

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра теплоэнергетики

Е. Ю. Темникова, Е. К. Непомнящих

ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

**Методические указания к лабораторным занятиям
и самостоятельной работе для студентов всех форм обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 08.05.01 «Строительство
уникальных зданий и сооружений»
в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2017

Рецензенты:

Богомолов А. Р. – доктор технических наук, заведующий кафедрой теплоэнергетики

Покатилов А. В. – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений»

Темникова Елена Юрьевна

Непомнящих Егор Константинович

Техническая теплотехника [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторным занятиям и самостоятельной работе для студентов направления подготовки 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», профиль «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений», всех форм обучения / Е. Ю. Темникова, Е. К. Непомнящих КузГТУ. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows 2003. – Загл. с экрана.

Методические указания к лабораторным работам составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины и предназначены для студентов направления подготовки 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений», профиль «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений» всех форм обучения. В методические указания к лабораторным работам включены теоретические положения, описание оборудования, порядок проведения работ, обработка результатов, контрольные вопросы. Для самостоятельной работы предусмотрены задачи.

© КузГТУ, 2017

© Темникова Е. Ю.,

Непомнящих Е. К., 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Определение коэффициента теплопроводности твердого материала	3
Лабораторная работа № 2. Расчет термического сопротивления теплопередачи при стационарном режиме	10
Лабораторная работа № 3. Экспериментальное исследование параметров микроклимата отапливаемого помещения	20
Лабораторная работа № 4. Тепловой режим главной столовой КузГТУ	29
Самостоятельная работа	44

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА

ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДОГО МАТЕРИАЛА

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является экспериментальное определение коэффициента теплопроводности твердого материала методом неограниченного цилиндрического слоя и закрепление знаний по основам теории теплопроводности.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Существует три способа передачи тепла – конвекцией, теплопроводностью и тепловым излучением.

Теплопроводность – это перенос тепловой энергии частицами вещества (молекулами, атомами, ионами) в процессе их теплового движения. Явление теплопроводности заключается в том, что кинетическая энергия атомов и молекул, которая определяет температуру тела, передается другому телу при их взаимодействии из более нагретых областей тела к менее нагретым областям.

Механизм распространения тепла теплопроводностью зависит рода тела. В газах и жидкостях он происходит путем соударения частиц между собой, а также посредством диффузии молекул и атомов. В металлах теплопроводность осуществляется в результате диффузии свободных электронов и частично – упругих колебаний кристаллической решетки. В твердых телах – диэлектриках, в основном, за счет упругих колебаний кристаллической решетки.

В общем случае процесс передачи тепла теплопроводностью в твердом теле сопровождается изменением температуры в пространстве и во времени. Значение температуры в любой точке пространства, определяемой координатами x , y , z в каждый момент времени τ может быть описано уравнением

$$t = t(x, y, z, \tau),$$

которое представляет собой математическое выражение температурного поля в его наиболее общем виде, когда температура меняется вдоль всех координатных осей, а также с течением времени. Такое температурное поле называют трехмерным нестационарным.

нарным. *Температурное поле* – совокупность значений температуры во всех точках изучаемого пространства для каждого момента времени.

Если $\partial t / \partial \tau = 0$, то температура каждой точки с течением времени не изменяется, то такое поле называется *трехмерным стационарным*, т.е.

$$t = t(x, y, z).$$

Целью решения задач теплопроводности является определение температурного поля.

Если соединить точки тела, имеющие одинаковую температуру, то получим поверхность равных температур – *изотермическую поверхность* – геометрическое место точек с одинаковой температурой. Свойства изотермических поверхностей: в однородном изотропном теле изотермические поверхности непрерывны; изотермические поверхности не пересекаются.

Для того чтобы оценить, насколько резко меняется температура внутри тела, используют понятие температурного градиента:

$$\text{grad } t = \frac{\partial t}{\partial n}.$$

Температурный градиент – вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону роста температуры, К/м.

Тепловой поток передается в обратном направлении. В случае стационарного температурного поля количество тепла (Вт), переданного в единицу времени путем теплопроводности через площадь, перпендикулярную градиенту температуры, описывается простым уравнением, предложенным **Фурье** в 1822 г.:

$$Q = -\lambda \frac{dt}{dn} F.$$

В практике теплотехнических расчетов широко пользуются термином плотности теплового потока [Вт/м²]

$$q = \frac{Q}{F} = -\lambda \frac{dt}{dn}.$$

Тепло, в соответствии со вторым началом термодинамики, самопроизвольно передается лишь в направлении убывания температуры, что объясняет знак «минус».

Коэффициент λ , входящий в эти уравнения, носит название коэффициента теплопроводности. Физический смысл и единицы измерения коэффициента теплопроводности λ можно определить, выразив из уравнения и получив

$$\lambda = \frac{-Q}{\frac{dt}{dn} F} = \left[\frac{\text{Вт}}{\frac{\text{К}}{\text{м}} \cdot \text{м}^2} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{К} \cdot \text{м}} \right] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{К}}{\text{м}}} \right].$$

Коэффициент теплопроводности – теплофизическое свойство вещества, характеризует способность вещества проводить теплоту в единицу времени через единицу площади, перпендикулярную $\text{grad } t$, при его значении равным 1.

Для различных веществ коэффициент теплопроводности λ различен и зависит от природы вещества, температуры, влажности, давления.

Наибольшую величину имеет коэффициент теплопроводности металлов, для которых $\lambda \approx 20 \div 400 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Из металлов наиболее теплопроводным является серебро с коэффициентом теплопроводности $\lambda \approx 420 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, затем идут чистая медь $\lambda \approx 395 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, золото $\lambda \approx 311 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ и т.д. Для большинства металлов рост температуры приводит к уменьшению коэффициента теплопроводности. Следует отметить, что для сплавов, в отличие от чистых металлов, характерно увеличение коэффициент теплопроводности с повышением температуры.

Величина коэффициента теплопроводности строительных и теплоизоляционных материалов-диэлектриков во много раз меньше, чем у металлов и составляет $\lambda \approx 0,02 \div 3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Для подавляющего большинства из них с ростом температуры λ увеличивается. Вещество называют *тепловым изолятором* если $\lambda < 0,25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.

Коэффициент теплопроводности жидкостей лежит в пределах $0,07 \div 0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. При этом для большинства жидкостей с повышением температуры λ убывает. Исключение составляет вода и глицерин.

Коэффициент теплопроводности газов еще ниже $\lambda \approx 0,006 \div 0,6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Коэффициент теплопроводности газов растет с повышением температуры. Коэффициент теплопровод-

ности газов от давления практически не зависит, исключение составляет λ при очень малых и очень больших значениях давления. Следует иметь в виду, что для смеси газов (дымовые газы, атмосфера термических печей и т.п.) расчетным путем определить λ невозможно. Поэтому при отсутствии справочных данных достоверная величина λ может быть найдена лишь опытным путем.

Закон распределения температуры в дифференциальной форме для твердых изотропных тел без внутренних источников теплоты выглядит как:

$$\frac{dt}{d\tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right),$$

где τ – время; x, y, z – координаты точки тела; t – температура этой точки в данный момент времени; $a = \frac{\lambda}{c\rho}$ – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; c, ρ – удельная теплоемкость и плотность вещества, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, $\text{кг}/\text{м}^3$.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Установка для определения коэффициента теплопроводности (рис. 1) состоит из асбестовой трубы 1, закрытой с торцов заглушками 2 для исключения потоков теплоты в осевом направлении. Внутри трубы вмонтирован электрический нагреватель 3, мощность которого определяется по показаниям амперметра 6 и вольтметра 7. Для изменения потребляемой мощности нагревателя имеется лабораторный автотрансформатор. Выделяемое нагревателем тепло отдается в окружающую среду через стенки трубы в радиальном направлении.

Температура внутренней t_{C1} и наружной t_{C2} поверхности трубы измеряется с помощью термопар 4 и измерителя 5.

Порядок выполнения работы следующий. Включается в сеть автотрансформатор 6 (рис. 1) и на нагревательном элементе 3 устанавливается величина силы тока I (по указанию преподавателя или лаборанта).

При достижении установившегося теплового режима (когда температуры поверхности стенок не будут изменяться с течением

времени) фиксируются и заносятся в табл. 1 значения следующих величин: силы тока I , напряжения U , показания термодатчиков t_{C1} , t_{C2} .

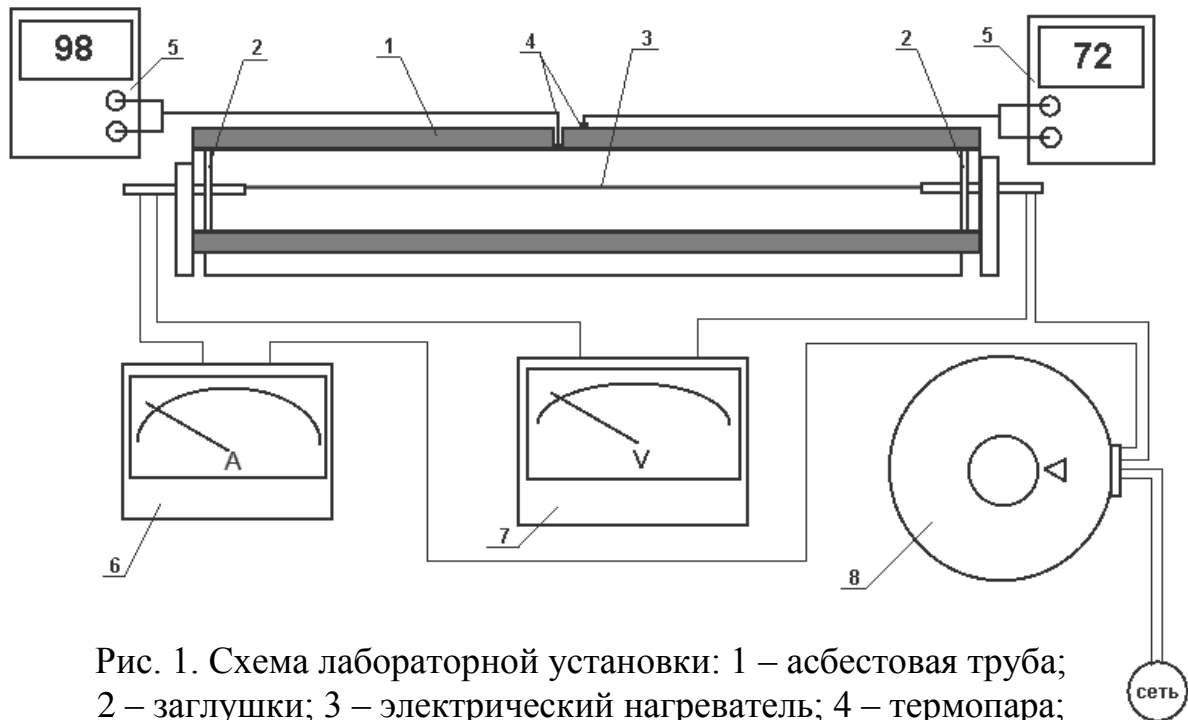


Рис. 1. Схема лабораторной установки: 1 – асбестовая труба; 2 – заглушки; 3 – электрический нагреватель; 4 – термопара; 5 – измеритель; 6 – амперметр; 7 – вольтметр; 8 – автотрансформатор

Затем величину силы тока I изменяют с помощью лабораторного трансформатора, вновь дожидаются установления стационарного теплового режима и опять снимают показания величин I , U , t_{C1} , t_{C2} .

Основные размеры асбестовой трубы приведены в табл. 2.

Таблица 1

I	U	Q	t_{C1}	t_{C2}	λ	δ_1	δ_2	t_1	t_2
А	В	Вт	°С	°С	Вт/(м·К)	м	м	°С	°С

Таблица 2

Наименование	Обозначение, единицы измерения	Значение
Внутренний диаметр	d_B , м	0,090
Наружный диаметр	d_H , м	0,110
Длина	l , м	0,655

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Определяют мощность нагревательного элемента, Вт

$$Q = UI.$$

2. Вычисляют значение коэффициента теплопроводности материала трубы по уравнению Фурье для плоской стенки, так как в данном случае отношение радиусов составляет менее 1,8, то можно цилиндрическую трубу считать плоской стенкой. Для граничных условий 1-го рода коэффициент теплопроводности

$$\lambda = \frac{Q\delta}{F(t_{C1} - t_{C2})},$$

где Q – тепловой поток, Вт; $F = \pi d_{CP} l$ – площадь поверхности теплообмена, м²; l – длина трубы, м; $d_{CP} = \frac{d_B + d_H}{2}$ – средний диаметр трубы, м; d_B , d_H – соответственно внутренний и наружный диаметры трубы, м; $\delta = \frac{d_B - d_H}{2}$ – толщина стенки трубы, м; t_{C1} , t_{C2} – значения температур внутренней и наружной поверхностей трубы, °С.

3. Используя полученные значения Q , λ , t_{C1} , t_{C2} , рассчитывают температуры t_1 и t_2 изотермических поверхностей, на расстоянии δ_1 и δ_2 (задаются преподавателем)

$$t_1 = t_{C1} - \frac{Q}{\lambda F} \delta_1, \quad t_2 = t_{C1} - \frac{Q}{\lambda F} \delta_2.$$

4. Результаты вычислений заносятся в табл. 1.

5. Строится график изменения температуры по толщине стенки $t = f(\delta)$, пример см. рис. 2.

5. ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1. К работе допускаются студенты, прошедшие общий инструктаж по технике безопасности.

2. Следить, чтобы параметры электрической нагрузки (напряжение и сила тока) не превышали предельных значений, указанных на пультах установок или преподавателем.

3. Не оставлять без присмотра установку, находящуюся под напряжением.

4. При появлении пробоев изоляции, запаха гари и т.п. немедленно прекратить работу на установке и позвать преподавателя или лаборанта.

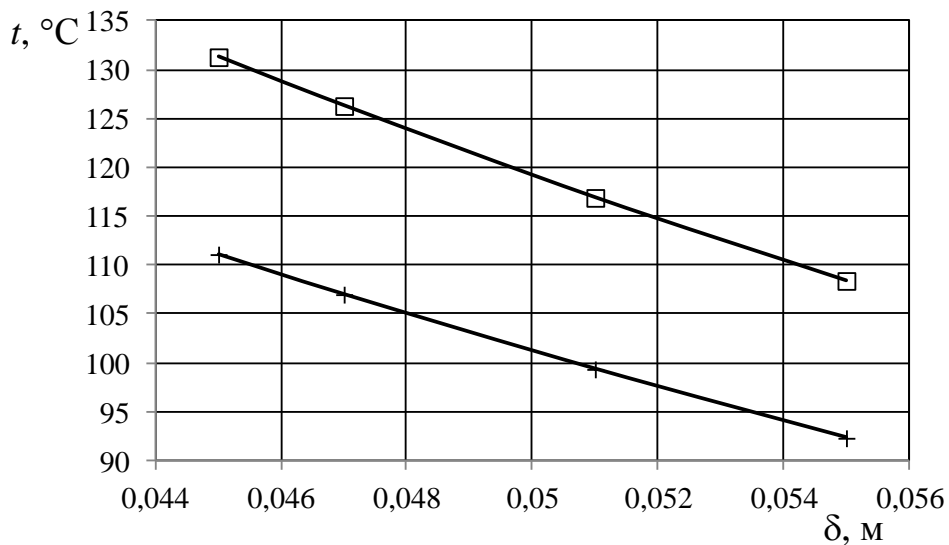


Рис. 2. Изменение температуры по толщине стенки трубы

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах формата А4 с рамками и штампами и должен содержать:

- 1) титульный лист установленной формы;
- 2) цель работы, кратко изложенные теоретические положения;
- 3) принципиальную схему лабораторного стенда с основными техническими параметрами;
- 4) таблицу измеренных и рассчитанных величин;
- 5) обработку результатов опыта;
- 6) график зависимости $t = f(\delta)$;
- 7) выводы по работе.

Чертежи, схемы и таблицу следует оформлять в соответствии с действующими стандартами и ГОСТами.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое коэффициент теплопроводности?
2. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
3. Условие однозначности для процесса теплопроводности.
4. Граничные условия, способы их задания.
5. Уравнение для определения теплового потока через плоскую стенку при граничных условиях 1-го рода.

6. Тепловая проводимость и термическое сопротивление
стенки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

РАСЧЕТ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ СТАЦИОНАРНОМ РЕЖИМЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является практическое изучение процессов теплообмена на действующей установке, экспериментальное исследование процесса теплопередачи и освоение методики расчета теплообменника «труба в трубе».

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Теплообменники типа «труба в трубе» широко используются в промышленности.

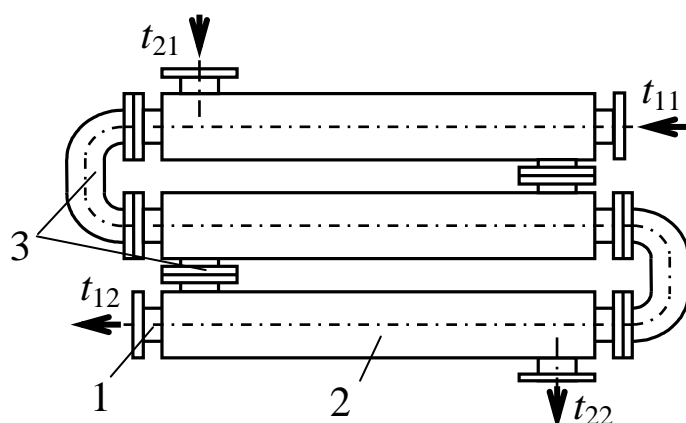


Рис. 1. Теплообменник «труба в трубе»:

1 – внутренняя труба; 2 – наружная труба; 3 – патрубки

дополнительных секций.

Теплообменник «труба в трубе» (рис. 1) представляет собой трубу 1, концентрически размещенную в трубе 2 большего диаметра с патрубками 3 на концах для подвода теплоносителей от одной секции к другой. Тепло передается от одного теплоносителя к другому через цилиндрическую стенку (рис. 2). Тепловой поток, переданный через стенку, прямо пропорционален движущей силе процесса – средней разности температур между теплоносителями и обратно пропорционален термическому сопротивлению теплопередачи:

$$Q = \frac{\overline{\Delta t} F}{R} = k F \overline{\Delta t}, \quad (1)$$

Преимущество таких теплообменников заключается в разнообразии компоновок, они могут быть быстро собраны из стандартных элементов. При необходимости поверхность теплообмена может быть увеличена за счет установки дополни-

где Q – тепловой поток, Вт; $\overline{\Delta t}$ – средняя разность температур теплоносителей (температурный напор), °С; R – термическое сопротивление теплопередачи, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$; F – площадь теплопередающей поверхности, м^2 .

Термическое сопротивление теплопередачи складывается из термического сопротивления теплоотдачи от горячего теплоносителя к стенке трубы,

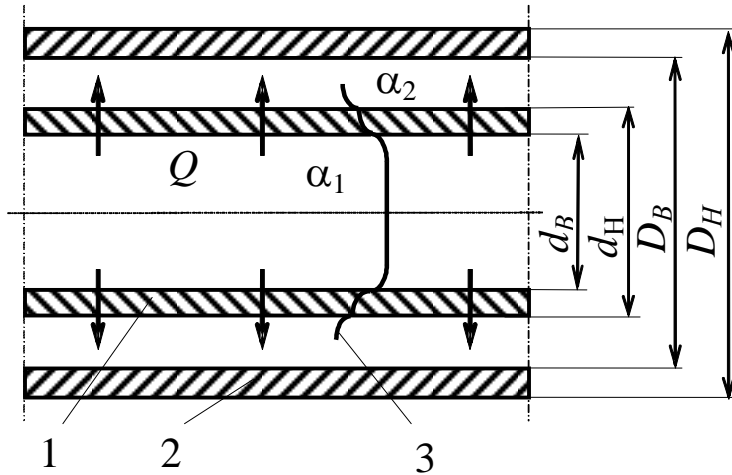


Рис. 2. Теплопередача через цилиндрическую стенку:

1 – внутренняя труба; 2 – кольцевой канал; 3 – профиль температуры

термического сопротивления стенки и термического сопротивления теплоотдачи от стенки трубы к холодному теплоносителю. Кривизной цилиндрической стенки можно пренебречь, когда отношение наружного диаметра к внутреннему меньше 1,8. И при расчете термического сопротивления теплопередачи принять что стенка плоская., тогда цилиндрической стенки плотность теплового потока относят к внутренней или наружной поверхности стенки. Термическое сопротивление теплопередачи цилиндрической стенки, отнесенное к единице внутренней поверхности стенки, равно

$$R = R_{\alpha_1} + R_{\lambda} + R_{\alpha_2} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_T}{\lambda_T} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (2)$$

где α_1 – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя, протекающего во внутренней трубе, к внутренней поверхности трубы, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; α_2 – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы к теплоносителю, протекающему в кольцевом канале, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; λ_T – коэффициент теплопроводности материала внутренней трубы (для стали 46,5 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$), $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; δ_T – толщина стенки внутренней трубы, м.

Коэффициент k , обратный термическому сопротивлению теплопередачи, называется коэффициентом теплопередачи и рассчитывается по зависимости:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_T}{\lambda_T} + \frac{1}{\alpha_2}}. \quad (3)$$

Средняя разность температур определяется как среднелогарифмическая:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \quad (4)$$

где Δt_{δ} – большая разность температур теплоносителей, °С; $\Delta t_{\text{м}}$ – меньшая разность температур теплоносителей, °С.

Коэффициент теплоотдачи α **при развитом турбулентном течении** в трубах и каналах ($Re > 10^4$) равен

$$\alpha = 0,021 \frac{\lambda}{d} Re^{0,8} Pr^{0,43}, \quad (5)$$

где $Re = \frac{\omega d \rho}{\mu}$ – критерий Рейнольдса; $Pr = \frac{c_p \mu}{\lambda}$ – критерий

Прандтля; ω – средняя скорость движения теплоносителя, м/с; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; λ – теплопроводность теплоносителя, Вт/(м·К); c_p – изобарная теплоемкость теплоносителя, Дж/(кг·К); μ – коэффициент динамической вязкости теплоносителя, Па·с; d – эквивалентный диаметр, для *трубы круглого сечения* равен внутреннему диаметру трубы $d_{\text{в}}$, для *кольцевого канала* $d = D_{\text{в}} - d_{\text{н}}$, м.

Определяющая температура – средняя температура теплоносителя. Теплофизические свойства теплоносителей в зависимости от температуры приведены в Приложении.

Тепловой поток, отданный горячим теплоносителем, равен

$$Q_1 = c_{p1} G_1 |t_{11} - t_{12}|, \quad (6)$$

а полученный холодным теплоносителем

$$Q_2 = c_{p2} G_2 |t_{21} - t_{22}|, \quad (7)$$

где G_1, G_2 – массовые расходы горячего и холодного теплоносителей соответственно, кг/с; t_{11}, t_{12} – температура на входе и выходе горячего теплоносителя, °С; t_{21}, t_{22} – температура на входе и выходе холодного теплоносителя, °С.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Схема лабораторной установки представлена на рис. 3. Теплообменник «труба в трубе» состоит из 4-х секций, расположенных горизонтально. Секции 1 состоят из наружной трубы большого диаметра 2, и внутри этой трубы проходит труба меньшего диаметра 3, по которой протекает горячая вода. Между наружной и внутренней трубами образуется кольцевой зазор 4, по которому протекает холодная вода (см. сечение А-А). Секции теплообменника соединяются коленами 5, выполненными без теплоизоляции.

В установку из системы холодного водоснабжения подается холодная вода (ХВ), из системы отопления – горячая (ГВ). Расход холодной воды регулируется вентилем 6, горячей – вентилем 7. Расходы холодной и горячей воды измеряются счетчиками 8 и 9.

Холодный поток воды поступает в теплообменник и движется по кольцевому зазору между наружной поверхностью трубы 3 и внутренней поверхностью наружной трубы 2 (см. сечение А-А), называемому межтрубное пространство. Направление движения холодной воды можно изменять вентилями 10, 11, 12, 13 блока управления режимами и схемами движения. Горячая вода подается в малую внутреннюю трубу и движется по трубному пространству. В процессе теплообмена холодная вода нагревается, а горячая охлаждается. Температуры холодного и горячего теплоносителей на входе и выходе теплообменника измеряют термометрами или термопарами, подключенными к показывающим измерителям-регуляторам фирмы «ОВЕН» 14, 15 – холодной воды; 16, 17 – горячей воды.

В табл. 1 представлены основные размеры теплообменного аппарата «труба в трубе».

В ходе выполнения лабораторной работы производят следующие измерения: расходы холодной и горячей воды с помощью счетчиков 8 и 9 за определенное время. Также измеряют температуры холодного и горячего теплоносителей на входе и выходе теплообменника термопарами. Измерения заносят в табл. 1 Приложения.

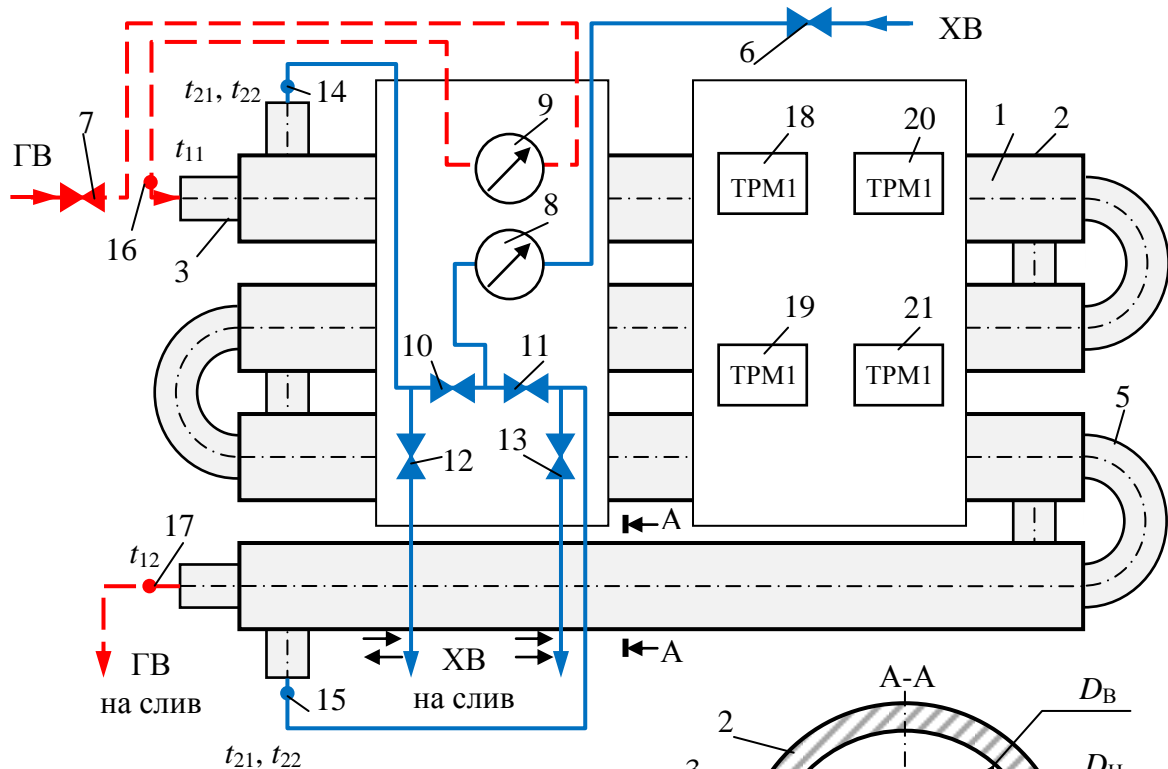


Рис. 3. Схема лабораторной установки «теплообменник «труба в трубе»:

1 – секция теплообменника; 2 – наружная труба; 3 – внутренняя труба; 4 – кольцевой зазор; 5 – соединительное колено; 6 – вентиль подачи; 7 – вентиль подачи горячей воды;

8, 9 – счетчики холодной и горячей воды; 10, 11, 12, 13 – вентили задания схемы движения (прямоток, противоток); 14, 15 – термометры холодной воды; 16, 17 – термометры горячей воды; 18 – измеритель регулятор холодной воды (вход – прямоток; выход – противоток); 19 – измеритель регулятор холодной воды (при прямотоке – на выходе; при противотоке – на входе); 20, 21 – измеритель регулятор горячей воды на входе и выходе; ГВ – горячая вода; ХВ – холодная вода

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Уточняем индексы у теплоносителей и место их движения (пространство теплообменного аппарата).

Индекс	Теплоноситель	Пространство теплообменника
1	горячая вода	трубное пространство
2	холодная вода	межтрубное пространство

2. По показаниям счетчиков определяют объемные расходы теплоносителей, $\text{м}^3/\text{с}$,

$$V_1 = \frac{10^{-3}b_1}{\tau_1}; V_2 = \frac{10^{-3}b_2}{\tau_2}.$$

3. Из геометрических размеров теплообменника (табл. 1) рассчитывают площадь сечения каждого потока, м²,

$$S_1 = \frac{\pi d_B^2}{4}; S_2 = \frac{\pi(D_B^2 - d_H^2)}{4}.$$

Таблица 1

Наименование элемента	Размер
Наружная труба	
- наружный диаметр, D_H , м	0,048
- внутренний диаметр, D_B , м	0,040
- толщина стенки, δ_H , м	0,004
- длина секции аппарата, L_1 , м	1,0
- общая длина аппарата, L , м	4,0
Внутренняя труба	
- наружный диаметр, d_H , м	0,025
- внутренний диаметр, d_B , м	0,020
- толщина стенки, δ_B , м	0,0025

4. Вычисляют скорости движения теплоносителей, м/с,

$$\omega_1 = \frac{V_1}{S_1}; \omega_2 = \frac{V_2}{S_2}.$$

5. Находят определяющие температуры теплоносителей, °С,

$$\bar{t}_1 = \frac{t_{11} + t_{12}}{2}; \bar{t}_2 = \frac{t_{21} + t_{22}}{2}.$$

6. Массовые расходы рассчитывают через объемные, кг/с,

$$G_1 = V_1 \rho_1; G_2 = V_2 \rho_2,$$

где ρ_1 и ρ_2 – плотность воды в зависимости от определяющей температуры берут из табл. 3 приложения, кг/м³.

Критерии Re_1 и Re_2 для теплоносителей во внутренней трубе и кольцевом канале теплообменника находят как

$$Re_1 = \frac{\omega_1 d_1 \rho_1}{\mu_1}; Re_2 = \frac{\omega_2 d_2 \rho_2}{\mu_2}.$$

где μ_1 и μ_2 – динамический коэффициент вязкости в зависимости от определяющей температуры (табл. 3 приложения), Па·с; определяющий размер – см. описание уравнения (5).

2. По значениям критерия Рейнольдса определяют режим движения теплоносителя (турбулентный) и рассчитывают коэффициенты теплоотдачи α_1 во внутренней трубе и α_2 в кольцевом канале по формуле (5). Все теплофизические свойства берут из табл. 3 приложения.

3. Вычисляют термическое сопротивление по уравнению (2) расчетный коэффициент теплопередачи k по формуле (3), среднюю разность температур по формуле (4).

4. По формуле (1) рассчитывают тепловой поток Q , переданный через стенку трубы от одного теплоносителя к другому, где $F = \pi d_b L$. Вычисляют количества тепла Q_1 , отданное горячим теплоносителем, по формуле (6) и Q_2 , полученное холодным теплоносителем, по уравнению (7).

5. Полученные данные заносят в табл. 2 Приложения.

6. Выводы формулируются по значениям теплового потока Q , переданного через стенку трубы от одного теплоносителя к другому, количеству теплоты Q_1 , отданное горячим теплоносителем, и Q_2 , полученное холодным теплоносителем.

5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Запрещается:

1. Производить исправления в электросхеме, находящейся под напряжением.
2. Оставлять работающий лабораторный стенд, находящийся под напряжением без присмотра.
3. Работать с незаземленным оборудованием.
4. Касаться проводников, металлических клемм и других деталей, находящихся под электрическим напряжением.
5. Если возникло возгорание, следует немедленно обесточить лабораторную установку, вызвать пожарную команду и тушить огонь только углекислотным огнетушителем.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах бумаги формата А4 в соответствии со стандартами. Отчет должен содержать:

- а) титульный лист установленной формы;
- б) краткое изложение теоретических положений;
- в) принципиальную схему установки;

- г) таблицы измеренных и рассчитанных величин;
- д) обработку результатов опыта;
- е) выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Расчет теплопередачи и термического сопротивления через плоскую стенку при граничных условиях третьего рода.
2. Движущая сила процесса теплопередачи, термическое сопротивление процессу.
3. Расчет среднего температурного напора между теплоносителями при прямотоке, противотоке, перекрестном и смешанном токе.
4. Как выбирается определяющая температура, что такое определяющий размер?
5. Назовите основное уравнение теплопередачи, поясните. Дайте определение коэффициенту теплопередачи.
6. Смысл критерия Нуссельта.
7. Что характеризует критерий Прандтля?

8. ЛИТЕРАТУРА

1. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Измеряемые величины

Схема движения	Горячий теплоноситель				Холодный теплоноситель			
	$t_{11}, ^\circ\text{C}$	$t_{12}, ^\circ\text{C}$	показание счетчика $b_1, \text{л}$	время $\tau_1, \text{с}$	$t_{21}, ^\circ\text{C}$	$t_{22}, ^\circ\text{C}$	показание счетчика $b_2, \text{л}$	время $\tau_2, \text{с}$

Таблица 2

Расчетные величины

Горячий теплоноситель	Объемный расход $V_1, \text{м}^3/\text{с}$	
	Площадь сечения потока $S_1, \text{м}^2$	
	Определяющая температура $\bar{t}_1, ^\circ\text{C}$	
	Массовый расход $G_1, \text{кг/с}$	
	Скорость потока $\omega_1, \text{м/с}$	
	Критерий Рейнольдса Re_1	
	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_1, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	
	Количество выделившейся теплоты $Q_1, \text{Вт}$	
Холодный теплоноситель	Объемный расход $V_2, \text{м}^3/\text{с}$	
	Площадь сечения потока $S_2, \text{м}^2$	
	Определяющая температура $\bar{t}_2, ^\circ\text{C}$	
	Массовый расход $G_2, \text{кг/с}$	
	Скорость потока $\omega_2, \text{м/с}$	
	Критерий Рейнольдса Re_2	
	Коэффициент теплоотдачи $\alpha_2, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$	
	Количество воспринятой теплоты $Q_2, \text{Вт}$	
Коэффициент теплопередачи $k, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$		
Термическое сопротивление теплопередачи $R, (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$		
Средний температурный напор $\bar{\Delta t}, \text{К}$		
Площадь поверхности теплообмена $F, \text{м}^2$		
Тепловой поток, переданный через стенку, $Q, \text{Вт}$		

Таблица 3

Теплофизические свойства воды в зависимости от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\mu, \text{мПа}\cdot\text{с}$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$\mu, \text{мПа}\cdot\text{с}$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{K)}$	$\lambda, \text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$
0	999,8	1,792	4,217	0,5609	36	993,7	0,7085	4,179	0,6247
1	999,9	1,731	4,215	0,5628	38	993,0	0,6814	4,179	0,6277
2	999,9	1,673	4,212	0,5647	40	992,3	0,6560	4,179	0,6307
3	1000,0	1,619	4,210	0,5667	42	991,5	0,6321	4,179	0,6333
4	1000,0	1,567	4,207	0,5686	44	990,7	0,6097	4,180	0,6359
5	1000,0	1,519	4,205	0,5705	46	989,8	0,5883	4,180	0,6384
6	1000,0	1,473	4,202	0,5724	48	988,9	0,5683	4,181	0,6410
7	999,9	1,428	4,200	0,5743	50	988,0	0,5494	4,181	0,6436
8	999,9	1,386	4,197	0,5763	52	987,1	0,5315	4,182	0,6457
9	999,8	1,346	4,195	0,5782	54	986,2	0,5146	4,183	0,6479
10	999,7	1,308	4,192	0,5801	56	985,2	0,4985	4,183	0,6500
12	999,6	1,236	4,190	0,5838	58	984,2	0,4832	4,184	0,6522
14	999,3	1,171	4,188	0,5875	60	983,2	0,4688	4,185	0,6543
16	999,0	1,111	4,186	0,5911	62	982,1	0,4550	4,186	0,6560
18	998,7	1,056	4,184	0,5948	64	981,1	0,4418	4,187	0,6578
20	998,3	1,005	4,182	0,5985	66	979,9	0,4293	4,188	0,6595
22	997,8	0,9579	4,181	0,6019	68	978,8	0,4174	4,189	0,6613
24	997,4	0,9142	4,180	0,6053	70	977,7	0,4061	4,190	0,6630
26	996,8	0,8737	4,180	0,6088	72	976,5	0,3952	4,191	0,6644
28	996,3	0,8360	4,179	0,6122	74	975,3	0,3849	4,192	0,6657
30	995,7	0,8007	4,178	0,6156	76	974,1	0,3750	4,194	0,6671
32	995,1	0,7679	4,178	0,6186	78	972,9	0,3655	4,195	0,6684
34	994,4	0,7371	4,178	0,6216	80	971,6	0,3565	4,196	0,6698

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОКЛИМАТА ОТАПЛИВАЕМОГО ПОМЕЩЕНИЯ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является определение параметров микроклимата и их соответствия нормативным характеристикам и показателям, обеспечивающим тепловой комфорт в помещении.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

При эксплуатации зданий основным показателем является тепловой режим помещений, от которого в большей степени зависит ощущение комфорта людьми, нормальное протекание производственных процессов, состояние и долговечность конструкций здания и его оборудования. **Тепловой режим в помещении создается совместным действием ряда факторов:** температуры внутреннего воздуха t_v , скорости движения воздуха ω и относительной влажности ϕ помещения, наличием струйных течений, распределением параметров воздуха как в плане, так и по высоте помещения, а также радиационным излучением окружающих поверхностей. Равномерность распределения температуры воздуха в помещении является одной из важных характеристик комфортных условий микроклимата. Наилучшими для пребывания человека являются помещения, в которых температурный перепад во всех плоскостях минимален. Так, например, в жилых помещениях температурный перепад в пространстве в различных точках не должен превышать для оптимальных показателей 2 °С, а для допустимых 3 °С.

В связи с особенностями теплообмена все поверхности в помещении можно разделить на три характерные группы: охлаждающие, нагревающие и нейтральные.

Охлаждающими в зимний период года будут внутренние поверхности наружных ограждений, нагревающими - поверхности отопительных приборов. К нейтральным можно отнести поверхности внутренних стен и перекрытий.

Радиационная температура помещения t_R – это осредненная по площади температура внутренних поверхностей ограждений помещения и отопительных приборов.

Для инженерных расчетов t_R допускается определять по уравнению

$$t_R = \frac{\sum F_i t_{\Pi i}}{\sum F_i}, \quad (1)$$

где F_i – площади внутренних ограждений помещения, м^2 ; $t_{\Pi i}$ – температура соответствующей внутренней поверхности, $^{\circ}\text{C}$.

На основании анализа уравнения лучисто-конвективного теплообмена человека с окружающей средой и внутренними ограждениями помещения было установлено, что для большинства помещений жилых и общественных зданий для холодного периода года t_R допускается рассчитывать как

$$t_R = 29 - 0,57 t_B \quad (2)$$

с возможными отклонениями в пределах $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$. Здесь t_B – температура воздуха в рабочей зоне помещения.

Показателем температурного уровня, определяющего тепловые условия как комфортные, является результирующая температура t_K , рассчитываемая при скорости движения воздуха до $0,2 \text{ м/с}$

$$t_K = \frac{t_R + t_B}{2}, \quad (3)$$

при скорости движения воздуха от $0,2$ до $0,6 \text{ м/с}$

$$t_K = 0,6 t_R + 0,4 t_B. \quad (4)$$

Эта температура должна быть примерно на 1°C ниже нормативной расчетной температуры внутреннего воздуха для конвективных систем отопления.

Повышенная относительная влажность внутреннего воздуха влияет не только на комфортные условия, но и на долговечность оборудования, мебели и ограждающих конструкций, так как при высокой относительной влажности может происходить конденсация водяных паров, как на внутренних поверхностях ограждений, так и внутри наружного ограждения.

Для жилых и общественных зданий относительная влажность (по нормам) должна быть в пределах 45–60 %, а скорость движения воздуха 0,1–0,3 м/с.

Степень равномерности температуры воздуха по объему помещения зависит от ряда факторов: особенности отопительно-вентиляционной системы, тепловыделений от людей, оборудования и других источников, теплозащитных качеств ограждающих конструкций, количества наружных ограждений и доли в них светопрозрачных ограждений, воздухопроницаемости наружных ограждений и расположения помещений по этажам.

Многообразие и непрерывная изменчивость факторов не позволяют установить простое математическое выражение зависимости от них температуры, скорости и др. в различных точках помещения.

Влияние каждого параметра микроклимата помещения на комфортные условия можно приближенно выразить формулой

$$B = -10,6 + 0,25(t_B + t_R) + 0,1(31,8 - t_B)\sqrt{\omega}. \quad (5)$$

Состояние человека в помещении оценивается в зависимости от величины B , а именно: +3 – жарко; +2 – тепло; +1 – комфортно, тепло; 0 – комфортно; –1 – комфортно, прохладно; –2 – прохладно; –3 – холодно.

В патенте РФ 2442934 приводится следующее уравнение для расчета степени комфортности

$$S = 7,83 - 0,1t_B - 0,0968t_0 - 0,0372P_{\Pi} + 0,18\omega(37,8 - t_B), \quad (6)$$

где t_0 – температура окружающих поверхностей в рабочей зоне (можно принять равной t_B), °С; P – парциальное давление водяных паров в воздухе, мм рт. ст.

Оценку комфортности параметров микроклимата осуществляют по следующей шкале: 1 – очень жарко; 2 – слишком тепло; 3 – тепло, но приятно; 4 – чувство комфорта; 5 – прохладно, но приятно; 6 – холодно; 7 – очень холодно.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Для определения параметров микроклимата помещения и их сравнения с нормативными показателями используют оборудование, представленное на рис. 1.

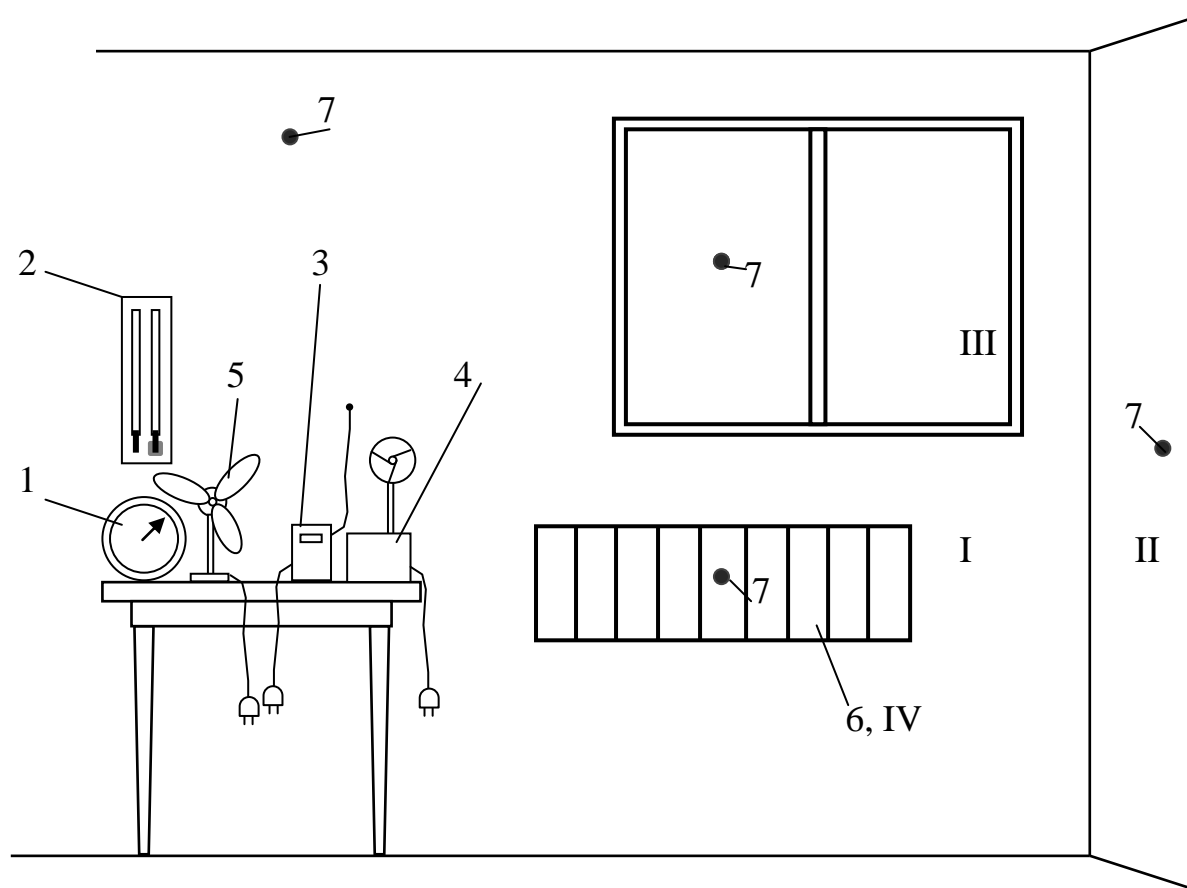


Рис. 1. Схема помещения и экспериментального оборудования:

- 1 – барометр; 2 – психрометр гигрометрический;
 3 – термопара с измерителем; 4 – анемометр; 5 – вентилятор;
 6 – отопительный прибор; 7 – точки измерения
 температуры поверхности ограждающих конструкций:
 I – наружного ограждения; II – внутреннего ограждения;
 III – светопрозрачного ограждения; IV – прибора

Для измерения атмосферного давления воздуха применяют барометр 1.

С помощью гигрометрического психрометра 2 определяют относительную влажность воздуха в помещении, для этого измеряют температуры сухого и мокрого термометров, вычисляют разность их показаний и затем по таблице или диаграмме узнают влажность.

Температуры в различных точках помещения и на поверхностях ограждающих конструкций измеряют при помощи термопары и измерителя 3.

Скорость движения воздуха в помещении определяют анемометром 4 при работающем настольном вентиляторе 5.

В ходе работы необходимо измерить температуру тепловыделяющей поверхности, в качестве которой служит отопительный прибор 6.

На рис. 1 схематично показаны точки измерения температур 7 на ограждающих поверхностях I, II и III. Более точное расположение этих точек выбирается самостоятельно студентами с учетом рекомендаций, изложенных ниже, или назначается преподавателем.

Перед непосредственными измерениями необходимо вычертить план помещения и нанести на нем размеры. Указать размер окон и дверей, местоположение источников тепловыделений (отопительных приборов) и места измерений температур.

Измерения проводят в следующем порядке.

1) Измеряют длины и высоты ограждающих конструкций и заносят в табл. 1.

2) В средней части каждой конструкции измеряют температуру ее поверхности $t_{\text{П}}$ и записывают в табл. 1. При этом допускается, что измеряемая температура является средней для охлаждающих, нагревающих и нейтральных поверхностей.

3) Определяют с помощью барометра атмосферное давление воздуха в помещении P (в табл. 2).

4) Измеряют температуру воздуха в помещении в 4-х точках (в табл. 2):

а) в центре помещения на высоте от пола 0,5 м ($t_{\text{В1}}$) и 1,5 м ($t_{\text{В2}}$);

б) на высоте 1,5 м и на расстоянии 5–10 см от оконного стекла наружной стены ($t_{\text{В3}}$) и от противоположной внутренней стены ($t_{\text{В4}}$).

5) Измеряют температуру мокрого и сухого термометров на гигрометрическом психрометре, вычисляют разность и определяют относительную влажность воздуха ϕ (табл. 2).

6) Снимают показания скорости движения воздуха, создаваемой вентилятором настольного типа в 3-х рабочих точках (указанных преподавателем), но не менее 1 м от центра вентилятора (в табл. 2).

Все измеренные значения необходимо занести в табл. 1 и 2.

Таблица 1

№	Вид ограждения	Размеры $l \times h$, м	Площадь F , м ²	Температура поверхности $t_{\text{п}}$, °С
I	Наружное ограждение (охлаждающая поверхность) – стена			
II	Внутреннее ограждение (нейтральная поверхность) – стена			
III	Светопрозрачное ограждение (охлаждающая поверхность) – окно			
IV	Отопительный прибор (нагревающая поверхность)			

Таблица 2

Величина	Значение			
Атмосферное давление P , Па				
Температура воздуха $t_{\text{в}}$, °С	$t_{\text{в1}} =$	$t_{\text{в2}} =$	$t_{\text{в3}} =$	$t_{\text{в4}} =$
Относительная влажность φ , %				
Скорость воздуха ω , м/с	$\omega_1 =$	$\omega_2 =$	$\omega_3 =$	

4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Сначала рассчитывают площади (см. табл. 1) каждой ограждающей поверхности, м,

$$F = lh.$$

2. По уравнению (1) определяют средневзвешенную радиационную температуру.

3. Вычисляют среднюю температуру и скорость воздуха в помещении

$$t_{\text{в}} = \frac{t_{\text{в1}} + t_{\text{в2}} + t_{\text{в3}} + t_{\text{в4}}}{4};$$

$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3}{3}.$$

4. Определить результирующую температуру t_K по уравнению (3) или (4).

5. Рассчитать показатель B и степень S комфортности по формулам (5) и (6) соответственно. При этом парциальное давление определяют как

$$P_{\Pi} = P_H \phi,$$

где P_H – давление насыщенного водяного пара, приведено в табл. 3 в зависимости от температуры воздуха.

Таблица 3

$t_B, ^\circ\text{C}$	$P_H, \text{Па}$	$t_B, ^\circ\text{C}$	$P_H, \text{Па}$	$t_B, ^\circ\text{C}$	$P_H, \text{Па}$	$t_B, ^\circ\text{C}$	$P_H, \text{Па}$
10	1228	15	1705	20	2338	25	3167
11	1312	16	1817	21	2486	26	3360
12	1402	17	1937	22	2643	27	3564
13	1497	18	2063	23	2808	28	3779
14	1598	19	2197	24	2983	29	4004

Все рассчитанные величины свести в табл. 4. Кроме того привести нормативные величины параметров микроклимата исследуемого помещения, приняв из СНиП.

Таблица 4

№	Параметры	Фактические (опытные)	Нормативные (СНиП)
1.	Температура воздуха в помещении $t_B, ^\circ\text{C}$		
2.	Радиационная температура $t_R, ^\circ\text{C}$		
3.	Скорость воздуха $\omega, \text{м/с}$		
4.	Относительная влажность $\phi, \%$		
5.	Показатель B , значение / словесная формулировка		
6.	Степень комфортности S , значение / словесная формулировка		

В заключение дать комплексную оценку комфортности микроклимата учебной аудитории, сравнить с оптимальными и допустимыми нормами параметров микроклимата для данного периода года, категории помещения. В том числе при оценке

учитывать как объективные и так и субъективные реакции организма на микроклиматические факторы.

Описать теплоощущение человека, как «холодно», «прохладно», «нормально» (или «комфортно»), «тепло», «жарко» в зависимости от комплексного действия микроклиматических факторов, а также от интенсивности выполняемой работы, степени утомления, характера питания, одежды, эмоционального состояния, тренированности человека к холоду и других факторов.

Например, выводы могут выглядеть следующим образом. *Микроклимат данного помещения обеспечивает комфортные условия (или недопустимо жаркий и вызывает значительное напряжение терморегуляции; несколько выше зоны комфорта - допустимо теплый и вызывает некоторое напряжение терморегуляции; ниже зоны комфорта - недопустимо холодный и вызывает ощущение холода и пр.). Для оздоровления микроклимата рекомендуется...*

5. ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

К работе допускаются студенты, прошедшие общий инструктаж по технике безопасности.

Запрещается:

1. Перемещать оборудование и приборы без необходимости.
2. Не аккуратно пользоваться жидкостными термометрами.
3. Оставлять работающее оборудование, находящееся под напряжением без присмотра.
4. Касаться проводников, металлических клемм и других деталей, находящихся под электрическим напряжением.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах бумаги формата А4 в соответствии со стандартами. Отчет должен содержать:

- а) титульный лист установленной формы;
- б) краткое изложение теоретических положений;
- в) принципиальную схему установки;
- г) таблицы измеренных и рассчитанных величин;
- д) обработку результатов опыта;
- е) выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими параметрами характеризуется микроклимат помещения?
2. Что такое микроклимат помещения?
3. Чем отличаются оптимальные параметры микроклимата от допустимых?
4. Дайте определение радиационной температуры помещения.
5. Что такое теплый и холодный период года?
6. Приведите классификацию помещений.
7. Назовите значения параметров, соответствующих тепловому комфорту.
8. Объясните, в каких условиях тепловое самочувствие человека будет лучше:
 - а) при температуре воздуха 30 °С, влажности 40 %, скорости движения воздуха 0,8 м/с;
 - б) при температуре воздуха 28 °С, влажности 85 %, скорости движения воздуха 0,2 м/с.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ТЕПЛОВОЙ РЕЖИМ ГЛАВНОЙ СТОЛОВОЙ КУЗГТУ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является изучение теплового режима работы отопления столовой, а именно определение тепловых потерь ограждающих конструкций с целью сведения теплового баланса здания при заданных условиях.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для определения тепловой мощности системы отопления составляют баланс часовых расходов теплоты, Вт, для расчетного зимнего периода в виде:

$$\sum Q_0 = Q_{\text{огр}} + \sum Q_{\text{д}} + Q_{\text{и}} + Q_{\text{техн}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{огр}}$ – основные потери теплоты через ограждающие конструкции здания, Вт; $\sum Q_{\text{д}}$ – суммарные добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции здания, Вт; $Q_{\text{и}}$ – расход тепла на нагревание воздуха, поступающего в помещение при инфильтрации (можно принять как 3–5 % от $Q_{\text{огр}}$), Вт, $Q_{\text{техн}}$ – дебаланс между расходом тепла на технологические нужды и минимальными технологическими и бытовыми тепlopоступлениями, Вт.

Сведением всех составляющих поступлений и расходов теплоты в тепловом балансе помещения определяется дефицит или избыток теплоты. Дефицит теплоты указывает на необходимость устройства в помещении отопления, а избыток теплоты обычно ассимилируется (разбавляется) воздухом и с ним отводится из помещения вентиляцией.

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

$$Q_{\text{огр}} = Fk(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})n, \quad (2)$$

где n – коэффициент, зависящий от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному

воздуху (табл. 1 приложения), t_B – расчетная температура воздуха в помещении, °С; t_H – расчетная зимняя температура наружного воздуха, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки для определенного населенного пункта (для г. Кемерово $t_H = -39$ °С); k – коэффициент теплопередачи между воздухом внутри помещения и наружным воздухом через наружное ограждение, Вт/(м²·К); F – площадь ограждающей конструкции, м².

Коэффициент теплопередачи обратно пропорционален полному термическому сопротивлению теплопередачи

$$k = \frac{1}{R_0}. \quad (3)$$

Полное термическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_0 , (м²·°С)/Вт, рассчитывается как

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R + \frac{1}{\alpha_H} \quad (4)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи от воздуха к внутренней поверхности ограждающих конструкций (табл. 2 приложения), Вт/(м²·К); α_H – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждающей конструкции к окружающему воздуху (табл. 2 приложения), Вт/(м²·К); R – термическое сопротивление ограждающей конструкции, (м²·°С)/Вт.

Термическое сопротивление ограждающей конструкции, состоящей из нескольких последовательно размещенных однородных слоев, расположенных перпендикулярно тепловому потоку, можно вычислить по уравнению:

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \quad (5)$$

где $\delta_1, \delta_2, \delta_i, \dots, \delta_n$ – толщины отдельных слоев, м; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_i, \dots, \lambda_n$ – коэффициенты теплопроводности материалов отдельных слоев Вт/(м·°С). Например, характеристики для ограждающих конструкций столовой КузГТУ сведены в табл. 3 приложения.

Теплопотери через внутренние ограждения между смежными помещениями следует учитывать при разности температуры воздуха t в этих помещений более 3 °С.

Добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции здания состоят из теплопотерь, определяемых ориентацией ограждений по сторонам света и прочих теплопотерь.

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

$$Q_d = Q_{\text{огр}} \beta, \quad (6)$$

где β – коэффициент добавки на ориентацию (рис. 1). Тогда уравнение (2) с учетом коэффициента добавки на ориентацию по сторонам света будет иметь вид

$$Q_{\text{огр}} = Fk(t_B - t_H)n(1 + \beta). \quad (7)$$

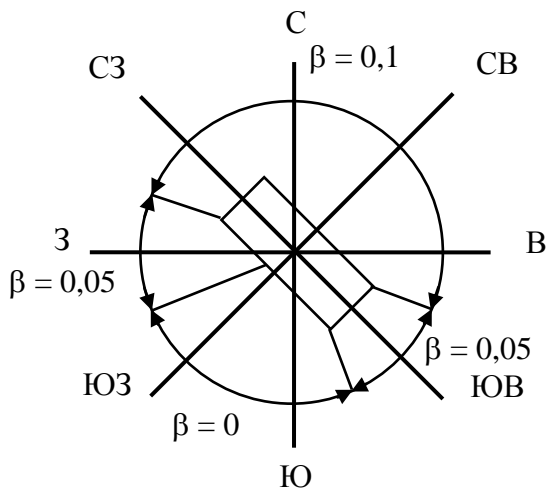


Рис. 1. Значения коэффициента добавки β на ориентацию

Прочие дополнительные теплопотери в долях от основных потерь:

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

- для угловых помещений и помещений, имеющих два и более наружных вертикальных ограждения, температуру внутреннего воздуха

принимают для жилых зданий на 2 °С выше расчетной, а для зданий другого назначения повышение температуры учитывают добавкой 0,05 к основным теплопотерям вертикальных наружных ограждений;

- на нагревание холодного воздуха, поступающего при кратковременном открывании наружных входов, не оборудованных воздушно-тепловыми завесами, принимаются в зависимости от типа входных дверей и высоты здания H , м, например, для двойных дверей с тамбурами между ними в размере $0,27H$.

К частным случаям определения теплопотерь через ограждающие конструкции относят расчет потерь тепла через неутепленные полы.

Поверхность пола для расчета разбивают на четыре зоны по

2 м, параллельно наружным стенам (рис. 2). В соответствии с требованиями **СП 60.13330.2012**, термическое сопротивление теплопередаче для утепленных полов составляет:

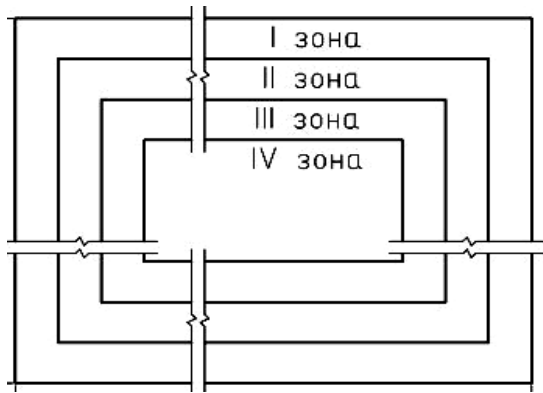


Рис. 2. Разбивка поверхности пола на зоны

для I зоны $R_I = 2,1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$;
 для II зоны $R_{II} = 4,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$;
 для III зоны $R_{III} = 8,6 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$;
 для IV зоны $R_{IV} = 14,2 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Определяют общую площадь пола, м, зная длину и ширину:

$$F_{\text{общ}} = ab, \quad (8)$$

где a – длина пола, м; b – ширина пола, м.

После чего проводят расчет площади каждой зоны F_i , согласно рис. 2, исходя из общей площади пола.

Для определения потерь тепла, Вт, через пол по зонам используют зависимость:

$$Q_i = F_i \frac{1}{R_i} (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}). \quad (9)$$

Тогда общие потери через пол составят:

$$Q_{\text{пол}} = \sum_{i=1}^4 Q_i. \quad (10)$$

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

3.1. Ограждающие конструкции столовой КузГТУ

Главная столовая КузГТУ представляет собой двухэтажное здание размером $42,8 \times 37,8$ м с высотой одного этажа 3,7 м. Схема здания с его ориентацией по сторонам света изображена на рис. 3.

Стены здания (рис. 4) – крупнопанельные блочные с уже выветренными швами, перекрытия – железобетонные, перегородки внутри здания кирпичные, панельные (табл. 3 приложения). Крыша (кровля) покрыта рубероидом, пол бетонный (табл. 3 приложения). Имеются оконные переплеты – двухстворчатые пластиковые и деревянные, трехстворчатые пластиковые (табл. 4

приложения). Дверные переплеты входные – четырехстворчатые пластиковые (табл. 4 приложения).

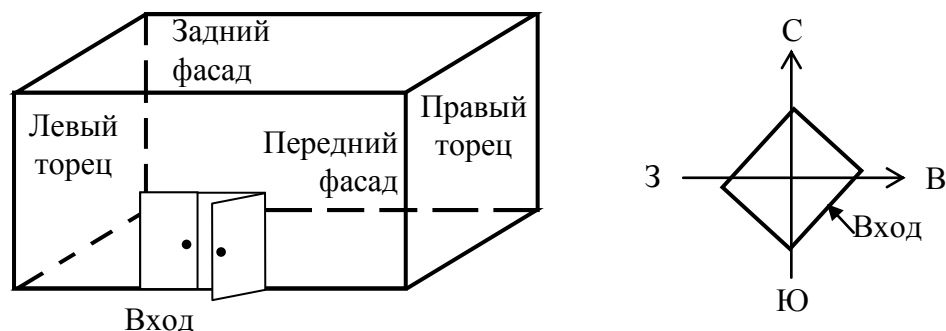


Рис. 3. Схема здания главной столовой КузГТУ

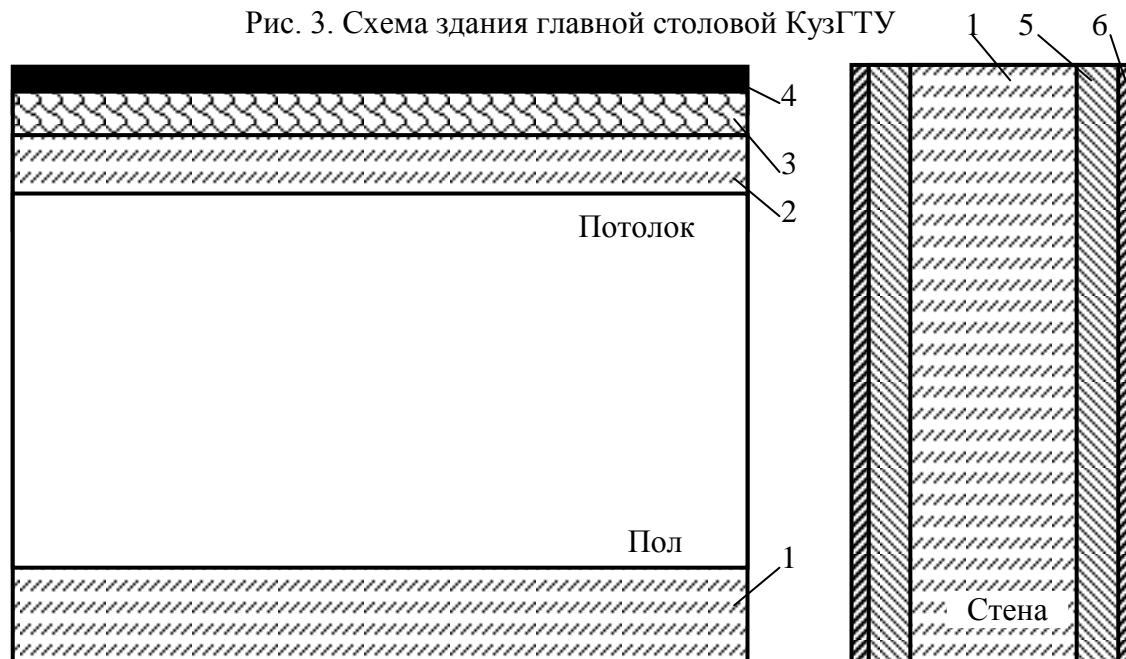


Рис. 4. Структура (слои) ограждающих поверхностей столовой КузГТУ:
1 – бетон; 2 – железобетон; 3 – керамзит; 4 – рубероид;
5 – штукатурка; 6 – краска

3.2. Индивидуальный тепловой пункт

Тепловой пункт – комплекс устройств, расположенный в обособленном помещении, состоящий из элементов тепловых энергоустановок, обеспечивающих присоединение этих установок к тепловой сети, их работоспособность, управление режимами теплоснабжения, преобразование, регулирование параметров теплоносителя и распределение теплоносителя по видам потребителей. Иначе, тепловой пункт – является автоматизированным узлом управления, присоединенных к тепловой сети потребителей тепла для отопления и горячего водоснабжения. Подразделяется на ЦТП и ИТП.

ЦТП – центральный тепловой пункт. Обычно ЦТП снабжает теплом, горячей и холодной водой нескольких абонентов, или комплекс зданий, подключенных к нему через разводящие сети.

ИТП – это индивидуальный тепловой пункт и его задача заключается в снабжении теплом, горячей и холодной водой одного здания, например, главной столовой КузГТУ (рис. 5).

От правильной работы теплового пункта зависит обеспечение нормальной температуры помещения, а также работа системы вентиляции и **горячего водоснабжения (ГВС).**

Принцип работы теплового пункта (рис. 5) заключается в следующем: из тепловой сети (магистрального трубопровода) под определенным напором поступает горячая вода, которая входит по вводному (прямому) трубопроводу через задвижку. Давление воды на входе значительно больше, чем требуется внутренней системе, поэтому в схеме теплового пункта предусматривают наличие специального прибора – регулятора перепада давления 5. Также в тепловом пункте предусмотрено для дополнительного контроля регулирования давления регулирующий клапан 1 с электроприводом 2. Для контроля температуры в системе установлены датчики температуры 3, 4. Вода по трубам распределяется на различные нужды столовой: отопление, в систему вентиляции (обогрев воздуха в калориферах) и горячего водоснабжения (ГВС).

Система ГВС столовой – закрытая, т.е. вода из магистрального трубопровода поступает в пластинчатый теплообменник 6, где она нагревает холодную воду для нужд ГВС.

В узле предусмотрен накопительный бак, который исходя из своего названия, запасает воду для критических ситуаций, которые могут возникнуть (пиковые нагрузки, авария на магистральном трубопроводе и т.д.). В системе теплового пункта применена принудительная циркуляция теплоносителя, которая осуществляется при помощи циркуляционных насосов 9, 10, 11.

В конечном итоге, горячая вода, пройдя отопительные приборы системы отопления (отработанная вода), с пониженной температурой проходит через тепловой пункт и уходит обратно в тепловую сеть, но уже по другому (обратному) трубопроводу.

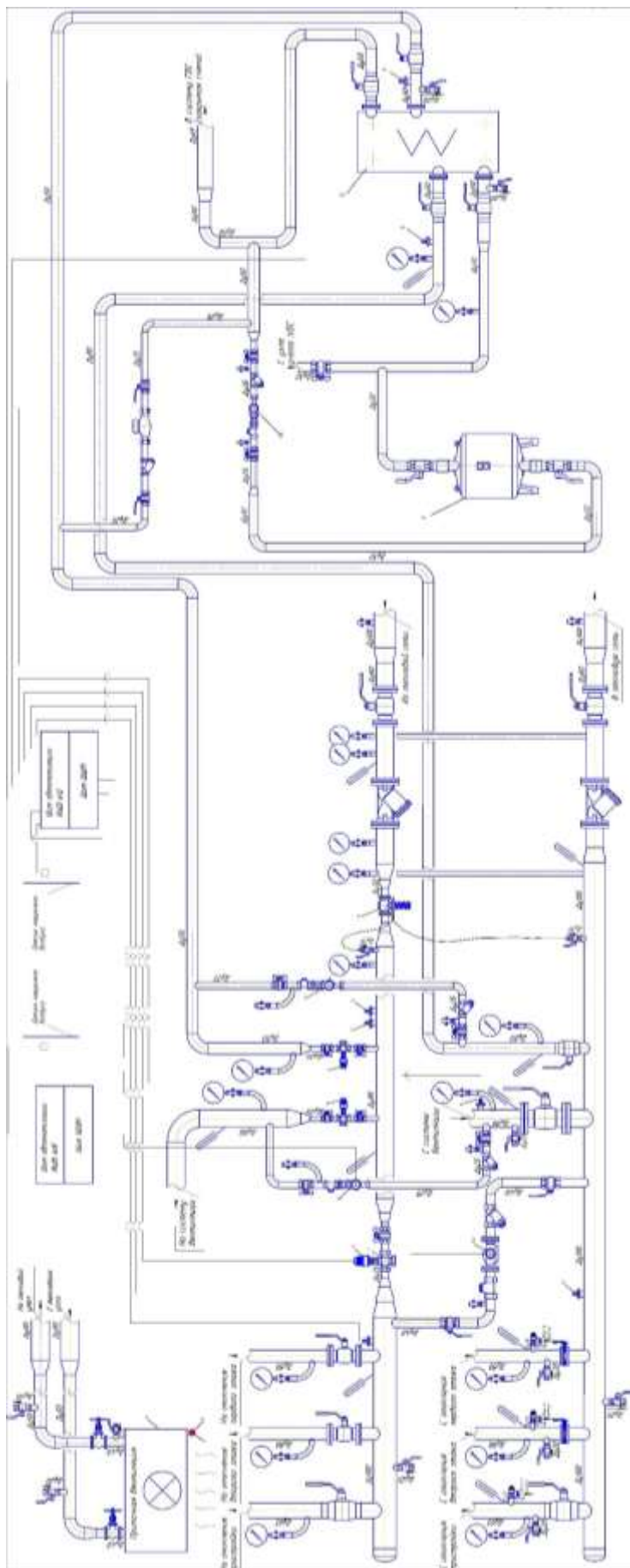


Рис. 5. Схема индивидуального теплового пункта главной столовой КузГТУ:

1 – регулирующий клапан; 2 – привод для регулирующего клапана;

3, 4 – датчик температуры погружной;

5 – регулятор давления прямого действия; 6 – пластинчатый теплообменник для системы ГВС; 7 – накопительный бак;

8 – приточная вентиляция (воздушная завеса); 9, 10, 11 – циркуляционный насос

4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Для проведения измерений необходимо подготовить табл. 5 приложения для записи измеряемых величин и переместиться в тепловой узел, расположенный с левого торца в здании главной столовой КузГТУ. С собой нужно иметь один или несколько датчиков температуры (термометров) для измерений от -30 до $+30$ °С, секундомер и при необходимости ультразвуковой расходомер.

1. В тепловом узле записываем показания датчиков температуры теплоносителя на подающих (прямых) трубопроводах, идущих на 1-й и 2-й этаж, $t_{П1}$ и $t_{П2}$.

2. В тепловом узле снимаем показания датчиков температуры теплоносителя на обратных трубопроводах, идущих с 1-го и 2-го этажа, $t_{О1}$ и $t_{О2}$.

3. В тепловом узле проводим измерение расходов теплоносителя V_1 и V_2 в подающих трубопроводах на 1-й и 2-й этаж счетчиками или ультразвуковым расходомером.

4. В тепловом узле проводим измерение расходов теплоносителя V_1 и V_2 в подающих трубопроводах на 1-й и 2-й этаж счетчиками или ультразвуковым расходомером.

5. В тепловом узле измеряем расход воды, подаваемой на ГВС, при помощи счетчика на трубопроводе ГВС (по разности его показаний) и секундомера.

6. В тепловом узле снимаем показания температуры холодной и горячей воды на трубопроводе ГВС.

7. В помещениях столовой на каждом этаже проводим измерения температуры воздуха переносным термометром не менее трех раз в различных зонах для определения средней температуры на 1-м и 2-м этажах $t_{В1}$ и $t_{В2}$. Замер температуры внутри помещений столовой, расположенных на северной стороне, производить ближе к окнам.

8. На улице переносным термометром измеряем температуру наружного воздуха t_H .

Все результаты измерений заносят в табл. 5 приложения.

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

5.1. Расчет тепловых потерь ограждающими конструкциями

Заполнение табл. 6 приложения и расчеты проводим в следующей последовательности.

1. В соответствии с рис. 3 определяем сторону света для каждой ограждающей конструкции здания столовой и заносим в табл. 6 приложения.

2. Из описательной части здания столовой (пункт 3.1) и табл. 4 приложения находим размеры ограждающих конструкций. Для пола поверхность делим на зоны и вычисляем размеры каждой зоны (см. описание рис. 2).

3. Рассчитываем площади F , м^2 , ограждающих конструкций из геометрических размеров и их количества (см. табл. 4 приложения). При расчете площади стены обязательно вычитаются площади, занимаемые оконными и дверными проемами. Для пола вычисляем площадь каждой зоны (см. описание рис. 2).

4. Термическое сопротивление теплопередачи или коэффициент теплопередачи для каждой ограждающей конструкции вычисляют следующим образом:

- для стен используем уравнения (3)-(5), на рис. 4 приведена структура стены, в табл. 3 приложения заданы толщины слоев и коэффициенты теплопроводности материалов слоев, из которых состоит стена;

- для оконных и дверных проемов известны нормированные сопротивления теплопередачи в табл. 7 приложения;

- для пола для каждой зоны заданы термические сопротивления теплопередаче в описании к рис. 2;

- для потолка нужно использовать уравнения (3)–(5), рис. 4 со структурой потолка и табл. 3 приложения, в которой заданы толщины слоев и коэффициенты теплопроводности материалов.

5. Разность температур внутреннего и наружного воздуха вычисляют по измеренным температурам (табл. 5 приложения), причем для стен берут внутреннюю температуру как среднюю между температурами на 1 и 2 этажах, для пола – температуру на 1 этаже, для потолка – на 2 этаже.

6. Коэффициент, учитывающий ориентацию ограждающей конструкции по сторонам света и прочие потери находят из рис. 1 и описания к нему.

7. Теплопотери ($Вт$) через отдельные ограждающие конструкции здания определяют по уравнениям:

- стены, окна, двери – формула (7);
- потолок – уравнение (2)
- пол – формулы (8), (9).

8. Теплопотери всего здания определяют путем суммирования потерь через отдельные ограждающие конструкции (стены, окна, двери, пол, потолок).

Результаты расчетов заносят в табл. 6 приложения.

5.2. Расчет расхода теплоты на отопление здания

Определяем количество тепла, $Вт$, идущее на отопление здания на каждый этаж, по измеренным объемным расходам теплоносителя (воды) и температурам на подающем и обратном трубопроводах по уравнениям:

$$Q_1 = \frac{V_1 \rho c (t_{\Pi 1} - t_{O1})}{3600}, \quad Q_2 = \frac{V_2 \rho c (t_{\Pi 2} - t_{O2})}{3600},$$

где ρ и c – плотность и теплоемкость воды при средней температуре $t_{cp} = (t_{\Pi} + t_O)/2$ из табл. 8 приложения, $кг/м^3$ и $Дж/(кг \cdot ^\circ C)$.

Затем расходы тепла на этажи суммируются

$$Q_{от} = Q_1 + Q_2$$

и результат заносят в табл. 6 приложения.

5.3. Расчет расхода теплоты на горячее водоснабжение здания

Расход тепла, $Вт$, на ГВС определяется по формуле:

$$Q_{ГВС} = V \rho c (t_{Г} - t_{Х}),$$

где ρ и c – плотность и теплоемкость воды при средней температуре $t_{cp} = (t_{Г} + t_{Х})/2$ из табл. 8 приложения, $кг/м^3$ и $Дж/(кг \cdot ^\circ C)$.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах формата А4 с рамками и штампами и должен содержать:

- 1) титульный лист установленной формы;
- 2) кратко изложенные теоретические положения;

- 3) принципиальную схему установки с основными техническими параметрами;
- 4) таблицу измеренных и рассчитанных величин;
- 5) обработку результатов;
- 6) выводы по работе, в том числе сравнение теплопотерь здания и расход тепла на отопление.

Чертежи, схемы и таблицу следует оформлять в соответствии с действующими стандартами и ГОСТами.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите составляющие теплового баланса здания.
2. Напишите уравнение для расчета основных теплопотерь через ограждающие конструкции.
3. Дайте определение процессу теплопередача.
4. Что такое коэффициент теплопередачи?
5. Что называют термическим сопротивлением теплопередаче, напишите уравнение для сопротивления многослойной стенки ограждающей конструкции.
6. Назначение индивидуального теплового пункта
7. Для чего нужен погодный регулятор?
8. Как определяется расход тепла на отопление, и какие для этого требуются приборы?

8. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пырков В. В. Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование. – Киев: П ДП «Такі справи», 2012. – 252 с.: ил.
2. Тихомиров К. В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: учеб. для вузов / К. В. Тихомиров, Э. С. Сергиенко. – М.: Бастет, 2009. – 480 с.
3. Шиляев М. И. Типовые примеры расчета систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха [Текст]: учеб. пособие / М. И. Шиляев, Е. М. Хромова, Ю. Н. Дорошенко. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2012. – 288 с. – ISBN 978-5-93057-478-4.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Значение коэффициента n , учитывающего положение
ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху

Ограждающие конструкции	n
Наружные стены и покрытия; перекрытия чердачные (с кровлей из штучных материалов) и над проездами; перекрытия над холодными подпольями без ограждающих стенок в северной строительно-климатической зоне	1
Перекрытия над холодными подвалами, сообщающимися с наружным воздухом, перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов); перекрытия над холодными подпольями с ограждающими стенами и холодными этажами в северной строительно-климатической зоне	0,9
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами со световыми проемами в стенах	0,75
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без световых проемов в стенах, расположенные выше уровня земли	0,6
Перекрытия над неотапливаемыми техническими подпольями, расположенные ниже уровня земли	0,4

Таблица 2

Коэффициенты теплоотдачи и сопротивления теплоотдаче

Поверхности ограждений и их расположение	$\alpha_{\text{в}}$ или $\alpha_{\text{н}}$, Вт/(м ² ·К)	$R_{\text{в}}$ или $R_{\text{н}}$, м ² ·К/Вт
Внутренние поверхности стен и полов, а также потолков, имеющих гладкую поверхность	8,7	0,115
Потолки, имеющие кессоны или ребристую поверхность	7,6	0,132
Наружные поверхности, граничащие непосредственно с наружным воздухом	23	0,043
Наружные поверхности, выходящие на чердак	12	0,086
Наружные поверхности, выходящие в замкнутые помещения, кроме чердачных	5,8	0,172

Таблица 3

Характеристики ограждающих конструкций здания столовой

Ограждающие конструкции	Материалы слоев ограждающих конструкций	Толщина одного слоя δ , мм	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(К·м)
Стена	бетон	330	1,51
	штукатурка (2 слоя)	25	0,7
	краска (2 слоя)	5	0,23
Потолок	бетон	200	1,51
	керамзит	95	0,17
	рубероид	5	0,18
Пол	бетон	200	1,51

Таблица 4

Характеристики ограждающих конструкций здания столовой

Ограждающие конструкции		Кол.	Размер, м
Передний фасад	Окна двухстворчатые пластиковые	38	1,47×1,32
	Дверь входная	1	4,8×2,08
Задний фасад	Окна двухстворчатые деревянные	13	1,47×1,32
	Окна трехстворчатые пластиковые	2	1,47×2,07
	Дверь	1	1,92×2,08
Левый торец	Окна трехстворчатые пластиковые	9	1,47×2,07
	Окна двухстворчатые пластиковые	6	1,47×1,32
	Дверь	4	0,96×2,08
Правый торец	Окна двухстворчатые пластиковые	19	1,47×1,32
	Окна двухстворчатые деревянные	8	1,47×1,32

Таблица 5

Результаты измерений

Изменяемые величины	1 этаж	2 этаж
Объемный расход горячей воды V , м ³ /ч	$V_1 =$	$V_2 =$
Средняя температура на этаже t_B , °C	$t_{B1} =$	$t_{B2} =$
Температура воды в подающем трубопроводе $t_{П}$, °C	$t_{П1} =$	$t_{П2} =$
Температура воды в обратном трубопроводе $t_{О}$, °C	$t_{О1} =$	$t_{О2} =$
Наружная температура воздуха t_H , °C	$t_H =$	
Объемный расход горячей воды на ГВС V , м ³ /с	$V =$	
Температура холодной воды t_X , °C	$t_X =$	
Температура горячей воды $t_{Г}$, °C	$t_{Г} =$	

Таблица 6

Результаты расчета

№	Наименование	Стороны света	Размеры, м	Площадь F , m^2	$1/R_0$, $Вт/(m^2 \cdot K)$	$(t_b - t_n)$, °C	β	Q , Вт	
1	Передний фасад								
1.1	стена								
1.2	окно (плас. 2ств)								
1.3	дверь								
2	Задний фасад								
2.1	стена								
2.2	окно (плас. 3ств)								
2.3	окно (дер. 2ств)								
2.4	дверь								
3	Левый торец								
3.1	стена								
3.2	окно (плас. 3ств)								
3.3	окно (плас. 2ств)								
3.4	дверь								
4	Правый торец								
4.1	стена								
4.2	окно (плас. 2ств)								
4.3	окно (дер. 2ств)								
5	Потолок								
5.1	потолок	—					—		
6	Пол								
6.1	I зона	—					—		
6.2	II зона	—					—		
6.3	III зона	—					—		
6.4	IV- зона	—					—		
Теплопотери здания (ограждающих конструкций) ΣQ_0 , Вт									
Расход теплоты на отопление $Q_{от}$, Вт									
Расход теплоты на ГВС $Q_{ГВС}$, Вт									

Таблица 7

Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

Ограждающие конструкции	$R_0, \text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Окна двухстворчатые и трехстворчатые (пластиковые)	0,68
Окна двухстворчатые (деревянные)	0,56
Дверные проемы	0,54

Таблица 8

Теплофизические свойства воды в зависимости от температуры

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	$c, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{кг}/\text{м}^3$	$c, \text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
0	999,9	4212	60	983,1	4179
10	999,7	4191	70	977,8	4187
20	998,2	4183	80	971,8	4195
30	995,7	4174	90	965,3	4208
40	992,2	4174	100	958,4	4220
50	988,1	4174	110	951,0	4233

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа студентов всех форм обучения предусматривает решение 20 задач самостоятельно дома и сдача их преподавателю по 5 задач каждую контрольную точку.

Задача 1. Сплошные шлакобетонные камни для кладки наружных стен имеют плотность $\rho = 1650 \text{ кг/м}^3$. Определить их расчетный коэффициент теплопроводности.

Задача 2. Теплопроводность органических плит (торфоплит) определена в лабораторных условиях в сухом состоянии. Коэффициент теплопроводности $\lambda = 0,061 \text{ Вт/(м·К)}$ при температуре 35°C . Определить величину коэффициента теплопроводности при 0°C .

Задача 3. Определить удельную теплоемкость битумоперлитобетона плотностью 350 кг/м^3 , применяемого для утепления стыков крупнопанельных зданий. Состав битумоперлитобетона: 1 массовая часть битума, 1,2 массовой части перлитового песка.

Удельные теплоемкости битума $c_1 = 1,68 \text{ кДж/(кг·}^\circ\text{C)}$, перлита $c_2 = 0,84 \text{ кДж/(кг·}^\circ\text{C)}$.

Задача 4. Определить величины коэффициентов теплоотдачи и сопротивлений теплоотдачи у внутренней и наружной поверхностей наружной стены отапливаемого здания. Стена кирпичная, с внутренней стороны оштукатурена.

Примем температуры воздуха: внутреннего $+18^\circ\text{C}$, наружного -25°C , а температуры поверхностей стены: внутренней $+12^\circ\text{C}$, наружной -23°C . Скорость ветра 5 м/с .

Задача 5. Наружная стеновая панель жилого дома состоит из четырех слоев:

Слои	Плотность ρ , кг/м^3	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Толщина слоя δ , мм
Бетонный фактурный слой (внутренний)	2500	1,63	80
Фибролит цементный	350	0,15	75
Минераловатные плиты	200	0,07	55
Бетонный фактурный слой (наружный)	2500	1,63	40

Найти сопротивление теплопередаче панели и коэффициент теплопередачи в сечении по утеплителю.

В панели имеются железобетонные ребра, соединяющие фактурные слои и обрамляющие панели по контуру. Эти ребра имеют толщину 30-40 мм. Найти сопротивление теплопередачи панели и коэффициент в сечении с ребрами и средние.

Задача 6. Чердачное перекрытие над административным зданием состоит из железобетонной плиты толщиной 100 мм, утепляющего слоя ке-

рамзита и известково-песчаной стяжки толщиной 25 мм. Определить толщину слоя керамзита, чтобы перекрытие имело сопротивление теплопередаче $R = 1,12 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С/Вт}$.

Задача 7. Определить термическое сопротивление бетонного пустотелого камня (рис.), пустоты которого заполнены уплотненной минеральной ватой. Высота камня 250 мм.

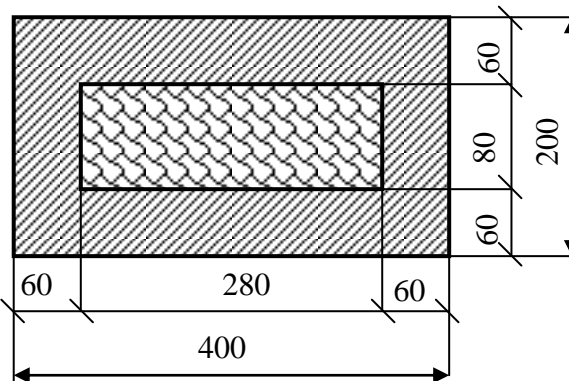


Схема пустотелого камня к зад. 7

Задача 8. Рассчитать распределение температуры в наружной стеновой панели, рассмотренной в задаче 5. Температура внутреннего воздуха $t_{\text{в}} = 18 ^\circ\text{С}$, наружного $t_{\text{н}} = -39 ^\circ\text{С}$.

Задача 9. Какое требуемое сопротивление теплопередаче должны иметь:

1) наружная стена жилого дома в Кемерово, состоящая из нескольких слоев (в задаче 5), сравнить с рассчитанным сопротивлением стены

Слой	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·К)	Толщина слоя δ , мм
Бетонный фактурный слой (внутренний)	2500	1,63	80
Фибролит цементный	350	0,15	75
Минераловатные плиты	200	0,07	55
Бетонный фактурный слой (наружный)	2500	1,63	40

2) чердачное перекрытие административного здания в Кемерово (задача 6), провести сравнение.

Задача 10. Определить величину теплового напора в помещении, нейтральная зона которого расположена по середине его высоты, при температуре воздуха в нем $+15^\circ\text{С}$ и наружного воздуха -20°С и при высотах помещения 3 и 12 м.

Задача 11. Определить величину Δp для наружных стен первого этажа 9-этажного здания в Кемерово. Высота этажа 2,8 м.

Для Кемерово средняя температура наиболее холодной пятидневки равна $-39 ^\circ\text{С}$. Скорость ветра 5 м/с.

Температура внутреннего воздуха жилых помещений 21°С .

Задача 12. Во сколько больше или меньше воздухопроницаемость керамзитобетона и минеральной ваты для одних и тех же толщины 250 мм и разности давлений воздуха 500 Па.

Коэффициенты воздухопроницаемости i некоторых строительных материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	$i \cdot 10^3$, кг/(м·ч·Па)
Минеральная вата	-	44,3
Керамзитобетон	1100	0,032

Задача 13. Определить сопротивление воздухопроницанию стены толщиной в 2 кирпича и количество проходящего через нее воздуха. (Δp принять из задачи 11)

Стена состоит из

1. Внутренней штукатурки известковой 15 мм
2. Кирпичной кладки в 2 кирпича 510 мм
3. Расшивки швов по наружной поверхности

Как изменится воздухопроницаемость стены, если она будет иметь бетонные фактурные слои общей толщиной 120 мм.

Задача 14. Определить относительную влажность и влагосодержание воздуха при его температуре $63\text{ }^{\circ}\text{C}$ и парциальном давлении водяного пара во влажном воздухе 4250 Па.

Задача 15. При температуре $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 0,26 найти давление насыщенного пара, влагосодержание и температуру точки росы.

Задача 16. Определить относительную влажность воздуха по показаниям психрометра, если сухой термометр показывает $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, мокрый $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Задача 17. Найти относительную влажность воздуха, если известны температура мокрого термометра $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температура точки росы $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Задача 18. Определить точку росы для воздуха, имеющего температуру $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности его $\varphi = 70\%$.

Задача 19. При температуре $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ воздух имеет относительную влажность 60 %. Как изменится относительная влажность воздуха: а) при повышении его температуры до $22\text{ }^{\circ}\text{C}$; б) при понижении его температуры до $15\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Задача 20. Для стены из легкого бетона определить предельную допускаемую влажность воздуха в помещении при $t_{\text{в}} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{н}} = -25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

А) При неутепленном наружном угле с температурой на его внутренней поверхности $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Б) При утепленном угле – $9,3\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В) Если учитывать только температуру внутренней поверхности стены $13,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.