблицах 2.6 и 2.7 – в первом столбце.

Таблица 2.1 – Первая цифра шифра (Число жителей района)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
N	4000	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000

Таблица 2.2 – Вторая цифра шифра (единичные объемы жилых зданий по пяти типам)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
V ₁	2500	3000	3500	4000	4500	2500	4500	3000	4000	3500
V ₂	4000	4500	5000	6000	7000	4500	6000	4000	7000	6000
V ₃	7000	8000	9000	10000	11000	9000	9000	8000	10000	11000
V ₄	10000	11000	12000	13000	14000	13000	11000	12000	12000	13000
V ₅	13000	14000	15000	20000	25000	25000	13000	20000	14000	15000

Таблица 2.3 – Третья цифра шифра (число жилых зданий по пяти типам)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n ₁	38	36	48	48	58	50	58	65	48	53
n ₂	14	26	29	36	52	50	46	39	72	48
n ₃	6	6	12	22	22	30	29	39	36	48
n ₄	2	6	8	7	9	17	19	17	24	26
n ₅	1	2	3	4	4	3	9	13	11	16

Таблица 2.4 – Четвертая цифра шифра (единичные объемы общественных зданий по десяти типам)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
V ₁	3800	3400	3800	4750	4850	5700	5700	6400	7100	7800
V ₂	11000	8250	7350	6900	6600	6450	6300	6200	6900	7600
V ₃	7000	5250	5600	5000	5250	5450	6200	6300	7000	7700
V ₄	2750	3300	3650	4600	4700	5500	6300	6200	6900	7550
V ₅	6400	4800	4250	4000	4800	5600	6400	7200	6400	7050
V ₆	5200	3900	3450	4350	5200	6050	5200	5850	6500	7150
V ₇	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	5500
V ₈	4000	3000	4000	5000	6000	4650	5350	6000	6650	7350
V ₉	4200	6300	4200	5250	4200	4900	5600	6300	7000	7700
V ₁₀	2800	4200	5600	7000	8400	9800	11200	6300	7000	7700

Таблица 2.5 – Пятая цифра шифра (число общественных зданий по десяти типам)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n ₁	3	5	6	6	7	7	8	8	8	8
n ₂	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8
n ₃	2	4	5	7	8	9	9	10	10	10
n ₄	4	5	6	6	7	7	7	8	8	8
n ₅	1	2	3	4	4	4	4	4	5	5
n ₆	1	2	3	3	3	3	4	4	4	4
n ₇	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
n ₈	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3
n ₉	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
n ₁₀	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2

Таблица 2.6 – Шестая цифра шифра

№	Город	Способ прокладки теплотрассы
1	Волгоград	подземная бесканальная
2	Казань	надземная
3	Махачкала	подземная канальная
4	Москва	надземная
5	Ростов н/д	подземная канальная
6	Сочи	подземная бесканальная
7	Ставрополь	надземная
8	Томск	подземная канальная
9	Хабаровск	надземная
0	Чита	подземная канальная

Таблица 2.7 – Седьмая цифра шифра

№	Длина магистрали теплотрассы	Вид топлива
1	600	Каменный уголь
2	800	Мазут
3	1000	Газ
4	1200	Бурый уголь
5	1400	Каменный уголь
6	1600	Мазут
7	1800	Газ
8	2000	Каменный уголь
9	2200	Бурый уголь
0	2400	Каменный уголь

Таблица 2.8 – Кодировка букв

А	1		О	3		Э	3
Б	5		П	0		Ю	5
В	7		Р	6		Я	7
Г	8		С	0			
Д	6		Т	9			
Е	2		У	0			
Ё	4		Ф	9			
Ж	4		Х	9			
З	6		Ц	7			
И	4		Ч	5			
Й	8		Ш	4			
К	8		Щ	8			
Л	9		Ъ	2			
М	5		Ы	0			
Н	7		Ь	6			

Пример: Фамилия Имя студента – Иванов Михаил.

Первые семь букв	И	в	а	н	о	в	М
Шифр задания	4	7	1	7	3	7	5

Описание структуры жилого района.

В данной работе к расчету принимается жилой район, состоящий из жилых зданий пяти типов и общественных зданий десяти типов.

Типы жилых зданий определяются их единичными объемами (Таблица 2.2). По каждому типу жилых зданий задается количество зданий (Таблица 2.3).

Типы общественных зданий определяются их номенклатурой:

1. Детские сады-ясли.
2. Школы.
3. Административные здания всех видов.
4. Медицинские учреждения, больницы и др.
5. Учреждения культуры (театры, кино и др.).
6. Предприятия торговли (магазины, универмаги и др.).
7. Предприятия общественного питания.
8. Бани, прачечные и др.
9. Гаражи.
10. Гостиницы.

По каждому типу общественного здания также задается объем здания и количество зданий (Таблица 2.4 и Таблица 2.5).

3. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К НАПИСАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ РАБОТЫ

Контрольная работа должна содержать:

- титульный лист;
- задание (включая индивидуальный шифр задания и все исходные данные по шифру);
- расчетно-пояснительную часть;
- графическую часть;
- список использованной литературы.

Расчетно-пояснительная часть работы должна иметь четкую структуру (основные разделы и подразделы с нумерацией). Расчеты внутри каждого подраздела должны излагаться именно в том порядке, в каком они непосредственно выполняются студентом. Все расчеты должны сопровождаться соответствующими комментариями. Величины, входящие в расчетные уравнения должны кратко поясняться с указанием принятого значения (с указанием основания, ссылки на предыдущий пункт работы или источник литературы). Рассчитанные величины необходимо представлять преимущественно в экспоненциальном формате с точностью до третьего значащего знака (показатель степени десятков желательно устанавливать кратным 3 для удобства последующего перевода размерностей). Например: 1,89; 0,395; 56,4; $3,78 \cdot 10^{-3}$; $25,4 \cdot 10^3$; $982 \cdot 10^6$; $4,12 \cdot 10^{12}$ и т.д.

Расчетно-пояснительная и графическая части выполняются на листах формата А4. Листы нумеруются справа внизу и на всех листах необходимо соблюдать поля (слева 20 мм, остальные по 5 мм). Работа должна иметь титульный лист. На втором листе приводится задание и исходные данные с указанием индивидуального семизначного шифра. На следующих страницах приводятся последовательно: расчетно-пояснительная часть, графическая часть и список использованной литературы. Текстовая часть оформляется шрифтом Times New Roman, 14 пт; межстрочный интервал 1,5; красная строка 1 см.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

4.1. Расчет максимальных тепловых нагрузок жилого района по всем видам теплопотребления

Максимальная тепловая нагрузка на отопление жилых и общественных зданий

Расход тепла на отопление рассчитывают для покрытия тепловых потерь зданий через наружные ограждения, при минимальной расчетной температуре наружного воздуха. Тепловые потери конкретных зданий определяются расчетом теплопередачи через наружные ограждения. Однако для приближенных расчетов допускается тепловые потери здания определять по укрупненной характеристике (q_o):

$$Q_o = q_o \cdot V \cdot (t_g^p - t_{н.о.}^p) \cdot a \cdot (1 + \mu), \text{ Вт}, \quad (4.1)$$

где t_g^p – средняя расчетная температура внутреннего воздуха отапливаемых зданий, °С [1, п. 2.1]; $t_{н.о.}^p$ – расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления, °С, [2, табл. 3.1], определяется как температура наиболее холодной пятидневки с коэффициентом обеспеченности 0,92; V – строительный объем одного здания, м³ (определяется по заданию); q_o – удельная отопительная характеристика здания при $t_{н.о.}^p = -30$ °С, Вт/(м³·°С) принимается для жилых зданий [1, табл. 4 (здания после 1958г.)] и общественных зданий [1, табл. 6]; a – поправочный коэффициент, учитывающий действительное значение расчетной температуры наружного воздуха ($t_{н.о.}^p$), [1, табл. 2]; μ – коэффициент инфильтрации, учитывающий расход тепла на подогрев наружного воздуха, поступающего в здание путем просачивания через неплотности в ограждениях, определяется по формуле

$$\mu = 0,01 \sqrt{20 \cdot H \left(1 - \frac{T_{н.о.}^p}{T_g^p} \right) + w_g^2}, \quad (4.2)$$

где H – высота этажа: для жилых зданий $H = 2,6 \div 3,0$ м, для общественных $H = 3,5 \div 4,2$ м; $T_{н.о}^p$ и $T_{в}^p$ – наружная и внутренняя расчетная температура воздуха по шкале Кельвина, К ($T = t + 273$); $w_{в}$ – максимальная из средних скоростей ветра за январь, м/с [2, табл. 3.1].

Рассчитав величину тепловых потерь по каждому зданию, определяют суммарную отопительную нагрузку для жилых зданий, общественных зданий и всего жилого района

$$Q_o^{ж} = \sum_1^5 Q_{oi}^{ж} n_i, \text{ Вт}; \quad (4.3)$$

$$Q_o^{общ} = \sum_1^{10} Q_{oi}^{общ} \cdot n_i, \text{ Вт}; \quad (4.4)$$

$$Q_o^{ж+общ} = Q_o^{ж} + Q_o^{общ}, \text{ Вт}. \quad (4.5)$$

Максимальная тепловая нагрузка на вентиляцию общественных зданий

Расход тепла на вентиляцию равен количеству тепла, затрачиваемому на подогрев наружного воздуха, подаваемого извне для вентиляции зданий и отдельных помещений.

Определение расхода тепла на вентиляцию отдельного здания производится при минимальной расчетной температуре наружного воздуха на вентиляцию по уравнению теплового баланса для всего объема воздуха, подаваемого на вентиляцию. Для приближенных расчетов тепловая нагрузка на вентиляцию может определяться по величине строительного объема данного здания с помощью укрупненных показателей из формулы

$$Q_{в} = q_{в} \cdot V \cdot (t_{в}^p - t_{н.в.}^p) \quad (4.6)$$

где $q_{в}$ – удельная вентиляционная характеристика здания (удельный расход тепла на вентиляцию здания), Вт/(м³·°С), определяется аналогично отопительной характеристике по справочным таблицам [1, табл. 6]; V – строительный объем здания по наружному обмеру (по заданию), м³;

$t_{\text{в}}^p$ – средняя расчетная температура внутреннего воздуха, °С, определяется так же, как в формуле 4.1; $t_{\text{н.в.}}^p$ – расчетная температура наружного воздуха для вентиляции, °С, [2, табл. 3.1], определяется как температура воздуха с коэффициентом обеспеченности 0,94.

Величина $t_{\text{н.в.}}^p$ задается выше $t_{\text{н.о.}}^p$ с целью снижения расхода на вентиляцию. В период когда температура воздуха опускается ниже $t_{\text{н.в.}}^p$, расход тепла на вентиляцию сохраняется постоянным, равным расчетной величине $Q_{\text{в}}$, за счет сокращения величины кратности воздухообмена.

Расход тепла на вентиляцию жилых зданий, не имеющих специальной приточной системы, отдельно не учитывается и включается в величину удельной отопительной характеристики здания – q_o .

Расход тепла на вентиляцию общественных зданий определяется по каждому зданию отдельно. Суммарная максимальная тепловая нагрузка на вентиляцию общественных зданий определяется по формуле

$$Q_{\text{в}}^{\text{общ}} = \sum_1^{10} Q_{\text{ви}}^{\text{общ}} \cdot n_i, \text{ Вт.} \quad (4.7)$$

Максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение

Расход тепла на горячее водоснабжение определяется количеством тепла, затрачиваемого на подогрев холодной водопроводной воды, используемой для нужд бытового горячего водоснабжения жилых и общественных зданий.

Среднесуточная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение рассчитывается по нормам расхода воды на одного жителя по формуле

$$Q_{\text{г.в.}} = Q_{\text{г.в.}}^{\text{ж}} + Q_{\text{г.в.}}^{\text{общ}} = \frac{N \cdot (a + b) \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{г.в.}} - t_{\text{х.в.}})}{24 \cdot 3600}, \text{ Вт,} \quad (4.8)$$

где N – число жителей данного жилого района (по заданию); a – норма расхода горячей воды для жилых зданий на 1 человека, кг/сутки [3, Прил. 3]; b – нормативный расход горячей воды для общественных зданий, отнесенный

на 1 жителя жилого района, кг/сутки [3, Прил. 3]; $t_{г.в.}$ – средняя температура горячей воды у потребителя, °С [3, п. 2.2]; $t_{х.в.}$ – средняя температура холодной водопроводной воды, поступающей на подогрев для системы горячего водоснабжения, °С; C_v – удельная теплоемкость воды, Дж/(кг·°С) [4].

Суточные нормы расхода воды на 1 человека (a и b) принимаются для различных зданий в зависимости от вида водопотребителя [3, Прил. 3], однако для упрощения расчетов, ориентировочно можно принять следующие средние значения: $a = 110$ кг/сутки и $b = 20$ кг/сутки. При укрупненном расчете температуру горячей воды ($t_{г.в.}$) можно принять в среднем равной 65 °С. При отсутствии специальных данных о сезонных изменениях температуры водопроводной воды ($t_{х.в.}$), ее ориентировочно принимают для зимнего периода равной 5 °С, для летнего периода 15 °С. Теплоемкость воды (C_v) принимается при средней температуре воды $(t_{г.в.} + t_{х.в.}) / 2$ (Таблица П.2).

По формуле (4.8) при соответствующих температурах холодной воды ($t_{х.в.}$) рассчитывается среднесуточная мощность теплоснабжения на горячее водоснабжение для зимнего и летнего периодов ($Q_{г.в.}^з$ и $Q_{г.в.}^л$).

Максимальная тепловая нагрузка на горячее водоснабжение жилого района определяется по формуле

$$Q_{г.в.}^{ж+общ} = Q_{г.в.}^{\max} = Q_{г.в.}^з \cdot K_{ч.н.}, \text{ Вт}, \quad (4.9)$$

где $K_{ч.н.}$ – коэффициент часовой неравномерности расхода тепла на горячее водоснабжение, определяемый по эмпирическому уравнению

$$K_{ч.н.} = 7,5(a \cdot N)^{-0,1}. \quad (4.10)$$

Суммарная максимальная тепловая нагрузка жилого района

Мощность системы теплоснабжения должна обеспечивать максимальные тепловые нагрузки по всем видам теплоснабжения жилого района: отопление, вентиляция и горячее водоснабжение:

$$Q_p = K_{nom}(Q_o^{ж+общ} + Q_v^{общ} + Q_{г.в.}^{ж+общ}), \text{ Вт}. \quad (4.11)$$

где K_{nom} – коэффициент, учитывающий потери тепла во внутриквартальных сетях, принимаемый в пределах 1,15÷1,18.

4.2. Расчет трубопровода теплотрассы от котельной до жилого района

Задачей расчета является определение основных конструктивных размеров трубопроводов теплотрассы: диаметр и толщина стенки трубы, вид и толщина тепловой изоляции. Эти параметры определяются в процессе выполнения трех видов расчета: гидравлического, прочностного и теплового расчета трубопровода теплотрассы.

Основными исходными данными для расчета является:

- максимальный расход сетевой воды в трубопроводе,
- температура сетевой воды,
- температура наружного воздуха,
- длина теплотрассы.

В данной работе в учебных и ознакомительных целях расчет ведется только для подающего (прямого) трубопровода теплотрассы.

Максимальный расход сетевой воды в трубопроводе определяется по максимальной расчетной тепловой нагрузке Q_p по уравнению теплового баланса

$$B_c = \frac{Q_p}{C_{\epsilon} (t_{c_1} - t_{c_2})}, \text{ кг/с}, \quad (4.12)$$

где Q_p – расчетная тепловая нагрузка теплотрассы, Вт (4.11); C_{ϵ} – теплоемкость воды, Дж/(кг·°C); t_{c_1} – температура сетевой воды в подающем трубопроводе (на выходе из котельной), °C; t_{c_2} – температура сетевой воды в обратном трубопроводе (на входе в котельную), °C.

Температура t_{c_1} принимается по температурному графику теплотрассы при расчетной наружной температуре воздуха. Для теплотрасс централизованного теплоснабжения рекомендуется принимать $t_{c_1} = 150$ °C. Температура t_{c_2} принимается также по температурному графику теплотрассы, рекомендуемое значение $t_{c_2} = 70$ °C. Теплоемкость воды (C_{ϵ}) принимается при средней температуре воды $(t_{c_1} + t_{c_2}) / 2$ (Таблица П.1).

Гидравлический расчет трубопровода теплотрассы

Задачей гидравлического расчета является определение внутреннего диаметра трубопровода и полного гидравлического сопротивления трубопровода заданной протяженности и диаметра.

Оптимальный внутренний диаметр трубопровода определяют исходя из нормативных гидравлических потерь ($R_n = 80 \div 120$ Па/м). Задавая величину гидравлических потерь из рекомендуемого диапазона рассчитывают внутренний диаметр трубопровода:

$$d_{вн} = 0,63 \cdot \frac{K_z^{0,0475} \cdot B_c^{0,38}}{\rho^{0,19} R_n^{0,19}}, \text{ м}, \quad (4.13)$$

где K_z – коэффициент эквивалентной шероховатости трубопровода; ρ – плотность воды в трубе, кг/м³; B_c – расчетный расход сетевой воды в трубопроводе, кг/с (4.12); R_n – удельные гидравлические потери по длине трубопровода, Па/м.

Коэффициент K_z принимается в зависимости от теплоносителя: $5 \cdot 10^{-4}$ м – для водяных сетей, $2 \cdot 10^{-4}$ м – для паропроводов. Поскольку расчет ведется для подающего трубопровода, то плотность воды принимается по температуре воды в подающем трубопроводе – t_{c1} (Таблица П.1).

В первом приближении наружный диаметр определяют, задавая толщину стенки (δ) из диапазона 5÷9 мм по формуле

$$d_n = d_{вн} + 2\delta, \text{ м}. \quad (4.14)$$

По наружному диаметру выбирают ближайший стандартный трубопровод из стандартного сортамента труб (Таблица П.3). Определяют его стандартные наружный диаметр (d_n^{cm}) и толщину стенки (δ^{cm}). В первом приближении стандартную толщину стенки следует выбирать минимальную из возможных для данного диаметра. При этом для выбранного трубопровода определяются следующие параметры:

1. Стандартный внутренний диаметр

$$d_{\text{вн}}^{\text{см}} = d_{\text{н}}^{\text{см}} - 2\delta^{\text{см}}, \text{ м.} \quad (4.15)$$

2. Гидравлические потери при стандартном внутреннем диаметре

$$R_{\text{л}} = 0,0894 \cdot K_{\text{э}}^{0,25} \frac{B^2}{\rho \cdot (d_{\text{вн}}^{\text{см}})^{5,25}}, \text{ Па/м.} \quad (4.16)$$

Гидравлические потери не должны выходить за рекомендуемый оптимальный диапазон 80÷120 Па/м. В противном случае выбирают другой стандартный трубопровод. В случае невозможности попадания гидравлических потерь в оптимальный диапазон, выбирают такой стандартный трубопровод, при котором гидравлические потери будут ближе всего к оптимальному диапазону.

3. Действительная скорость движения воды в трубе

$$W = \frac{4 \cdot B_{\text{с}}}{\rho \cdot \pi \cdot (d_{\text{вн}}^{\text{см}})^2}, \text{ м/с.} \quad (4.17)$$

4. Полное гидравлическое сопротивление трубопровода теплотрассы

$$\Delta P_{\text{н}} = R_{\text{л}} (L + L_{\text{э}}), \text{ Па,} \quad (4.18)$$

где L – протяженность теплотрассы (по заданию), м; $L_{\text{э}} = L \cdot \alpha$ – эквивалентная длина местных сопротивлений, м; α – доля местных потерь давления

$$\alpha = z \sqrt{B_{\text{с}}}, \quad (4.19)$$

где $B_{\text{с}}$ – расход сетевой воды, кг/с; z – коэффициент, зависящий от вида теплоносителя ($z = 0,1$ – для воды, $z = 0,05 \div 0,10$ – для водяного пара).

5. Максимальное давление воды в подающем (магистральном) трубопроводе (на выходе из котельной).

$$P_{\text{max}} = P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{з}}, \text{ МПа,} \quad (4.20)$$

где P_n – давление насыщения (кипения) воды, соответствующее температуре сетевой воды на выходе из котельной (Таблица П.1), МПа; ΔP_n – полное гидравлическое сопротивление трубопровода теплотрассы, МПа (4.18); ΔP_3 – запас давления для предотвращения вскипания воды в магистральном трубопроводе, принимается из диапазона 0,2÷0,3 МПа.

Прочностной расчет трубопровода теплотрассы

Прочностной расчет состоит в определении минимальной толщины стенки трубопровода, при которой под расчетным давлением ($P_{\max}$) не произойдет разрушения трубопровода.

Расчетную толщину стенки определяют по уравнению

$$\delta_p = \frac{P_{\max} \cdot d_{\text{вн}}^{cm}}{2 \cdot [\sigma] - P_{\max}} + C, \text{ м}, \quad (4.21)$$

где $P_{\max}$ – максимальное давление теплосети, МПа; $d_{\text{вн}}^{cm}$ – принятый внутренний стандартный диаметр трубопровода, м; $C = 0,003 \div 0,005$ м – конструктивная прибавка на коррозию и неучтенные факторы; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение на растяжение, Н/мм², определяемое по уравнению

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{в}}}{K_3}, \text{ Н/мм}^2, \quad (4.22)$$

где $\sigma_{\text{в}}$ – предел прочности на растяжение, принимаемый по виду материала, Н/мм²; $K_3 = 8 \div 10$ – нормативный коэффициент запаса прочности.

Для материала Сталь10 предел прочности на растяжение составляет 320 Н/мм²; для материала Сталь20 – составляет 400 Н/мм².

Полученное значение расчетной толщины стенки трубопровода (δ_p) сравнивают с принятой стандартной толщиной в гидравлическом расчете (δ^{cm}). Если $\delta_p > \delta^{cm}$, то δ^{cm} увеличивают в соответствии со стандартным рядом толщин стенки (Таблица П.3) и соответственно уточняют гидравлический и прочностной расчет.

Тепловой расчет трубопровода теплотрассы

Задачей теплового расчета является определение оптимальной толщины теплоизоляции трубопровода теплотрассы. Расчет ведется только для подающего магистрального участка трубопровода теплотрассы. Схемы прокладки трубопроводов теплотрассы приведены в приложении (Рис. П.1)

Оптимальная толщина теплоизоляции определяется на основе нормативных тепловых потерь.

Величина нормируемых тепловых потерь определяется с учетом поправочного коэффициента на температуру наружного воздуха:

$$q_n = q_n^o \cdot K_n, \text{ Вт/м}, \quad (4.23)$$

где q_n^o – нормативные тепловые потери для изолированной поверхности теплопровода с 1 м длины при температуре окружающего воздуха +25 °С, Вт/м (Таблица П.4); K_n – поправочный коэффициент к нормам тепловых потерь в зависимости от температуры окружающего воздуха $t_{н.о.}^p$. (Таблица П.5).

Определяются удельные тепловые потери на изолированных участках трубопровода (исключая неизолированные участки)

$$q = \frac{q_n}{1 + \beta}, \text{ Вт/м}, \quad (4.24)$$

где β – коэффициент местных потерь, равный 0,15 – для подземной бесканальной прокладки, 0,20 – для канальной прокладки, 0,25 – для открытой наземной прокладки.

Определяется требуемое суммарное термическое сопротивление трубопровода

$$\sum R = \frac{t_c - t_{н.о.}^p}{q}, (\text{м} \cdot ^\circ\text{С})/\text{Вт}, \quad (4.25)$$

где t_c – температура сетевой воды в трубе (4.12), °С; $t_{н.о.}^p$ – расчетная температура наружного воздуха на отопление (п. 4.1), °С; q – удельные тепловые потери на изолированных участках трубопровода (4.24), Вт/м.

Определяется требуемое термическое сопротивление изоляции

$$R_{из} = \sum R - (R_{вн} + R_{тр} + R_{н.сл} + R_n + R_{кан} + R_{зр} + R_{1-2}), \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}, \quad (4.26)$$

где $R_{вн}, R_{тр}, R_{н.сл}, R_n, R_{кан}, R_{зр}, R_{1-2}$ – термические сопротивления: теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубы, теплопроводности стенки трубы, теплопроводности поверхностного слоя изоляции, теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху, теплоотдачи от воздуха к стенке канала, теплопроводности грунта, взаимного влияния труб.

Термическими сопротивлениями $R_{вн}$ и $R_{тр}$ пренебрегают вследствие их малых значений.

Остальные термические сопротивления определяют по формулам:

$$R_{н.сл} = \frac{\ln\left(\frac{D_{н.сл}}{D_{из}}\right)}{2\pi\lambda_{н.сл}}, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}; \quad (4.27)$$

$$R_n = \frac{1}{\pi D_{н.сл} \alpha_n}, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}; \quad (4.28)$$

$$R_{кан} = \frac{1}{\pi D_{экв} \alpha_{кан}}, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}; \quad (4.29)$$

$$R_{зр} = \frac{\ln\left(\frac{4h_{зр}}{D_{экв}}\right)}{2\pi\lambda_{зр}}, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}; \quad (4.30)$$

$$R_{1-2} = \psi \frac{\ln\sqrt{1 + \left(\frac{2h}{l}\right)^2}}{2\pi\lambda_{зр}}, \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}; \quad (4.31)$$

$$R_{1-2} = \psi (R_{кан} + R_{зр}), \text{ (м}^\circ\text{C)/Вт}; \quad (4.32)$$

где $D_{н.сл}$ и $D_{из}$ – наружные диаметры поверхностного слоя и изоляции, м;
 $\lambda_{н.сл}$ – коэффициент теплопроводности поверхностного слоя, Вт/(м $^\circ$ C);
 α_n – коэффициент теплоотдачи от поверхностного слоя к воздуху, Вт/(м ^{2} ·°C);
 $\alpha_{кан}$ – коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенкам канала, Вт/(м ^{2} ·°C);

$D_{экв}$ – эквивалентный диаметр прямоугольного непроходного канала, м;
 $h_{пр}$ – приведенная глубина заложения оси трубопровода, м; $\lambda_{гр}$ – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·°C); h – действительная глубина заложения оси трубопровода, м; ψ – коэффициент, учитывающий взаимное влияние труб;
 l – расстояние между осями трубопроводов, м.

При подземной бесканальной прокладке в формуле (4.26) не учитываются: термическое сопротивление теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху и термическое сопротивление теплоотдачи от воздуха к стенке канала; в формуле (4.30) диаметр $D_{экв}$ принимают равным $D_{н.сл}$.

При надземной прокладке в формуле (4.26) не учитываются термические сопротивления: теплоотдачи от воздуха к стенке канала, теплопроводности грунта и взаимного влияния труб.

Наружные диаметры изоляции и поверхностного слоя определяются по формулам:

$$\begin{aligned} D_{из} &= d_n^{cm} + 2\delta_{из}, \\ D_{н.сл} &= D_{из} + 2\delta_{н.сл}, \end{aligned} \quad (4.33)$$

где d_n^{cm} – наружный стандартный диаметр трубопровода, м (определяется из гидравлического расчета); $\delta_{из}$ – толщина изоляции, м; $\delta_{н.сл}$ – толщина поверхностного слоя, м.

Толщина изоляции определяется по формуле:

$$\delta_{из} = d_n^{cm} \frac{e^{2\pi \lambda_{из} R_{из}} - 1}{2}, \text{ м.} \quad (4.34)$$

где $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м·°C), (Таблица П.6); $R_{из}$ – термическое сопротивление слоя изоляции, (м·°C)/Вт, определяемое по формуле (4.26).

Поверхностный слой выполняется поверх слоя изоляции в защитных целях в виде асбоцементной штукатурки ($\lambda_{н.сл} = 0,38$ Вт/(м·°C)), толщиной 10÷20 мм.

При подземной канальной прокладке коэффициенты теплоотдачи α_n и $\alpha_{кан}$ принимаются равными 8,14 Вт/(м²·°C).

При надземной прокладке

$$\alpha_n = 11,6 + 7,0 \sqrt{w_{\text{в}}}, \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}, \quad (4.35)$$

где $w_{\text{в}}$ – скорость ветра, принимается как в формуле (4.2).

Эквивалентный диаметр прямоугольного канала, определяется по соотношению $D_{\text{экв}} = 4F/P$, где F – площадь сечения канала, P – периметр канала, определяемые по размерам типовых каналов (Таблица П.3).

Приведенная глубина заложения оси трубопровода

$$h_{np} = h + \frac{\lambda_{\text{зп}}}{\alpha_0}, \text{ м}, \quad (4.36)$$

где $h = 1,5 \div 1,7$ м; $\lambda_{\text{зп}}$ принимается равным 1,7, 2,3 или 2,9 Вт/(м·°C) – соответственно для маловлажных, влажных, или водонасыщенных грунтов; $\alpha_0 = 2 \div 3$ Вт/(м²·°C) – коэффициент теплоотдачи от грунта к воздуху.

Термическое сопротивление взаимного влияния трубопроводов (R_{1-2}) рассчитывается: при подземной канальной прокладке по формуле (4.32), при подземной бесканальной прокладке по формуле (4.31). При этом для подающего трубопровода $\psi = 0,5 \div 0,6$; для обратного трубопровода $\psi = 2,0 \div 1,7$. В формуле (4.31) расстояние между осями $l = D_{n.сл} + 0,1$, м.

Рекомендуемый порядок теплового расчета

После определения требуемого суммарного термического сопротивления (4.25) дальнейшие расчеты следует выполнять по методу последовательных приближений, суть которого заключается в следующем.

Сначала выполняется первое приближение (шаги 1 – 6).

1. Задается толщина изоляции $\delta_{из}$ (в первом приближении рекомендуется задать 100 мм).
2. Рассчитываются диаметры (4.33).
3. Рассчитываются термические сопротивления (4.27–4.32).

4. Рассчитывается требуемое термическое сопротивление изоляции (4.26).

5. Рассчитывается толщина изоляции (4.34).

6. Сравнивают толщину изоляции, полученную в шаге 5 и принятую в шаге 1. Эти значения не должны отличаться друг от друга более чем на 5%.

Если расхождение составляет более 5%, то толщину изоляции, полученную в шаге 5, принимают в шаге 1 и делают второе приближение в той же последовательности (шаги 1 – 6).

После того как условие в шаге 6 сошлось, полученную толщину изоляции ($\delta_{из}$) округляют до ближайшего целого (стандартного) значения по размерам типовых элементов принятой изоляции (Таблица П.6). Далее по округленной толщине изоляции уточняют диаметры (4.33), фактические термические сопротивления (4.27, 4.28, 4.37), фактические тепловые потери и понижение температуры воды на участке теплотрассы заданной протяженности.

$$R_{из} = \frac{1}{2\pi\lambda_{из}} \cdot \ln \frac{D_{из}}{d_n^{cm}}, (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}. \quad (4.37)$$

$$\sum R^\phi = R_{из} + R_{н.сл} + R_n + R_{кон} + R_{зп} + R_{1-2}, (\text{м} \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт} \quad (4.38)$$

Фактические удельные тепловые потери

$$q^\phi = \frac{t_c - t_{н.о.}^p}{\sum R^\phi}, \text{Вт/м}, \quad (4.39)$$

Полные потери тепла в трубопроводе теплосети

$$Q_{mc} = q^\phi \cdot L \cdot (1 + \beta), \text{Вт}, \quad (4.40)$$

где L – протяженность теплотрассы (по заданию), м; β – коэффициент местных потерь (4.24).

Падение температуры теплоносителя на участке теплотрассы заданной протяженности

$$t'_{c1} = t_{c1} - \frac{Q_{mc}}{B_c \cdot C_\phi}, ^\circ\text{C}. \quad (4.41)$$

4.3. Годовой расход тепла, топлива и выбор основного оборудования котельной

Годовой расход тепловой энергии на отопление

Сезонная тепловая нагрузка (отопление и вентиляция) имеет место только в течение отопительного периода, в пределах которого она изменяется от нуля до расчетного максимума в зависимости от изменения температуры наружного воздуха.

Для определения годового расхода тепла на отопление и вентиляцию используется средняя температура воздуха отопительного периода (t_{om}^{cp} , °C) и продолжительность отопительного периода в году (n_{om} , сут.) [2, табл. 3.1]. Отопительный период для большинства зданий определяется как период со среднесуточной температурой воздуха ниже +8°C.

$$Q_o^{год} = K_{nom} \left(Q_o^{ж+общ} \right) \cdot \frac{t_{\epsilon}^p - t_{om}^{cp}}{t_{\epsilon}^p - t_{но}^p} \cdot n_{om} \cdot z_{om} \cdot 3600, \text{ МДж}, \quad (4.42)$$

где $K_{nom} = 1,15 \div 1,18$ – коэффициент потерь во внутренних сетях района;
 $Q_o^{ж+общ}$ – максимальная суммарная тепловая нагрузка на отопление всех жилых и общественных зданий, МВт (п. 4.1); t_{ϵ}^p – средняя расчетная температура внутреннего воздуха, °C (п. 4.1); $t_{но}^p$ – расчетная температура наружного воздуха на отопление, °C (п. 4.1); t_{om}^{cp} – средняя температура наружного воздуха в течение отопительного периода, °C; n_{om} – продолжительность отопительного периода в году, сут.; $z_{om} = 24$ часа – среднее число часов работы системы отопления в течение суток.

Годовой расход тепловой энергии на вентиляцию

$$Q_v^{год} = K_{nom} \cdot Q_v^{общ} \cdot \frac{t_{\epsilon}^p - t_{om}^{cp}}{t_{\epsilon}^p - t_{но}^p} \cdot n_{om} \cdot z_v \cdot 3600, \text{ МДж}, \quad (4.43)$$

где $K_{nom} = 1,15 \div 1,18$ – коэффициент потерь во внутренних сетях района;

$Q_6^{общ}$ – максимальная суммарная тепловая нагрузка на вентиляцию всех общественных зданий, МВт (п. 4.1); $t_{нв}^p$ – расчетная температура наружного воздуха на вентиляцию, °С (п. 4.1); z_6 – среднее число часов работы системы вентиляции в течение суток (принимается 16 часов).

Годовой расход тепловой энергии на горячее водоснабжение

Круглогодичная тепловая нагрузка (горячее водоснабжение и потери в теплосети) имеет место в течение всего периода работы системы теплоснабжения, т. е., примерно 350 суток в году с учетом 15 дней, отводимых на ремонт котельной и системы теплоснабжения.

$$Q_{зв}^{год} = K_{ном} \left[Q_{зв}^{cp.з} \cdot n_{от} \cdot z_{зв} + Q_{зв}^{cp.л} (350 - n_{от}) \cdot z_{зв} \right] \cdot 3600, \text{ МДж}, \quad (4.44)$$

где $Q_{зв}^{cp.з}$ и $Q_{зв}^{cp.л}$ – средняя тепловая нагрузка на горячее водоснабжение в зимний (отопительный) период и в летний период года (4.8), МВт; $z_{зв} = 24$ часа – продолжительность работы системы горячего водоснабжения в течении суток.

Годовой расход тепловой энергии на потери в теплосети

$$Q_{mc}^{год} = Q_{mc} \cdot \frac{t_{mc}^{cp} - t_{ом}^{cp}}{t_{mc} - t_{но}^p} \cdot 350 \cdot 24 \cdot 3600, \text{ МДж}, \quad (4.45)$$

где Q_{mc} – полные потери тепла в прямом трубопроводе теплосети (4.40), МВт; $t_{mc}^{cp} = 0,5 \cdot (150 + 70) = 110$ °С – средняя температура воды в теплосети.

Суммарный годовой расход тепловой энергии на теплоснабжение жилого района

$$Q^{год} = K_{с.н} \left(Q_o^{год} + Q_6^{год} + Q_{з.в}^{год} + Q_{mc}^{год} \right), \text{ МДж}, \quad (4.46)$$

где $K_{с.н} = 1,1 \div 1,15$ – коэффициент собственных нужд, учитывающий расход тепловой энергии на собственные нужды и потери в котельной.

Тепловая мощность котельной и выбор основного оборудования.

Максимальная тепловая мощность котельной установки должна обеспечивать максимальную тепловую нагрузку жилого района по всем видам теплопотребления, потери теплосети, собственные нужды и потери котельной

$$Q_{кот} = K_{с.н} (Q_p + Q_{мс}), \text{ МВт}, \quad (4.47)$$

где Q_p – максимальная суммарная тепловая нагрузка жилого района с учетом внутренних потерь (4.11), МВт; $Q_{мс}$ – полные потери тепла в прямом трубопроводе теплосети (4.40), МВт.

Выбор основного оборудования предполагает ответы на два вопроса: «Какие котельные агрегаты, и в каком количестве принимаются к установке?»

Основное оборудование котельной установки выбирается по справочным данным (Таблица П.8) из условия $2 \leq n_{ка} \leq 6$,

$$n_{ка} = \frac{Q_{ку}}{Q_{ка}} + 1, \text{ шт}, \quad (4.48)$$

где $Q_{ку}$ – мощность котельной установки, МВт; $Q_{ка}$ – номинальная тепловая производительность котлоагрегата принятого к установке в котельной, МВт (Таблица П.8).

Годовой расход топлива на теплоснабжение жилого района

$$B_n^{год} = \frac{Q^{год} \cdot 100}{Q_n^p \cdot \eta_{ка}} \cdot 10^{-3}, \text{ т/год (тыс.м}^3\text{/год)}, \quad (4.49)$$

где $\eta_{ка}$ – КПД принятого к установке котлоагрегата, %; Q_n^p – низшая теплота сгорания заданного топлива, МДж/кг (МДж/м³), принимается по справочным данным (Таблица П.7).

Годовой расход условного топлива

$$B_{усл}^{год} = B_n^{год} \cdot \frac{Q^p}{29,3}, \text{ т/год}. \quad (4.50)$$

5. ПЛАН-ГРАФИК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

1-2 неделя – выдача задания.

2-5 неделя – выполнение расчетов п. 4.1 (Расчет максимальных тепловых нагрузок жилого района по всем видам теплопотребления)

5-8 неделя – выполнение расчетов 4.2 (Расчет трубопровода теплотрассы от котельной до жилого района).

8-11 неделя – выполнение расчетов 4.3 (Годовой расход тепла, топлива и выбор основного оборудования котельной)

11-12 неделя – защита работы.

6. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РАБОТЫ

Преподавателем производится оценка уровня выполнения работы, а также степени усвоения теоретического материала. Оценка за работу выставляется дифференцированно. Основными факторами, влияющими на оценку работы, являются:

- самостоятельность выполнения работы;
- уровень теоретической подготовки студента;
- грамотность и практическая ценность принятых решений;
- качество оформления всех материалов работы;
- подготовленность доклада и правильность ответов на вопросы при защите работы.

7. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

Выполнение работы проверяется преподавателем, который дает допуск к защите или возвращает её на доработку. При положительном заключении работа допускается к защите, при наличии замечаний возвращается на доработку. При подготовке к защите работы студент обязан повторить теоретический материал дисциплины и подготовить доклад по материалу работы. В докладе следует изложить сущность работы, методы решения задач, наиболее важные результаты и выводы по работе. После доклада студенту могут быть заданы вопросы, как по содержанию работы, так и по курсу в целом.

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по определению расходов топлива, электроэнергии и воды на выработку теплоты отопительными котельными коммунальных теплоэнергетических предприятий. Издание 4-е. М: Ротапринт АКХ им. К. Д. Памфилова, 2002. – 128 с.
2. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-02-99*. Издание официальное. М: ООО «Аналитик», 2015. – 120 с.
3. СНиП 2.04.01-85* Внутренний водопровод и канализация зданий. М: ФГУП ЦПП, 2006. – 60 с.
4. <http://thermalinfo.ru> (Свойства веществ → Свойства жидкостей → Вода и растворы).

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П.1 – Теплофизические свойства воды на линии насыщения

t, °C	$p \cdot 10^{-5}$, Па	ρ , кг/м ³	i, кДж/кг	C_p , кДж/(кг·°C)	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·°C)	$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\beta \cdot 10^4$, К ⁻¹	$\sigma \cdot 10^4$, Н/м	Pr
100	1,0133	958,4	419,1	4,220	68,3	16,9	282,5	0,295	7,52	588,6	1,75
110	1,4326	951,0	461,4	4,233	68,5	17,0	259,0	0,272	8,08	569,0	1,60
120	1,9854	943,1	503,7	4,250	68,6	17,1	237,4	0,252	8,64	548,4	1,47
130	2,7012	934,8	546,4	4,266	68,6	17,2	217,8	0,233	9,19	528,8	1,36
140	3,6136	926,1	589,1	4,287	68,5	17,2	201,1	0,217	9,72	507,2	1,26
150	4,7597	917,0	632,2	4,313	68,4	17,3	186,4	0,203	10,3	486,6	1,17
160	6,1804	907,4	675,4	4,346	68,3	17,3	173,6	0,191	10,7	466,0	1,10
170	7,9202	897,3	719,3	4,380	67,9	17,3	162,8	0,181	11,3	443,4	1,05
180	10,027	886,9	763,3	4,417	67,4	17,2	153,0	0,173	11,9	422,8	1,00
190	12,552	876,0	807,8	4,459	67,0	17,1	144,2	0,165	12,6	400,2	0,96
200	15,551	863,0	852,5	4,505	66,3	17,0	136,4	0,158	13,3	376,7	0,93
210	19,079	852,8	897,7	4,555	65,5	16,9	130,5	0,153	14,1	354,1	0,91
220	23,201	840,3	943,7	4,614	64,5	16,6	124,6	0,148	14,8	331,6	0,89
230	27,979	827,3	990,2	4,681	63,7	16,4	119,7	0,145	15,9	310,0	0,88
240	33,480	813,6	1037,5	4,766	62,8	16,2	114,8	0,141	16,8	285,5	0,87
250	39,776	799,0	1085,7	4,844	61,8	15,9	109,9	0,137	18,1	261,9	0,86
260	46,940	784,0	1135,1	4,949	60,5	15,6	105,9	0,135	19,1	237,4	0,87
270	55,051	767,9	1185,3	5,070	59,0	15,1	102,0	0,133	21,6	214,8	0,88
280	64,191	750,7	1236,8	5,230	57,4	14,6	98,1	0,131	23,7	191,3	0,90
290	74,448	732,3	1290,0	5,485	55,8	13,9	94,2	0,129	26,2	168,7	0,93
300	85,917	712,5	1344,9	5,736	54,0	13,2	91,2	0,128	29,2	144,2	0,97
310	98,697	691,1	1402,2	6,071	52,3	12,5	88,3	0,128	32,9	120,7	1,03
320	112,90	667,1	1462,1	6,574	50,6	11,5	85,3	0,128	38,2	98,10	1,11
330	128,65	640,2	1526,2	7,244	48,4	10,4	81,4	0,127	43,3	76,71	1,22
340	146,08	610,1	1594,8	8,165	45,7	9,17	77,5	0,127	53,4	56,70	1,39
350	165,37	574,4	1671,4	9,504	43,0	7,88	72,6	0,126	66,8	38,16	1,60
360	186,74	528,0	1761,5	13,984	39,5	5,36	66,7	0,126	109	20,21	2,35
370	210,53	450,5	1892,5	40,321	33,7	1,86	56,9	0,126	264	4,709	6,79

Таблица П.2 – Физические свойства воды при атмосферном давлении

t, °C	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ρ , кг/м ³	999,8	999,7	998,2	995,7	992,2	988	983,2	977,8	971,8	965,3	958,4
i, кДж/кг	0	42,04	83,91	125,7	167,5	209,3	251,1	293	335	377	419,1
C_p , Дж/(кг·°C)	4217	4191	4183	4174	4174	4181	4182	4187	4195	4208	4220
λ , Вт/(м·°C)	0,569	0,574	0,599	0,618	0,635	0,648	0,659	0,668	0,674	0,68	0,683
$\alpha \cdot 10^8$, м ² /с	13,2	13,7	14,3	14,9	15,3	15,7	16	16,3	16,6	16,8	16,9
$\mu \cdot 10^6$, Па·с	1788	1306	1004	801,5	653,3	549,4	469,9	406,1	355,1	314,9	282,5
$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	1,789	1,306	1,006	0,805	0,659	0,556	0,478	0,415	0,365	0,326	0,295
$\beta \cdot 10^4$, К ⁻¹	-0,63	0,7	1,82	3,21	3,87	4,49	5,11	5,7	6,32	6,95	7,52
$\sigma \cdot 10^4$, Н/м	756,4	741,6	726,9	712,2	696,5	676,9	662,2	643,5	625,9	607,2	588,6
Pr	13,5	9,52	7,02	5,42	4,31	3,54	2,93	2,55	2,21	1,95	1,75

Таблица П.3 – Конструктивные характеристики непроходных каналов

Условный диаметр труб D_y , мм	Размер труб		Тип канала	Размер канала, мм					
	Диаметр наружный d_n^{cm} , мм	Толщина стенки δ^{cm} , мм *		H_2	H_1	l	L	Толщина стенки	
								S_1	S_2
25	32	2,0-7,0	КЛ-60-30	167	300	280	600	80	120
32	38	2,0-9,0		171					
40	45	2,0-10,0		174					
50	57	2,0-12,0	КЛ-60-45	224	460	280	600	80	120
70	76	2,0-18,0		234					
80	89	2,0-22,0		241					
100	108	2,0-28,0	КЛ-90-45	255	460	400	900	100	140
125	133	3,0-32,0		268					
150	159	3,0-36,0	КЛ-90-60	281	590	400	900	100	140
175	194	4,0-45,0	КЛ-120-60	298	590	540	1200	120	180
200	219	6,0-50,0		311					
250	273	7,0-50,0		338					
300	325	8,0-75,0	КЛ-150-90	364	840	660	1500	140	200
350	377	9,0-75,0		440					

* – В указанных интервалах принимается ряд стандартных значений δ^{cm} :

2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 14; 16.

Таблица П.4 – Нормы тепловых потерь для изолированной поверхности теплопровода с 1 м длины при температуре окружающего воздуха +25 °С

Наружный диаметр труб, мм	Температура теплоносителя, °С		
	100	150	200
	Тепловые потери, Вт/м		
32	33	50	67
48	36	57	76
57	37	62	81
76	43	67	91
108	52	79	105
159	70	98	130
219	81	116	154
273	91	129	170
325	100	142	186
377	107	152	204
426	114	163	221
529	140	198	256

l

Таблица П.5 – Поправочный коэффициент к нормам тепловых потерь в зависимости от температуры окружающего воздуха

Температура окружающего воздуха	Температура теплоносителя, °С	
	100	150
+40	0,89	0,94
+30	0,97	0,98
+25	1	1
0	1,15	1,1
-10	1,21	1,13
-20	1,26	1,17
-30	1,32	1,2
-40	1,39	1,23

Таблица П.6 – Характеристики основных изоляционных материалов

№ п/п	Наименование типа изоляции	Марка	Объемный вес, кг/м ³	Толщина стандартного эл-та, мм	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{из}$, Вт/(м·°C)	Область применения
1	Маты минераловатные прошивные	150 200 250	180-200 240-250 300	40,60,80	$0,049+0,0002t_{cp}$ $0,053+0,00019t_{cp}$ $0,059+0,00019t_{cp}$	Для труб с диаметром свыше 219мм. Температура до 250 °C
2	Маты и полосы из стеклянного волокна		200	10,15,20,30,50	$0,042+0,00023t_{cp}$	Маты для труб с диаметром свыше 108 мм, полосы – от 25 до 108 мм. Температура до 450°C
3	Маты и плиты полужесткие стекловатные	50 70	100 150	30,40,50,60,70,80	$0,0465+0,00035t_{cp}$ $0,0465+0,00023t_{cp}$	Маты для труб с диаметром – 325 мм. Температура до 180 °C
4	Асбоцементная штукатурка, скорлупы		1600-1900	10,15,20	0,38	

Примечание: t_{cp} – средняя температура изоляционного слоя.

$t_{cp} = 0,5(t_c+20)$, °C, где t_c – температура теплоносителя, °C.

Таблица П.7 – Теплотворная способность некоторых видов топлива

№ п/п	Вид топлива	Единица измерения	Теплота сгорания, МДж
1	Мазут	1 л	40,61
2	Нефть	1 л	44,00
3	Газ природный	1 м ³	33,50
4	Метан	1 м ³	50,03
5	Уголь каменный (W=10%)	1 кг	27,00
6	Уголь бурый (W=30...40%)	1 кг	12,98
7	Торф (W=40%)	1 кг	12,10
8	Торф брикеты (W=15%)	1 кг	17,58
9	Пеллета древесная	1 кг	17,17
10	Пеллета из соломы	1 кг	14,51
11	Пеллета из лузги подсолнуха	1 кг	18,09
12	Свежесрубленная древесина (W=50%)	1 кг	8,12
13	Высушенная древесина (W=20%)	1 кг	14,24
14	Лузга подсолнуха, сои	1 кг	17,00
15	Солома	1 кг	15,70

Таблица П.8 – Технические характеристики теплогенераторов для коммунальных отопительных теплогенерирующих установок

№ п/п	Тип Котельного агрегата (теплогенератора)	Номинальная тепловая мощность ТГ, МВт	Производительность ТГ по теплоносителю, т/ч	Теплоноситель	Параметры теплоносителя МПа, °С	Вид сжигаемого топлива	КПД ТГ %
1	Е-1,0-9Г(Ж)	0,75 0,75	1,0 1,0	пар	$P=0,9 \text{ МПа}$ $t=175 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ (г) мазут (Ж)	86 84
2	Е-1/9-1	0,75	1,0	пар	$P=0,9 \text{ МПа}$ $t=175 \text{ }^{\circ}\text{C}$	каменный уголь	73
	Е-1/9-1М	0,75	1,0	пар	$P=0,9 \text{ МПа}$ $t=175 \text{ }^{\circ}\text{C}$	мазут	80
	Е-1/9-1Г	0,75	1,0	пар	$P=0,9 \text{ МПа}$ $t=175 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ	86
3	ДКВР-2,5-13	1,94	2,5	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	каменный бурый газ мазут	81,9 75,6 90,4 89,6
4	ДКВР-4,0-13	3,1	4,0	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	камен. уг бур. уголь газ мазут	82,1 75,8 90,8 89,8
5	ДКВР-6,5-13	5,04	6,5	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	камен. уг бур. уголь газ мазут	83,1 76,7 91,4 90,4
6	ДКВР-10-13	7,75	10,0	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	камен. уг бур. уголь газ мазут	83,5 77,5 91,8 90,8
7	Е-4-14 ГМ	3,1	4,0	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ мазут	89,4 88,2
8	Е-6,5-14-ГМ	5,04	6,5	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ мазут	90,1 88,8
9	Е-10-14-ГМ	7,75	10,0	пар	$P_{абс}=1,4 \text{ МПа}$ $t=195 \text{ }^{\circ}\text{C}$	газ мазут	90,8 89,8
10	ТВГ-4	5	54	горяч. вода	$t_{св}=70/150$	газ	90,0
11	ТВГ-8	9,65	104	Горяч. вода	$t_{св}=70/150$	газ	90,3
12	КВ-ТС-10 (ТСВ)	11,63	123,5	Горяч. вода	$t_{св}=70/150$	камен. уг бур. уголь	83,5 81,7
13	КВ-ТС-20 (ТСВ)	23,3	247	Горяч. вода	$t_{св}=70/150$	камен. уг бур. уголь	83,8 81,8
14	КВ-ГМ-10	11,63	123,5	Горяч. вода	$t_{св}=70/150$	газ мазут	91,5 88,5
15	КВ-ГМ-20	23,3	247	Горяч. вода	$t_{св}=70/150$	газ мазут	91,8 88,8

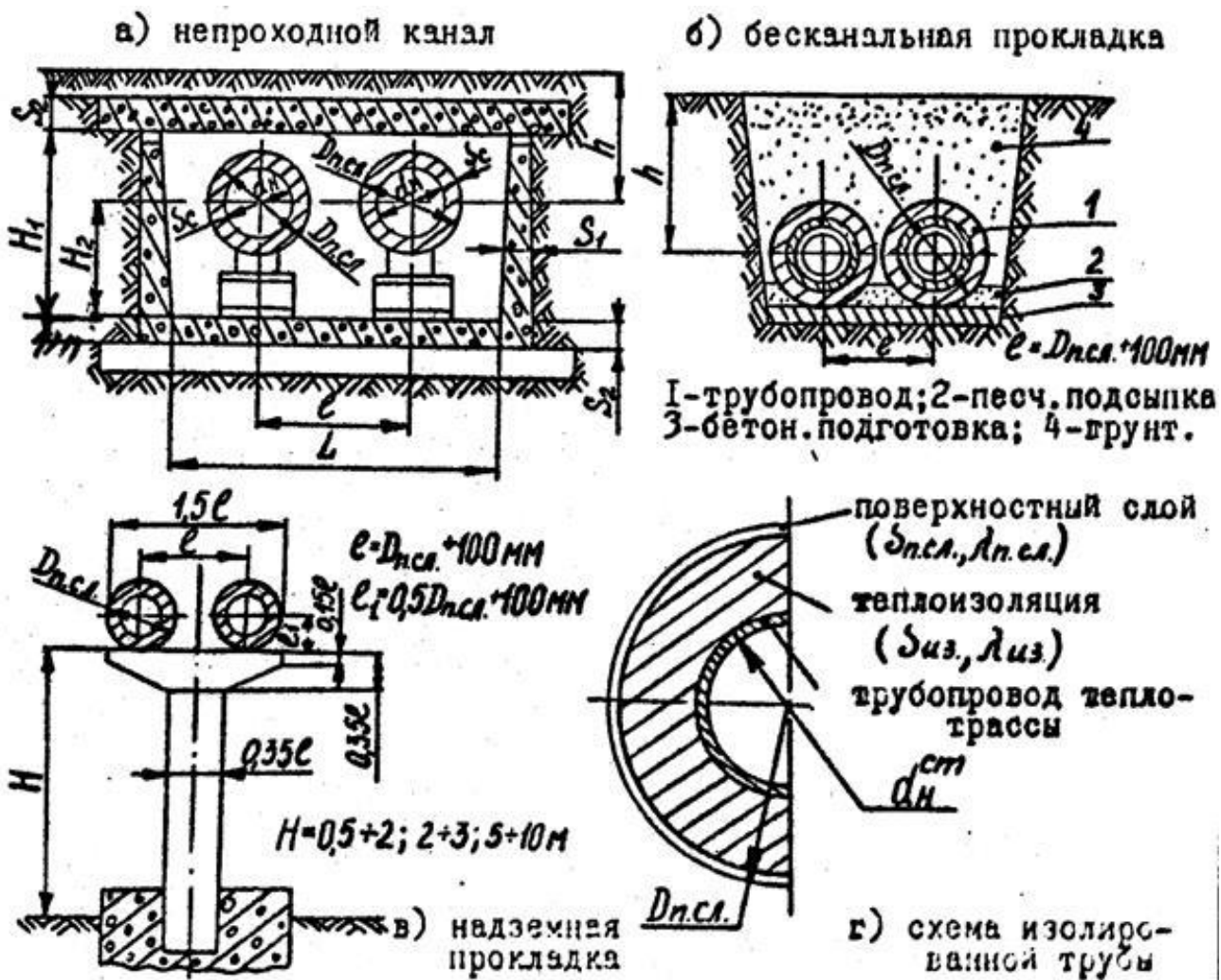


Рисунок П.1 – Основные схемы прокладки трубопроводов теплотрассы

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации самостоятельной работы**

Содержание

Введение

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса
2. Цели и основные задачи самостоятельной работы
3. Виды самостоятельной работы
4. Организация самостоятельной работы
5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы
6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы
7. Критерии оценки самостоятельной работы

Введение

Основная задача высшего образования заключается в формировании творческой личности профессионала, способного к саморазвитию, самообразованию и инновационной деятельности.

Успешное усвоение дисциплин по различным образовательным программам предполагает активное, творческое участие обучающегося на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной не только аудиторной, но и самостоятельной работы.

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа – это процесс активного, целенаправленного приобретения обучающимися новых знаний, умений без непосредственного участия преподавателя, характеризующийся предметной направленностью, эффективным контролем и оценкой результатов деятельности обучающегося.

Объем самостоятельной работы (в часах) определен учебным планом.

Методические указания по организации самостоятельной работы студентов (далее – СРС) являются обязательной частью учебно-методических комплексов учебных дисциплин.

Методические указания по организации самостоятельной работы для студентов, наряду с методическими указаниями по выполнению лабораторных работ, практических занятий и работе с лекционным материалом; по формам текущего, промежуточного и итогового контроля; по выполнению курсовых работ/проектов, расчетно-графических работ, контрольных работ; по подготовке и защите выпускных квалификационных работ, составляют единый комплекс методического обеспечения УМК каждой учебной дисциплины.

Цель методических указаний СРС – определить роль и место самостоятельной работы студентов в учебном процессе; конкретизировать ее уровни, формы и виды; обобщить методы и приемы выполнения определенных типов учебных заданий; объяснить критерии оценивания.

1. Самостоятельная работа как важнейшая форма учебного процесса

Самостоятельная работа - планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа обучающихся, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль за работой обучающихся).

Самостоятельная работа обучающихся является важным видом учебной и научной деятельности. В связи с этим, обучение включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому СРО должна стать эффективной и целенаправленной работой.

Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи высшего образования – «подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентированного в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности».

Решение этих задач невозможно без повышения роли самостоятельной работы обучающихся над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, за стимулирование профессионального роста обучающихся, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие обучающихся в практических занятиях, лабораторных работах, выполнении контрольных и расчетно-графических работ, написание курсовых работ (проектов) и выпускных

квалификационных работ. При этом самостоятельная работа обучающихся играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов - законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант-плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;
- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
- подготовку докладов и рефератов, написание выпускных квалификационных работ;
- участие в работе студенческих конференций, комплексных научных исследованиях.

Самостоятельная работа приобщает студентов к научному творчеству, поиску и решению актуальных современных проблем.

2. Цели и основные задачи самостоятельной работы

Ведущая цель организации и осуществления СРС должна совпадать с целью обучения студента. При организации СРС важным и необходимым условием становятся формирование умения самостоятельной работы для деятельности.

Цели самостоятельной работы:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, активности обучающихся, творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Основными задачами СРМ являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий на семинарах, на практических и лабораторных занятиях, при написании курсовых и выпускной квалификационной работ, для эффективной подготовки к промежуточной аттестации - зачетам и экзаменам.

3. Виды самостоятельной работы

Самостоятельная работа студент включает:

- самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы;
- подготовка к лекциям;
- подготовка к практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным работам;
- написание рефератов;

- выполнение контрольной работы;
- выполнение курсовой работы (проекта);
- выполнение расчетно-графической работы;
- подготовка исследовательской работы (написание статьи, доклада);
- подготовка выпускной квалификационной работы;
- подготовка к текущей и промежуточной аттестации;
- подготовка к государственной итоговой аттестации.

Для выполнения самостоятельной работы студентам необходимо ознакомиться с содержанием рабочей программы дисциплины, с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, методическими разработками по данной дисциплине, с графиком консультаций преподавателей кафедры, с перечнем ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

4. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа студента – способ активного, целенаправленного приобретения новых знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Организационные мероприятия, обеспечивающие развитие навыков самостоятельной работы студентов, воспитание их творческой активности и инициативы, а также, в целом, обеспечивающие нормальное функционирование самостоятельной работы студентов, должны основываться на следующих предпосылках:

- самостоятельная работа должна быть конкретной по своей предметной направленности;
- самостоятельная работа должна сопровождаться эффективным, непрерывным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется федеральным государственным образовательным стандартом по направлению подготовки, основной образовательной программой, учебным планом, рабочими программами дисциплин.

Контроль самостоятельной работы и оценка ее результатов организуются как единство двух форм:

- самоконтроль и самооценка;
- внешний контроль и оценка со стороны преподавателей, государственных экзаменационных комиссий и др.

5. Общие рекомендации по организации самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы студентов направлена на решение следующих задач:

- а) закрепление, обобщение и повторение пройденного учебного материала; применение полученных знаний в традиционных педагогических ситуациях и при решении задач высокого уровня неопределенности;
- б) совершенствование умений и навыков по изучаемой дисциплине; формирование межпредметных, общеучебных, исследовательских умений;
- в) активизация учебной и научно-исследовательской деятельности обучающихся, ее максимальная индивидуализация с учетом индивидуальных особенностей и академической успеваемости студентов;
- г) формирование готовности студентов к самообразованию в течение всей жизни.

Видами занятий для самостоятельной работы могут быть:

Для овладения знаниями:

- чтение текста (учебника, первоисточника, дополнительной литературы, конспектов лекций);
- составление плана текста, графическое изображение структуры текста;
- конспектирование текста; выписки из текста, работа со словарями и справочниками, ознакомление с нормативными документами;
- учебно-исследовательская работа, использование аудио и видеозаписей, компьютерной техники, интернета и др.

Для закрепления и систематизации знаний:

- работа с конспектом лекций, повторная работа над материалом;
- составление плана и тезисов ответа;
- составление таблиц для систематизации учебного материала;
- ответы на контрольные вопросы;
- аналитическая обработка текста (аннотирование, рецензирование, реферирование, контент-анализ);
- подготовка сообщения для выступления на конференции;
- подготовка рефератов, докладов;
- составление библиографии.

Для формирования умений:

- выполнение контрольных работ;
- выполнение чертежей, схем, расчетно-графических работ;
- проектирование и моделирование разных видов и компонентов профессиональной деятельности.
- подготовка курсовых и дипломных работ (проектов);

Для формирования компетенций:

- принятие решений по конкретной ситуации;
- грамотная формулировка задания для исполнения;
- организация контроля по сферам деятельности.

6. Методические рекомендации для студентов по отдельным формам самостоятельной работы

Система вузовского обучения подразумевает значительную самостоятельность студентов в планировании и организации своей деятельности.

6.1 Самостоятельное изучение основной и дополнительной литературы

Работа с литературой является основным методом самостоятельного овладения знаниями. Это сложный процесс, требующий выработки определенных навыков, поэтому студенту нужно обязательно научиться работать с книгой.

Осмысление литературы требует системного подхода к освоению материала. В работе с литературой системный подход предусматривает не только тщательное (иногда многократное) чтение текста и изучение специальной литературы, но и обращение к дополнительным источникам – справочникам, энциклопедиям, словарям. Эти источники – важное подспорье в самостоятельной работе студента, поскольку глубокое изучение именно их материалов позволит студенту уверенно «распознавать», а затем самостоятельно оперировать теоретическими категориями и понятиями, следовательно – освоить новейшую научную терминологию. Такого рода работа с литературой обеспечивает решение студентом поставленной перед ним задачи (подготовка к практическому занятию, выполнение контрольной работы и т.д.).

Выбор литературы для изучения делается обычно по предварительному списку литературы, который выдал преподаватель, либо путем самостоятельного отбора материалов. После этого непосредственно начинается изучение материала, изложенного в книге.

Наиболее надежный способ собрать нужный материал – составить план или конспект. *Конспект, план-конспект* – это последовательная фиксация отобранной и обдуманной в процессе чтения информации.

Цель – зафиксировать, переработать тот или иной научный текст. Они позволяют восстановить в памяти ранее прочитанное без дополнительного обращения к самой книге.

План – это «скелет» текста, он компактно отражает последовательность изложения материала. План как форма записи обычно более подробно передает содержание частей текста, чем оглавление книги или подзаголовки статей. Самые важные места в книге отмечайте, используя для этого легко стирающийся карандаш или вкладные листки. Запись любых планов следует делать так, чтобы ее легко можно было охватить одним взглядом.

Вся рекомендуемая для изучения курса литература подразделяется на основную и дополнительную. К основной литературе относятся источники, необходимые для полного и твердого усвоения учебного материала (учебники и учебные пособия). Необходимость изучения дополнительной литературы диктуется прежде всего тем, что в учебной литературе (учебниках) зачастую остаются неосвещенными современные проблемы, а также не находят отражения новые документы, события, явления, научные открытия последних лет. Поэтому дополнительная литература рекомендуется для более углубленного изучения программного материала.

6.2 Подготовка к лекциям и работа с конспектом лекций

При подготовке к лекции студенты должны предварительно ознакомиться с учебным материалом по данной теме и при конспектировании лекции акцентировать внимание на новых теоретических положениях, правовых и иных данных, не нашедших отражения в учебной литературе.

Лекция имеет цель – систематизация основы научных знаний по дисциплине, сконцентрировать внимание обучающихся на наиболее актуальных проблемах.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. Дает рекомендации на практические занятия и указания на самостоятельную работу.

Предварительное не углубленное знакомство с материалом очередной лекции дает многое. Студенты получают общее представление о ее содержании и структуре, о главных и второстепенных вопросах, о терминах и определениях. Все это облегчает работу на лекции и делает ее целеустремленной.

Основные моменты лекционных занятий конспектируются. Отдельные темы предлагаются для самостоятельного изучения с обязательным составлением конспекта.

Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим обучающимся.

Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Самостоятельную работу следует начинать с доработки конспекта, желательно в тот же день, пока время не стерло содержание лекции из памяти. С целью доработки необходимо в первую очередь прочитать записи, восстановить текст в памяти, а также исправить описки, расшифровать не принятые ранее сокращения, заполнить пропущенные места, понять текст, вникнуть в его смысл. Далее прочитать материал по рекомендуемой литературе, разрешая в ходе чтения, возникшие ранее затруднения, вопросы, а также дополнения и исправляя свои записи. Записи должны быть наглядными, для чего следует применять различные способы выделений. В ходе доработки конспекта углубляются, расширяются и закрепляются знания, а также дополняется, исправляется и совершенствуется конспект.

Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

6.3 Подготовка к практическим занятиям

Целью практических занятий является получение базовых навыков по применению теоретических знаний. Это необходимо при решении всевозможных задач на различных этапах практической деятельности.

Задачи подготовки и проведения практических занятий:

- закрепление и углубление знаний;
- создание практических навыков и умений в практической деятельности и повседневной жизни для: поиска, первичного анализа и использования информации;
- анализа конкретных ситуаций и условий их реализации;
- изложения и аргументации собственных суждений по практической ситуации;
- развитие стремления и способности к самостоятельному исследованию изучаемых реальностей, их критической оценки.

Подготовка к практическим занятиям включает: изучение нормативных актов, учебной литературы, лекционного материала; подготовка рефератов.

Практические занятия по дисциплине проводятся в форме различных дискуссий (семинарских занятий) и (или) анализа конкретных ситуаций (выполнение практических заданий).

6.4 Подготовка к лабораторным работам

Лабораторные работы составляют важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки студентов. Они направлены на формирование учебных и профессиональных практических умений.

На лабораторных занятиях задания выполняются по материалам согласно плану.

До начала лабораторных занятий обучающиеся должны пройти инструктаж по технике безопасности.

Перед выполнением лабораторной работы обучающийся должен изучить теоретический материал по теме лабораторной работы по основной и дополнительной литературе, ознакомиться с ресурсами информационно - телекоммуникационной сети «Интернет». При этом обучающийся должен учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы.

В ходе подготовки к лабораторным занятиям необходимо ознакомиться с методическими указаниями; с порядком ее выполнения; освоить основные понятия; изучить алгоритмы; методы и технологии, необходимые для реализации этих алгоритмов; ответить на контрольные вопросы.

После выполнения работы производится обработка полученных результатов, составляется и защищается отчет. Без защиты отчета студент, как правило, не допускается к очередной работе.

6.5 Написание рефератов

Реферат представляет собой краткое изложение в письменной форме содержания научного труда по определенной теме, возможно выходящего за рамки учебной программы, а также изложение книги, статьи, исследования. Иными словами, реферат – это индивидуальная научная работа, раскрывающая содержание исследуемой проблемы с различных позиций и точек зрения, с формированием самостоятельных выводов.

Целью написания реферата является сообщение определенной информации для развития навыков научно-исследовательской работы.

В процессе подготовки реферата, обучающиеся, глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события;
- ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал;
- лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Подготовка реферата включает в себя:

- выбор и формулирование темы, которая должна обладать новизной, актуальностью и оригинальностью;
- подбор литературы и изучение основных источников;
- составление содержания, раскрывающего название работы;
- выписки из литературных источников с целью накопления теоретического и практического материала;
- написание реферата и его оформление;
- составление списка использованной литературы.

6.6 Выполнение контрольной работы

Контрольная работа является одной из составляющих учебной деятельности студента по овладению знаниями в области теплогазоснабжения и вентиляции. К ее выполнению необходимо приступить только после изучения тем дисциплины.

Целью контрольной работы является определения качества усвоения лекционного материала и части дисциплины, предназначенной для самостоятельного изучения.

Задачи, стоящие перед студентом при подготовке и написании контрольной работы:

1. закрепление полученных ранее теоретических знаний;

2. выработка навыков самостоятельной работы;
3. выяснение подготовленности студента к будущей практической работе.

Преподаватель готовит задания либо по вариантам, либо индивидуально для каждого студента. По содержанию работа может включать теоретический материал, задачи, тесты, расчеты и т.п. выполнению контрольной работы предшествует инструктаж преподавателя.

Ключевым требованием при подготовке контрольной работы выступает творческий подход, умение обрабатывать и анализировать информацию, делать самостоятельные выводы, обосновывать целесообразность и эффективность предлагаемых рекомендаций и решений проблем, четко и логично излагать свои мысли. Подготовка контрольной работы следует начинать с повторения соответствующего раздела учебника, учебных пособий по данной теме и конспектов лекций.

6.7 Выполнение курсовой работы (проекта)

Курсовая работа (проект) - это самостоятельное исследование обучающимся определенной проблемы, комплекса взаимосвязанных вопросов, касающихся конкретной профессиональной ситуации.

Курсовая работа (проект) не должна состояться из фрагментов статей, монографий, пособий. Кроме простого изложения фактов и цитат, в курсовой работе (проекте) должно проявляться авторское видение проблемы и ее решения.

Рассмотрим основные этапы подготовки курсовой работы (проекта).

Выполнение курсовой работы (проекта) начинается с выбора темы.

Затем студент приходит на первую консультацию к руководителю, которая предусматривает:

- обсуждение цели и задач работы, основных моментов избранной темы;
- консультирование по вопросам подбора литературы;
- составление предварительного плана;
- составление графика выполнения курсовой работы (проекта).

Следующим этапом является работа с литературой. Необходимая литература подбирается студентом самостоятельно.

После подбора литературы целесообразно сделать рабочий вариант плана работы. В нем нужно выделить основные вопросы темы и параграфы, раскрывающие их содержание.

Составленный список литературы и предварительный вариант плана уточняются, согласуются на очередной консультации с руководителем.

Затем начинается следующий этап работы - изучение литературы. Только внимательно читая и конспектируя литературу, можно разобраться в основных вопросах темы и подготовиться к самостоятельному (авторскому) изложению содержания курсовой работы (проекта). Конспектируя первоисточники, необходимо отразить основную идею автора и его позицию по исследуемому вопросу, выявить проблемы и наметить задачи для дальнейшего изучения данных проблем.

Систематизация и анализ изученной литературы по проблеме исследования позволяют написать первую (теоретическую) главу.

Выполнение курсовой работы (проекта) предполагает проведение определенного исследования. На основе разработанного плана обучающийся осуществляет сбор фактического материала, необходимых цифровых данных. Затем полученные результаты подвергаются анализу, статистической, математической обработке и представляются в виде текстового описания, таблиц, графиков, диаграмм. Программа исследования и анализ полученных результатов составляют содержание второй (аналитической) главы.

В третьей (рекомендательной) части должны быть отражены мероприятия, рекомендации по рассматриваемым проблемам.

Рабочий вариант текста курсовой работы (проекта) предоставляется руководителю на проверку. На основе рабочего варианта текста руководитель вместе со студентом обсуждает возможности доработки текста, его оформление. После доработки курсовая работа (проект) сдается на кафедру для ее оценивания руководителем.

Защита курсовой работы (проекта) обучающихся проходит в сроки, установленные графиком учебного процесса.

При подготовке к защите курсовой работы (проекта) обучающийся должен знать основные положения работы, выявленные проблемы и мероприятия по их устранению, перспективы развития рассматриваемой экономической ситуации.

Защита курсовой работы (проекта) проводится на кафедре при наличии у обучающегося курсовой работы (проекта). Оценка - дифференцирована. Преподаватель оценивает защиту курсовой работы (проекта) и заполняет графу "оценка" в ведомости и в зачетной книжке.

Не допускаются к защите варианты курсовых работ (проектов), найденные в Интернет, сканированные варианты учебников и учебных пособий, а также копии ранее написанных работ.

6.8 Выполнение расчетно-графической работы

Расчетно-графическая работа является важным элементом учебного процесса, предусмотрена учебным планом.

Цель расчетно-графической работы – систематизация и закрепление теоретических знаний, и развитие практических навыков по решению задач в области теплогазоснабжения и вентиляции, выработка навыков анализа данных и формулирования выводов по полученным результатам.

Задачами расчетно-графической работы являются:

- развитие навыков самостоятельной работы в области решения практических задач;
- подбор и систематизация теоретического материала, являющегося основой для решения практической задачи, развитие навыков самостоятельной работы с учебной и методической литературой;
- проведение расчетов показателей по исходным данным и анализ полученных значений;
- формулирование выводов по полученным результатам.

Выполнение расчетно-графической работы проводится студентом по конкретному варианту задания, который необходимо уточнить у преподавателя.

Содержанием расчетно-графической работы является краткое изложение теоретического материала к каждой задаче, решение задачи по индивидуальному варианту, включающее в себя расчет основных показателей, анализ полученных результатов, формулирование выводов.

Расчетно-графическая работа должна содержать:

1. Титульный лист.
2. Условие задачи.
3. Теоретическая часть по каждой задаче (1-3 страницы).
4. Практическая часть и выводы по каждой задаче.
5. Библиографический список (не менее 5 источников).

Условие задачи оформляется по центру заголовком «Задача №».

Текст условия задачи должен совпадать с текстом в методических указаниях, включая таблицы, при их наличии.

Далее излагается теоретический материал, лежащий в основе решения задачи, включающий в себя основные определения, формулы расчетов показателей и др.

В практической части излагается подробное решение задачи. При необходимости результаты оформляются в виде сводной таблицы.

К каждой задаче необходимо сформулировать выводы, проанализировав полученные результаты.

Расчетно-графическая работа должна выполняться в соответствии с установленным графиком. В процессе выполнения расчетно-графической работы допускаются консультации у преподавателя на практических занятиях.

Выполнение основных этапов контролируется преподавателем и учитывается при проведении текущего контроля по дисциплине и при оценке расчетно-графической работы.

6.9 Подготовка исследовательской работы (написание статьи, научного доклада)

Научный доклад представляет собой исследование по конкретной проблеме, изложенное перед аудиторией слушателей. Работа по подготовке научного доклада включает не только знакомство с литературой по избранной тематике, но и самостоятельное изучение определенных вопросов.

Научный доклад может быть подготовлен для выступления на семинарском занятии, конференции научного общества, или в рамках круглого стола. В любом случае успешное

выступление во многом зависит от правильной организации самого процесса подготовки научного доклада.

Подготовка научного доклада включает несколько этапов работы:

- выбор темы доклада;
- подготовка материалов;
- работа над текстом доклада;
- подготовка к выступлению.

Подготовка к научному докладу начинается с выбора темы Вашего будущего выступления.

Не следует выбирать слишком широкую тему научного доклада. Это связано с ограниченностью докладчика во времени. Доклад должен быть рассчитан на 7-15 минут.

Работа по подбору материалов для доклада связана с изучением соответствующей тематики литературы.

В процессе работы над текстом доклада обучающиеся глубже постигают вопросы изучаемого предмета, поскольку:

- анализируются различные точки зрения, факты и события; ведется научно обоснованная полемика;
- обобщается материал; лаконично излагаются мысли;
- правильно оформляется работа с составлением плана, библиографии и систематизацией информации.

Текст научного доклада должен включать три основные части:

- введение – краткое знакомство слушателей с обсуждаемой в докладе проблемой;
- основную часть – логическое продолжение вопросов, обозначенных автором во введении. В этой части доклада раскрывается тема выступления, приводятся необходимые доказательства (аргументы);
- заключение – обобщение основной мысли и идеи выступления. В заключении можно кратко повторить основные выводы и утверждения, прозвучавшие в основной части доклада.

Научный доклад представляет собой устное произведение и чтение вслух подготовленного текста недопустимо.

К секретах хорошего выступления можно отнести следующие моменты:

- до и после важных мыслей следует делать паузу;
- для большего акцента сказанного необходимо менять тон голоса и тембр речи. Это сделает Вашу речь более выразительной;
- необходимо иметь контакт с аудиторией.

6.10 Подготовка выпускной квалификационной работы

ВКР представляет собой самостоятельное логически завершенное исследование, связанное с решением научной или научно-практической задачи. При его выполнении студент должен показать способности и умения, опираясь на полученные знания, решать на современном уровне задачи профессиональной деятельности, грамотно излагать специальную информацию, докладывать и отстаивать свою точку зрения перед аудиторией.

Цель защиты ВКР – установление уровня подготовленности выпускника к выполнению профессиональных задач в соответствии с требованиями ФГОС ВО к квалификационной характеристике и уровню подготовки выпускника.

Студенту предоставляется право самостоятельного выбора темы ВКР. Для подготовки ВКР назначается научный руководитель и, при необходимости, консультанты.

ВКР состоит из текста (рукописи) и графических материалов, отражающих решение профессиональных задач в соответствии с избранной тематикой. Структура ВКР включает:

- титульный лист;
- задание, включая календарный план;
- содержание;
- введение;
- основной текст;
- заключение;

- список использованных источников;
- приложения.

Руководитель выпускной работы выдает задание; оказывает помощь в организации и выполнении работы; проводит систематические консультации обучающегося; проверяет выполнение работы; дает письменный отзыв о работе.

Представление иллюстративного материала к публичной защите возможно в виде:

- плакатов и чертежей;
- раздаточного материала с иллюстрациями; с использованием:
- проекционной техники;
- компьютерной презентации.

Конкретные требования к содержанию, структуре, формам представления и объемам устанавливаются в соответствующих Положениях о выпускных квалификационных работах и методических указаниях по их подготовке и оформлению.

6.11 Подготовка к текущей и промежуточной аттестации

Система контроля включает в себя текущий и промежуточный контроль. Текущий контроль должен быть непрерывным. Формы текущего контроля устанавливаются по усмотрению преподавателя. Промежуточный контроль – это итог работы студента за семестр с учетом всех видов учебной работы.

Текущий контроль. Текущий контроль успеваемости обучающихся – это систематическая проверка учебных достижений обучающихся, проводимая в целях оценивания хода освоения дисциплин в соответствии с рабочей программой.

Текущий контроль успеваемости студентов очной формы обучения проводится по всем дисциплинам учебного плана в течение семестра:

- на лабораторных, семинарских, практических занятиях, по которым рабочими программами дисциплин предусмотрены отчетности;
- по всем формам самостоятельной работы студентов в заранее установленное время.

Текущий контроль успеваемости студентов осуществляется преподавателями кафедр, за которыми закреплены дисциплины учебного плана, и может проводиться в следующих формах:

- собеседование,
- контрольная работа,
- защита лабораторной работы,
- реферата,
- расчетно-графическая работа, и др.

Виды и сроки проведения текущего контроля успеваемости студентов устанавливаются рабочей программой дисциплины.

Текущий контроль успеваемости является элементом внутривузовской системы контроля качества подготовки обучающихся и способствует активизации познавательной деятельности студентов в ходе аудиторных занятий, при выполнении программ самостоятельной и индивидуальной работы.

Текущий контроль успеваемости должен учитывать выполнение обучающимися всех видов учебных занятий, предусмотренных учебным планом и рабочей программой дисциплины, самостоятельную, исследовательскую работу и посещаемость учебных занятий.

Анализ результатов текущего контроля студентов, обучающихся на основе рейтинговой оценки знаний, проводится 2 раза в семестр:

- в первом полугодии - на 1 ноября, на 10 декабря;
- во втором полугодии - на 1 апреля, на 20 мая.

Анализ результатов текущего контроля студентов, не участвующих в рейтинговой системе оценки знаний, проводится в институтах: к указанным выше датам итоги текущего контроля и количество пропущенных занятий (в часах) преподаватели, ведущие занятия, проставляют в листы текущего контроля успеваемости, которые анализируются и хранятся в институтах.

Промежуточная аттестация. Промежуточная аттестация призвана оценить уровень сформированности компетенций, полученных студентами в процессе изучения дисциплины, курсового проектирования и обеспечить контроль качества освоения образовательных программ.

Промежуточная аттестация проводится по завершении изучения какой - либо дисциплины.

Формами промежуточной аттестации являются зачет и экзамен.

При явке на промежуточную аттестацию обучающийся обязан предъявить зачетную книжку. Фамилия обучающегося должна значиться в зачетно-экзаменационной ведомости.

Зачеты студентам по изучаемым дисциплинам выставляются преподавателем, проводившим практические, семинарские или лабораторные занятия группы (подгруппы), на последнем занятии по результатам работы в семестре. Для студентов, обучающихся на основе рейтинговой системы оценки знаний, зачет выставляется автоматически при условии сдачи всех контрольных мероприятий, предусмотренных текущим контролем успеваемости.

6.12 Подготовка к государственной итоговой аттестации

В соответствии с образовательным стандартом по направлению подготовки и образовательной программой по направлению подготовки, в состав государственной итоговой аттестации входят:

- государственный экзамен;
- защита выпускной квалификационной работы.

Подготовка к государственному экзамену

Цель государственного экзамена – оценить глубину полученных знаний, практические навыки применения этих знаний при решении профессиональных задач (компетентность).

В связи с необходимостью объективной оценки степени сформированности компетенций выпускника, тематика экзаменационных вопросов и заданий должна быть комплексной и соответствовать избранным разделам из различных учебных дисциплин, формирующих конкретные компетенции.

Например, в экзаменационное задание (вопрос) могут входить элементы нескольких дисциплин (модулей) общенаучного, и профессионального циклов.

На государственном экзамене могут контролироваться как отдельные компетенции, так и элементы различных компетенций.

Государственный экзамен может проводиться в письменной, устной и смешанной форме. Экзаменационные билеты включают несколько вопросов из представленного перечня дисциплин. Один из вопросов рекомендуется делать комплексным, ситуационным или представляющим задание практического характера. Перед итоговым экзаменом предполагается предэкзаменационная консультация и выделение времени на подготовку к экзамену не менее 7 дней. Для подготовки студентов к государственному экзамену разрабатывается программа, где должна быть отражена процедура подготовки и проведения государственного экзамена, критерии оценки.

В содержание программы включается перечень вопросов и заданий, выносимых на экзамен, и позволяющих оценить результаты обучения.

Подготовка к защите ВКР

Выпускная квалификационная работа (ВКР) представляет собой самостоятельную и логически завершенную выпускную квалификационную работу, связанную с решением задач того вида (видов) деятельности, к которым готовится студент (научно-исследовательской, научно-педагогической, проектной, технологической, исполнительской, творческой, организаторской и другим).

Выпускник должен не только подготовить ВКР, но и уметь защитить ее на итоговой государственной аттестации.

При подготовке к защите необходимо:

- повторить основные требования руководящих документов на текущий год по теме ВКР;
- подготовить все графические иллюстрации; составить доклад для устного изложения;
- изучить отзыв и рецензию на ВКР, подготовить ответы на замечания рецензента и окончательно уточнить свой доклад;
- ознакомиться с новыми руководящими документами и литературой по вопросам ВКР, а также с последними изменениями по вопросам теплогазоснабжения и вентиляции;
- провести предварительную защиту.

Демонстрационные материалы представляются по согласованию с руководителем.

Подготовка выпускником доклада по выполненной ВКР является важным этапом подготовки к защите. К подготовке доклада приступают после оформления пояснительной записки (текстуальной части) ВКР, запланированных в задании графических документов и разработки иллюстративного материала.

По времени доклад должен занимать 10...12 минут. За это время можно изложить 5...8 страниц машинописного текста доклада.

В докладе отражается: актуальность темы работы; теоретические положения, на которых базируется ВКР; результаты проведенного анализа изучаемой проблемы; конкретные предложения по деятельности соответствующих органов; дается разъяснение и убедительное обоснование положений и выводов по этим вопросам, исходя из полученных результатов. Особое внимание необходимо сосредоточить на собственных разработках и предложениях.

Доклад при защите ВКР может быть построен по следующей схеме: вначале излагается наименование темы, актуальность, раскрывается цель и задачи исследования, затем в необходимой логической последовательности докладывается содержание важнейших узловых вопросов темы и делается заключение. При изложении основного содержания ВКР следует показать постановку задач на исследование заданных вопросов, методику решения поставленных задач, основные результаты и выводы, к которым пришел выпускник в ходе выполнения выпускной квалификационной работы.

Основные выводы и предложения обосновываются необходимыми расчетами и примерами из практики.

В заключительной части доклада указывается, как достигнуты цели ВКР, что сделано и разработано, что нового выпускник предложил в результате выполнения ВКР, основные результаты работы и где они могут быть использованы.

Доклад строят с учетом графического материала (Чертежи, схемы, диаграммы и т.д.). Текст доклада согласовывается с руководителем.

Написанный доклад представляется руководителю для просмотра.

Текст доклада отрабатывают таким образом, чтобы его можно было излагать на память. Чтение доклада нежелательно, оно может привести к снижению оценки выпускной квалификационной работы.

7. Критерии оценки самостоятельной работы

Компетенции (знания, умения и навыки) студентов оцениваются оценками:

- «отлично»;
- «хорошо»;
- «удовлетворительно»;
- «неудовлетворительно»;
- «зачтено»;
- «не зачтено».

Зачеты оцениваются отметкой: «зачтено», «не зачтено».

Зачеты с оценкой оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

По курсовым работам (проектам) в обязательном порядке выставляется зачет с оценкой.

Экзамены оцениваются по пятибалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

Основные критерии оценивания компетенций:

Отметка «зачтено» ставится студентам, успешно обучающимся по данной дисциплине в семестре и не имеющим задолженностей по результатам текущего контроля успеваемости.

Отметка «не зачтено» ставится студенту, имеющему задолженности по результатам текущего контроля успеваемости по данной дисциплине.

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в

ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся после начала экзамена отказался его сдавать.

Оценка «неудовлетворительно» проставляется только в экзаменационную ведомость, в зачетную книжку студента проставлять отметку «неудовлетворительно» не разрешается.

Критерии оценки уровня обученности и уровня сформированности компетенций по дисциплине устанавливает кафедра и отражает их в рабочей программе и фондах оценочных средств дисциплины.

Ответственность за единообразие требований, предъявляемых на экзаменах, несет заведующий кафедрой. По дисциплинам, изучаемым в течение двух и более семестров, итоговой оценкой является оценка, полученная на последнем экзамене.

Заключение

Самостоятельная работа всегда завершается какими-либо результатами. Таким образом, широкое использование методов самостоятельной работы, побуждающих к мыслительной и практической деятельности, развивает столь важные интеллектуальные качества человека, обеспечивающие в дальнейшем его стремление к постоянному овладению знаниями и применению их на практике.