

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Смоленский государственный университет»

Кафедра физики и технических дисциплин

«Утверждаю»  
Проректор по учебно-  
методической работе  
\_\_\_\_\_ Ю.А. Устименко  
«23» июня 2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Б1.О.24.01 Теплогазоснабжение с основами теплотехники**

Направление подготовки: **08.03.01 Строительство**

Направленность (профиль): **Промышленное и гражданское строительство**

Форма обучения: очно-заочная

Курс – 4

Семестр – 7

Всего зачетных единиц – 4, часов – 144

Форма отчетности: экзамен – 7 семестр

Программу разработал  
кандидат технических наук О.А. Макеенкова

Одобрена на заседании кафедры  
«16» июня 2022 г., протокол № 12

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ А.В. Дюндин

Смоленск  
2022

## 1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Теплогасоснабжение с основами теплотехники изучается в 7 семестре и включена в обязательную часть раздела «Дисциплины (модули)» учебного плана направления подготовки 08.03.01 Строительство (профиль «Промышленное и гражданское строительство»).

Для успешного освоения содержания дисциплины необходимы компетенции, сформированные в процессе изучения дисциплин «Математический анализ», «Алгебра и геометрия», «Физика», «Химия», «Гидравлика», «Инженерная графика», «Физические принципы энергосберегающих технологий»

Сформированные при изучении курса компетенции служат опорой в процессе изучения дисциплин «Инженерные сети и оборудование» и «Вентиляция и кондиционирование».

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
<b>ОПК-3.</b> Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства	<b>Знать:</b> теоретические основы и нормативную базу строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства; <b>Уметь:</b> принимать решения, основываясь на теоретических положениях и нормативной базе строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства; <b>Владеть:</b> навыками работы с нормативными документами, принятия решений в профессиональной сфере на основе нормативной базы строительства, строительной индустрии и жилищно-коммунального хозяйства.
<b>ОПК-6.</b> 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	<b>Знать:</b> основы проектирования объектов строительства и жилищно-коммунального хозяйства, выполнения расчетного и технико-экономического обоснования проекта; <b>Уметь:</b> выполнять расчеты, необходимые для проектирования объектов строительства и жилищно-коммунального хозяйства, выполнения расчетного и технико-экономического обоснования проекта; <b>Владеть:</b> навыками оформления проектной документации, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования; навыками выполнения расчетов с использованием вычислительных программных комплексов.
<b>ПК-2.</b> Способен разрабатывать проект производства работ	<b>Знать:</b> технические условия, строительные нормы и правила и другие нормативные документы по проектированию, технологии, организации строительного производства; основные положения по организации и управлению строительством; единую систему технологической подготовки производства; технические условия и другие нормативные материалы по разработке и оформлению технологической документации; состав проекта организации строительства и проекта производства работ; конструктивные схемы зданий и последовательность их возведения, методы расчета конструкций зданий и сооружений. <b>Уметь:</b> разрабатывать проектно-технологическую документацию; пользоваться компьютером с применением специализированного программного обеспечения. <b>Владеть:</b> навыками подготовки исходных данных для разработки проекта производства работ; разработки про-

	<p>екта производства работ в соответствии с требованиями строительных норм и правил в составе проекта организации строительства; выполнения привязки инвентарных временных зданий; разработка мероприятий по удешевлению строительства;; разработки нормативов на отдельные виды работ, не включенные в действующие справочники для оперативного планирования строительного производства.</p>
<p><b>ПК-3.</b> Способен определять потребности в материально-технических и трудовых ресурсах</p>	<p><b>Знать:</b> основные положения, нормативные акты, регулирующие строительную деятельность; технические условия, строительные нормы и правила и другие нормативные документы по проектированию, технологии, организации строительного производства; основы документооборота, современные стандартные требования к отчетности; пооперационные нормы расхода материалов, инструмента, топлива и электроэнергии, затрат труда; технические условия и другие нормативные материалы по разработке и оформлению технологической документации; состав, требования к оформлению, отчетности, хранению проектно-сметной документации и правила передачи проектно-сметной документации; номенклатуру выпускаемых подсобными предприятиями строительной организации изделий и конструкций.</p> <p><b>Уметь:</b> производить необходимые технические расчеты потребности в материально-технических ресурсах;; рассчитывать пооперационные нормы расхода материалов, инструмента, топлива и электроэнергии, затрат труда; взаимодействовать с другими специалистами строительной организации по вопросам материально-технического снабжения; рассчитывать экономическую эффективность проектируемых технологических процессов для разработки линейных и сетевых графиков; составлять проект производства работ на основе проекта организации строительства; применять современные информационные технологии при проектировании технологических процессов;.</p> <p><b>Владеть:</b> навыками расчета потребности в материально-технических ресурсах с применением действующих нормативов, составления сводной ведомости потребности; расчета потребности в трудовых ресурсах с применением действующих нормативов, составления сводной ведомости потребности</p>

### 3. Содержание дисциплины

#### 1. Введение

Предмет, цель и задачи курса. Содержание и объём курса, порядок проведения занятий и отчётности по нему. Литература.

#### 2. Основы технической термодинамики и теплопередачи

Общие сведения о технической термодинамике. Термодинамическая система. Основные параметры состояния термодинамических систем. Уравнения состояния и термодинамический процесс. Смеси газов. Первый закон термодинамики и газовые процессы. Второй закон термодинамики. Термодинамические циклы. Водяной пар. Влажный воздух.

Виды передачи теплоты. Теплопроводность. Конвективный теплообмен. Краткие сведения из теории подобия. Теплообмен излучением. Сложный теплообмен и теплопередача. Теплообменные аппараты.

### **3.Тепловлажностный и воздушный режим зданий, методы и средства их обеспечения**

Понятие микроклимата. Теплообмен человека и условия комфортности. Нормативные требования к микроклимату. Системы инженерного оборудования зданий для создания и обеспечения заданного микроклимата помещений. Зимние и летние расчетные климатические условия для проектирования систем обеспечения микроклимата.

Тепловлажностный и воздушный режим помещения.Тепловой баланс помещений и теплотраты на отопление зданий: расчетная мощность систем отопления; теплотери через ограждающие конструкции; теплотраты на нагревание инфильтрующегося воздуха; теплотупления в помещение от бытовых и производственных источников, от солнечной радиации; удельная тепловая характеристика здания; теплотраты системы отопления и вентиляции зданий.

### **4. Отопление зданий**

Классификация систем отопления. Теплоносители. Техничко-экономическое сравнение основных систем отопления. Область применения.

Устройство, принцип действия и классификация систем водяного отопления. Размещение, устройство и монтаж основных элементов. Область применения и технико-экономические показатели различных систем водяного отопления. Циркуляционное давление в системах водяного отопления. Основные принципы гидравлического расчета теплопроводов систем водяного отопления. Отопление зданий повышенной этажности.

Отопительные приборы систем водяного и парового отопления: виды, конструкции и технико-экономические показатели; выбор, размещение и установка; определение площади нагреваемой поверхности.

Системы парового отопления: свойство пара как теплоносителя; область применения; Классификация, схемы и оборудование; гидравлический расчет систем.

Системы воздушного отопления: классификация; рециркуляционные воздухонагреватели; воздушно-тепловые завесы гражданских и производственных зданий.

Системы панельно-лучистого отопления: особенности; конструктивные решения; проектирование и устройство.

Местное отопление: печное, электрическое, газовое.

### **5. Теплогазоснабжение промышленных и гражданских зданий**

Топливо, топочные устройства и котельные установки малой и средней мощности: общие сведения о топливе; краткая характеристика отдельных видов топлива; процессы горения; тепловой баланс котельного агрегата; общие характеристики топочных устройств; общие сведения о котельных установках и конструкциях котлов для теплоснабжения зданий; основные принципы проектирования котельных.

Централизованное теплоснабжение: районные котельные и теплоэлектроцентрали; АЭС, АТЭЦ, АСТ; тепловые сети.

## **4. Тематический план**

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий				
			лекции	семинары	практические занятия	лабораторные занятия	самостоятельная работа
1	Введение	0,5	0,5	0	0	0	0
2	Основы технической термодинамики и теплопередачи	45,5	3,5	0	8	6	28
3	Тепловлажностный и воздушный режим	16	2	0	2	2	10

	зданий, методы и средства их обеспечения						
4	Отопление зданий	34	4	0	2	2	25
5	Теплогаснабжение промышленных и гражданских зданий	21	2	0	0	0	20
	Экзамен	27	0	0	0	0	27
<b>Итого</b>		<b>144</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>10</b>	<b>110</b>

## 5. Виды образовательной деятельности

### Занятия лекционного типа

1. Введение (0,5 часа).
2. Основы технической термодинамики и теплопередачи (1,5 часа).
3. Термодинамические циклы. II начало термодинамики (1 час)
4. Основы теории теплообмена (1 час).
5. Микроклимат, требования к микроклимату (1 час).
6. Тепловлажностный и воздушный режим помещения (1 час).
7. Классификация систем отопления. Теплоносители (1 час).
8. Гидравлический расчет теплопроводов систем водяного отопления (1 час).
9. Отопительные приборы (1 час).
10. Системы парового отопления (0,5 часа).
11. Системы воздушного отопления (0,5 часа).
12. Системы теплоснабжения (2 часа).

### Занятия семинарского типа

#### Практические занятия

##### Методические рекомендации по подготовке к практическому занятию:

1. Изучите материал, соответствующий теме практического занятия, по конспекту соответствующей лекции и одному из учебников, предложенному в списке основной литературы.
2. Изучите содержание нормативных документов по соответствующим вопросам.
3. Выучите основные понятия и определения, законы и формулы, соответствующие теме практического занятия.

### Практическое занятие №1. Смеси газов. Термодинамические процессы (2 часа).

1. Задан объемный состав газовой смеси:  $\gamma_{\text{CH}_4}=0,13$ ,  $\gamma_{\text{CO}_2}=0,27$ ,  $\gamma_{\text{CO}}=0,6$ . Определить кажущуюся молярную массу, массовый и молярный составы смеси, газовую постоянную, удельный объем и плотность смеси при давлении смеси  $p=0,12$  МПа и температуре смеси  $t=70$  °С. Определить также массовую, объемную и молярную теплоемкость смеси. При этом считать теплоемкость не зависящей от температуры, а молярные теплоемкости компонентов соответственно равны:

$$(\mu c_p)_p_{\text{CH}_4} = 37,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}};$$

$$(\mu c_p)_p_{\text{CO}_2} = 37,7 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}};$$

$$(\mu c_p)_p_{\text{CO}} = 29,3 \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль} \cdot \text{К}}.$$

2. Смесь газов (2 кг  $\text{O}_2$  и 8 кг  $\text{N}_2$ ) с начальной температурой  $t_1=27$  °С сжимается в одноступенчатом поршневом компрессоре от давления  $p_1=0,1$  МПа до давления  $p_2=0,9$  МПа. Сжатие может происходить по изотерме, адиабате и политропе с показателем политропы  $n=1,25$ . Определить для каждого из трех процессов сжатия конечную температуру  $t_2$ ,

отведенное от смеси количество теплоты  $Q$ , изменение внутренней энергии и энтропии смеси и теоретическую мощность компрессора, если его производительность  $G=0,3 \cdot 10^{-3}$  кг/с. Принять киломолярные теплоемкости двухатомных газов равными  $C_{mv}=20,8$  кДж/(кмоль\*К) и  $C_{mp}=29,1$  кДж/(кмоль\*К).

3. Рассчитать давление, удельный объем, температуру для основных состояний (точки 1, 2, 3, 4) прямого термодинамического цикла идеального газа. Рабочее тело – 1 кг воздуха  $C_p=1,025$  кДж/кг\*К,  $R=287$  Дж/кг\*К. Для каждого процесса цикла определить: изменение внутренней энергии, энтальпии, энтропии, теплоту, работу, а также определить теплоемкость и показатель политропы. Результаты представить в виде таблицы. Рассчитать подведенную теплоту, отведенную теплоту, теплоту цикла, теоретический КПД цикла, и сравнить его с термическим КПД цикла Карно. Выполнить графическое построение цикла в осях P-V; T-S.

**Практическое занятие №2.** Теплопроводность при стационарном режиме, теплопроводность через цилиндрическую стенку (2 часа).

1. Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена: а) из стали  $\lambda=40$  Вт/(м\*°C); б) из бетона  $\lambda=1,1$  Вт/(м\*°C); в) из диатомитового кирпича  $\lambda=0,11$  Вт/(м\*°C). Во всех трех случаях толщина стенки  $\delta=50$  мм. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными  $t_{ct1}=100$  °C и  $t_{ct2}=90$  °C.
2. Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной  $\delta=50$  мм  $q=70$  Вт/м<sup>2</sup>. Определить разность температур на поверхностях стенки и численные значения градиента температуры в стенке, если она выполнена: а) из латуни  $\lambda=70$  Вт/(м\*°C); б) из красного кирпича  $\lambda=0,70$  Вт/(м\*°C); в) из пробки  $\lambda=0,070$  Вт/(м\*°C).
3. Определить потерю теплоты  $Q$ , Вт, через стенку из красного кирпича длиной  $l=5$  м, высотой  $h=4$  м и толщиной  $\delta=0,250$  м, если температуры на поверхностях стенки поддерживаются  $t_{ct1}=110$  °C и  $t_{ct2}=40$  °C. Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda=0,70$  Вт/(м\*К).
4. Определить коэффициент теплопроводности материала стенки, если при толщине ее  $\delta=40$  мм и разности температур на поверхностях  $\Delta t=20$  °C плотность теплового потока  $q=145$  Вт/м<sup>2</sup>.
5. Определить потерю теплоты с поверхности 1 м неизолированного трубопровода горячего водоснабжения, если его внутренний диаметр 75 мм, толщина стенки 3 мм и коэффициент ее теплопроводности 50 Вт/(м\*К). Температура воды 95 °C, наружная температура 15 °C. Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы 5000 Вт/(м<sup>2</sup>\*К) и от трубы к воздуху 15 Вт/(м<sup>2</sup>\*К). ( $q_1=308$  Вт/м).
6. Определить по условию предыдущей задачи, во сколько раз уменьшатся потери теплоты, если трубопровод изолировать слоем совелита толщиной 15 мм. Коэффициент теплопроводности совелита 0,0975 Вт/(м\*К).
7. Как изменятся потери теплоты через изолированную стенку паропровода по условиям предыдущей задачи, если изоляционные слои поменять местами?

**Практическое занятие №3.** Теплопередача через многослойную плоскую стенку (2 часа).

1. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали 450 Вт/м<sup>2</sup>. Температура поверхности под изоляцией  $t_{ct1}=450$  °C, температура внешней поверхности изоляции  $t_{ct2}=50$  °C. Определить толщину изоляции для двух случаев:
  - а) изоляция выполнена из совелита, для которого  $\lambda=0,09+0,0000874 \cdot t$ ;
  - б) изоляция выполнена из асботермита, для которого  $\lambda=0,109+0,000146 \cdot t$ .
2. Стены сушильной камеры выполнены из слоя красного кирпича толщиной  $\delta_1=250$  мм и слоя строительного войлока. Температура на внешней поверхности кирпичного слоя  $t_{c1}=110$  °C и на внешней поверхности войлочного слоя  $t_{c3}=25$  °C. Коэффициент теплопро-

водности красного кирпича  $\lambda_1=0,7$  Вт/(м\*К) и строительного войлока  $\lambda_2=0,0465$  Вт/(м\*К). Вычислить температуру в плоскости соприкосновения слоев и толщину войлочного слоя при условии, что тепловые потери через  $1 \text{ м}^2$  стенки камеры не превышают  $q=110$  Вт/м<sup>2</sup>.

3. Стенка неэкранированной топочной камеры парового котла выполнена из слоя пеношамота толщиной  $\delta_1=125$  мм и слоя красного кирпича толщиной  $\delta_2=500$  мм. Слои плотно прилегают друг к другу. Температура на внутренней поверхности топочной камеры  $t_{ct1}=1100$  °С, а на наружной  $t_{ct2}=50$  °С. Коэффициент теплопроводности пеношамота  $\lambda_1=0,28+0,00023 \cdot t$ , красного кирпича  $\lambda_2=0,7$  Вт/(м\*К). Вычислить тепловые потери через  $1 \text{ м}^2$  стенки топочной камеры и температуру в плоскости соприкосновения слоев.
4. От дымовых газов с температурой  $t_r=1000$ °С через плоскую стенку котла передается тепло воде с температурой  $t_b = 110$  °С. Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке котла:  $\alpha_1 = 70$  Вт/м<sup>2</sup>°С Коэффициент теплоотдачи от стенки котла к воде  $\alpha_2 = 2300$  Вт/м<sup>2</sup>°С. Требуется:

1. Определить термические сопротивления, коэффициенты теплопередачи, эквивалентные коэффициенты теплопроводности и удельные тепловые потоки  $q$  через  $1 \text{ м}^2$  стенки для следующих случаев:
  - а) стенка стальная, совершенно чистая, толщиной  $\delta_2 = 6$  мм, с теплопроводностью  $\lambda_2 = 45$  Вт/м°С;
  - б) стенка медная, совершенно чистая, такой же толщины как и в предыдущем пункте с теплопроводностью  $\lambda_2 = 300$  Вт/мК.
  - в) стенка стальная по п.1.а), но со стороны воды покрыта слоем накипи толщиной  $\delta_3 = 0,95$  мм с теплопроводностью  $\lambda_3 = 1,9$  Вт/м°С.
  - г) стенка стальная по п.1.в), но поверх накипи имеется слой масла толщиной  $\delta_4 = 0,4$  мм, с теплопроводностью  $\lambda_4 = 0,1$  Вт/мК;
  - д) стенка стальная по п.1.г), но со стороны газов стенка покрыта слоем сажи толщиной  $\delta_1 = 0,7$  мм, с теплопроводностью  $\lambda_1 = 0,25$  Вт/м°С.
2. Приняв количество тепла  $q$ , передаваемое по п.1.а) за 100%, подсчитать в процентах значения тепловых потоков для остальных случаев пп.1.б)-д).
3. Определить аналитически и графически температуры поверхностей раздела отдельных слоев стенки для п.1.д.
4. Построить линию падения температуры в многослойной плоской стенке по п.1.д.
5. Сделать выводы по результатам расчетов.

**Практическое занятие № 4.** Теплопередача через цилиндрическую многослойную стенку (2 часа).

1. Алюминиевый провод диаметром 3 мм покрыт слоем резиновой изоляции толщиной 1,5 мм. Определить силу постоянного тока, идущего по проводу, если температура провода 40 °С. Температура окружающего воздуха 15 °С. Коэффициент теплоотдачи к воздуху 12 Вт/(м<sup>2</sup>\*К), коэффициент теплопроводности изоляции 0,165 Вт/(м\*К), удельное электрическое сопротивление провода принять равным 0,029 Ом\*мм<sup>2</sup>/м. (34,5 А).
2. От воды с температурой  $t_{вд}=125$ °С через цилиндрическую стенку трубы толщиной  $\delta_2=17,5$  мм передается тепло воздуху помещения с температурой  $t_{вз}=10$ °С. Коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубы  $\alpha_1= 1650$  Вт/м<sup>2</sup>°С и от внешней поверхности трубы к воздуху помещения  $\alpha_2 = 9$  Вт/м<sup>2</sup>°С

Требуется:

1. Определить термические сопротивления, коэффициенты теплопередачи, удельные тепловые потоки  $q_1$  и  $q_2$  через  $1 \text{ м}^2$  наружной и внутренней поверхностей трубы с наружным диаметром  $d_3=60$  мм из алюминиевого сплава АД31,  $\lambda_2=110$  Вт/(м\*К) и  $q_1$  через 1 метр для следующих случаев:
  - а) труба гладкая, совершенно чистая;
  - б) труба по п. 1а) со стороны воздуха имеет оребрение  $\phi=F_2/F_1=8$ ;

- в) труба по п. 1а) со стороны воды покрыта слоем накипи толщиной  $\delta_1=1,1$  мм теплопроводностью  $\lambda_1=2$  Вт/(м\*К);
- г) труба по п. 1а) со стороны воздуха покрыта слоем теплоизоляционного материала толщиной  $\delta_3=30$  мм теплопроводностью  $\lambda_3 = 0,65$ Вт/м<sup>0</sup>С.
2. Приняв количество тепла  $q_1$ , передаваемого воздуху через 1 м трубы по п. 1а) за 100%, подсчитать в процентах значения тепловых потоков на 1 м трубы для условий по пп. 1б), 1в), 1г).
  3. Определить аналитически температуры поверхностей отдельных слоев стенки теплоизолированной трубы для п. 1г).
  4. Построить линию падения температуры в многослойной цилиндрической стенке по п. 1г). В пределах одного слоя линия падения температуры строится минимум по двум промежуточным точкам. Задание выполняется на миллиметровой бумаге с указанием масштабов по осям координат.
  5. Определить критический диаметр изоляции для условий применения теплоизоляционного материала с  $\lambda_3$  по п.1г).
  6. Определить термическое сопротивление слоя изоляции, удельный тепловой поток  $q_1$  на 1 метр трубопровода, соответствующие его критическому диаметру. Сопоставить с результатами по п.1г) и пояснить результат сравнения.
  7. Сделать выводы по результатам расчетов.

**Практическое занятие №5.** Тепловой расчет водо-водяного подогревателя типа «труба в трубе» (2 часа).

1. В противоточном водяном маслоохладителе двигателя внутреннего сгорания масло охлаждается от 65 °С до 55 °С. Температура охлаждающей воды на входе и выходе соответственно 18 °С и 25 °С. Расход масла 0,8 кг/с. Определить необходимую поверхность теплопередачи охладителя и расход воды, если коэффициент теплопередачи 280 Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Теплоемкость масла 2,45 кДж/(кг\*К).
2. Автомобильный радиатор передает от охлаждаемой воды к окружающую среду 40 кДж/с. Средняя температура воды в радиаторе 87 °С, а охлаждающего воздуха 37 °С. Теплорассеивающая поверхность радиатора 5 м<sup>2</sup>. Определить коэффициент теплопередачи. ( $k=160$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К))
3. В стальных трубах пароводяного кожухотрубчатого подогревателя, омываемых снаружи конденсирующимся паром с давлением 0,1 МПа, вода с секундным расходом 1,5 кг/с подогревается от  $t_1=30$  °С до  $t_2=100$  °С. Внутренний диаметр труб 19 мм, толщина стенок труб 1,5 мм. Определить расход конденсирующегося пара и общую длину труб подогревателя, если коэффициенты теплоотдачи со стороны воды 3000 Вт/(м<sup>2</sup>\*К), а со стороны пара 6000 Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Коэффициент теплопроводности материала труб 56 Вт/(м\*К). (710 кг/ч, 356 м).
4. В регенераторе воздух нагревается дымовыми газами от  $t'_в=100$  °С до  $t''_в=1100$  °С. Температура газов при входе в регенератор  $t'_г=1400$  °С. Продолжительность периодов движения газов и воздуха 0,5 ч. Средние значения коэффициентов теплоотдачи от газов 55 Вт/(м<sup>2</sup>\*К), а к воздуху 16 Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Определить часовой расход воздуха, если поверхность теплообмена в регенераторе 800 м<sup>2</sup>. (2364,2 кг/ч).
5. Определить площадь поверхности и число секций водоводяного теплообменника типа «труба в трубе». Греющая вода движется по внутренней стальной трубе  $\lambda_c=45$  Вт/(м\*К) диаметром  $d_2/d_1=35/32$  мм и имеет температуру на входе  $t_1'=100$  °С. Расход греющей воды  $G_1 = 0,6$  кг/с. Нагреваемая вода движется противоположно по кольцевому каналу между трубами и нагревается от  $t_2' = 5$ °С до  $t_2'' = 60$ °С. Внутренний диаметр внешней трубы  $D = 48$  мм = 0,048 м. Расход нагреваемой воды  $G_2 = 0,95$  кг/с. Длина одной секции теплообменника 2 м. Потерями теплоты через внешнюю поверхность теплообменника пренебречь.



**Практическое занятие №6.** Определение тепловой мощности системы отопления (2 часа).

1. Определить теплотери  $Q$  через ограждающую конструкцию при температуре внутреннего воздуха  $t_b = 20$  °С, температуре внутренней поверхности стены  $t_{\text{в}} = 16$  °С, коэффициенте тепловосприятости  $\alpha_{\text{в}} = 10$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С), площади стены  $F = 5$  м<sup>2</sup>.
2. Определить сопротивление воздухопроницанию 1 м<sup>2</sup> стеновой панели и затраты тепла на нагревание инфильтрующегося воздуха при температуре внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 20$  °С, температуре наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -30$  °С, перепаде давлений воздуха  $\Delta P = 50$  Па, расходе инфильтрующегося воздуха  $G_{\text{н}} = 2$  кг/(м<sup>2</sup> · ч). Удельная теплоемкость воздуха  $c = 1000$  Дж/(кг · °С).
3. Определить расход тепла на нагревание инфильтрующегося воздуха при его расходе 0,03 кг/с, температуре внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 18$  °С, температуре наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -22$  °С, удельной теплоемкости  $c = 1000$  Дж/(кг · °С).
4. Термическое сопротивление однослойной стены  $R = 1,85$  м<sup>2</sup> · °С/Вт. Расчетная температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = 20$  °С, температура наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -30$  °С, коэффициенты теплообмена на внутренней поверхности  $\alpha_{\text{в}} = 10$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С), на наружной  $\alpha_{\text{н}} = 20$  Вт/(м<sup>2</sup> · °С). Определить теплотери через 10 м<sup>2</sup> поверхности стены, а также температуры на внутренней и наружной поверхности.

### Лабораторные занятия

#### Методические рекомендации по организации лабораторных занятий

*Подготовка* к лабораторным занятиям включает в себя:

- изучение теоретического материала по теме занятия;
- изучение методики проведения лабораторной работы;
- изучение устройства и работы лабораторного оборудования;

*Выполнение* лабораторной работы включает в себя три основных этапа:

- Краткое конспектирование теоретических данных, последовательности выполнения работы и подготовка форм отчета по лабораторной работе.
- Выполнение лабораторной работы и обработка экспериментальных данных.
- Получение допуска к выполнению лабораторной работы, выполнение работы, заполнение подготовленных форм.

*Защита* лабораторной работы включает в себя:

- Проверку преподавателем письменного отчета студента о выполненной лабораторной работе.
- Решение задач по теме лабораторной работы.
- Беседу преподавателя со студентом по вопросам, касающимся теории изучаемого явления, методики проведения эксперимента, обработки полученных экспериментальных данных.

Лабораторные работы студенты выполняют в микрогруппах по 2-3 человека.

Ниже приведены основные сведения о лабораторных работах, в приложении 1 содержатся задачи для защиты лабораторных работ.

**Лабораторная работа №1.** Определение коэффициента теплопроводности строительных материалов методом стационарного теплового потока (2 часа).

*Цель работы:* приобретение практических навыков при работе с приборами, измеряющими теплопроводность.

*Приборы и принадлежности:* установка лабораторная ИТП-МГ4; образцы; штангенциркуль; линейка; весы.

*Контрольные вопросы:*

1. Что такое стационарный тепловой поток?
2. Что такое коэффициент теплопроводности?
3. От каких параметров и как зависит коэффициент теплопроводности?

4. Функциональные и эксплуатационные свойства теплоизоляционных материалов (ТИМ). Факторы, на них влияющие.

5. Перечислите внешние факторы, влияющие на теплопроводность. Каким образом это происходит?

6. Свойства материалов, влияющие на теплопроводность. Каким образом это происходит?

7. Виды передачи теплоты.

8. Факторы, влияющие на теплопроводность материалов в твердом состоянии?

9. Факторы, влияющие на теплопроводность материалов в газообразном состоянии.

10. Факторы, влияющие на теплопроводность ТИМ.

11. Виды пористости.

12. Классификация ТИМ и их основные свойства.

13. Способы теплопередачи. Перечислить и кратко описать.

**Лабораторная работа №2.** Определение коэффициента теплопроводности методом нагретой нити (2 часа).

*Цель работы:* изучение явлений переноса в газах на примере теплопроводности воздуха и определение коэффициента теплопроводности методом нагретой нити.

*Оборудование и принадлежности:* экспериментальная установка ФПТ 1-3.

*Контрольные вопросы:*

1. Расскажите о возможных способах передачи теплоты.
2. Объясните суть явления теплопроводности.
3. Дайте понятие времени релаксации.
4. Дайте определение теплового потока и укажите единицы СИ ее измерения.
5. Напишите формулу, по которой определяется поток теплоты, перенесенной при теплопроводности.
6. Объясните физический смысл коэффициента теплопроводности и укажите единицы СИ измерения этой величины.
7. Напишите формулу для коэффициента теплопроводности идеального газа.
8. Объясните понятие градиента температуры.
9. Сравните теплопроводность твердых тел, жидкостей, и газов.
10. Объясните, в чем заключается метод нагретой нити для определения коэффициента теплопроводности газов.
11. Выведите расчетную формулу для определения коэффициента теплопроводности методом нагретой нити.
12. Объясните назначение эталонного резистора в схеме экспериментальной установки.
13. Напишите формулу для определения разности температур проволоки и наружной трубки в данной работе.
14. Оцените среднюю длину свободного пробега и эффективный диаметр молекулы газа, используя явление теплопроводности.

**Лабораторная работа №3.** Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около горизонтального цилиндра методом имитационного моделирования процесса теплообмена (4 часа).

*Цель работы:* экспериментально определить коэффициент теплоотдачи на поверхности горизонтально расположенного цилиндра при естественной конвекции в неограниченном пространстве и сопоставить результаты опытов с расчетными данными.

*Оборудование и принадлежности:* экспериментальной установки для определения коэффициента теплоотдачи на поверхности горизонтально расположенного цилиндра при естественной конвекции; персональный компьютер с установленным программным обеспечением.

*Контрольные вопросы:*

1. Что называется естественной конвекцией и в чем заключается механизм ее возникновения?

2. Чему равна подъемная сила при естественной конвекции?
3. Что называется коэффициентом теплоотдачи?
4. Сформулируйте три теоремы подобия.
5. Чем отличаются определяемый и определяющий критерии подобия при естественной конвекции и в чем их физический смысл?
6. Что такое определяющая температура?
7. В чем заключается экспериментальный метод определения критериальной зависимости при естественной конвекции?
8. Назовите основные режимы теплообмена при естественной конвекции. От каких параметров зависит переход от одного режима к другому и в чем заключается особенность механизма переноса тепла в каждом из режимов?
9. Каким образом определяется плотность теплового потока на данной установке?
10. Каков характер изменения локального коэффициента теплоотдачи вдоль образующей поперечного сечения трубы при естественной конвекции при горизонтальном ее расположении?
11. Какие факторы влияют на погрешность экспериментального измерения коэффициента теплоотдачи на данной экспериментальной установке?

#### **Лабораторная работа №4.** Тарировка измерительной диафрагмы (2 часа).

*Цель работы:* изучение устройства и принципа действия измерительной диафрагмы, изучение зависимости расхода через диафрагму от величины перепада давления.

*Оборудование и принадлежности:* лабораторный стенд; персональный компьютер с установленным программным обеспечением.

*Контрольные вопросы:*

1. Какова сущность метода измерения расхода переменного перепада давления?
2. Каково устройство и принцип действия расходомеров переменного перепада давления?
3. Как теоретически обосновать возможность применения диафрагмы для измерения расхода?
4. Что представляет собой диафрагма?
5. Какими приборами измеряется перепад давлений?
6. Что следует понимать под коэффициентом расхода диафрагмы?

#### **Курсовой проект**

В курсовом проекте на тему «Проектирование системы отопления и вентиляции гражданского здания» необходимо рассчитать и спроектировать систему отопления гражданского здания, в соответствии с заданием и методическими рекомендациями. Задание к курсовому проекту приведено в приложении 2 к рабочей программе.

Методические рекомендации по подготовке и выполнению курсового проекта:

**1.** Выполнению курсового проекта должно предшествовать изучение соответствующих разделов дисциплины «Теплогазоснабжение с основами теплотехники».

**2.** При принятии технических решений и выполнении расчетов студенты должны руководствоваться исходными данными согласно варианту задания и нормативными документами (официальные издания СП по проектированию систем отопления).

**3.** Объем и последовательность расчетов в курсовом проекте приведены в методических указаниях к выполнению курсового проекта.

#### **Самостоятельная работа**

Самостоятельная работа студентов направлена на более глубокое и систематическое усвоение курса. Она включает в себя приобретение навыков самостоятельного решения задач и работы с литературой различной сложности.

Основные составляющие самостоятельной работы студента:

1. Подготовку к лабораторным работам.

## 2. Подготовку к экзамену.

Формы осуществления самостоятельной работы студента:

- работа в библиотеке с учебной литературой,
- работа над домашними заданиями,
- подготовка к лабораторным занятиям,
- обработка результатов эксперимента, в том числе с использованием вычислительных

методов.

## 6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины (модуля)

### 6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

Текущий контроль знаний студентов включает в себя:

#### 1) Контрольная работа (проводится в виде письменной работы)

##### Вариант 1

1. Обмуровка топочной камеры выполнена из слоя шамота  $\lambda_1=1,041$  Вт/(м\*К) толщиной  $\delta_1=200$  мм и слоя диатомита  $\lambda_2=0,159$  Вт/(м\*К) толщиной  $\delta_2=250$  мм. В топке температура продуктов сгорания  $t_r=800$  °С, а температура поверхности шамота  $t_n=790$  °С. Коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности шамота  $\alpha_1=40$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Определить температуру на стыке шамота и диатомита, а также коэффициент теплоотдачи с поверхности диатомита в воздух, если температура последнего  $t_b=20$  °С.

2. Обмуровка печи состоит из слоев шамотного и красного кирпича, между которыми расположена засыпка из диатомита. Толщина шамотного слоя  $\delta_1=130$  мм, диатомитовой засыпки  $\delta_2=55$  мм и красного кирпича  $\delta_3=130$  мм. Коэффициенты теплопроводности материалов соответственно равны  $\lambda_1=0,93$  Вт/(м\*К),  $\lambda_2=0,13$  Вт/(м\*К),  $\lambda_3=0,70$  Вт/(м\*К). Какой толщины следует сделать слой из красного кирпича, если отказаться от применения засыпки из диатомита, чтобы тепловой поток через обмуровку оставался прежним? Как изменится температура стенок, если отказаться от засыпки?

3. Стенка неэкранированной топочной камеры парового котла выполнена из слоя пеношамота толщиной  $\delta_1=125$  мм и слоя красного кирпича толщиной  $\delta_2=500$  мм. Слои плотно прилегают друг к другу. Температура на внутренней поверхности топочной камеры  $t_{c1}=800$  °С, а на наружной  $t_{c3}=30$  °С. Коэффициент теплопроводности пеношамота  $\lambda_1=0,28+0,00023 \cdot t$ , красного кирпича  $\lambda_2=0,70$  Вт/(м\*К). Вычислить тепловые потери через 1 м<sup>2</sup> стенки топочной камеры и температуру в плоскости соприкосновения слоев.

##### Вариант 2

1. Труба диаметром  $d_1=50$  мм покрыта слоем минеральной ваты ( $\lambda_1=0,090$  Вт/(м\*К)) толщиной 50 мм и слоем асбоцемента ( $\lambda_2=0,65$  Вт/(м\*К)) толщиной 50 мм. Температура поверхности изоляции  $t_n=80$  °С, окружающего воздуха  $t_b=20$  °С, коэффициент теплоотдачи с поверхности изоляции в воздух  $\alpha=3$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Определить потери тепла с погонного метра трубы и температуру поверхности трубы под изоляцией.

2. Обмуровка топки состоит из слоя хромита  $\lambda_1=1,28$  Вт/(м\*К) толщиной 200 мм, пеношамота  $\lambda_2=0,105$  Вт/(м\*К) толщиной 120 мм и красного кирпича  $\lambda_3=0,71$  Вт/(м\*К) толщиной 260 мм. Температура газов в топке  $t_r=1500$  °С. Коэффициент теплоотдачи от газов к хромиту  $\alpha_1=10$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К), коэффициент теплоотдачи от красного кирпича к воздуху  $\alpha_2=30$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Определить потери тепла с 1 м<sup>2</sup> и температуры поверхностей и стыков материалов, если температура воздуха  $t_b=20$  °С.

3. Медный провод диаметром  $d=4$  мм имеет температуру поверхности  $t_n=60$  °С. Коэффициент теплоотдачи с поверхности провода в воздух  $\alpha=10$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К), температура воздуха  $t_b=20$  °С. Определить ток, проходящий по проводу ( $\rho_m=0,050$  Ом\*мм<sup>2</sup>/м). Как следует изменить ток, идущий по проводу, чтобы при изолировании последнего слоем резины толщиной 5 мм ( $\lambda=0,16$  Вт/(м\*К)) температура провода осталась прежней. Считать, что коэффициент теплоотдачи остается без изменений.

**2) Проверка преподавателем заданий, вынесенных на практические занятия**

Студент должен решить задачи и выполнить задания, вынесенных на практические занятия.

**3) Проверка преподавателем отчетов по выполненным лабораторным работам**

Студент должен выполнить 4 лабораторные работы. Студент допускается к защите лабораторных работ после проверки преподавателем отчетов по выполненным работам.

**4) Защита выполненных лабораторных работ**

Задачи к защите и контрольные вопросы приводятся в методических указаниях, представленных в приложении 1.

**Критерии оценивания контрольной работы:**

Работа оценивается по двухбалльной системе: «зачтено» – «не зачтено». Отметка «зачтено» выставляется в случае, если студент правильно выполнил более чем 75% предложенных задач и может объяснить ход решения указанной преподавателем задачи. В противном случае студенту выставляется оценка «не зачтено».

**Критерии оценивания практических работ**

Работа оценивается по двухбалльной системе: «зачтено» – «не зачтено». Отметка «зачтено» выставляется в случае, если студент правильно выполнил более чем 75% предложенных задач и может объяснить ход решения указанной преподавателем задачи. В противном случае студенту выставляется оценка «не зачтено».

**Критерии оценивания лабораторных работ**

Лабораторная работа оценивается по двухбалльной системе «зачтено» - «не зачтено». Отметка «зачтено» выставляется в случае, если студент полностью и правильно произвел все необходимые измерения, обработал и занес в отчет полученные результаты. После сдачи отчета правильно ответил на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях к лабораторной работе и решил более чем 75% предложенных задач. В противном случае студенту выставляется оценка «не зачтено».

**Критерии оценки курсового проекта**

**«Проектирование системы отопления и вентиляции гражданского здания»**

<b>Критерий</b>	<b>Максимальное количество баллов</b>
<b>1. Содержание проекта</b>	
1.1. Соответствие цели и задач проекта заявленной теме	10
1.2. Полнота содержания проекта, логичность изложения материала	10
1.3. Правильность применения рекомендаций СНиП и СП	10
1.4. Обоснованность принимаемых технических решений	10
1.5. Рациональный подбор оборудования системы отопления	10
1.6. Самостоятельность работы автора (авторов) при работе над проектом	10
<b>2. Защита проекта</b>	
2.1. Представление результатов проектирования при защите курсового проекта	10
2.2. Умение отвечать на вопросы по проекту	10
<b>1. Оформление курсового проекта</b>	
3.1 Оформление расчетно-пояснительной записки в соответствии с ГОСТ	10
3.2 Оформление графической части курсового проекта в соответствии с требованиями ГОСТ	10
<b>Итого</b>	<b>100</b>

100 - 90 баллов – «отлично»

89-70 баллов – «хорошо»

69-50 баллов – «удовлетворительно»

менее 50 баллов – «неудовлетворительно».

## 6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

### Вопросы к экзамену

1. Становление теории тепловых процессов.
2. Роль систем теплогасоснабжения в жизни общества.
3. Предмет технической термодинамики. Термодинамическая система. Основные параметры состояния термодинамических систем.
4. Уравнение состояния и термодинамический процесс.
5. Смеси газов. Способы задания состава смеси. Соотношения между массовыми и объемными долями.
6. Теплота, работа, теплоемкость.
7. Функции состояния термодинамической системы.
8. Первое начало термодинамики.
9. Термодинамические процессы.
10. Водяной пар.
11. Влажный воздух.
12. Термодинамические циклы.
13. Цикл Карно. Второе начало термодинамики.
14. Виды передачи теплоты.
15. Теплопроводность.
16. Стационарная теплопроводность через плоскую стенку.
17. Стационарная теплопроводность через цилиндрическую стенку.
18. Конвективный теплообмен.
19. Краткие сведения из теории подобия. Критериальные уравнения конвективного теплообмена.
20. Общие сведения о тепловом излучении.
21. Сложный теплообмен. Теплопередача.
22. Типы теплообменных аппаратов.
23. Расчет теплообменных аппаратов.
24. Микроклимат помещений.
25. Системы обеспечения микроклимата помещений.
26. Тепловой баланс помещений и теплотраты на отопление зданий.
27. Требования, предъявляемые к системам отопления.
28. Классификация систем отопления.
29. Теплоносители систем отопления.
30. Техничко-экономическое сравнение основных систем отопления.
31. Основные элементы и принцип работы системы водяного отопления.
32. Классификация систем водяного отопления.
33. Область применения и технико-экономические показатели различных систем водяного отопления.
34. Размещение и монтаж основных элементов систем водяного отопления.
35. Циркуляционное давление в системах водяного отопления.
36. Основные принципы гидравлического расчета теплопроводов систем водяного отопления.
37. Методика гидравлического расчета теплопровода систем водяного отопления.
38. Отопление зданий повышенной этажности.
39. Отопительные приборы систем водяного отопления.
40. Конвективные отопительные приборы.
41. Выбор, размещение и установка отопительных приборов.
42. Определение площади нагреваемой поверхности и числа элементов отопительных приборов.
43. Свойства пара как теплоносителя.
44. Классификация систем парового отопления.

45. Схемы систем парового отопления.
46. Особенности гидравлического расчета систем парового отопления низкого и высокого давления.
47. Классификация систем воздушного отопления.
48. Рециркуляционные воздухонагреватели.
49. Воздушно-тепловые завесы гражданских и производственных зданий.
50. Классификация систем теплоснабжения.
51. Водяные и паровые системы теплоснабжения.
52. Подключение абонентов к водяным системам теплоснабжения.
53. Тепловые нагрузки.
54. Регулирование нагрузки в системах теплоснабжения.
55. Основные принципы построения систем газоснабжения.
56. Классификация городских газопроводов.
57. Газораспределительные пункты и установки.
58. Устройство внутренней системы газоснабжения.

### Образцы задач к экзамену:

1. Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена из стали  $\lambda=40$  Вт/(м·°С), толщина стенки  $\delta=50$  мм. Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными  $t_{ст1}=100$  °С и  $t_{ст2}=90$  °С.

2. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери теплоты с единицы поверхности в единицу времени не превышали  $450$  Вт/м<sup>2</sup>. Температура поверхности под изоляцией  $t_{ст1}=450$  °С, температура внешней поверхности изоляции  $t_{ст2}=50$  °С. Определить толщину изоляции, выполненной из из асботермита, для которого  $\lambda=0,109+0,000146 \cdot t$ .

3. Задан объемный состав газовой смеси:  $r_{CH_4}=0,13$ ,  $r_{CO_2}=0,27$ ,  $r_{CO}=0,6$ . Определить массовый состав смеси при давлении смеси  $p=0,12$  МПа и температуре смеси  $t=70$  °С.

4. Смесь газов (2 кг O<sub>2</sub> и 8 кг N<sub>2</sub>) с начальной температурой  $t_1=27$  °С сжимается в одноступенчатом поршневом компрессоре от давления  $p_1=0,1$  МПа до давления  $p_2=0,9$  МПа. Сжатие происходит по изотерме. Производительность компрессора  $G=0,3 \cdot 10^{-3}$  кг/с. Киломолярные теплоемкости двухатомных газов равны  $C_{mv}=20,8$  кДж/(кмоль·К) и  $C_{mp}=29,1$  кДж/(кмоль·К). Определить конечную температуру  $t_2$ .

5. Смесь газов (2 кг O<sub>2</sub> и 8 кг N<sub>2</sub>) с начальной температурой  $t_1=27$  °С сжимается в одноступенчатом поршневом компрессоре от давления  $p_1=0,1$  МПа до давления  $p_2=0,9$  МПа. Сжатие происходит по адиабате. Производительность компрессора  $G=0,3 \cdot 10^{-3}$  кг/с. Киломолярные теплоемкости двухатомных газов равны  $C_{mv}=20,8$  кДж/(кмоль·К) и  $C_{mp}=29,1$  кДж/(кмоль·К). Определить изменение внутренней энергии смеси.

6. Определить потерю теплоты  $Q$ , Вт, через стенку из красного кирпича длиной  $l=5$  м, высотой  $h=4$  м и толщиной  $\delta=0,250$  м, если температуры на поверхностях стенки поддерживаются  $t_{ст1}=110$  °С и  $t_{ст2}=40$  °С. Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda=0,70$  Вт/(м·К).

7. Определить коэффициент теплопроводности материала стенки, если при толщине ее  $\delta=40$  мм и разности температур на поверхностях  $\Delta t=20$  °С плотность теплового потока  $q=145$  Вт/м<sup>2</sup>.

### Пример экзаменационного билета

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №10

1. Термодинамические процессы.
2. Воздушно-тепловые завесы гражданских и производственных зданий.
3. Смесь газов (2 кг O<sub>2</sub> и 8 кг N<sub>2</sub>) с начальной температурой  $t_1=27$  °С сжимается в одноступенчатом поршневом компрессоре от давления  $p_1=0,1$  МПа до давления  $p_2=0,9$  МПа. Сжатие происходит по изотерме. Определить конечную температуру смеси, если производительность компрессора  $G=0,3 \cdot 10^{-3}$  кг/с. Принять киломолярные теплоемкости двухатомных газов равными  $C_{mv}=20,8$  кДж/(кмоль·К) и  $C_{mp}=29,1$  кДж/(кмоль·К).

## **Критерии экзаменационной оценки**

На экзамене оценка **«отлично»** выставляется студенту, который:

1) глубоко и прочно усвоил программный материал в полном объеме, исчерпывающе, грамотно и логически стройно его излагает, четко формулирует основные понятия, приводит соответствующие примеры, уверенно владеет методологией курса, свободно ориентируется в его внутренней структуре, четко выявляет межпредметные связи с другими учебными дисциплинами;

2) умеет творчески иллюстрировать теоретические положения курса примерами, применять теоретические знания к решению практических задач;

3) хорошо владеет современными методами исследования, способен к самостоятельному пополнению и обновлению знаний, понимает прикладную направленность курса теплогазоснабжение с основами теплотехники.

Оценка **«хорошо»** выставляется студенту, который:

1) твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его без существенных ошибок, правильно применяет теоретические положения при решении конкретных задач, с небольшими погрешностями приводит формулировки определений, не допускает существенных неточностей при выборе и обоснованности методов решения задач;

2) владеет методами решения задач, устанавливает внутренние и межпредметные связи, умеет увязывать теорию с практикой;

3) по ходу изложения допускает небольшие неточности, не искажающие содержания ответа.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется студенту, который не совсем твердо владеет программным материалом, знает основные теоретические положения изучаемого курса, обладает достаточными для продолжения обучения и предстоящей профессиональной деятельности, знаниями. Выполняет текущие задания, устанавливаемые графиком учебного процесса. При ответах допускает малосущественные погрешности, искажения логической последовательности при изложении материала, неточную аргументацию теоретических положений курса, испытывает затруднения при решении задач.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется студенту, имеющему серьезные пробелы в знании учебного материала, допускающему принципиальные ошибки при выполнении предусмотренных программой контрольных заданий. Уровень знаний недостаточен для дальнейшей учебы и будущей профессиональной деятельности.

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы**

### **7.1. Основная литература**

1. Смирнова, М. В. Теоретические основы теплотехники : учебное пособие для вузов / М. В. Смирнова. – 2-е изд. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 237 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-13322-6. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/476502>.

2. Теплотехника. Практикум : учебное пособие для вузов / В. Л. Ерофеев [и др.] ; под редакцией В. Л. Ерофеева, А. С. Пряжина. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 395 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-9916-6992-4. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/469615>

3. Шиляев, М. И. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Примеры расчета систем : учебное пособие для вузов / М. И. Шиляев, Е. М. Хромова, Ю. Н. Дорошенко ; под редакцией М. И. Шиляева. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 250 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-09295-0. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/474725>

4. Кязимов, К. Г. Газоснабжение: устройство и эксплуатация газового хозяйства : учебник для вузов / К. Г. Кязимов, В. Е. Гусев. – 6-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 392 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-11646-5. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/474246>

### **7.2. Дополнительная литература**



1. Малявина, Е. Г. Строительная теплофизика и микроклимат зданий : учебник / Е. Г. Малявина, О. Д. Самарин. – Москва : МИСИ-МГСУ, ЭБС АСВ, 2018. – 188 с. – ISBN 978-5-7264-1848-3. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/86297.html>
2. Гидравлический расчет инженерных сетей систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха общественного здания : методические указания к практическим занятиям и выполнению курсовой работы «Гидравлический расчет инженерных сетей систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха общественного здания» для обучающихся по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» / составители О. Д. Самарин. – Москва : Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. – 26 с. – ISBN 2227-8397. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru/72583.html>
3. Оборудование сетей газораспределения и газопотребления : учебное пособие для вузов / С. М. Суслов, Е. Ю. Камынина, А. С. Мясников, Д. В. Резников. – Москва : Издательство Юрайт, 2021. – 220 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-14716-2. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/479361>
4. Тихомиров К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: Учеб. для вузов. – 5-е изд., репр. – М.: БАСТЕТ, 2009. – 479 с.
5. Еремкин А.И., Королева Т.И. Тепловой режим зданий: Учеб. пособие для вузов. – М. : Издательство АСВ, 2003. – 367 с.
6. СП 60.13330.2020 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
7. СП 131.13330.2020 Строительная климатология.
8. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.

### **7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

1. <https://docs.cntd.ru/> - Электронный фонд нормативно-технической и нормативно-правовой информации Консорциума «Кодекс».
2. Видеофрагменты, касающиеся различных разделов курса (по материалам видеохостинга youtube.com).

## **8. Материально-техническое обеспечение**

Специализированная аудитория, оснащённая средствами мультимедиа, компьютерный класс, ауд.06, к.3, программное обеспечение дисциплины, лаборатория «Теплогазоснабжение», ауд. 02, к.3, с четырьмя лабораторными установками.

## **9. Программное обеспечение**

Лекции сопровождаются презентациями, разработанными в редакторе MS PowerPoint.

При выполнении курсового проекта используется табличный редактор MS Excel, текстовый редактор MS Word и один из графических пакетов AutoCAD или Компас.

Предусмотрена защита лабораторных работ, в виде компьютерного тестирования в программе, разработанной на языке C++.

## Задачи для защиты лабораторных работ

## Лабораторная работа №1. Определение коэффициента теплопроводности строительных материалов методом стационарного теплового потока.

Защита лабораторной работы №1 проводится по следующим карточкам:

## 1-1

1. Определить коэффициент теплопроводности кирпичной стенки печи толщиной 380 мм, если температура на внутренней поверхности стенки 300 °С, а на наружной 60 °С. Потери теплоты через стенку  $q=190 \text{ Вт/м}^2$ .
2. Определять эквивалентный коэффициент теплопроводности стальной стенки парового котла, если стенка покрывается слоем накипи 2 мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_n=1,35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Толщина стального листа  $\delta=16 \text{ мм}$  и  $\lambda=50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Сравнить его с коэффициентом теплопроводности стали.
3. Плоская стенка толщиной  $\delta=50 \text{ мм}$  с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  пропускает стационарный тепловой поток, имеющий поверхностную плотность  $q=3 \text{ кВт/м}^2$ . Температура тепловоспринимающей поверхности стенки  $T_{w1}=100 \text{ }^\circ\text{С}$ . Определить термическое сопротивление теплопроводности стенки  $R_t$  и температуру теплоотдающей поверхности  $T_{w2}$ .
4. Обмуровка печи состоит из слоев шамотного ( $\delta_1=250 \text{ мм}$ ,  $\lambda_1=0,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ) и красного кирпичей ( $\delta_3=250 \text{ мм}$ ,  $\lambda_3=0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ), между которыми расположена засыпка из диатомита ( $\delta_3=100 \text{ мм}$ ,  $\lambda_3=0,14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ). Какой толщины необходимо сделать слой красного кирпича, чтобы отказаться от засыпки диатомитом и при этом тепловой поток оставить неизменным?
5. Плоскую поверхность необходимо изолировать так, чтобы потери тепла не превышали  $450 \text{ Вт/м}^2$ . Температура поверхности под изоляцией  $t=450 \text{ }^\circ\text{С}$ , а температура внешней поверхности  $t=50 \text{ }^\circ\text{С}$ . Определить толщину изоляции из совелита, для которого  $\lambda=0,09+8,74\cdot 10^{-5}\cdot t \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

## 1-2

1. Через плоскую металлическую стенку топки котла толщиной  $\delta=14 \text{ мм}$  от газов к кипящей воде проходит удельный тепловой поток  $q=25000 \text{ Вт/м}^2$ . Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda_{ст}=50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Определить перепад температуры на поверхностях стенки.
2. Слой льда на поверхности воды имеет толщину 250 мм, температуры на нижней и верхней поверхностях соответственно  $t_1=0 \text{ }^\circ\text{С}$ , и  $t_2=-15 \text{ }^\circ\text{С}$ . Определить тепловой поток через  $1 \text{ м}^2$  поверхности льда, если его коэффициент теплопроводности  $\lambda_l=2,25 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Как изменится тепловой поток, если лед покрывается слоем снега толщиной 155 мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_c=0,465 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  и температура на поверхности снега будет  $t_{2c}=-20 \text{ }^\circ\text{С}$ ?
3. Плоская стенка состоит из трех слоев толщиной  $\delta_1=100 \text{ мм}$ ,  $\delta_2=80 \text{ мм}$ , и  $\delta_3=50 \text{ мм}$ , коэффициенты теплопроводности слоев соответственно равны  $\lambda_1=2 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda_2=8 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , и  $\lambda_3=10 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Второй слой имеет температуры поверхностей  $T_{1-2}=120 \text{ }^\circ\text{С}$  и  $T_{2-3}=45 \text{ }^\circ\text{С}$ . Определить температуры наружных поверхностей  $T_{w1}$  и  $T_{w2}$ .
4. Обмуровка печи состоит из слоев шамотного ( $\delta_1=250 \text{ мм}$ ,  $\lambda_1=0,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ) и красного кирпичей ( $\delta_3=250 \text{ мм}$ ,  $\lambda_3=0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ), между которыми расположена засыпка из диатомита ( $\delta_3=100 \text{ мм}$ ,  $\lambda_3=0,14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ). Какой толщины необходимо сделать слой шамотного кирпича, чтобы отказаться от засыпки диатомитом и при этом тепловой поток оставить неизменным?
5. В приборе для определения коэффициента теплопроводности материалов между горячей и холодной поверхностями расположен испытываемый образец. Образец представляет собой диск диаметром  $d=120 \text{ мм}$  и толщиной  $\delta=20 \text{ мм}$ . Температура горячей и холодной поверхностей 180 и 30 °С соответственно. Тепловой поток через образец после установления стационарного процесса равен  $Q=50,6 \text{ Вт}$ . Благодаря защитным нагревателям радиальные потоки отсутствуют. Из-за плохой подгонки между образцом и холодной и горячей поверхностями образовались зазоры равные по  $\delta=0,1 \text{ мм}$ . Вычислить возникающую из-за этого погрешность измерений.

1. Определить удельный тепловой поток через бетонную стенку толщиной 300 мм, если температуры на внутренней и наружной поверхностях соответственно равны  $t_1=15$  °С и  $t_2=-15$  °С. Коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_b=1,0$  Вт/(м·К).
2. Стенка нагревательной печи изготовлена из двух слоев кирпича. Внутренний слой выполнен из огнеупорного кирпича толщиной  $\delta_1=350$  мм, а наружный из красного кирпича  $\delta_2=250$  мм. Определить температуру на внутренней поверхности стенки  $t_1$  и на внутренней стороне красного кирпича  $t_2$ , если на наружной стороне температура стенки  $t_3=90$  °С, а потери теплоты через  $1$  м<sup>2</sup> стенки равна 1 кВт. Коэффициенты теплопроводности огнеупорного и красного кирпича соответственно  $\lambda_{о.к.}=1,4$  Вт/(м·К) и  $\lambda_{к.к.}=0,58$  Вт/(м·К).
3. Стены сушильной камеры выполнены из слоя красного кирпича толщиной  $\delta_1=250$  мм и слоя строительного войлока. Температура на внутренней поверхности кирпичного слоя  $T_{w1}=130$  °С, а на внешней поверхности войлочного слоя  $T_{w2}=40$  °С. Коэффициент теплопроводности красного кирпича 0,7 Вт/(м·К) и строительного войлока 0,0465 Вт/(м·К). Вычислить температуру в плоскости соприкосновения слоев  $T_{1-2}$  и толщину войлочного слоя при условии, что тепловые потери через  $1$  м<sup>2</sup> стенки камеры равны  $q=130$  Вт/м<sup>2</sup>.
4. Обмуровка печи состоит из слоев шамотного ( $\delta_1=250$  мм,  $\lambda_1=0,93$  Вт/(м·К)) и красного кирпичей ( $\delta_2=250$  мм,  $\lambda_2=0,7$  Вт/(м·К)), между которыми расположена засыпка из диатомита ( $\delta_3=100$  мм,  $\lambda_3=0,14$  Вт/(м·К)). Какой толщины необходимо сделать слой засыпки диатомитом, чтобы отказаться от слоя красного кирпича и при этом тепловой поток оставить неизменным?
5. В приборе для определения коэффициента теплопроводности материалов между горячей и холодной поверхностями расположен испытываемый образец. Образец представляет собой диск диаметром  $d=120$  мм и толщиной  $\delta=20$  мм. Температура горячей и холодной поверхностей 180 и 30 °С соответственно. Тепловой поток через образец после установления стационарного процесса равен  $Q=50,6$  Вт. Благодаря защитным нагревателям радиальные потоки отсутствуют. Из-за плохой подгонки между образцом и холодной поверхностью образовался зазор равный  $\delta=0,1$  мм. Вычислить возникающую из-за этого погрешность измерений.

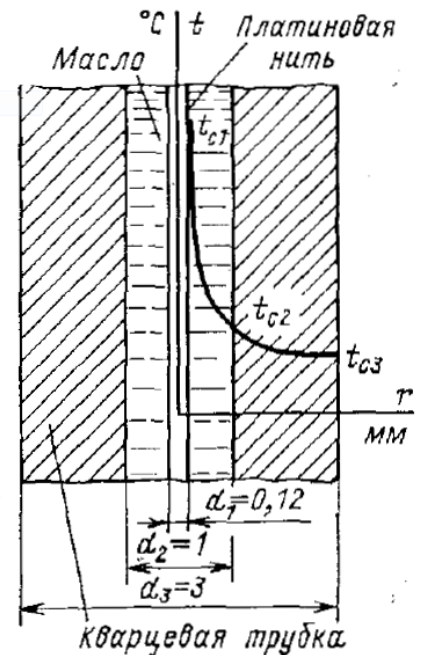
1. Определить термическое сопротивление теплопроводности  $R_t$  и толщину  $\delta$  плоской однослойной стенки, если при разности температур ее поверхностей  $\Delta T=T_{w2}-T_{w1}=75$  °С через нее проходит стационарный тепловой поток плотностью  $q=3$  кВт/м<sup>2</sup>. Коэффициент теплопроводности стенки  $\lambda=2$  Вт/(м·К).
2. Определить тепловой поток через  $1$  м<sup>2</sup> поверхности кирпичной стенки и глубину ее промерзания до температуры  $t \leq 0$  °С. Толщина стенки 250 мм температура на ее внутренней поверхности  $t_1=20$  °С, а наружной  $t_2=-30$  °С. Принять коэффициент теплопроводности кирпича  $\lambda=0,55$  Вт/(м·К).
3. Определить значение эквивалентного коэффициента теплопроводности многослойной плоской стенки, составленной из 8 металлических листов толщиной  $\delta_1=0,5$  мм, между которыми проложен изоляционный материал толщиной  $\delta_2=5$  мм.
4. Стальная стенка со средней температурой  $t_w=60$  °С изолирована от тепловых потерь слоем текстолита толщиной  $\delta_1=20$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_1=0,0292$  Вт/(м·К) и слоем пробковой плиты толщиной  $\delta_2=20$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2=0,0466$  Вт/(м·К). Определить, какой толщины  $\delta_x$  слой изоляции из распушенного асбеста с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,1225$  Вт/(м·К) может заменить слой текстолита из пробки так, чтобы теплоизоляционные свойства системы остались без изменений.
5. В приборе для определения коэффициента теплопроводности материалов между горячей и холодной поверхностями расположен испытываемый образец. Образец представляет собой диск диаметром  $d=120$  мм и толщиной  $\delta=20$  мм. Температура горячей и холодной поверхностей 180 и 30 °С соответственно. Тепловой поток через образец после установления стационарного процесса равен  $Q=50,6$  Вт. Благодаря защитным нагревателям радиальные потоки отсутствуют. Из-за плохой подгонки между образцом и горячей поверхностью образовался зазор равный  $\delta=0,1$  мм. Вычислить возникающую из-за этого погрешность измерений.

**Лабораторная работа №2.** Определение коэффициента теплопроводности методом нагретой нити

Защита лабораторной работы №2 проводится по следующим карточкам:

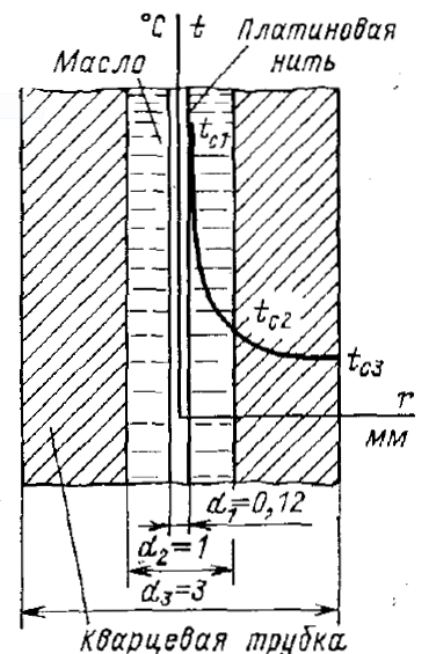
2-1

1. Определить тепловой поток через поверхность 1 м паропровода с внутренним диаметром 140 мм и толщиной стенки  $\delta_1=5$  мм, изолированного двумя слоями тепловой изоляции  $\delta_2=20$  мм и  $\delta_3=40$  мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно  $\lambda_1=55$  Вт/(м·К),  $\lambda_2=0,037$  Вт/(м·К) и  $\lambda_3=0,14$  Вт/(м·К). Температура на внутренней поверхности трубопровода  $t_1=300$  °С и наружной поверхности изоляции  $t_2=55$  °С.
2. Определить температуру на границах раздела первого и второго слоев трехслойной изоляции трубы. Наружный диаметр трубы  $d=245$  мм, толщина слоев  $\delta_1=80$  мм,  $\delta_2=50$  мм и  $\delta_3=30$  мм. Коэффициент теплопроводности изоляционных материалов  $\lambda_1=0,03$  Вт/(м·К),  $\lambda_2=0,06$  Вт/(м·К),  $\lambda_3=0,12$  Вт/(м·К). Температура на поверхности трубы  $250$  °С и на наружной поверхности изоляции  $65$  °С.
3. В приборе для определения коэффициента теплопроводности жидкостей по методу «нагретой нити» (см. рис.) в кольцевой зазор между платиновой нитью и кварцевой трубкой залито испытуемое трансформаторное масло. Диаметр и длина платиновой нити  $d_1=0,12$  мм и  $l=90$  мм; внутренний и наружный диаметры кварцевой трубки  $d_2=1$  мм и  $d_3=3$  мм; коэффициент теплопроводности кварца  $\lambda=1,4$  Вт/(м·К). Вычислить коэффициент теплопроводности трансформаторного масла, если при расходе теплоты через цилиндрический слой масла  $Q=1,8$  Вт, температура платиновой нити  $t_{c1}=106,9$  °С и температура внешней поверхности кварцевой трубки  $t_{c3}=30,6$  °С.
4. Вычислить допустимую силу тока для медного провода  $d=2$  мм, покрытого резиновой изоляцией толщиной  $\delta=1$  мм, при условии, что максимальная температура изоляции должна быть не выше  $60$  °С, а на внешней поверхности изоляции  $40$  °С. Коэффициент теплопроводности резины  $\lambda=0,15$  Вт/(м·К). Удельное сопротивление меди  $\rho=1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом·м.
5. Стальной трубопровод диаметром  $d_1/d_2=155/175$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=40$  Вт/(м·К) покрыт изоляцией в два слоя толщиной  $\delta_2=50$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2=0,05$  Вт/(м·К) и  $\delta_3=70$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_3=0,10$  Вт/(м·К). Температура внутренней поверхности трубы  $t_{c1}=300$  °С, а наружной поверхности изоляции  $t_{c4}=55$  °С. Как изменятся тепловые потери с 1 м трубопровода, если слои изоляции поменять местами, т.е. слой с большим коэффициентом теплопроводности наложить непосредственно на поверхность трубы?



2-2

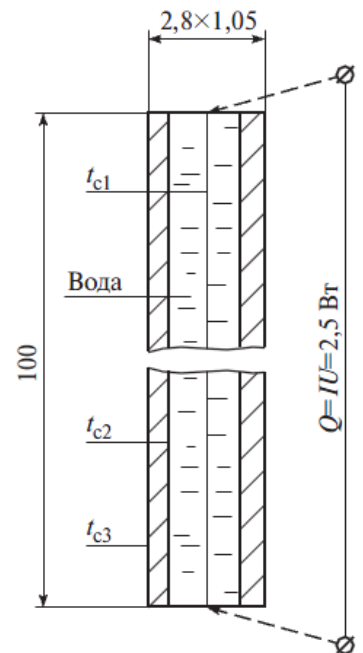
1. Определить тепловой поток через поверхность 1 м паропровода с внутренним диаметром 140 мм и толщиной стенки  $\delta_1=5$  мм, изолированного одним слоем тепловой изоляции  $\delta_2=20$  мм. Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно  $\lambda_1=55$  Вт/(м·К),  $\lambda_2=0,037$  Вт/(м·К). Температура на внутренней поверхности трубопровода  $t_1=300$  °С и наружной поверхности изоляции  $t_2=55$  °С.
2. Определить температуру на границах раздела второго и третьего слоев трехслойной изоляции трубы. Наружный диаметр трубы  $d=245$  мм, толщина слоев  $\delta_1=80$  мм,  $\delta_2=50$  мм и  $\delta_3=30$  мм. Коэффициент теплопроводности изоляционных материалов  $\lambda_1=0,03$  Вт/(м·К),  $\lambda_2=0,06$  Вт/(м·К),  $\lambda_3=0,12$  Вт/(м·К). Температура на поверхности трубы  $250$  °С и на наружной поверхности изоля-



- ции  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- В приборе для определения коэффициента теплопроводности жидкостей по методу «нагретой нити» (см. рис.) в кольцевой зазор между платиновой нитью и кварцевой трубкой залито испытуемое трансформаторное масло. Диаметр и длина платиновой нити  $d_1=0,12\text{ мм}$  и  $l=90\text{ мм}$ ; внутренний и наружный диаметры кварцевой трубки  $d_2=1\text{ мм}$  и  $d_3=3\text{ мм}$ ; коэффициент теплопроводности кварца  $\lambda=1,4\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Вычислить среднюю температуру трансформаторного масла, если при расходе теплоты через цилиндрический слой масла  $Q=1,8\text{ Вт}$ , температура платиновой нити  $t_{c1}=106,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  и температура внешней поверхности кварцевой трубки  $t_{c3}=30,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
  - Вычислить температуру на поверхности медного провода с диаметром  $d=2\text{ мм}$ , покрытого слоем резиновой изоляцией толщиной  $\delta=1,5\text{ мм}$  с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,15\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , при условии, что по проводу протекает ток  $60\text{ А}$ , а максимальная температура изоляции не превышает  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Удельное сопротивление меди  $\rho=1,7\cdot 10^{-8}\text{ Ом}\cdot\text{м}$ .
  - Железобетонная дымовая труба с внутренним диаметром  $d_2=850\text{ мм}$  и наружным диаметром  $d_3=1400\text{ мм}$  футерована внутри огнеупором. Определить температуру наружной поверхности трубы из расчета, что тепловые потери с  $1\text{ м}$  трубе не превышают  $1800\text{ Вт/м}$ , а температура внутренней поверхности железобетонной стенки  $t_{c2}$  не превышает  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температуру внутренней поверхности футеровки принять  $t_{c1}=400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , коэффициент теплопроводности футеровки  $\lambda_1=0,5\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_2=1,1\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .

### 2-3

- Определить тепловой поток через поверхность  $1\text{ м}$  паропровода с внутренним диаметром  $140\text{ мм}$  и толщиной стенки  $\delta_1=5\text{ мм}$ , изолированного одним слоем тепловой изоляции  $\delta_2=40\text{ мм}$ . Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно  $\lambda_1=55\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ , и  $\lambda_2=0,14\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Температура на внутренней поверхности трубопровода  $t_1=300\text{ }^{\circ}\text{C}$  и наружной поверхности изоляции  $t_2=55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Определить необходимую толщину изоляции, если допустимые температуры на ее поверхности  $t_1=350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , и  $t_2=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а удельный тепловой поток через изоляцию не должен превосходить  $450\text{ Вт/м}$ . Коэффициент теплопроводности изоляции  $\lambda=0,12\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .
- Стальной паропровод наружным/внутренним диаметрами  $110/112\text{ мм}$  (коэффициент теплопроводности стали  $\lambda=50\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ) покрыт двумя слоями тепловой изоляции: толщина первого слоя  $50\text{ мм}$  ( $\lambda=0,06\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ), толщина второго слоя  $60\text{ мм}$  ( $\lambda=0,12\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ). Определить потери теплоты с единицы длины трубопровода, если температура внутренней поверхности трубы  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а наружной поверхности  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- В приборе для определения коэффициента теплопроводности методом нагретой нити в кольцевом зазоре между платиновой нитью ( $d=0,1\text{ мм}$ ,  $l=100\text{ мм}$ ) и кварцевой трубкой ( $d_2\times d_3=2,8\times 1,05\text{ мм}$ ,  $\lambda_{\text{КВ}}=1,76\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ) находится вода ( $p=20\cdot 10^5\text{ Па}$ ). Определить коэффициент теплопроводности и среднюю температуру воды в зазоре, если при тепловыделении в нити (путем пропускания электрического тока)  $Q=2,5\text{ Вт}$  температура ее поверхности  $t_{c1}=220\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура внешней поверхности кварцевой трубки  $t_{c3}=204,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Железобетонная дымовая труба с внутренним диаметром  $d_2=850\text{ мм}$  и наружным диаметром  $d_3=1400\text{ мм}$  футерована внутри огнеупором. Определить толщину футеровки из расчета, что тепловые потери с  $1\text{ м}$  трубе не превышают  $1800\text{ Вт/м}$ , а температура внутренней поверхности железобетонной стенки  $t_{c2}$  не превышает  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температуру внутренней поверхности футеровки принять  $t_{c1}=400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , коэффициент теплопроводности футеровки  $\lambda_1=0,5\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_2=1,1\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ .



### 2-4

- Определить тепловой поток с единицы длины трубы, покрытой трехслойной изоляцией. Наружный диаметр трубы  $d=245\text{ мм}$ , толщина слоев  $\delta_1=80\text{ мм}$ ,  $\delta_2=50\text{ мм}$  и  $\delta_3=30\text{ мм}$ . Коэффициент теплопроводности изоляционных материалов  $\lambda_1=0,03\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda_2=0,06\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,

$\lambda_3=0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Температура на поверхности трубы 250 °С и на наружной поверхности изоляции 65 °С.

2. Паропровод с внутренним диаметром 140 мм и толщиной стенки  $\delta_1=5 \text{ мм}$ , изолирован двумя слоями тепловой изоляции  $\delta_2=20 \text{ мм}$  и  $\delta_3=40 \text{ мм}$ . Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно  $\lambda_1=55 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ,  $\lambda_2=0,037 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  и  $\lambda_3=0,14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Температура на внутренней поверхности трубопровода  $t_1=300 \text{ °С}$  и наружной поверхности изоляции  $t_2=55 \text{ °С}$ . Как изменится потеря теплоты через изолированную стенку паропровода, если изоляционные слои поменять местами?
3. Стальной паропровод наружным/внутренним диаметрами 110/112 мм (коэффициент теплопроводности стали  $\lambda=50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ) покрыт двумя слоями тепловой изоляции: толщина первого слоя 50 мм ( $\lambda=0,06 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ), толщина второго слоя 60 мм ( $\lambda=0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ). Определить температуру на границе соприкосновения слоев тепловой изоляции, если температура внутренней поверхности трубы 250 °С, а наружной поверхности 50 °С.
4. Трубка из нержавеющей стали внутренним диаметром  $d_1=7,6 \text{ мм}$  и наружным диаметром  $d_2=8 \text{ мм}$  обогревается электрическим током путем непосредственного включения в электрическую цепь. Вся теплота, выделяемая в стенке трубки, отводится через внутреннюю поверхность трубки. Вычислить объемную производительность источников теплоты в стенке трубки, если по трубке пропускается ток 250 А. Удельное электрическое сопротивление и коэффициент теплопроводности стали, соответственно,  $\rho=0,85 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$ ,  $\lambda=18,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{С)}$ .
5. Железобетонная дымовая труба с внутренним диаметром  $d_2=850 \text{ мм}$  и наружным диаметром  $d_3=1400 \text{ мм}$  футерована внутри огнеупором. Определить толщину футеровки из расчета, что тепловые потери с 1 м трубе не превышают 1800 Вт/м, а температура внутренней поверхности железобетонной стенки  $t_{c2}$  не превышает 180 °С. Температуру внутренней поверхности футеровки принять  $t_{c1}=400 \text{ °С}$ , коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_2=1,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ . Футеровка выполнена из шамотного кирпича, теплопроводность которого зависит от температуры по формуле  $\lambda=0,84+0,0006\cdot t$ .

**Лабораторная работа №3. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около горизонтального цилиндра методом имитационного моделирования процесса теплообмена.**

**Защита лабораторной работы №3 проводится по следующим карточкам:**

**3-1**

1. По трубке диаметром  $d=16 \text{ мм}$  и длиной  $l=2,1 \text{ м}$  течет горячая вода, отдающая теплоту через стенку трубы среде, омывающей трубку снаружи. Расход воды через трубку  $G=0,0091 \text{ кг/с}$ ; температура воды на входе  $t_{ж1}=87,2 \text{ °С}$ ; температура воды на выходе  $t_{ж2}=29 \text{ °С}$ ; средняя температура стенки трубки  $t_c=15,3 \text{ °С}$ . Вычислить значение критерия Рейнольдса, приняв в качестве определяющей температуры среднеарифметическую температуру жидкости.

2. На экспериментальной установке исследовалась теплоотдача при поперечном обтекании одиночного цилиндра воздухом. В результате опытов получены значения коэффициентов теплоотдачи  $\alpha, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$  для цилиндра диаметром  $d_1=10 \text{ мм}$  при постоянной температуре  $t_{ж}=20 \text{ °С}$  и различных скоростях набегающего потока  $\omega, \text{ м/с}$ :

$\omega, \text{ м/с}$	2,0	5,0	10	10
$\alpha, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$	39,5	71,2	106,5	165,3

Найти критериальную зависимость для теплоотдачи в виде  $Nu_{ж}=C \cdot Re_{ж}^n$ .

3. Рассчитать коэффициент теплоотдачи поверхности  $\alpha$ , если тепловая мощность, отводимая от поверхности  $Q$  составляет 15 кВт, площадь поверхности 50 дм<sup>2</sup>, ее температура 550 °С, а температура воздуха 20 °С.

4. Вычислить потери теплоты в единицу времени с 1 м<sup>2</sup> поверхности горизонтального теплообменника, корпус которого имеет цилиндрическую форму и охлаждается свободным потоком воздуха. Наружный диаметр корпуса теплообменника  $d=400 \text{ мм}$ , температура поверхности  $t_c=200 \text{ °С}$  и температура воздуха в помещении  $t_{ж}=30 \text{ °С}$ .

5. Отопление помещения производится горизонтальным трубопроводом с наружным диаметром 25 мм обогреваемым конденсирующимся паром. Температура наружной поверхности трубо-

провода  $t_c=104\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура в помещении  $t_{ж}=22\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить необходимую длину трубопровода, если расчетная мощность отопительной системы 1,5 кВт.

### 3-2

1. По трубке диаметром  $d=16\text{ мм}$  и длиной  $l=2,1\text{ м}$  течет горячая вода, отдающая теплоту через стенку трубы среде, омывающей трубку снаружи. Расход воды через трубку  $G=0,0091\text{ кг/с}$ ; температура воды на входе  $t_{ж1}=87,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температура воды на выходе  $t_{ж2}=29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура стенки трубки  $t_c=15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вычислить значение критерия Прандтля, приняв в качестве определяющей температуры среднеарифметическую температуру жидкости.

2. На экспериментальной установке исследовалась теплоотдача при поперечном обтекании одиночного цилиндра воздухом. В результате опытов получены значения коэффициентов теплоотдачи  $\alpha$ , Вт/(м<sup>2</sup>\*К) для цилиндра диаметром  $d_1=10\text{ мм}$  при постоянной температуре  $t_{ж}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и различных скоростях набегающего потока  $\omega$ , м/с:

$\omega$ , м/с	2,0	5,0	10	10
$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> *К)	31,2	55,6	83,4	128

Найти критериальную зависимость для теплоотдачи в виде  $Nu_{жк}=C \cdot Re_{жк}^n$ .

3. От Среднеуральской ГРЭС в Екатеринбург подается горячая вода по трубопроводу диаметром 1,2 м (с учетом тепловой изоляции). Средняя температура поверхности трубопровода  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить тепловые потери с одного погонного метра трубопровода за счет естественной конвекции воздуха, если его температура  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

4. Для отопления помещения требуется расход тепла  $Q=1\text{ кДж/с}$  от теплообменника, выполненного из горизонтальных труб с наружным диаметром  $d=25\text{ мм}$ . Температура поверхности нагревателя  $t_c=65\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а воздуха в помещении  $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Рассчитать необходимую длину горизонтальных труб.

5. Для изоляции трубопровода диаметром 30 мм имеется шлаковая вата с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{из}=0,1\text{ Вт/(м*К)}$ ; коэффициент теплоотдачи  $\alpha_2=4,0\text{ Вт/(м}^2\text{*К)}$ . Целесообразно ли применять в данном случае в качестве изоляции шлаковую вату?

### 3-3

1. По трубке диаметром  $d=16\text{ мм}$  и длиной  $l=2,1\text{ м}$  течет горячая вода, отдающая теплоту через стенку трубы среде, омывающей трубку снаружи. Расход воды через трубку  $G=0,0091\text{ кг/с}$ ; температура воды на входе  $t_{ж1}=87,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температура воды на выходе  $t_{ж2}=29\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура стенки трубки  $t_c=15,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вычислить значение критерия Прандтля, приняв в качестве определяющей температуры температуру стенки.

2. Исследования тепловых потерь с поверхности горизонтальных паропроводов в условиях естественной конвекции проводилось на лабораторной установке, где измерения производились на горизонтальной трубе диаметром  $d=30\text{ мм}$ . Опыты проводились при различных температурах стенки трубы. При этом были получены следующие значения коэффициента теплоотдачи:

$\alpha$ , Вт/(м <sup>2</sup> *К)	11,75	12,34	12,87	13,34	13,75
$t_c$ , $^{\circ}\text{C}$	210	250	290	330	370

Температура окружающего воздуха  $t_{ж}$  вдали от поверхности трубы оставалась постоянной и равной  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На основании полученных опытных значений коэффициентов теплоотдачи найти обобщенную зависимость для расчета теплоотдачи в условиях естественной конвекции. Учитывая, что критерий  $Pg$  для воздуха в широком интервале температур остается практически постоянными, зависимость искать в виде  $Nu=f(Gr)$ . В качестве определяющей температуры принять температуру воздуха вдали от поверхности трубы.

3. Для отопления гаража используют трубу, по которой протекает горячая вода. Определить конвективный коэффициент теплоотдачи от трубы к воздуху в гараже, если наружный диаметр и длина трубы соответственно равны 0,20 м и 5 м. Температура поверхности трубы  $92\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура воздуха в гараже  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тепловой поток от трубы к воздуху в гараже 1384,1 Вт.

4. В котельной проложены два горизонтальных паропровода диаметрами  $d_1=50\text{ мм}$  и  $d_2=150\text{ мм}$ . Оба паропровода имеют одинаковую температуру поверхности  $t_c=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Температура окружающего воздуха  $t_{ж}=50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Паропроводы проложены друг от друга на расстоянии, исключающем взаимное тепловое влияние. Найти отношения коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_1/\alpha_2$ .



5. В масляном баке температура масла марки МС поддерживается постоянной с помощью горизонтальных обогревающих труб диаметром  $d=20$  мм. Определить коэффициент теплоотдачи от поверхности труб к маслу, если температура масла  $t_{ж}=60$  °С, а температура поверхности труб  $t_c=90$  °С. Расстояние между трубами относительно велико, и расчет теплоотдачи можно производить как для одиночного цилиндра.

**3-4**

1. Горизонтально расположенная трубка диаметром  $d=16$  мм и длиной  $l=2,1$  м, омывается воздухом снаружи. Средняя температура стенки трубки  $t_c=15,3$  °С, температура воздуха  $t_b=20$  °С. Вычислить значение критерия Грасгофа.

2. На воздушной модели парового котла, выполненной в масштабе  $1/8$  натуральной величины, производилось изучение теплоотдачи конвекцией. Для первого газохода модели при различных скоростях воздуха были получены следующие значения коэффициента теплоотдачи в зависимости от скорости:

$W_m, \text{ м/с}$	2,0	3,14	4,65	8,8
--------------------	-----	------	------	-----

$\alpha_m, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$	50,4	68,6	90,6	141
---	------	------	------	-----

Средняя температура воздуха, проходящего через модель,  $t_{ж.м}=20$  °С. Диаметр трубок модели  $d_m=12,5$  мм. Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_m$  при обработке опытных данных был отнесен к средней арифметической разности температур между жидкостью и стенкой. На основе данных, полученных на модели, найти формулу для расчета теплоотдачи конвекцией в первом газоходу котла в виде зависимости  $Nu=f(Re)$ .

3. В котельной проложены два горизонтальных паропровода диаметрами  $d_1=50$  мм и  $d_2=150$  мм. Оба паропровода имеют одинаковую температуру поверхности  $t_c=450$  °С. Температура окружающего воздуха  $t_{ж}=50$  °С. Паропроводы проложены друг от друга на расстоянии, исключающем взаимное тепловое влияние. Найти отношения потерь теплоты  $q_{l2}/q_{l1}$  с одного метра паропроводов.

4. Определить потерю теплоты в окружающую среду конвективным теплообменом от горизонтального неизолированного паропровода диаметром 100 мм и длиной 25 мм с температурой наружной поверхности  $t_{c1}=115$  °С, если температура воздуха  $t_{ж}=15$  °С.

5. Необходимо изолировать корпус теплообменного аппарата, имеющего внешний диаметр 300 мм и температуру на поверхности 280 °С, которую можно принять такой же и после наложения изоляции. Температура на внешней поверхности изоляции не должна превышать 30 °С, а тепловые потери с 1 м корпуса теплообменника – 200 Вт/м. Коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности изоляции к окружающему воздуху 8 Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Целесообразно ли в качестве изоляции выбрать шлаковую вату с  $\lambda=0,06+0,000145 \cdot t$  Вт/(м\*К)?

#### **Лабораторная работа №4. Тарировка измерительной диафрагмы.**

**Защита лабораторной работы №4 проводится по следующим карточкам**

**4-1**

1. Определить линейную плотность теплового потока в пароперегревателе, выполненном из труб диаметром  $d_1/d_2=32/40$  мм ( $\lambda=39,5$  Вт/м\*К). Внутренняя температура  $t_1=900$  °С, наружная температура  $t_2=500$  °С. Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке  $\alpha_1=81,5$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К), от стенки к пару  $\alpha_2=1163$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К).

2. Определить тепловой поток через 1 м<sup>2</sup> кирпичной стены помещения толщиной в два кирпича ( $\delta=510$  мм) с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,8$  Вт/(м\*К). Температура воздуха внутри помещения  $t_{ж1}=18$  °С; коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки  $\alpha_1=7,5$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К); температура наружного воздуха  $t_{ж2}=-30$  °С; коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены, обдуваемой ветром,  $\alpha_2=20$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К).

3. Вычислить тепловой поток через 1 м<sup>2</sup> чистой поверхности нагрева парового котла, если заданы следующие величины: температура газов теплоносителя  $t_1=900$  °С, температура нагретой воды  $t_2=160$  °С, коэффициент теплоотдачи от газов к стенке  $\alpha_1=100$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К); от стенки к воде  $\alpha_2=5000$  Вт/(м<sup>2</sup>\*К). Коэффициент теплопроводности материала  $\lambda=50$  Вт/(м\*К), толщина стенки 10 мм.



4. Определить тепловой поток через  $1 \text{ м}^2$  стены  $\lambda_2=0,25 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ ,  $\delta_2=300 \text{ мм}$ , если она изнутри покрыта «жидкими» обоями  $\lambda_1=0,2 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ ,  $\delta_1=4 \text{ мм}$ , а снаружи оштукатурена теплоизоляционной штукатуркой  $\lambda_3=0,06 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ ,  $\delta_3=15 \text{ мм}$ . Температура воздуха внутри помещения  $t_1=22 \text{ }^\circ\text{С}$ , снаружи помещения  $t_2=-10 \text{ }^\circ\text{С}$ . Коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности  $\alpha_1=8,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ , коэффициент теплоотдачи от стенки к наружному воздуху  $\alpha_2=18,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ .

5. Определить расход через тарированную диафрагму, в случае если перепад давления на ней  $160 \text{ Па}$ .

#### 4-2

1. Определить потерю тепла с  $1$  погонного метра неизолированного трубопровода  $d_1/d_2=140/165 \text{ мм}$  ( $\lambda_1=50 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ ), проложенного на открытом воздухе, если внутри протекает вода со средней температурой  $t_1=90 \text{ }^\circ\text{С}$ , температура окружающего воздуха  $t_2=-10 \text{ }^\circ\text{С}$ . Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1=1000,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ , от стенки трубы к окружающему воздуху  $\alpha_2=12,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ . Определить температуры на внутренней и на внешней поверхностях трубы.

2. Определить тепловой поток через  $1 \text{ м}^2$  кирпичной стены помещения толщиной в два кирпича ( $\delta=510 \text{ мм}$ ) с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ . Температура воздуха внутри помещения  $t_{ж1}=18 \text{ }^\circ\text{С}$ ; коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки  $\alpha_1=7,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ ; температура наружного воздуха  $t_{ж2}=-30 \text{ }^\circ\text{С}$ ; коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности стены, обдуваемой ветром,  $\alpha_2=20 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ . Вычислить температуры на поверхностях стены  $t_{c1}$ ,  $t_{c2}$ .

3. Вычислить температуры на поверхности нагрева чистой стенки парового котла, если заданы следующие величины: температура газов теплоносителя  $t_1=900 \text{ }^\circ\text{С}$ , температура нагретой воды  $t_2=160 \text{ }^\circ\text{С}$ , коэффициент теплоотдачи от газов к стенке  $\alpha_1=100 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ ; от стенки к воде  $\alpha_2=5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ . Коэффициент теплопроводности материала  $\lambda=50 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ , толщина стенки  $10 \text{ мм}$ .

4. Вычислить температуру воздуха в помещении  $t_2$  при условии, что помещение обогревается печкой с поверхностью нагрева  $6 \text{ м}^2$ . Температура дымовых газов  $600 \text{ }^\circ\text{С}$ , коэффициент теплоотдачи от газов к стенке  $\alpha_1=100 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ , от стенки к воздуху  $\alpha_2=12 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ . Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda_1=0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ , толщина кирпичной стенки  $\delta_1=250 \text{ мм}$ . Печь облицована керамической плиткой  $\lambda_3=1,8 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ ,  $\delta_3=8 \text{ мм}$ , укрепленной на цементную стяжку с  $\lambda_2=0,8 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$  и  $\delta_2=12 \text{ м}$ .

5. Определить перепад давления на тарированной диафрагме, если расход воздуха через диафрагму  $30 \text{ л}/\text{с}$ .

#### 4-3

1. Определить потерю тепла с  $1$  погонного метра неизолированного трубопровода  $d_1/d_2=140/165 \text{ мм}$  ( $\lambda_1=50 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ ), проложенного на открытом воздухе, если внутри протекает вода со средней температурой  $t_1=90 \text{ }^\circ\text{С}$ , температура окружающего воздуха  $t_2=-10 \text{ }^\circ\text{С}$  при условии, что он покрыт теплоизоляцией ( $\delta_{и}=60 \text{ мм}$ ;  $\lambda_{и}=0,09 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ ). Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1=1000,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ , от изоляции к окружающему воздуху  $\alpha_2=8,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ . Определить температуры на внутренней и на внешней поверхностях трубы.

2. Неизолированный трубопровод  $d_1/d_2=140/165 \text{ мм}$  ( $\lambda_1=50 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ ) проложен на открытом воздухе. Внутри трубопровода протекает вода со средней температурой  $t_1=90 \text{ }^\circ\text{С}$ , температура окружающего воздуха  $t_2=-10 \text{ }^\circ\text{С}$ . Трубопровод покрыт теплоизоляцией ( $\delta_{и}=60 \text{ мм}$ ;  $\lambda_{и}=0,09 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ ). Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1=1000,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ , от изоляции к окружающему воздуху  $\alpha_2=8,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ . Определить температуры на внутренней и на внешней поверхностях трубы.

3. Вычислить тепловой поток через  $6 \text{ м}^2$  чистой поверхности нагрева печки, если заданы следующие величины: температура газов теплоносителя  $t_1=600 \text{ }^\circ\text{С}$ , температура нагреваемого воздуха  $t_2=20 \text{ }^\circ\text{С}$ , коэффициент теплоотдачи от газов к стенке  $\alpha_1=100 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ ; от стенки к воздуху  $\alpha_2=7,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2*\text{К})$ . Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda_1=0,7 \text{ Вт}/(\text{м}^*\text{К})$ , толщина стенки  $\delta_1=250 \text{ мм}$ .

4. Температура воздуха в аудитории  $t_{ж1}=19,5 \text{ }^\circ\text{С}$ , а внешнего воздуха  $t_{ж2}=-18 \text{ }^\circ\text{С}$ . Вычислить тепловые потери из аудитории, если наружная стена ( $L=8 \text{ м}$ ,  $H=4,5 \text{ м}$ ,  $\delta=0,5 \text{ м}$ , окон нет) из кир-

пичной кладки, а коэффициенты теплоотдачи к ее внутренней поверхности  $\alpha_1=5,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$  и с ее внешней поверхности  $\alpha_2=15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

5. Во сколько раз увеличится расход через тарированную диафрагму, если перепад давления на ней возрос с 60 Па до 200 Па?

#### 4-4

1. Найти поверхность нагрева секционного водоподогревателя тепловой производительностью  $Q=1,5\cdot 10^6 \text{ Вт}$  при условии, что средняя температура греющей воды  $t_1=115 \text{ }^\circ\text{C}$ , средняя температура нагреваемой воды  $t_2=77 \text{ }^\circ\text{C}$ . Нагреватели выполнены из латунных трубок  $d_1/d_2=14/16 \text{ мм}$  ( $\lambda_1=120 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ). На внутренней поверхности трубок имеется слой накипи  $\delta_n=0,2 \text{ мм}$  ( $\lambda_n=2,0 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ). Коэффициент теплоотдачи от греющей воды к стенке  $\alpha_1=10000,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ , от стенки к нагреваемой воде  $\alpha_2=4000,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Так как отношение  $d_2/d_1=16/14 \text{ мм} < 2$ , то расчет можно произвести по формуле для плоской стенки.

2. Определить потерю тепла с 1 пог. м. трубопровода  $d_1/d_2=140/165 \text{ мм}$  ( $\lambda_1=50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ), проложенного на открытом воздухе, если внутри протекает вода со средней температурой  $t_1=90 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура окружающего воздуха  $t_2=-10 \text{ }^\circ\text{C}$  при условии, что он покрыт теплоизоляцией  $\delta_i=60 \text{ мм}$  с  $\lambda_i=0,09 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1=1000,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ , от изоляции к окружающему воздуху  $\alpha_2=8,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

3. Вычислить температуры на поверхности стенки печи, если заданы следующие величины: температура газов теплоносителя  $t_1=600 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура нагреваемого воздуха  $t_2=20 \text{ }^\circ\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи от газов к стенке  $\alpha_1=100 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ; от стенки к воздуху  $\alpha_2=7,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda_1=0,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , толщина стенки  $\delta_1=250 \text{ мм}$ . Поверхность нагрева печи считать чистой.

4. В плоском бытовом вертикальном масляном обогревателе с габаритными размерами  $0,7\times 0,7\times 0,025 \text{ м}$  коэффициент теплоотдачи от масла к внутренней поверхности стальных стенок  $\delta=1,5 \text{ мм}$ ,  $\lambda=24 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  составляет  $100 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Вычислить тепловой поток от обогревателя и температуры его стенок со стороны масла ( $t_{ж1}=80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и воздуха ( $t_{ж2}=18 \text{ }^\circ\text{C}$ ), если коэффициент теплоотдачи к воздуху  $8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

5. Во сколько раз изменится перепад давления на тарированной диафрагме, если расход воздуха через диафрагму увеличился с 25 л/с до 50 л/с?

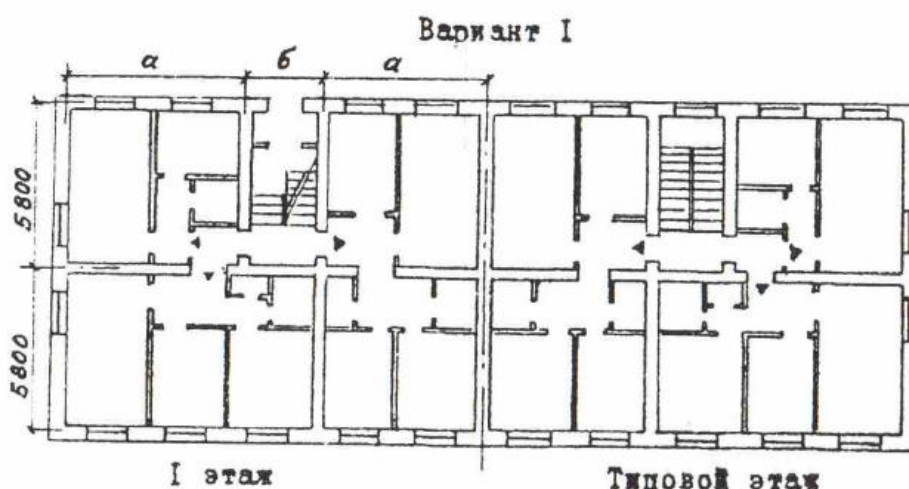
**Задание на курсовой проект**

В курсовом проекте необходимо выполнить теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций здания, определить тепловую мощность системы отопления, охарактеризовать конструктивные решения принятой системы отопления, рассчитать и подобрать основные элементы системы отопления. В качестве дополнительного задания предлагается провести расчет воздухообмена в помещениях, охарактеризовать принятую систему вентиляции, рассчитать и подобрать основные элементы системы вентиляции.

**ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Исходные данные для расчета и проектирования системы отопления выбираются ключу задания. Ключ задания формируется индивидуально для каждого слушателя и представляет собой карточку с условными обозначениями, текстовыми и числовыми данными. Пример ключа задания, варианта типового этажа здания, и варианта вертикальных наружных ограждений приводятся ниже.

ФИО	
Дата выдачи/защиты работы	
Задание №	1
Вариант плана здания	2
Р-н строительства	Владивосток
Этажность здания	2
Ориентация входа здания	С
Вариант размеров	10
Вариант наружной стены	2
Вариант перекрытия над подвалом	любой
Вариант чердачного перекрытия	любой
Конструкция системы отопления	2х трубн.нижн.
Тип отопительных приборов	МС140
Температурные параметры теплоносителя в тепловой сети, град. С.	150/70
Перепад давления в тепловой сети, кПа	65

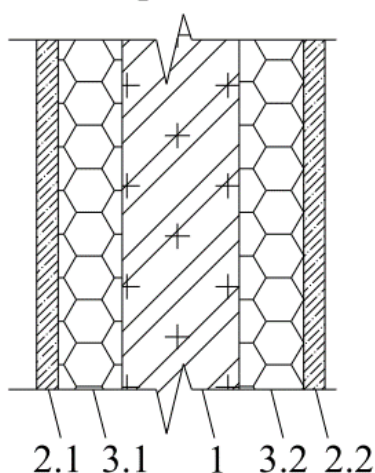


Строительные размеры здания.

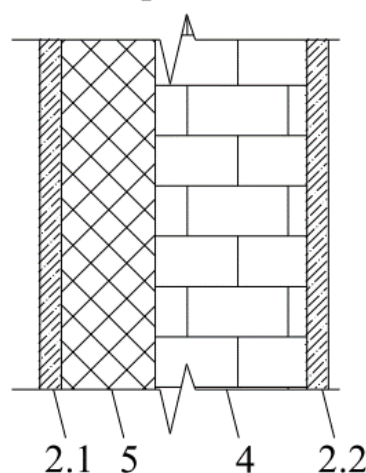
№ варианта	Размер а, м	Размер б, м	Высота этажа, Нэт, м	Высота вентшахты, Нш, м
1	6.0	3.0	2.9	4.0
2	6.0	3.0	2.9	3.8
3	5.9	2.9	3.2	3.9
4	5.8	3.1	3.2	3.9
5	5.9	3.0	3.0	3.7
6	6.1	3.0	3.0	3.8
7	6.1	3.1	3.1	4.1
8	5.8	3.1	3.1	4.1
9	6.2	3.1	3.1	4.1
10	5.8	3.0	3.1	4.0

Варианты вертикальных наружных ограждений

Вариант 1.



Вариант 2.



Теплотехнические показатели строительных материалов (СП 50.13330)

Наименование материалов	Условия эксплуатации ограждений: А или Б	Плотность ( $\rho_0$ ) кг/м <sup>3</sup>	Коеф. теплопр. $\lambda$ , Вт/(м·°С)	Коеф. паропрониц. $\mu$ , мг/(м·ч·Па)	№ слоя на рис. / его толщина, мм
Ж/б монолит	А	2500	1,92	0,03	1/100
	Б	2500	2,04	0,03	
Штукатурка ц.п. раствором по стальной оцинкованной сетке	А	1800	0,76	0,09	2.1/10 и 2.2/10
	Б	1800	0,93	0,09	
Плиты из пенополистирола	А	30	0,038	0,05	Шаг 10 мм 3.1/? и 3.2/50
	Б	30	0,044	0,05	
Кирпич глиняный обыкновенный по ГОСТ 530-80 на ц.п. растворе	А	1800	0,70	0,11	4/250
	Б	1800	0,81	0,11	
Плиты из стеклянного штапельного волокна	А	75	0,042	0,51	5/? С шагом 10 мм
	Б	75	0,047	0,51	

При выполнении курсового проекта необходимо последовательно выполнить следующие задачи:

1) Определить и выписать климатические характеристики предложенного в задании района строительства.

2) Определить и выписать параметры внутреннего микроклимата проектируемого здания.

3) Произвести расчет теплотехнических характеристик и определить толщину тепловой изоляции вертикальной наружной несветопрозрачной ограждающей конструкции (наружной стены).

4) Произвести выбор заполнения оконных проемов.

5) Изобразить на чертеже в масштабе 1:100 план этажа (этажей) здания. Нанести на планы отопительные приборы и стояки системы отопления.

6) Для 2-3 помещений здания, расположенных в разных его частях и на разных этажах произвести расчет тепловой мощности системы отопления. Составить таблицу теплопотерь для этих помещений.

7) Для выбранных ранее помещений произвести расчет поверхности нагрева и подбор отопительных приборов. Указать выбранный типоразмер (число секций) отопительных приборов на чертеже.

8) Выполнить проверку возможности конденсации водяных паров на внутренней поверхности и в толще наружного ограждения в холодный период года. Проиллюстрировать наличие зоны возможной конденсации на поперечном разрезе наружной стены построением графиков температур, парциальных давлений водяных паров и давлений насыщения водяных паров. Проанализировать полученные графики и при необходимости сделать технические предложения по защите ограждающей конструкции от возможной конденсации влаги.

9) Сконструировать и представить на чертеже плоскую схему индивидуального теплового пункта здания. Обозначить основные элементы, объяснить в примечаниях их назначение, возможные характеристики и свойства, необходимость применения.

10) Разместить и показать на плане здания вентиляционные решетки и каналы. Рассчитать нормативный воздухообмен, произвести аэродинамический расчет каналов для одной из вентиляционных систем.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 03B6A3C600B7ADA9B742A1E041DE7D81B0  
Владелец: Артеменков Михаил Николаевич  
Действителен: с 04.10.2021 до 07.10.2022