




МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

«СОГЛАСОВАНО»  
Руководитель ОП

  
(подпись) Черненко В.П.  
«01» июня 2015 г. (Ф.И.О. рук. ОП)

«УТВЕРЖДАЮ»  
Заведующий (ая) кафедрой  
Инженерных систем зданий и сооружений  
(название кафедры)

  
(подпись) Кобзарь А.В.  
«01» июня 2015 г. (Ф.И.О. зав. каф.)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Теоретические основы тепломассообмена

**Направление подготовки 08.03.01 Строительство**

профиль «Теплогасоснабжение и вентиляция»

**Форма подготовки очная**

курс 3 семестр 5  
лекции 36 час.  
практические занятия 18 час.  
лабораторные работы 18 час.  
в том числе с использованием МАО лек.12/пр.6/лаб.6 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 72 час.  
в том числе с использованием МАО 24 час.  
самостоятельная работа 72 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 36 час.  
курсовая работа 5 семестр  
экзамен 5 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 12.03.2015 № 201

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Инженерных систем зданий и сооружений, протокол № 10 от «20» июня 2015 г.

Заведующий (ая) кафедрой \_канд.техн.наук, доцент А.В. Кобзарь  
Составитель (ли): Н.С. Ткач

**Оборотная сторона титульного листа РПУД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:**

Протокол от «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## ABSTRACT

**Bachelor's degree in 08.03.01 Building engineering**

**Study profile "Heat and gas supply and ventilation"**

**Course title: Theoretical basis of heat and mass transfer**

**Basic (variable) part of Block 1, 4 credits**

**Instructor: N.S. Tkach**

**At the beginning of the course a student should be able to:**

GPC-1 - the ability to use the basic laws of natural science disciplines in professional activities, apply methods of mathematical analysis and mathematical (computer) modeling, theoretical and experimental research;

GPC-2 - the ability to identify the natural-science essence of the problems arising in the course of professional activity, to attract for their solution the corresponding physico-mathematical apparatus.

**Learning outcomes:**

GPC-1 - the ability to use the basic laws of natural science disciplines in professional activities, apply methods of mathematical analysis and mathematical (computer) modeling, theoretical and experimental research;

GPC-2 - the ability to identify the natural-science essence of the problems arising in the course of professional activity, to attract for their solution the corresponding physico-mathematical apparatus.

**Course description:**

- thermal conductivity;
- convective heat transfer in a single-phase medium;
- heat transfer during phase transformations;
- heat exchange by radiation;
- mass yield;
- heat exchangers.

**Main course literature:**

Kudinov A.A. Teplomassoobmen: uchebnoe posobie dlya vuzov [Heat and Mass Transfer: A Training Manual for Universities], Moscow: Infra-M, 2015, 374p. (rus)

Bryukhanov O.N, Shevchenko S.N. Teplomassoobmen : uchebnoe posobie dlya vuzov [Heat and Mass exchange: a Textbook for Universities], Moscow: Infra-M, 2013, 464p. (rus)

Kudinov V.A., Kartashov E. M., Stefanyuk E. V. Tekhnicheskaya termodinamika i teploperedacha: uchebnik dlya bakalavrov: uchebnik dlya vuzov po tekhnicheskim napravleniyam i special'nostyam [Technical thermodynamics

and heat transfer: a textbook for bachelors: a textbook for high schools in technical areas and specialties], Moscow: Yurayt, 2013, 566 p. (rus)

**Form of final control: exam**

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Теоретические основы тепломассообмена»**

Дисциплина «Теоретические основы тепломассообмена» предназначена для студентов, обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство, профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция».

Дисциплина «Теоретические основы тепломассообмена» входит в вариативную часть блока 1 Дисциплины (модули) учебного плана, является обязательной дисциплиной (Б1.В.ОД.4). Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия (36 часов), практические занятия (18 часов), лабораторные работы (18 часов), самостоятельная работа (72 часа, включая подготовку к экзамену и курсовой работе). Дисциплина реализуется в 5-м семестре 3 курса.

Дисциплина «Теоретические основы тепломассообмена» базируется на знаниях, умениях и навыках, приобретенных в ходе изучения дисциплин «Математика», «Физика», «Химия», «Механика жидкости и газов», «Техническая термодинамика».

Содержание дисциплины охватывает следующий круг вопросов:

- теплопроводность;
- конвективный теплообмен в однофазной среде;
- теплообмен при фазовых превращениях;
- теплообмен излучением;
- массоотдача;
- теплообменные аппараты.

**Целью дисциплины** «Теоретические основы тепломассообмена» является: формирование базовых знаний о фундаментальных законах теплообменных процессов в теплообменных аппаратах различного назначения, предназначенных для систем теплогазоснабжения, вентиляции и котельной техники.

**Задачами дисциплины** «Теоретические основы тепломассообмена» является подготовка бакалавра строительства, умеющего:

- проектировать и эксплуатировать теплообменные аппараты различных конструкций;
- оптимизировать проектные решения и эксплуатационные режимы с учетом надежного функционирования систем;
- использовать современную вычислительную технику как в проектировании, так и в эксплуатации.

Для успешного изучения дисциплины «Теоретические основы тепломассообмена» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОПК-1 – способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- ОПК-2 – способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

Вышеуказанные компетенции приобретаются при освоении следующих дисциплин: Математика, Физика, Химия, Механика жидкости и газов, Техническая термодинамика.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные компетенции (элементы компетенций):

| Код и формулировка компетенции   | Этапы формирования компетенции |   |
|--|--------------------------------|---|
| <b>ОПК-1</b><br>-способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования | Знает                          | Основные положения теории тепломассообмена и принципы расчета теплообменных аппаратов;                                |
|  | Умеет                          | Применять методы математического анализа и теоретического и экспериментального исследования;                          |
|  | Владеет                        | Навыком использования современного расчетного оборудования и приборов   |
| <b>ОПК-2</b><br>– способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-   | Знает                          | Методы решения естественнонаучных проблем исследований, возникающих в ходе профессиональной деятельности;             |
|  | Умеет                          | Обоснованно принимать решения о применении конкретных методов решения естественнонаучных проблем;                     |
|  | Владеет                        | Навыками применения физико-математического аппарата для решения для решения теоретических и экспериментальных проблем |

|  |         |   |
|--|---------|---|
| математический аппарат   |         |   |
| ПК-1, знанием нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест | Знает   | Нормативную базу в области проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест.   |
|  | Умеет   | С точностью определить требования, которые предъявляются к ограждающим конструкциям конкретного объекта строительства или реконструкции, учитывая район застройки, климатологические факторы и показатели, ориентацию, тип, вид и назначение объекта. |
|  | Владеет | Методиками расчета основных теплофизических показателей ограждающих конструкций в соответствии с действующими нормативными документами.   |

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Теоретические основы теплообмена» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: анализ конкретных ситуаций, лекция-визуализация.

# **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

## **Раздел I. Теплопроводность (12 час.)**

### **Тема 1. Стационарная теплопроводность. Основные положения (2 час.)**

Методы исследования тепловых процессов. Основные понятия, используемые при описании процессов переноса тепла. Температурное поле. Температурный градиент. Тепловой поток. Плотность теплового потока. Закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Математическая формулировка задач теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Краевые условия задач теплопроводности, различные способы задания граничных условий. Закон Ньютона – Рихмана.

### **Тема 2. Теплопроводность плоской стенки без внутренних источников тепла (2 час.)**

Температурное поле в плоской стенке при граничных условиях первого рода. Приведение уравнений к безразмерному виду. Зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. Теплопроводность через многослойную стенку. Эквивалентный коэффициент теплопроводности плоской стенки. Передача тепла при граничных условиях третьего рода (теплопередача). Коэффициент теплопередачи. Термическое сопротивление теплопроводности, теплоотдачи, теплопередачи. Граничные условия второго и третьего рода.

### **Тема 3. Теплопроводность цилиндрической стенки без внутренних источников тепла (2 час.)**

Линейная плотность теплового потока. Температурное поле в цилиндрической стенке при граничных условиях первого рода. Теплопроводность через многослойную цилиндрическую стенку. Эквивалентный коэффициент теплопроводности цилиндрической стенки. Теплопроводность через цилиндрическую стенку при граничных условиях третьего рода (теплопередача). Линейный коэффициент теплопередачи. Линейное термическое сопротивление теплопроводности, теплоотдачи, теплопередачи. Расчет теплопередачи в тонких цилиндрических стенках. Критический диаметр цилиндрической стенки.

### **Тема 4. Интенсификация теплопередачи (2 час.)**

Интенсификация теплопередачи за счет увеличения коэффициентов теплоотдачи. Интенсификация теплопередачи за счет оребрения поверхности

### **Тема 5. Нестационарная теплопроводность. Аналитическое описание задач теплопроводности. Бесконечная тонкая пластина (2 час.)**



Аналитическое описание процесса. Основные понятия метода нестационарной теплопроводности: безразмерная избыточная температура, критерий Био, критерий Фурье. Нестационарное температурное поле в плоской пластине – решение задачи в безразмерном виде методом разделения переменных. Анализ решения. Зависимость поля температур от числа Фурье. Номограммы. Особенности пересечения касательных к решению на поверхности пластины. Зависимость поля температур бесконечной пластины от числа Био.

#### **Тема 6. Регулярный режим охлаждения тел (2 час.)**

Стадии процесса охлаждения (нагревания) тел, их характеристики. Регулярный режим охлаждения тел. Темп охлаждения. Применение метода регулярного режима охлаждения тел для экспериментального определения теплофизических свойств веществ.

### **Раздел II. Конвективный теплообмен в однофазной среде (14 час.)**

#### **Тема 1. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена (2 час.)**

Основные понятия и определения процессов конвективного теплообмена. Физические свойства жидкостей. Гидродинамический и тепловой пограничные слои. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена для несжимаемой жидкости. Пример системы дифференциальных уравнений конвективного теплообмена.

#### **Тема 2. Подобие и моделирование процессов конвективного теплообмена (2 час.)**

Теория подобия как теоретическая основа экспериментального изучения конвективного теплообмена. Критериальные уравнения. Критерии подобия. Методы экспериментального определения коэффициентов теплоотдачи. Осреднение коэффициентов теплоотдачи. Осреднение температуры жидкости по сечению. Осреднение температуры жидкости и температурного напора по длине трубы. Получение эмпирических критериальных уравнений. Определяющий размер. Определяющая температура.

#### **Тема 3. Теплообмен при свободной конвекции в большом объеме около вертикальных поверхностей (2 час.)**

Общие сведения о свободной конвекции. Число Релея. Теплоотдача при свободной конвекции жидкости около вертикальной пластины или вертикальной трубы.

#### **Тема 4. Свободная конвекция около горизонтальных поверхностей. Свободная конвекция в ограниченном пространстве (2 час.)**

Теплоотдача при свободной конвекции около горизонтальной пластины. Теплоотдача при свободной конвекции на поверхности горизонтального цилиндра. Теплоотдача при малых значениях числа Релея.

**Тема 5. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности (2 час.)**

Зависимость теплоотдачи от режима течения жидкости. Ламинарный пограничный слой при обтекании пластины. Тепловой пограничный слой при обтекании пластины. Теплоотдача при турбулентном пограничном слое.

**Тема 6. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб (2 час.)**

Гидродинамика и теплообмен при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Средняя теплоотдача поперечно омываемого цилиндра. Теплообмен при поперечном обтекании коридорных и шахматных пучков труб. Зависимость теплоотдачи от номера ряда, соотношения продольного и поперечного шагов пучка. Средний коэффициент теплоотдачи для пучка.

**Тема 7. Описание процесса вынужденного течения жидкости в трубах (2 час.)**

Гидродинамика и теплообмен при течении жидкости в трубах и каналах. Теплоотдача при ламинарном и турбулентном течении в гладких трубах круглого поперечного сечения.

**Раздел III. Теплообмен при фазовых превращениях (4 час.)**

**Тема 1. Теплоотдача при кипении жидкости (2 час.)**

Условия зарождения паровой фазы в объеме перегретой жидкости и на твердой поверхности. Теплообмен при пленочном кипении жидкостей.

**Тема 2. Теплоотдача при конденсации пара (2 час.)**

Пленочная конденсация неподвижного пара на поверхности вертикальной плоскости и горизонтального цилиндра. Капельная конденсация пара. Конденсация движущегося пара

**Раздел IV. Теплообмен излучением (4 час.)**

**Тема 1. Описание процесса и основные определения (1 час.)**

Описание процесса лучистого теплообмена. Виды лучистых потоков. Спектральная плотность потока излучения. Интегральная плотность потока излучения. Собственное, отраженное, поглощенное, пропущенное, эффективное, результирующее излучение. Понятие абсолютно черного тела. Излучательные характеристики абсолютно черного тела.

**Тема 2. Основные законы лучистого теплообмена(1 час.)**

Закон Планка. Правило смещения Вина. Закон Стефана-Больцмана. Закон Кирхгофа. Закон Ламберта. Угловые коэффициенты излучения.

### **Тема 3. Теплообмен излучением системы тел в прозрачной среде (1 час.)**

Методы исследования процессов лучистого теплообмена. Теплообмен излучением в системе тел с плоскопараллельными поверхностями. Теплообмен излучением между двумя телами, произвольно расположенными в пространстве.

### **Тема 4. Излучение газов (1 час.)**

Особенности излучения газов и паров. Степень черноты углекислого газа и водяного пара. Основы переноса излучения в поглощающих, излучающих и рассеивающих средах. Закон Бугера. Сложный теплообмен. Коэффициент теплоотдачи излучением.

## **Раздел V. Массоотдача (2 час.)**

### **Тема 1. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Основные положения тепло- и массообмена (2 час.)**

Диффузия (массообмен) молекулярная и молярная. Концентрационная диффузия, закон Фика, коэффициент диффузии. Термодиффузия, бародиффузия. Дифференциальные уравнения тепло- и массообмена.

## **II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **Практические занятия (18 час.)**

#### **Занятие 1. Теплопроводность (2 час.)**

1. решение задач по теме «Стационарная теплопроводность».
2. решение задач по теме «Нестационарная теплопроводность».

#### **Занятие 2. Теплообменные аппараты (ТОА) (2 час.)**

План занятия:

1. Основные понятия, область применения.
2. Классификация теплообменных аппаратов.

#### **Занятие 3. Тепловой расчет теплообменных аппаратов. (2 час.)**

План занятия:

1. Виды расчетов.
2. Основные уравнения теплового расчета.
3. Расчет водоводяного ТОА: определение геометрических параметров конвективного теплообменного аппарата

#### **Занятие 4. Расчет водоводяного ТОА. (2 час.)**

План занятия:

1. Определение коэффициента теплоотдачи греющей среды к внутренней поверхности труб трубного пучка.

#### **Занятие 5. Расчет водоводяного ТОА. (2 час.)**

План занятия:

1. Расчет площади теплообмена и числа секций аппарата.

#### **Занятие 6. Оформление чертежей водоводяного ТОА. (2 час.)**

1. Выполняется чертеж секции теплообменника на листе формата А3 с нанесением габаритных; монтажных, и присоединительных размеров, а также диаметров входного и выходного патрубков.

2. Выполняется рабочий эскиз секционного подогревателя с расчетом количества секций.

#### **Занятие 7. Расчет горизонтального пароводяного теплообменника. (2 час.)**

1. Расчет трубного пучка

2. Расчет коэффициента теплоотдачи от стенок трубного пучка к жидкости

#### **Занятие 8. Расчет горизонтального пароводяного теплообменника. (2 час.)**

1. Теплоотдача при конденсации пара на поверхности трубного пучка

#### **Занятие 9. Оформление чертежей горизонтального пароводяного теплообменника. (2 час.)**

1. Выполняется эскизный чертеж секции теплообменника на листе формата А3.

### **Лабораторные работы (18 час.)**

**Лабораторная работа № 1.** Определение теплоемкости жидкости методом нагрева потока жидкости (3 час.)

**Лабораторная работа № 2.** Определение коэффициента теплопередачи при движении жидкости в трубе при различных скоростях течения (3 час.)

**Лабораторная работа № 3.** Определение передаваемой тепловой мощности теплообменника типа «труба в трубе» в зависимости от направления потоков жидкости (3 час.)

**Лабораторная работа № 4.** Определение передаваемой тепловой мощности воздушно-водяного теплообменника с принудительным охлаждением (3 час.)

**Лабораторная работа № 5.** Определение передаваемой тепловой мощности кожухотрубного теплообменника (3 час.)

**Лабораторная работа № 6.** Определение вязкости жидкости при различной температуре по теории ламинарного сечения (3 час.)

### III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Теоретические основы тепломассообмена» представлено в Приложении 1 и включает в себя:

план-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине, в том числе примерные нормы времени на выполнение по каждому заданию;

характеристика заданий для самостоятельной работы обучающихся и методические рекомендации по их выполнению;

требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы;

критерии оценки выполнения самостоятельной работы.

### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины | Коды и этапы формирования компетенций |         | Оценочные средства                  |                               |
|-------|--|---------------------------------------|---------|-------------------------------------|-------------------------------|
|       |  |                                       |         | текущий контроль                    | промежуточная аттестация      |
| 1     | Раздел I. Теплопроводность               | ОПК-1                                 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №1-24                 |
|       |  |                                       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)        |
|       |  |                                       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Лабораторная работа №3 (ПР-б) |
|       |  | ОПК-2                                 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №10-16, 18, 21, 22    |
|       |  |                                       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)        |
|       |  |                                       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Лабораторная работа №4 (ПР-   |

|   |  |       |         |  |                                      |
|---|--|-------|---------|--|--------------------------------------|
|   |  |       |         |  | б)                                   |
| 2 | Раздел II.<br>Конвективный<br>теплообмен в<br>однофазной среде | ОПК-1 | знает   | Собеседование<br>(УО-1)                    | Вопросы №25-33                       |
|   |  |       | умеет   | Расчетно-<br>графическая<br>работа (ПР-12) | Курсовая работа<br>(ПР-5)            |
|   |  |       | владеет | Контрольная<br>работа (ПР-2)               | Лабораторная<br>работа №1 (ПР-<br>6) |
|   |  | ОПК-2 | знает   | Собеседование<br>(УО-1)                    | Вопросы №27,<br>32                   |
|   |  |       | умеет   | Расчетно-<br>графическая<br>работа (ПР-12) | Курсовая работа<br>(ПР-5)            |
|   |  |       | владеет | Контрольная<br>работа (ПР-2)               | Лабораторная<br>работа №2 (ПР-<br>6) |
| 3 | Раздел III.<br>Теплообмен при<br>фазовых<br>превращениях       | ОПК-1 | знает   | Собеседование<br>(УО-1)                    | Вопросы №56-62                       |
|   |  |       | умеет   | Расчетно-<br>графическая<br>работа (ПР-12) | Курсовая работа<br>(ПР-5)            |
|   |  |       | владеет | Контрольная<br>работа (ПР-2)               | Вопросы №62-70                       |
|   |  | ОПК-2 | знает   | Собеседование<br>(УО-1)                    | Вопросы<br>№57,59,63,72,73           |
|   |  |       | умеет   | Расчетно-<br>графическая<br>работа (ПР-12) | Курсовая работа<br>(ПР-5)            |
|   |  |       | владеет | Контрольная<br>работа (ПР-2)               | Вопросы №70-77                       |
| 4 | Раздел IV.<br>Теплообмен<br>излучением                         | ОПК-1 | знает   | Собеседование<br>(УО-1)                    | Вопросы №34-40                       |
|   |  |       | умеет   | Расчетно-<br>графическая<br>работа (ПР-12) | Курсовая работа<br>(ПР-5)            |
|   |  |       | владеет | Контрольная<br>работа (ПР-2)               | Вопросы №34-40                       |

|   |                          |       |         |                                     |                        |
|---|--------------------------|-------|---------|-------------------------------------|------------------------|
|   |                          | ОПК-2 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №41-55         |
|   |                          |       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5) |
|   |                          |       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Вопросы №36-42         |
| 5 | Раздел V.<br>Массоотдача | ПК-1  | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №78-84         |
|   |                          |       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5) |
|   |                          |       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Вопросы №84-92         |
|   |                          | ПК-1  | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы № 80,81-84,97  |
|   |                          |       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5) |
|   |                          |       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Вопросы №92-97         |

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 2.

## **V. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Тепломассообмен: учебное пособие для вузов / А. А. Кудинов. Москва: Инфра-М, 2015, 374с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:809062&theme=FEFU>
2. Тепломассообмен : учебное пособие для вузов / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко Москва: Инфра-М, 2013, 464с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:703400&theme=FEFU>
3. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для бакалавров: учебник для вузов по техническим направлениям и специальностям / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов, Е. В. Стефанюк. Москва: Юрайт, 2013, 566 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:693700&theme=FEFU>

### **Дополнительная литература**

*(печатные и электронные издания)*

1. Тепломассообмен: методические указания к курсовому проектированию/ Дальневосточный федеральный университет; [сост.: Г. А. Захаров, К. В. Цыганкова, А. А. Еськин]. Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2011. 28 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:674119&theme=FEFU>
2. Примеры и задачи по тепломассообмену: учебное пособие / [В. С. Логинов, А. В. Крайнов, В. Е. Юхнов и др.]. Санкт-Петербург: Лань, 2011. 255 с. <http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:822464&theme=FEFU>
3. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. Москва: Бастет, 2010. 343 с.  
<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:672872&theme=FEFU>

### **Нормативно-правовые материалы<sup>1</sup>**

1. "ГОСТ 27590-2005. Подогреватели кожухотрубные водо-водяные систем теплоснабжения. Общие технические условия" (введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 22.02.2007 N 23-ст) из информационного банка "Строительство"  
<http://docs.cntd.ru/document/1200049452>



2. ГОСТ 12820-80 Фланцы стальные плоские приварные на  $P(y)$  от 0,1 до 2,5 МПа (от 1 до 25 кгс/кв. см). Конструкция и размеры (с Изменениями N 1, 2, 3, 4). Дата введения 01.01.83 <http://docs.cntd.ru/document/1200003400>

3. ГОСТ 2.312-72 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Условные изображения и обозначения швов сварных соединений (с Изменением N 1) <http://docs.cntd.ru/document/1200005665>

4. ГОСТ 617-2006 Трубы медные и латунные круглого сечения общего назначения. Технические условия (с Изменением N 1) <http://docs.cntd.ru/document/1200048970/>

5. ГОСТ 17378-2001 (ИСО 3419-81) Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Переходы. Конструкция (с Изменением N 1)

<http://docs.cntd.ru/document/1200030179>

6. ГОСТ 8732-78 Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент (с Изменениями N 1, 2)

<http://docs.cntd.ru/document/1200001512>

7. ГОСТ 16037-80 Соединения сварные стальных трубопроводов. Основные типы, конструктивные элементы и размеры (с Изменением N 1)

<http://docs.cntd.ru/document/1200001918>

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

1. Температура [https://www.youtube.com/watch?v=tul4yORnt\\_A](https://www.youtube.com/watch?v=tul4yORnt_A)

2. Вода <https://www.youtube.com/watch?v=eAA3OqaFy0A>

3. Тепло против холода

<https://www.youtube.com/watch?v=mLXIVH5KXZ4>

4. Справочные данные по теплофизическим свойствам веществ в зависимости от температуры и давления. <http://thermalinfo.ru>

5. От света к радиоволнам

<https://www.youtube.com/watch?v=o7rvqxr95Yw>

6. Интерактивные модели по дисциплине «Тепломассообмен» [http://miceen.ru/about/intellect\\_sobstvennost/elektronnie-uchebno-metodicheskie-kompleksi/interaktiv\\_tplomassoobmen.html](http://miceen.ru/about/intellect_sobstvennost/elektronnie-uchebno-metodicheskie-kompleksi/interaktiv_tplomassoobmen.html)

7. Работа ТЭЦ изнутри <https://www.youtube.com/watch?v=gIXobdLWfeA>

8. Сила Солнца. Использование солнечной энергии

<https://www.youtube.com/watch?v=QQ-2Mzzwu4o>

9. Как работает самая большая солнечная печь

<https://www.youtube.com/watch?v=SB1oBxuBpwM>

## **Перечень информационных технологий и программного обеспечения**

При чтении лекций используется компьютерная техника для демонстрации слайдов с помощью программного приложения:

Microsoft Power Point;

Adobe Reader;

Microsoft Excel;

Microsoft Word;

WinDjView.

Теплотехника жидкости

Для рассылки, переписки и обсуждения возникших учебных проблем используется электронная почта, технология и предоставляемые ею услуги по пересылке и получению электронных сообщений, называемых «письма» или «электронные письма», по распределённой, в том числе глобальной, компьютерной сети, преподавателя и обучающихся

## **VI. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Успешное усвоение курса «Теоретические основы тепломассообмена» предполагает активное участие студента на всех этапах ее освоения путем планомерной, повседневной работы.

Общие рекомендации: в начале изучения дисциплины «Теоретические основы тепломассообмена» студентам предлагается ознакомиться с настоящей рабочей программой; особое внимание уделяется целям, задачам, структуре и содержанию курса, а также списку литературы и других источников.

Работа с конспектом лекций: студентам следует просматривать конспект сразу после занятий, помечая материал, вызывающий затруднения для понимания; далее студентам рекомендуется самостоятельно попытаться найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу; если самостоятельно разобраться в материале не удалось, обратитесь за помощью к преподавателю на текущей консультации или на ближайшей лекции; каждую неделю рекомендуется отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

Необходимо систематически готовиться к практическим занятиям, изучать рекомендованные к прочтению статьи и другие материалы.

Методический материал, обеспечивает рациональную организацию самостоятельной работы студентов на основе систематизированной

информации по темам занятий курса. В частности для самостоятельного выполнения курсовой работы студентам рекомендуется использовать методические указания: «Тепломассообмен» метод. указания / сост. Г.А. Захаров, К.В. Цыганкова, А.А. Еськин ; Дальневост. федерал. ун-т. – Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал ун-та. – 32 с.

## **VII. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В ходе обучения по курсу «Теоретические основы тепломассообмена» используются следующие средства:

- а) мультимедийные аудитории, оснащенные проектором для проведения визуальных презентаций;
- б) лабораторный стенд «Теплотехника жидкости».
- в) компьютерное оборудование для проведения текущего контроля успеваемости и объективной оценки усвоения дисциплины.

В целях обеспечения специальных условий обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в ДВФУ все здания оборудованы пандусами, лифтами, подъемниками, специализированными местами, оснащенными туалетными комнатами, табличками информационно-навигационной поддержки.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ  
РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**  
по дисциплине «Теоретические основы тепломассообмена»  
**Направление подготовки 08.03.01 Строительство**  
профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2015**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

| № п/п | Дата/сроки выполнения   | Вид самостоятельной работы        | Примерные нормы времени на выполнение | Форма контроля |
|-------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 1     | В течение 5-го семестра | Работа с теоретическим материалом | 18 час                                | УО-1           |
| 2     | В течение 5-го семестра | Выполнение курсовой работы        | 18 час                                | ПР-5           |
| 3     | Сессия                  | Подготовка к экзамену             | 36 час                                | Экзамен        |

### Рекомендации по самостоятельной работе студентов

#### Методические указания к работе с теоретическим материалом

**Цель:** получить хорошие знания по дисциплине и научиться работать самостоятельно.

**Задачи:**

- приобретение навыков самостоятельной работы с лекционным материалом;
- приобретение навыков самостоятельной работы с основной и дополнительной литературой, пользоваться интернет – ресурсами;
- умение анализировать практические задачи, ставить и решать аналогичные задачи.

Работа с теоретическим материалом должна осуществляться на основе лекционного курса дисциплины. Для этого студент должен вести конспект лекций и уметь работать с ним.

Работа с литературой предполагает самостоятельную работу с учебниками, книгами, учебными пособиями, учебно-методическими пособиями по выполнению курсовой работы и выпускной квалификационной работы, с нормативно-правовыми источниками. Перечень литературы: основной, дополнительной, нормативной и интернет-ресурсов приведен в разделе V «Учебно-методическое обеспечение дисциплины» настоящей рабочей программы.

Умение самостоятельно работать с литературой является одним из важнейших условий освоения дисциплины. Поиск, изучение и проработка

литературных источников формирует у студентов научный способ познания, вырабатывает навыки умения учиться, позволяет в дальнейшем в практической работе после окончания университета продолжать повышать самостоятельно свою квалификацию и приобретать нужные компетенции для дальнейшего роста в профессии.

Самостоятельная работа с литературными источниками требует от студента усидчивости, терпения и сосредоточенности. Чтобы лучше понять существо вопроса, желательно законспектировать изучаемый материал, сделать нужные пометки, отметить вопросы для консультации с преподавателем.

### Методические указания к выполнению курсовой работы

**Цель:** получить навык выполнения тепловых расчетов теплообменных аппаратов.

**Задачи:**

—Определение геометрических параметров водоводяного конвективного теплообменного аппарата (ТОА);

—Определение коэффициента теплоотдачи греющей среды к внутренней поверхности труб трубного пучка;

—Расчет площади теплообмена и числа секций аппарата;

—Оформление чертежей водоводяного ТОА;

—Расчет трубного пучка горизонтального пароводяного теплообменника;

—Расчет коэффициента теплоотдачи от стенок трубного пучка к жидкости;

—Теплоотдача при конденсации пара на поверхности трубного пучка;

—Оформление чертежей горизонтального пароводяного теплообменника;

Проектирование ведется на основе индивидуального задания, выдаваемого студенту. На бланке задания приводятся необходимые данные для проектирования (режим работы, тепловая нагрузка, параметры греющей среды, параметры нагреваемой среды), согласно индивидуального варианта.

Возможные варианты представлены в таблице:

| № варианта | Водоводяной      |                   |                   | Пароводяной    |             |                |
|------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------|-------------|----------------|
|            | $Q_{г.в.}$ , кВт | $T_1'/T_1''$ , °С | $T_2'/T_2''$ , °С | $Q_{тс}$ , кВт | $p_n$ , ата | $T_1/T_2$ , °С |
| 1          | 300              | 95/70             | 5/55              | 2500           | 5           | 115/70         |
| 2          | 350              | 115/70            | 5/60              | 3000           | 6           | 130/70         |
| 3          | 400              | 130/70            | 5/65              | 3500           | 6           | 150/70         |
| 4          | 450              | 150/70            | 15/55             | 4000           | 7           | 130/70         |

|    |      |        |       |      |   |        |
|----|------|--------|-------|------|---|--------|
| 5  | 500  | 95/70  | 15/60 | 4500 | 7 | 150/70 |
| 6  | 550  | 115/70 | 15/65 | 5000 | 8 | 130/70 |
| 7  | 600  | 130/70 | 5/55  | 5500 | 8 | 150/70 |
| 8  | 650  | 150/70 | 5/60  | 6000 | 9 | 130/70 |
| 9  | 700  | 95/70  | 5/65  | 2500 | 9 | 150/70 |
| 10 | 750  | 115/70 | 15/55 | 3000 | 5 | 115/70 |
| 11 | 800  | 130/70 | 15/60 | 3500 | 6 | 130/70 |
| 12 | 850  | 150/70 | 15/65 | 4000 | 6 | 150/70 |
| 13 | 900  | 95/70  | 5/55  | 4500 | 7 | 130/70 |
| 14 | 950  | 115/70 | 5/60  | 5000 | 7 | 150/70 |
| 15 | 1000 | 130/70 | 5/65  | 5500 | 8 | 130/70 |
| 16 | 1050 | 150/70 | 15/55 | 6000 | 8 | 150/70 |
| 17 | 1100 | 95/70  | 15/60 | 2500 | 9 | 130/70 |
| 18 | 1150 | 115/70 | 15/65 | 3000 | 9 | 150/70 |
| 19 | 1200 | 130/70 | 5/55  | 3500 | 5 | 115/70 |
| 20 | 1250 | 150/70 | 5/60  | 4000 | 6 | 130/70 |
| 21 | 300  | 95/70  | 5/65  | 4500 | 6 | 150/70 |
| 22 | 350  | 115/70 | 15/55 | 5000 | 7 | 130/70 |
| 23 | 400  | 130/70 | 15/60 | 5500 | 7 | 150/70 |
| 24 | 450  | 150/70 | 15/65 | 6000 | 8 | 130/70 |
| 25 | 500  | 95/70  | 5/55  | 2500 | 8 | 150/70 |
| 26 | 550  | 115/70 | 5/60  | 3000 | 9 | 130/70 |
| 27 | 600  | 130/70 | 5/65  | 3500 | 9 | 150/70 |
| 28 | 650  | 150/70 | 15/55 | 4000 | 5 | 115/70 |
| 29 | 700  | 95/70  | 15/60 | 4500 | 6 | 130/70 |
| 30 | 750  | 115/70 | 15/65 | 5000 | 6 | 150/70 |
| 31 | 800  | 130/70 | 5/55  | 5500 | 7 | 130/70 |
| 32 | 850  | 150/70 | 5/60  | 6000 | 7 | 150/70 |
| 33 | 900  | 95/70  | 5/65  | 2500 | 8 | 130/70 |
| 34 | 950  | 115/70 | 15/55 | 3000 | 8 | 150/70 |
| 35 | 1000 | 130/70 | 15/60 | 3500 | 9 | 130/70 |
| 36 | 1050 | 150/70 | 15/65 | 4000 | 9 | 150/70 |
| 37 | 1100 | 95/70  | 5/55  | 4500 | 5 | 115/70 |
| 38 | 1150 | 115/70 | 5/60  | 5000 | 6 | 130/70 |
| 39 | 1200 | 130/70 | 5/65  | 5500 | 6 | 150/70 |
| 40 | 1250 | 150/70 | 15/55 | 6000 | 7 | 130/70 |

### **Требования к представлению и оформлению результатов самостоятельной работы**

Курсовая работа оформляется на листах А4, рукописно, и включает в себя следующие основные разделы: титульный лист, содержание, введение, исходные данные, расчет водоводяного теплообменника, расчет

пароводяного теплообменника, заключение, приложения. В приложениях приводятся чертежи, выполненные вручную на листах А3: разрез/вид секции водоводяного теплообменного аппарата, разрез трубной доски, узел вальцовки; на листах А4: вид водоводяного теплообменного аппарата, экспликация деталей, эскизный чертеж разреза пароводяного теплообменника.

### **Критерии оценки выполнения курсовой работы**

Примерные критерии оценки результатов сдачи государственного экзамена (критерии формируются с учетом специфики данного направления подготовки (специальности)):

1. Отметка «отлично» (в соответствии с отличной оценкой) выставляется обучающемуся, глубоко и прочно усвоившему программный материал, способному самостоятельно критически оценить основные концепции данной дисциплины (дисциплин), в ответе которого теория увязывается с практикой; обучающийся показывает знакомство с актуальной литературой, правильно дает определения всех основных понятий данной дисциплины (дисциплин), правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов, исчерпывающе отвечает на дополнительные вопросы.

2. Отметка «хорошо» выставляется обучающемуся, твердо знающему программный материал, грамотно и по существу излагающему его, но допускающему небольшие неточности в ответе на вопрос, обучающийся правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач и отвечает на базовую часть дополнительных вопросов.

3. Отметка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, владеющему основным материалом, но испытывающему некоторые затруднения и допускающему неточности в его изложении, недостаточно правильно формулирующему основные понятия данной дисциплины (дисциплин), допускающему существенные ошибки при выполнении практических заданий и ответах на дополнительные вопросы.

4. Отметка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, не владеющему основным материалом, допускающему существенные ошибки, неверно отвечающему на большую часть дополнительных вопросов, с большими затруднениями выполняющему практические задания.





МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДФУ)

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Теоретические основы тепломассообмена»**  
**Направление подготовки 08.03.01 Строительство**  
**профиль «Теплогазоснабжение и вентиляция»**  
**Форма подготовки очная**

**Владивосток**  
**2015**

## Паспорт ФОС

| Код и формулировка компетенции   | Этапы формирования компетенции |   |
|--|--------------------------------|---|
| <b>ОПК-1</b><br>-способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования | Знает                          | Основные положения теории тепломассообмена и принципы расчета теплообменных аппаратов;  |
|  | Умеет                          | Применять методы математического анализа и теоретического и экспериментального исследования;  |
|  | Владеет                        | Навыком использования современного расчетного оборудования и приборов   |
| <b>ОПК-2</b><br>– способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат   | Знает                          | Методы решения естественнонаучных проблем исследований, возникающих в ходе профессиональной деятельности;   |
|  | Умеет                          | Обоснованно принимать решения о применении конкретных методов решения естественнонаучных проблем;   |
|  | Владеет                        | Навыками применения физико-математического аппарата для решения для решения теоретических и экспериментальных проблем   |
| ПК-1, знанием нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест   | Знает                          | Нормативную базу в области проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населенных мест.   |
|  | Умеет                          | С точностью определить требования, которые предъявляются к ограждающим конструкциям конкретного объекта строительства или реконструкции, учитывая район застройки, климатологические факторы и показатели, ориентацию, тип, вид и назначение объекта. |
|  | Владеет                        | Методиками расчета основных теплофизических показателей ограждающих конструкций в соответствии с действующими нормативными документами.   |

| № п/п | Контролируемые разделы / темы дисциплины                 | Коды и этапы формирования компетенций |         | Оценочные средства                  |                               |
|-------|--|---------------------------------------|---------|-------------------------------------|-------------------------------|
|       |  |                                       |         | текущий контроль                    | промежуточная аттестация      |
| 1     | Раздел I.<br>Теплопроводность                            | ОПК-1                                 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №1-24                 |
|       |  |                                       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)        |
|       |  |                                       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Лабораторная работа №3 (ПР-6) |
|       |  | ОПК-2                                 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №10-16, 18, 21, 22    |
|       |  |                                       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)        |
|       |  |                                       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Лабораторная работа №4 (ПР-6) |
| 2     | Раздел II.<br>Конвективный теплообмен в однофазной среде | ОПК-1                                 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №25-33                |
|       |  |                                       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)        |
|       |  |                                       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Лабораторная работа №1 (ПР-6) |
|       |  | ОПК-2                                 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №27, 32               |
|       |  |                                       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)        |
|       |  |                                       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Лабораторная работа №2 (ПР-6) |
| 3     | Раздел III.<br>Теплообмен при фазовых                    | ОПК-1                                 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №56-62                |
|       |  |                                       | умеет   | Расчетно-                           | Курсовая работа               |

|   |                                  |       |         |                                     |                                     |                         |
|---|----------------------------------|-------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
|   | превращениях                     |       |         | графическая работа (ПР-12)          | (ПР-5)                              |                         |
|   |                                  |       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Вопросы №62-70                      |                         |
|   |                                  |       | ОПК-2   | знает                               | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №57,59,63,72,73 |
|   |                                  |       |         | умеет                               | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)  |
|   |                                  |       |         | владеет                             | Контрольная работа (ПР-2)           | Вопросы №70-77          |
| 4 | Раздел IV. Теплообмен излучением | ОПК-1 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №34-40                      |                         |
|   |                                  |       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)              |                         |
|   |                                  |       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Вопросы №34-40                      |                         |
|   |                                  | ОПК-2 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №41-55                      |                         |
|   |                                  |       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)              |                         |
|   |                                  |       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Вопросы №36-42                      |                         |
| 5 | Раздел V. Массоотдача            | ОПК-1 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №78-84                      |                         |
|   |                                  |       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)              |                         |
|   |                                  |       | владеет | Контрольная работа (ПР-2)           | Вопросы №84-92                      |                         |
|   |                                  | ОПК-2 | знает   | Собеседование (УО-1)                | Вопросы №80,81-84,97                |                         |
|   |                                  |       | умеет   | Расчетно-графическая работа (ПР-12) | Курсовая работа (ПР-5)              |                         |
|   |                                  |       | владеет | Контрольная                         | Вопросы №92-97                      |                         |

|  |  |  |  |               |  |
|--|--|--|--|---------------|--|
|  |  |  |  | работа (ПР-2) |  |
|--|--|--|--|---------------|--|

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

| Код и формулировка компетенции  | Этапы формирования компетенции |  | Критерии  | Показатели  |
|---|--------------------------------|--|---|---|
| ОПК-1<br>способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического моделирования, теоретического и экспериментального исследования | знает (пороговый уровень)      | основные законы теплообмена  | Знание основных законов теплообмена   | Способность использовать основных законов теплообмена при решении типовых задач   |
|   | умеет (продвинутый)            | применять основные законы теплообмена для решения задач в области профессиональной деятельности                                    | Умение применять основные законы теплообмена для решения задач в области профессиональной деятельности                                      | Способность выполнить анализ частных задач профессиональной деятельности, используя основные законы теплообмена   |
|   | владеет (высокий)              | методами математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования | Владение методами математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования | Способен выполнить различные расчеты теплообменного оборудования, применяя методами математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования |
| ОПК-2<br>способностью выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе   | знает (пороговый уровень)      | естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности  | Знание естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности  | Способен объяснить принцип работы теплообменного оборудования на основе естественнонаучных законов  |

|  |                     |  |  |  |
|--|---------------------|--|--|--|
| профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующих физико-математический аппарат | умеет (продвинутый) | решать проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности с помощью соответствующего физико-математического аппарата | Умение решать проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности с помощью соответствующего физико-математического аппарата                          | Способен решать решать проблемы, возникающие в в работе теплообменного оборудования с помощью соответствующего физико-математического аппарата |
|  | владеет (высокий)   | физико-математическим аппаратом на достаточном уровне для решения проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности | Владение навыками использования физико-математическим аппаратом на достаточном уровне для решения проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности | Способность оптимизировать работу теплообменного оборудования, используя основные законы тепломассообмена                                      |

### **Методические рекомендации, определяющие процедуры оценивания результатов освоения дисциплины**

**Текущая аттестация студентов.** Текущая аттестация студентов по дисциплине «Теоретические основы тепломассообмена» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Текущая аттестация по дисциплине «Теоретические основы тепломассообмена» проводится в форме контрольных мероприятий (собеседование (УО-1), защита лабораторных работ (ПР-6), выполнение расчетно-графической работы (ПР-12), защита курсовой работы( ПР-5)) по оцениванию фактических результатов обучения студентов и осуществляется ведущим преподавателем.

Объектами оценивания выступают:

- учебная дисциплина (активность на занятиях, своевременность выполнения различных видов заданий, посещаемость всех видов занятий по аттестуемой дисциплине);
- степень усвоения теоретических знаний;
- уровень овладения практическими умениями и навыками по всем видам учебной работы;

- результаты самостоятельной работы.

Оценка освоения учебной дисциплины «Теоретические основы теплообмена» является комплексным мероприятием, которое в обязательном порядке учитывается и фиксируется ведущим преподавателем. Такие показатели этой оценки, как посещаемость всех видов занятий и своевременность выполнения курсовой работы или расчётно-графической фиксируется в журнале посещения занятий и в графике выполнения курсовой работы.

Степень усвоения теоретических знаний оценивается такими контрольными мероприятиями как устный опрос и, частично выполнением курсовой и расчётно-графической работы.

Уровень овладения практическими навыками и умениями, результаты самостоятельной работы оцениваются работой студента над курсовой работой, его оформлением, представлением к защите и сама защита.

**Промежуточная аттестация студентов.** Промежуточная аттестация студентов по дисциплине «Теоретические основы теплообмена» проводится в соответствии с локальными нормативными актами ДВФУ и является обязательной.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теоретические основы теплообмена» проводится в форме контрольного мероприятия (5 семестр - экзамен) в виде ответов на билеты, содержащие вопросы, приведенные в разделе зачетно-экзаменационные материалы ФОС.

## **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

### **Перечень типовых вопросов к экзамену**

1. Температурное поле и градиент температуры.
2. Дайте определение и назовите единицы измерения следующих физических величин: тепловой поток, плотность теплового потока, коэффициент теплопроводности.
3. Сформулируйте законы Фурье и Ньютона - Рихмана.
4. Дифференциальное уравнение теплопроводности: допущения, какой закон положен в основу вывода, итоговое уравнение.
5. Дайте определение и запишите единицы измерения коэффициентов температуропроводности и теплоотдачи.
6. Краевые условия: значение, состав.
7. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности и его решение для однородной тонкой плоской стенки с постоянным

коэффициентом теплопроводности.

8. Запишите выражение для плотности теплового потока в случае многослойной плоской стенки, состоящей из  $n$  однородных слоев.

9. Дайте определение процесса теплопередачи, а также дайте определение и запишите единицы измерения коэффициента теплопередачи, термических сопротивлений теплопроводности, теплоотдачи, теплопередачи.

10. Запишите выражение для определения теплового потока через многослойную плоскую стенку в процессе теплопередачи.

11. Запишите выражение для определения температуры в плоскости соприкосновения произвольных слоев.

12. Плотность теплового потока для граничных условий второго и третьего рода.

13. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности без внутренних источников тепла для цилиндрической стенки и его решение.

14. Запишите выражение и схематически изобразите распределение температуры в однородной и многослойной цилиндрических стенках при заданных температурах поверхностей.

15. Запишите выражение для определения температуры в плоскости соприкосновения произвольных слоев многослойной цилиндрической стенки.

16. Дайте определение и запишите расчетную формулу для вычисления критического диаметра изоляции. Поясните, в каком случае тепловой поток через цилиндрическую стенку будет возрастать при наложении изоляции. В каких случаях увеличение теплового потока при наложении изоляции играет положительную роль?

17. Нестационарная теплопроводность: описание процесса, изменение температуры тела по мере нагрева в среде, дифференциальное уравнение нестационарного процесса теплопроводности без внутренних источников тепла.

18. Критерии Био, Фурье и безразмерная избыточная температура: определение и физический смысл.

19. Запишите решение дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности в безразмерном виде, поясните его структуру.

20. Охарактеризуйте особенности решения дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности в зависимости от числа Фурье.

21. Поясните особенности точки пересечения касательных к решению нестационарного уравнения теплопроводности на поверхности пластины. Как они зависят от числа Био?



22. Как определить время, необходимое для прогрева середины пластины до заданной температуры в случае  $Fo > 0,3$ ?

23. Схематически изобразите распределение избыточной температуры для бесконечной пластины в зависимости от диапазона значений числа Био.

24. Перечислите стадии охлаждения тел, охарактеризуйте их. Дайте определение, расчетную формулу и единицы измерения темпа охлаждения. Поясните особенности этой величины в стадии регулярного режима.

25. Сформулируйте теоремы Кондратьева.

26. Перечислите виды конвекции и дайте их определение.

27. Перечислите режимы течения жидкостей. Какое критериальное число их определяет? Как и почему зависит теплоотдача от режимов течения жидкости?

28. Дайте определение гидродинамического и температурного пограничных слоев.

29. Какие процессы называются подобными, аналогичными? Приведите примеры. Сформулируйте общие условия подобия физических процессов.

30. Сформулируйте теорему Кирпичева – Гухмана.

31. Дайте определение и приведите примеры определяющих и определяемых критериев. Может ли определяемый критерий стать определяющим или наоборот?

32. Назовите критерий подобия, характеризующий режим течения жидкости и укажите диапазон его значений для различных режимов при продольном обтекании плоской пластины. Как и почему связана теплоотдача с гидродинамическим режимом течения жидкости?

33. Какими критериями подобия характеризуется теплоотдача при продольном обтекании плоской пластины? Запишите их выражения и поясните физический смысл.

34. Дайте определение теплового излучения, поясните его механизм. Какие виды излучения вы знаете? Какие длины волн им соответствуют?

35. Дайте определение, запишите обозначение и единицы измерения следующих видов лучистых потоков: интегральный поток излучения, спектральный поток излучения, излучательная способность тела, спектральная интенсивность излучения, спектральная яркость излучения, интегральная яркость излучения.

36. Перечислите разновидности полусферического излучения, дайте их определение и запишите выражения для их вычисления.

37. Какие тела называют абсолютно черными? Серыми?

38. В каком случае поверхность называется зеркальной? Абсолютно белой?

39. Дайте определение коэффициентов поглощения, отражения и пропускания. Запишите соотношение между ними.

40. Что называют лучистым теплообменом?

41. Перечислите методы исследования процессов лучистого теплообмена. Поясните их основные особенности и отличия.

42. Перечислите допущения, необходимые для исследования теплообмена в системе, состоящей из двух неограниченных твердых тел с плоскопараллельными поверхностями.

43. Укажите основные этапы при выводе выражения для результирующего потока излучения в системе двух плоскопараллельных тел методом многократных отражений.

44. Как определяется результирующий поток излучения в системе двух плоскопараллельных тел методом сальдо?

45. Что называют приведенным коэффициентом поглощения в системе двух плоскопараллельных тел, приведенным коэффициентом излучения? Запишите соответствующие выражения и единицы измерения.

46. Запишите выражение для результирующего лучистого потока в системе двух плоскопараллельных тел?

47. Как определить полный результирующий поток в системе двух плоскопараллельных тел?

48. Как влияет на результирующий поток излучения установка экранов?

49. Какой должна быть степень черноты экранов?

50. Как влияет на результирующий поток излучения в системе двух плоскопараллельных тел местоположение экранов относительно излучающих поверхностей?

51. Во сколько раз снижает тепловой поток в системе двух плоскопараллельных тел установка  $n$  экранов, имеющих одинаковую с излучающими поверхностями степень черноты? Как в этом случае определить температуру экранов?

52. Как определяются приведенный коэффициент излучения и приведенный коэффициент поглощения в системе плоскопараллельных тел с экранами?

53. Как определить результирующий поток излучения в системе двух плоскопараллельных тел с экранами?

54. От каких параметров зависит коэффициент излучения твердых тел?

55. Какими методами можно определить коэффициент излучения твердых тел?

56. Дайте определение процесса конденсации. Приведите примеры этого явления в природе и технике.

57. Поясните термодинамические условия, при которых пар переходит в жидкую фазу или в твердое состояние.

58. Какой пар называют чистым? Насыщенным? Перегретым?

59. В чем заключается отличие пленочной конденсации от капельной? В каком случае и почему будет выше коэффициент теплоотдачи?

60. Поясните механизм процесса конденсации чистого пара с точки зрения молекулярно-кинетической теории.

61. Опишите стадии процесса конденсации.

62. Как определяют число Рейнольдса для пленки конденсата? При каких значениях числа Рейнольдса происходит ламинарное течение пленки конденсата?

63. Для каких значений числа Рейнольдса характерно образование волн на поверхности пленки конденсата? К чему приводит волновое движение?

64. Какой пар называют неподвижным?

65. Как влияет скорость движения пара на процесс теплоотдачи?

66. Перечислите допущения, необходимые для вывода уравнения Нуссельта, описывающего конденсацию неподвижного пара.

67. Запишите систему дифференциальных уравнений, описывающих конденсацию неподвижного пара, укажите особенности ее решения.

68. Запишите уравнение Нуссельта для конденсации неподвижного пара.

69. Схематически изобразите зависимость коэффициента теплоотдачи и толщины пленки конденсата от высоты стенки.

70. Из-за влияния каких физических процессов уравнение Нуссельта неточно описывает пленочную конденсацию неподвижного пара.

71. Запишите критериальные уравнения, описывающие пленочную конденсацию неподвижного пара на вертикальной стенке (ламинарное и смешанное течение пленки конденсата) и на горизонтальной трубе. Поясните алгоритм вычисления коэффициента теплоотдачи по этим формулам.

72. Какой коэффициент теплоотдачи выше и почему для горизонтальной трубы или для вертикальной стенки?

73. Поясните особенности капельной конденсации неподвижного пара.

74. Запишите критериальные уравнения для расчета теплоотдачи при капельной конденсации пара.

75. Дайте определение следующих понятий: диффузия, концентрационная диффузия, молярная диффузия, молекулярная диффузия.

76. Какие явления называются эффект Дюфо и эффект Соре?

77. Укажите название закона, определяющего концентрационную диффузию, и запишите его математическое выражение.

78. Дайте определение и запишите единицы измерения следующих физических величин: поток массы, плотность потока массы, местная концентрация, коэффициент молекулярной диффузии, коэффициент термодиффузии, термодиффузионное отношение.

79. Дайте определение физических процессов: термодиффузия и бародиффузия.

80. Вследствие какого эффекта более тяжелые молекулы стремятся перейти в холодные области, если массы двух компонентов различны; а более крупные переходят в холодные области, если массы молекул примерно одинаковы?

81. Вследствие какого эффекта тяжелые молекулы стремятся перейти в область повышенного давления, а легкие – наоборот?

82. За счет чего возникает бародиффузия?

83. В каком случае возникает термодиффузия?

84. Как изменяется поток массы и поток теплоты бинарной смеси при наличии диффузионного переноса массы?

85. Запишите уравнение энергии для бинарной смеси диффундирующих друг в друга компонентов.

86. Запишите уравнение массообмена в движущейся бинарной смеси.

87. Запишите уравнение движения для бинарной смеси.

88. Запишите уравнение неразрывности.

89. Сформулируйте закон Фика и запишите его математическое выражение.

90. Дайте определение понятий конвективный массообмен, массоотдача.

91. Перечислите процессы при которых одновременно происходит тепло- и массообмен.

92. Дайте определение и запишите единицы измерения коэффициентов массоотдачи, отнесенного к разности концентраций диффундирующего вещества и к разности парциальных давлений.

93. Какое явление называют «Стефанов поток»?

94. Запишите уравнение Стефана. Чем оно отличается от закона Фика?

95. Запишите уравнение массоотдачи. Каким уравнениям оно аналогично?

96. Дайте определение диффузионного пограничного слоя.

97. В каком случае тепловой, гидродинамический и диффузионный пограничные слои будут иметь одинаковую толщину?

### ПР-5 Курсовая работа

В 5 семестре в соответствии с учебным планом студентами выполняется курсовая работа на тему «Конструктивный тепловой расчет конвективных теплообменных аппаратов». Проектирование ведется на основе индивидуального задания, выдаваемого студенту. На бланке задания приводятся необходимые данные для проектирования (режим работы, тепловая нагрузка, параметры греющей среды, параметры нагреваемой среды), согласно индивидуального варианта. Возможные варианты представлены в таблице:

| № варианта | Водоводяной            |                                       |                                       | Пароводяной          |                   |                                    |
|------------|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------|------------------------------------|
|            | $Q_{г.в.}, \text{кВт}$ | $T_1'/T_1'', \text{ } ^\circ\text{C}$ | $T_2'/T_2'', \text{ } ^\circ\text{C}$ | $Q_{тс}, \text{кВт}$ | $p_n, \text{атм}$ | $T_1/T_2, \text{ } ^\circ\text{C}$ |
| 1          | 300                    | 95/70                                 | 5/55                                  | 2500                 | 5                 | 115/70                             |
| 2          | 350                    | 115/70                                | 5/60                                  | 3000                 | 6                 | 130/70                             |
| 3          | 400                    | 130/70                                | 5/65                                  | 3500                 | 6                 | 150/70                             |
| 4          | 450                    | 150/70                                | 15/55                                 | 4000                 | 7                 | 130/70                             |
| 5          | 500                    | 95/70                                 | 15/60                                 | 4500                 | 7                 | 150/70                             |
| 6          | 550                    | 115/70                                | 15/65                                 | 5000                 | 8                 | 130/70                             |
| 7          | 600                    | 130/70                                | 5/55                                  | 5500                 | 8                 | 150/70                             |
| 8          | 650                    | 150/70                                | 5/60                                  | 6000                 | 9                 | 130/70                             |
| 9          | 700                    | 95/70                                 | 5/65                                  | 2500                 | 9                 | 150/70                             |
| 10         | 750                    | 115/70                                | 15/55                                 | 3000                 | 5                 | 115/70                             |
| 11         | 800                    | 130/70                                | 15/60                                 | 3500                 | 6                 | 130/70                             |
| 12         | 850                    | 150/70                                | 15/65                                 | 4000                 | 6                 | 150/70                             |
| 13         | 900                    | 95/70                                 | 5/55                                  | 4500                 | 7                 | 130/70                             |
| 14         | 950                    | 115/70                                | 5/60                                  | 5000                 | 7                 | 150/70                             |
| 15         | 1000                   | 130/70                                | 5/65                                  | 5500                 | 8                 | 130/70                             |
| 16         | 1050                   | 150/70                                | 15/55                                 | 6000                 | 8                 | 150/70                             |
| 17         | 1100                   | 95/70                                 | 15/60                                 | 2500                 | 9                 | 130/70                             |

|    |      |        |       |      |   |        |
|----|------|--------|-------|------|---|--------|
| 18 | 1150 | 115/70 | 15/65 | 3000 | 9 | 150/70 |
| 19 | 1200 | 130/70 | 5/55  | 3500 | 5 | 115/70 |
| 20 | 1250 | 150/70 | 5/60  | 4000 | 6 | 130/70 |
| 21 | 300  | 95/70  | 5/65  | 4500 | 6 | 150/70 |
| 22 | 350  | 115/70 | 15/55 | 5000 | 7 | 130/70 |
| 23 | 400  | 130/70 | 15/60 | 5500 | 7 | 150/70 |
| 24 | 450  | 150/70 | 15/65 | 6000 | 8 | 130/70 |
| 25 | 500  | 95/70  | 5/55  | 2500 | 8 | 150/70 |
| 26 | 550  | 115/70 | 5/60  | 3000 | 9 | 130/70 |
| 27 | 600  | 130/70 | 5/65  | 3500 | 9 | 150/70 |
| 28 | 650  | 150/70 | 15/55 | 4000 | 5 | 115/70 |
| 29 | 700  | 95/70  | 15/60 | 4500 | 6 | 130/70 |
| 30 | 750  | 115/70 | 15/65 | 5000 | 6 | 150/70 |
| 31 | 800  | 130/70 | 5/55  | 5500 | 7 | 130/70 |
| 32 | 850  | 150/70 | 5/60  | 6000 | 7 | 150/70 |
| 33 | 900  | 95/70  | 5/65  | 2500 | 8 | 130/70 |
| 34 | 950  | 115/70 | 15/55 | 3000 | 8 | 150/70 |
| 35 | 1000 | 130/70 | 15/60 | 3500 | 9 | 130/70 |
| 36 | 1050 | 150/70 | 15/65 | 4000 | 9 | 150/70 |
| 37 | 1100 | 95/70  | 5/55  | 4500 | 5 | 115/70 |
| 38 | 1150 | 115/70 | 5/60  | 5000 | 6 | 130/70 |
| 39 | 1200 | 130/70 | 5/65  | 5500 | 6 | 150/70 |
| 40 | 1250 | 150/70 | 15/55 | 6000 | 7 | 130/70 |

### **Оценочные средства для текущей аттестации**

#### **ПР-6 Лабораторные работы**

**Лабораторная работа №1. Определение теплоемкости жидкости  
методом нагрева потока жидкости**

Порядок выполнения работы:

Для выполнения работы используется электрический теплообменник. Нагрев воды производится трубчатым электронагревателем, питающимся от электрической сети. Количество потребленной электроэнергии измеряется счетчиком электроэнергии, расположенном в субблоке «Нагреватель». Расположенный справа от счетчика выключатель позволяет подключать два или четыре ТЭНа одновременно. Расход воды измеряется расходомером холодного контура. Входная и выходная температура определяется термомпарами, установленными на входе и выходе теплообменника. Полученные данные фиксируются и отображаются на экране компьютера. Данные можно вывести в виде таблиц.

1. Изучить теоретические основы по данной теме.
2. Изучить главу «Описание оборудования», расположение и назначение отдельных частей установки.
3. Включить учебное оборудование, используя автомат (ВКЛ.) субблока «СЕТЬ».
4. Перекрыть все вентили.
5. Подключить ноутбук к стенду, используя USB кабель и блок согласования. Включить ноутбук.
6. Запустить программу «Теплотехника жидкости».
7. Установить трехходовой кран в направлении потока через электрический теплообменник. Открыть вентиль К5.
8. Выставить режим циркуляции насоса переключением флажка на корпусе насоса (выполняется преподавателем). Включить насос тумблером, расположенным справа на модуле питания стенда.
9. Установить проток жидкости приоткрыв задвижку, двигая курсор задвижки на экране монитора.
10. Установить режим работы расходомера. Обнулить показания счетчиков.
11. Открыть клапан, нажав кнопку «Клапан холодный» на экране монитора.
12. Снимая показания с приборов или с экрана монитора, оформить результаты работы в таблицу.

**Лабораторная работа № 2.** Определение коэффициента теплопередачи при движении жидкости в трубе при различных скоростях течения

Порядок выполнения работы:

Для выполнения работы используется теплообменник труба в трубе. Нагрев воды производится трубчатым теплообменником, содержащим

камеру горячего и холодного контура. Расход воды измеряется расходомерами горячего и холодного контура. Входная и выходная температура определяется термомпарами, установленными на входе и выходе контуров теплообменника. Количество потребленной и полученной энергии рассчитывается из показаний приборов. Полученные данные фиксируются и отображаются на экране компьютера. Данные можно вывести в виде таблиц.

1. Изучить теоретические основы по данной теме.
2. Изучить главу «Описание оборудования», расположение и назначение отдельных частей установки.
3. Включить учебное оборудование, используя автомат (ВКЛ.) субблока «СЕТЬ».
4. Перекрыть все вентили.
5. Подключить ноутбук к стенду, используя USB кабель и блок согласования. Включить ноутбук.
6. Запустить программу «Теплотехника жидкости».
7. Установить трехходовой кран в направлении потока через теплообменник труба в трубу. Кранами K11, K12, K13, K14 установить направление потока жидкости.
8. Выставить режим циркуляции насосов горячего и холодного контуров переключением флажков на корпусе насосов (выполняется преподавателем). Включить насосы тумблерами, расположенными справа на модуле питания стенда.
9. Установить проток жидкости, приоткрыв задвижки, двигая курсоры задвижек на экране монитора.
10. Выставить температуру горячего теплоносителя с помощью кнопок на панели ТРМ субблока «Регулятор температуры». Включить нагреватель выключателем, находящимся справа от ТРМ.
11. Открыть задвижку горячего контура на 60%.
12. Открыть клапан, нажав кнопку «Клапан горячий» на экране монитора.
13. Установить режим работы расходомеров «Расход».
14. Дождаться установления стационарного потока жидкости и стабильной температуры.
15. Открыть задвижку холодного контура на 10-12 %.
16. Открыть клапан, нажав кнопку «Клапан холодный» на экране монитора.
17. Снимая показания с приборов или с экрана монитора. Заполнить таблицу 4.2.
18. Рассчитать коэффициент теплопередачи  $k = \frac{Q}{t}$ .



19. После окончания работы рассчитать и заполнить 6 и 7 столбцы таблиц.

20. Повторить пункты 7...19, но необходимо больше приоткрыть задвижки.

21. Провести 5 опытов при разной скорости течения жидкости.

22. Выключить стенд, предварительно сохранив результаты на ноутбуке.

23. Подготовить отчет о проделанной работе, сделать выводы.

**Лабораторная работа № 3.** Определение передаваемой тепловой мощности теплообменника типа «труба в трубе» в зависимости от направления потоков жидкости

Порядок выполнения работы:

Для выполнения работы используется теплообменник типа «труба в трубе». Нагрев воды производится трубчатым теплообменником, содержащим камеру горячего и холодного контура. Расход воды измеряется расходомерами горячего и холодного контура. Входная и выходная температура определяется термопарами, установленными на входе и выходе контуров теплообменника. Количество потребленной и полученной энергии рассчитывается из показаний приборов. Полученные данные фиксируются и отображаются на экране компьютера. Данные можно вывести в виде таблиц.

1. Изучить теоретические основы по данной теме.

2. Изучить главу «Описание оборудования», расположение и назначение отдельных частей установки.

3. Включить учебное оборудование, используя автомат (ВКЛ.) субблока «СЕТЬ».

4. Перекрыть все вентили.

5. Подключить ноутбук к стенду, используя USB кабель и блок согласования. Включить ноутбук.

6. Запустить программу «Теплотехника жидкости».

7. Установить трехходовой кран в направлении потока через теплообменник типа «труба в трубе». Кранами K11, K12, K13, K14 установить направление потока жидкости.

8. Выставить режим циркуляции насосов горячего и холодного контуров переключением флажков на корпусе насосов (выполняется преподавателем). Включить насосы тумблерами, расположенными справа на модуле питания стенда.

9. Установить проток жидкости, приоткрыв задвижки, двигая курсоры задвижек на экране монитора.

10. Выставить температуру горячего теплоносителя с помощью кнопок на панели ТРМ субблока «РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ». Включить нагреватель выключателем, находящимся справа от ТРМ.

11. Открыть задвижку горячего контура на 60%.

12. Открыть клапан, нажав кнопку «КЛАПАН ГОРЯЧИЙ» на экране монитора.

13. Установить режим работы расходомеров «РАСХОД».

15. Дождаться установления стационарного потока жидкости и стабильной температуры.

16. Открыть задвижку горячего контура на 10-12 %.

17. Открыть клапан, нажав кнопку «КЛАПАН ХОЛОДНЫЙ» на экране монитора.

18. Снимая показания с приборов или с экрана монитора, заполнить таблицу 4.5.

19. Изменить направление движения жидкости в теплообменнике и повторить эксперимент.

**Лабораторная работа № 4.** Определение передаваемой тепловой мощности воздушно-водяного теплообменника с принудительным охлаждением

Порядок выполнения работы:

Для выполнения работы используется воздушно-водяной теплообменник. Нагрев воды производится нагревателем горячего контура. Расход воды измеряется расходомером горячего контура. Входная и выходная температура определяется термомпарами, установленными на входе и выходе теплообменника. Полученные данные фиксируются и отображаются на экране компьютера. Данные можно вывести в виде таблиц.

1. Изучить теоретические основы по данной теме.

2. Изучить главу «Описание оборудования», расположение и назначение отдельных частей установки.

3. Включить учебное оборудование, используя автомат (ВКЛ.) субблока «СЕТЬ».

4. Перекрыть все вентили.

5. Подключить ноутбук к стенду, используя USB кабель и блок согласования. Включить ноутбук.

6. Запустить программу «Теплотехника жидкости».

7. Установить трехходовой кран в направлении потока через воздушный теплообменник. Открыть вентиль К12.

8. Преподавателю выставить режим циркуляции насоса переключением флажка на корпусе насоса. Включить насос тумблером, расположенным справа на модуле питания стенда.

9. Установить проток жидкости приоткрыв задвижку двигая курсор задвижки на экране монитора.

10. Установить режим работы расходомера. Обнулить показания счетчиков.

11. Снимая показания с приборов или с экрана монитора, заполнить таблицу.

**Лабораторная работа № 5.** Определение передаваемой тепловой мощности кожухотрубного теплообменника

**Порядок выполнения работы:**

Для выполнения работы используется кожухотрубный теплообменник. Нагрев воды производится трубчатым теплообменником, содержащим контур горячего и несколько камер холодного контура. Расход воды измеряется расходомерами горячего и холодного контура. Входная и выходная температура определяется термомпарами, установленными на входе и выходе контуров теплообменника. Количество потребленной и полученной энергии рассчитывается из показаний приборов. Полученные данные фиксируются и отображаются на экране компьютера. Данные можно вывести в виде таблиц.

1. Изучить теоретические основы по данной теме.

2. Изучить главу «Описание оборудования», расположение и назначение отдельных частей установки.

3. Включить учебное оборудование, используя автомат (ВКЛ.) субблока «СЕТЬ».

4. Перекрыть все вентили.

5. Подключить ноутбук к стенду, используя USB кабель и блок согласования. Включить ноутбук.

6. Запустить программу «Теплотехника жидкости».

7. Установить трехходовой кран в направлении потока через кожухотрубный теплообменник. Открыть кран прохода жидкости через теплообменник.

8. Выставить режим циркуляции насосов горячего и холодного контуров переключением флажков на корпусе насосов (выполняется преподавателем). Включить насосы тумблерами, расположенными справа на модуле питания стенда.

9. Установить поток жидкости, приоткрыв задвижки, двигая курсоры задвижек на экране монитора.

10. Выставить температуру горячего теплоносителя с помощью кнопок на панели ТРМ субблока «РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ». Включить нагреватель выключателем, находящимся справа от ТРМ.

11. Открыть задвижку горячего контура на 60%.

12. Открыть клапан, нажав кнопку «КЛАПАН ГОРЯЧИЙ» на экране монитора.

13. Установить режим работы расходомеров «РАСХОД».

15. Дождаться установления стационарного потока жидкости и стабильной температуры.

16. Открыть задвижку холодного контура на 10-12 %.

17. Открыть клапан, нажав кнопку «Клапан холодный» на экране монитора.

18. Снимая показания с приборов или с экрана монитора, заполнить таблицу.

**Лабораторная работа № 6.** Определение вязкости жидкости при различной температуре по теории ламинарного сечения

Порядок выполнения работы:

Для выполнения работы используется капилляр на входе и выходе которого установлены датчики давления и температуры. Нагрев воды производится теплообменником горячего контура. Температура носителя которого выставляется на ТРМ субблока «Регулятор температуры». Расход воды измеряется расходомером горячего контура. Входная и выходная температура определяется термопарами, установленными на входе и выходе капилляра. Количество воды, прошедшей через капилляр рассчитывается из показаний прибора. Полученные данные фиксируются и отображаются на экране компьютера. Данные можно вывести в виде таблиц.

1. Изучить теоретические основы по данной теме.

2. Изучить главу «Описание оборудования», расположение и назначение отдельных частей установки.

3. Включить учебное оборудование, используя автомат (ВКЛ.) субблока «СЕТЬ».

4. Перекрыть все вентили.

5. Подключить ноутбук к стенду, используя USB кабель и блок согласования. Включить ноутбук.

6. Запустить программу «Теплотехника жидкости».

7. Установить трехходовой кран в направлении потока через капилляр. Кранами К3, К4, установить поток жидкости.

8. Выставить режим циркуляции насосов горячего контура переключением флажков на корпусе насосов (выполняется преподавателем). Включить насосы тумблерами, расположенными справа на модуле питания стенда.

9. Установить поток жидкости, приоткрыв задвижку, перемещая курсор задвижки на экране монитора.

10. Выставить температуру горячего теплоносителя с помощью кнопок на панели ТРМ субблока «РЕГУЛЯТОР ТЕМПЕРАТУРЫ». Включить нагреватель выключателем, находящимся справа от ТРМ.

11. Открыть задвижку горячего контура на 60%.

12. Открыть клапан, нажав кнопку «КЛАПАН ГОРЯЧИЙ» на экране монитора.

13. Установить режим работы расходомеров «РАСХОД».

15. Открыть задвижку горячего контура на 10-12 %.

16. Дождаться установления стационарного потока жидкости и стабильной температуры. Закрыть клапан.

17. Открыть клапан, нажав зеленую кнопку на пульте секундомера. Измерить показания дифференциального манометра. Через некоторое время нажать кнопку «СТОП». Снять показания с расходомера и секундомера.

Повторить опыт несколько раз.

18. Снять показания с приборов или с экрана монитора, заполнить таблицу

## **УО-1 Собеседование**

Вопросы по разделам и темам дисциплины

### **I. Теплопроводность (12 час.)**

#### **1. Стационарная теплопроводность. Основные положения теплопроводности**

1) Каким методом: феноменологическим или статистическим – описываются процессы теплопроводности?

2) В чем отличие между феноменологическим и статистическим методами описания тепловых процессов?

3) Что называют температурным полем, градиентом температуры?

4) Дайте определение изотермической поверхности и изотермы.

5) Дайте определение и назовите единицы измерения следующих физических величин: тепловой поток, плотность теплового потока, коэффициент теплопроводности.

6) Сформулируйте законы Фурье и Ньютона – Рихмана.

7) Перечислите диапазон значений коэффициента теплопроводности металлов, неметаллов, жидкостей и газов.

8) Перечислите допущения, необходимые для вывода дифференциального уравнения теплопроводности.

9) Какой закон положен в основу вывода дифференциального уравнения теплопроводности?

10) Дайте определение и запишите единицы измерения объемной мощности внутренних источников тепла, коэффициентов температуропроводности и теплоотдачи.

11) Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности.

12) Поясните, почему необходимо дополнять дифференциальные уравнения краевыми условиями.

13) Перечислите состав краевых условий (условий однозначности).

14) Что определяют геометрические и физические условия?

15) Что задают и в каком случае отсутствуют начальные условия?

16) Перечислите виды граничных условий. Что они выражают с точки зрения математической физики и при решении задач теплопроводности?

## **2. Теплопроводность плоской стенки без внутренних источников тепла**

1) Схематически изобразите распределение температуры в однородной плоской стенке для постоянного коэффициента теплопроводности и линейно зависящего от температуры коэффициента теплопроводности.

2) Дайте определение и запишите выражение для расчета эквивалентного коэффициента теплопроводности многослойной плоской стенки.

3) Дайте определение процесса теплопередачи.

4) Дайте определение и запишите единицы измерения коэффициента теплопередачи, термических сопротивлений теплопроводности, теплоотдачи, теплопередачи.

5) Поясните сущность методики вычисления плотности теплового потока для многослойной плоской стенки и для процесса теплопередачи.

6) Поясните сущность методики вычисления плотности теплового потока для граничных условий второго и третьего рода.

### **3. Теплопроводность цилиндрической стенки без внутренних источников тепла**

1) Перечислите процессы, при протекании которых происходит объемное выделение (поглощение) тепла.

2) Дайте определение и запишите единицы измерения объемной мощности внутренних источников тепла.

3) Какому закону подчиняется распределение температуры в плоской стенке при наличии внутренних источников тепла в случае симметричных условий охлаждения?

4) Что общего и в чем различие выражений для распределения температуры в плоской стенке при наличии тепловыделения для симметричных условий охлаждения и пластины с одной теплоизолированной поверхностью?

5) Схематически в зависимости от числа Померанцева изобразите распределение температуры в плоской стенке при протекании в ней химической реакции, если заданы разные (постоянные) температуры ее поверхностей.

6) Можно ли для несимметричных условий охлаждения пластины рассчитать распределение температуры для правой половины пластины по формулам для левой половины пластины?

### **4. Интенсификация теплопередачи**

1) Перечислите способы интенсификации теплопередачи.

2) Может ли коэффициент теплопередачи быть больше какого-либо из коэффициентов теплоотдачи?

3) Почему нецелесообразно ребрять стенку со стороны большего коэффициента теплоотдачи?

4) Перечислите формы ребер и их профили, способы крепления.

5) Дайте определение идеального ребра, коэффициента тепловой эффективности ребра.

6) Перечислите требования, предъявляемые к ребристым поверхностям.

7) Ребра какой формы и профиля экономически более эффективны?

### **5. Нестационарная теплопроводность. Аналитическое описание задач теплопроводности. Бесконечная тонкая пластина**

1) Приведите примеры периодических нестационарных процессов теплопроводности.

2) Приведите примеры и охарактеризуйте особенности процесса нестационарной теплопроводности при стремлении тела к тепловому равновесию.

3) Поясните метод решения нестационарного уравнения теплопроводности для пластины.

4) Дайте определение критериев Био и Фурье, поясните их физический смысл.

5) Что такое безразмерная избыточная температура?

6) Охарактеризуйте особенности решения дифференциального уравнения нестационарной теплопроводности в зависимости от числа Фурье.

7) Поясните особенности точки пересечения касательных к решению нестационарного уравнения теплопроводности на поверхности пластины. Как они зависят от числа Био?

8) Как определить время, необходимое для прогрева середины пластины до заданной температуры в случае  $Fo > 0,3$ ?

9) В каком случае можно определить температуру центра или поверхности пластины при помощи номограмм?

10) Охарактеризуйте зависимость температурного поля в телах различной формы от величины числа Био.

11) Схематически изобразите распределение избыточной температуры для бесконечной пластины в зависимости от диапазона значений числа Био.

## **6. Регулярный режим охлаждения тел**

1) Перечислите стадии охлаждения тел, охарактеризуйте их.

2) Поясните структуру формулы для определения безразмерной избыточной температуры тела в стадии регулярного режима. Что общего в ней для тел разной формы?

3) Дайте определение, расчетную формулу и единицы измерения темпа охлаждения. Поясните особенности этой величины в стадии регулярного режима.

4) Поясните методику экспериментального определения стадии регулярного режима охлаждения тела.

5) Сформулируйте теоремы Кондратьева.

6) Для определения каких теплофизических свойств используют теорию регулярного режима?

7) Поясните методику определения коэффициента температуропроводности методом регулярного режима.

8) Поясните методику определения коэффициента теплопроводности методом регулярного режима.



9) Чем отличаются друг от друга регулярные режимы первого, второго и третьего рода?

## **II. Конвективный теплообмен в однофазной среде (12час.)**

### **1. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена**

- 1) Сформулируйте закон Ньютона – Рихмана.
- 2) Запишите определение коэффициента теплоотдачи.
- 3) Перечислите виды конвекции и дайте их определение.
- 4) Каким процессом является теплоотдача – простым или сложным – и почему?
- 5) Перечислите теплофизические свойства жидкостей. Назовите порядок величины коэффициентов вязкости для воды и воздуха при комнатной температуре.
- 6) Является ли коэффициент теплоотдачи теплофизическим свойством и почему?
- 7) Перечислите режимы течения жидкостей. Какое критериальное число их определяет?
- 8) Как и почему зависит теплоотдача от режимов течения жидкости?
- 9) Дайте определение гидродинамического и температурного пограничных слоев.

### **2. Подобие и моделирование процессов конвективного теплообмена**

- 1) Какие процессы называются подобными, аналогичными? Приведите примеры.
- 2) Сформулируйте общие условия подобия физических процессов.
- 3) Поясните сущность каждого из условий подобия.
- 4) Что общего и в чем отличие условий подобия для систем дифференциальных уравнений, записанных в размерном и безразмерном виде?
- 5) Сформулируйте теорему Кирпичева – Гухмана.
- 6) Для каких физических явлений и при каких условиях могут быть получены критерии подобия?
- 7) Дайте определение и приведите примеры определяющих и определяемых критериев.
- 8) Может ли определяемый критерий стать определяющим или наоборот? Приведите примеры.
- 9) Обоснуйте, почему теория подобия является теорией эксперимента?

### **3. Теплообмен при свободной конвекции в большом объеме около вертикальных поверхностей**

- 1) Под действием каких сил возникает свободное движение жидкости?
- 2) В каком случае движение жидкости будет восходящим или нисходящим?

3) Чем отличается свободное движение жидкости в большом объеме от свободного движения в ограниченном пространстве? Как это влияет на теплоотдачу?

4) Перечислите упрощающие предположения и запишите систему дифференциальных уравнений для описания свободного ламинарного течения жидкости в большом объеме вдоль вертикальной пластины.

5) Какой закон принимается для изменения температурного напора в пределах теплового пограничного слоя? Почему и где он отличается от действительного распределения?

6) Для чего в критериальное уравнение вводится поправка Михеева?

7) Какими критериями подобия характеризуется теплоотдача при свободном движении жидкости? Поясните физический смысл.

#### **4. Свободная конвекция около горизонтальных поверхностей. Свободная конвекция в ограниченном пространстве**

1) Перечислите случаи свободного движения жидкости в большом объеме.

2) Какими критериальными уравнениями описывается теплоотдача при свободном движении жидкости в большом объеме?

3) Укажите зависимость коэффициента теплоотдачи при свободном движении жидкости вдоль вертикальной стенки от ее высоты.

4) Укажите диапазон значений числа  $Re$ , при котором имеет место смешанный режим течения в пограничном слое в случае свободного движения жидкости вдоль вертикальной стенки.

5) Поясните особенности теплоотдачи и запишите критериальное уравнение для свободной конвекции около горизонтальных труб.

6) В каком случае теплоотдача при свободной конвекции описывается постоянным значением числа Нуссельта?

#### **5. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности**

1) Назовите критерий подобия, характеризующий режим течения жидкости и укажите диапазон его значений для различных режимов при продольном обтекании плоской пластины.

2) Поясните, как и почему связана теплоотдача с гидродинамическим режимом течения жидкости?

3) Какими критериями подобия характеризуется теплоотдача при продольном обтекании плоской пластины? Поясните физический смысл.

#### **6. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб**

1) Поясните особенности теплоотдачи при обтекании одиночной круглой трубы в зависимости от режимов течения жидкости в пограничном слое?

2) Почему цилиндр считается неудобообтекаемым телом? По какой причине происходит отрыв пограничного слоя?

3) При каких значениях числа Рейнольдса происходит переход от ламинарного течения жидкости к турбулентному? При каких значениях числа Рейнольдса и при каких углах от лобовой точки трубы происходит отрыв ламинарного или турбулентного пограничного слоя?

4) Почему теплообменные аппараты выполняют в виде пучков труб?

5) Какие виды компоновки пучков труб вам известны.

6) В чем будет заключаться основное отличие теплоотдачи при обтекании трубного пучка по сравнению с одиночным цилиндром; шахматного пучка труб по сравнению с коридорным; для ламинарного, смешанного и турбулентного режимов течения жидкости в пограничном слое?

7) Назовите характеристики пучков труб. Как зависит теплоотдача от взаимного расположения труб в пучке, от номера ряда труб?

### **III. Теплообмен излучением (4час.)**

#### **1. Основные положения теплообмена излучением**

1) Дайте определение теплового излучения, поясните его механизм.

2) Какие виды излучения вы знаете? Какие длины волн им соответствуют?

3) Какое излучение называется селективным или выборочным? В каком случае излучение имеет сплошной спектр?

4) Что называют объемным и поверхностным излучением? Излучение каких групп веществ носит объемный или поверхностный характер?

5) Излучение каких групп веществ имеет сплошной или селективный спектр и почему?

6) Какое излучение называют равновесным или неравновесным?

7) Дайте определение, запишите обозначение и единицы измерения следующих видов лучистых потоков: интегральный поток излучения, спектральный поток излучения, излучательная способность тела, спектральная интенсивность излучения, спектральная яркость излучения, интегральная яркость излучения.

8) Перечислите разновидности полусферического излучения, дайте их определение и запишите выражения для их вычисления.

9) Какие тела называют абсолютно черными? Серыми?

10) В каком случае поверхность называется зеркальной? Абсолютно белой?

11) Какие среды называют диатермичными?

12) Дайте определение коэффициентов поглощения, отражения и проницаемости. Запишите соотношение между ними.

13) Что называют лучистым теплообменом?

## **2. Законы теплового излучения**

- 1) Сформулируйте законы Планка, Релея – Джинса и Вина для равновесного излучения абсолютно черного тела.
- 2) Сформулируйте закон Стефана – Больцмана.
- 3) Сформулируйте закон Кирхгофа и следствия из него.
- 4) Сформулируйте закон Ламберта.
- 5) Дайте определение углового коэффициента излучения. Что такое локальный и средний коэффициенты излучения?
- 6) Перечислите виды угловых коэффициентов излучения.

## **3. Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной (диатермичной) средой. Тела с плоскопараллельными поверхностями**

- 1) Перечислите методы исследования процессов лучистого теплообмена. Поясните их основные особенности и отличия.
- 2) Перечислите допущения, необходимые для исследования теплообмена в системе, состоящей из двух неограниченных твердых тел с плоскопараллельными поверхностями.
- 3) Укажите основные этапы при выводе выражения для результирующего потока излучения в системе двух плоскопараллельных тел методом многократных отражений.
- 4) Как определяется результирующий поток излучения в системе двух плоскопараллельных тел методом сальдо?
- 5) Что называют приведенным коэффициентом поглощения в системе двух плоскопараллельных тел, приведенным коэффициентом излучения? Запишите соответствующие выражения и единицы измерения.
- 6) Как определить полный результирующий поток в системе двух плоскопараллельных тел?

## **IV. Теплообмен при фазовых превращениях**

### **1. Описание процесса конденсации пара**

- 1) Дайте определение процесса конденсации. Приведите примеры этого явления в природе и технике.
- 2) Поясните термодинамические условия, при которых пар переходит в жидкую фазу или в твердое состояние.
- 3) Какой пар называют чистым? Насыщенным? Перегретым?
- 4) В чем заключается отличие пленочной конденсации от капельной? В каком случае и почему будет выше коэффициент теплоотдачи?
- 5) Поясните механизм процесса конденсации чистого пара с точки зрения молекулярно-кинетической теории.
- 6) Опишите стадии процесса конденсации.

## **2. Теплоотдача при конденсации неподвижного пара**

- 1) Перечислите допущения, необходимые для вывода уравнения Нуссельта, описывающего конденсацию неподвижного пара.
- 2) Запишите систему дифференциальных уравнений, описывающих конденсацию неподвижного пара, укажите особенности ее решения.
- 3) Запишите уравнение Нуссельта для конденсации неподвижного пара.
- 4) Схематически изобразите зависимость коэффициента теплоотдачи и толщины пленки конденсата от высоты стенки.
- 5) Из-за влияния каких физических процессов уравнение Нуссельта неточно описывает пленочную конденсацию неподвижного пара.

## **V. Массоотдача**

### **1. Тепло- и массообмен в двухкомпонентных средах. Основные положения тепло- и массообмена**

- 1) Дайте определение следующих понятий: диффузия, концентрационная диффузия, молярная диффузия, молекулярная диффузия.
- 2) Какие явления называются эффект Дюфо и эффект Соре?
- 3) Укажите название закона, определяющего концентрационную диффузию, и запишите его математическое выражение.
- 4) Дайте определение и запишите единицы измерения следующих физических величин: поток массы, плотность потока массы, местная концентрация, коэффициент молекулярной диффузии, коэффициент термодиффузии, термодиффузионное отношение.
- 5) Дайте определение физических процессов: термодиффузия и бародиффузия.
- 6) Вследствие какого эффекта более тяжелые молекулы стремятся перейти в холодные области, если массы двух компонентов различны; а более крупные переходят в холодные области, если массы молекул примерно одинаковы?

### **2. Тепло- и массоотдача в двухкомпонентных средах**

- 1) Перечислите условия, при которых процессы теплоотдачи и массоотдачи будут аналогичными.
- 2) Сформулируйте принцип Онзагера.
- 3) В каком случае толщины диффузионного, теплового и гидродинамического пограничных слоев будут одинаковыми?

## **ПР-12 Расчетно-графическая работа**

Комплект заданий для выполнения расчетно-графической работы

### **1. Расчетно-графическая работа по разделу «Теплопроводность»**

1. Определить глубину промерзания стены подвала, если температура внутреннего воздуха  $t_{в} = +5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура наружного воздуха  $t_{н} = -27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,

материал стены – кирпич силикатный четырнадцатипустотный на цементно-песчаном растворе,  $\delta = 510$  мм, коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,76$  Вт/(м·°С). Внутренняя поверхность оштукатурена  $\delta = 15$  мм, коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,93$  Вт/(м·°С), внешняя – гидроизолирована рубероидом  $\delta = 6$  мм, коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,17$  Вт/(м·°С). Коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки  $\alpha_1 = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С); коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности стенки  $\alpha_2 = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

**Ответ:**  $\delta_{\text{пром}} = 346$  мм

2. Определить глубину промерзания стены подвала, если температура внутреннего воздуха  $t_{\text{в}} = +5$  °С, температура наружного воздуха  $t_{\text{н}} = -24$  °С, материал стены – железобетонные панели,  $\delta = 200$  мм, коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 2,04$  Вт/(м·°С). Внутренняя поверхность оштукатурена  $\delta = 20$  мм, коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,93$  Вт/(м·°С), внешняя – гидроизолирована рубероидом  $\delta = 6$  мм, коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,17$  Вт/(м·°С). Коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки  $\alpha_1 = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С); коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности стенки  $\alpha_2 = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

**Ответ:** стена промерзает полностью

3. Вычислить потерю теплоты с 1 м неизолированного трубопровода диаметром  $d_1/d_2 = 100/120$  мм, если внутри трубы протекает вода со средней температурой  $t_{\text{ж1}} = 135$  °С и температура окружающего воздуха  $t_{\text{ж2}} = 10$  °С. Коэффициент теплопроводности материала трубы  $\lambda = 35$  Вт/(м·°С). Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1 = 900$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и от трубы к окружающему воздуху  $\alpha_2 = 15$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Определить также температуры на внешней и внутренней поверхности трубы.

**Ответ:**  $q_l = 689,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ,  $t_1 = 132,6$  °С,  $t_2 = 132$  °С

4. Вычислить потерю теплоты с 1 м неизолированного трубопровода диаметром  $d_1/d_2 = 160/180$  мм, проложенного на открытом воздухе, если внутри трубы протекает вода со средней температурой  $t_{\text{ж1}} = 150$  °С и температура окружающего воздуха  $t_{\text{ж2}} = -10$  °С. Коэффициент теплопроводности материала трубы  $\lambda = 0,5$  Вт/(м·°С). Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1 = 1500$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С) и от трубы к окружающему воздуху  $\alpha_2 = 20$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Определить также температуры на внешней и внутренней поверхности трубы.

**Ответ:**  $q_l = 1256,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ,  $t_1 = 148,3$  °С,  $t_2 = 101,2$  °С

5. Вычислить потерю теплоты с 1 м изолированного трубопровода диаметром  $d_1/d_2 = 100/120$  мм и толщиной изоляции  $\delta = 50$  мм, если внутри трубы протекает вода со средней температурой  $t_{\text{ж1}} = 135$  °С и температура

окружающего воздуха  $t_{ж2}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности материала трубы  $\lambda =35\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ , а коэффициент теплопроводности изоляции  $\lambda_{из} =0,18\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1=900\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$  и от изоляции к окружающему воздуху  $\alpha_2=8\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ . Определить также температуры на внешней поверхности изоляции и внутренней поверхности трубы.

**Ответ:**  $q_l = 173,2\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ,  $t_1 = 134,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_3 = 41,4\text{ }^{\circ}\text{C}$

6. Вычислить потерю теплоты с 1 м изолированного трубопровода диаметром  $d_1/d_2=160/180$  мм и толщиной изоляции  $\delta=40$  мм, если внутри трубы протекает вода со средней температурой  $t_{ж1}=150\text{ }^{\circ}\text{C}$  и температура окружающего воздуха  $t_{ж2}=-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности материала трубы  $\lambda =0,5\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ , а коэффициент теплопроводности изоляции  $\lambda_{из} =0,11\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1=1500\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$  и от изоляции к окружающему воздуху  $\alpha_2=12\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ . Определить также температуры на внешней поверхности изоляции и внутренней поверхности трубы.

**Ответ:**  $q_l = 237,7\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ,  $t_1 = 149,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_3 = 14,3\text{ }^{\circ}\text{C}$

7. Определить тепловой поток через  $1\text{ м}^2$  кирпичной стены помещения толщиной  $\delta = 640$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda= 0,81\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Стена покрыта изоляцией  $\delta = 40$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda= 0,063\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Температура воздуха внутри помещения  $t_{ж1}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки  $\alpha_1=8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ; температура наружного воздуха  $t_{ж2}=-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности стенки, обдуваемой ветром  $\alpha_2=23\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ . Вычислить температуры на поверхностях стены.

**Ответ:**  $q=27,2\text{ Вт}/\text{м}^2$ ,  $t_{c1} = 16,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{c2} = -4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

8. Определить тепловой поток через  $1\text{ м}^2$  кирпичной стены помещения толщиной  $\delta = 380$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda= 0,81\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Стена покрыта изоляцией  $\delta = 50$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda= 0,035\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Температура воздуха внутри помещения  $t_{ж1}=18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; коэффициент теплоотдачи к внутренней поверхности стенки  $\alpha_1=8,7\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ ; температура наружного воздуха  $t_{ж2}=-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности стенки, обдуваемой ветром  $\alpha_2=23\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ . Вычислить температуры на поверхностях стены.

**Ответ:**  $q=18,5\text{ Вт}/\text{м}^2$ ,  $t_{c1} = 15,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{c2} = 7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

9. Вычислить плотность теплового потока через  $1\text{ м}^2$  поверхности нагрева парового котла и температуры на поверхностях слоев, при условии что поверхность со стороны дымовых газов покрылась слоем сажи толщиной  $\delta_c = 1,5$  мм ( $\lambda_c= 0,06\text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ ), а со стороны воды – слоем накипи  $\delta_n = 3$  мм

( $\lambda_n = 0,8 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ ), если температура дымовых газов  $t_{жс1}=1300 \text{ °С}$ , кипящей воды  $t_{жс2}=180 \text{ °С}$ ; коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке  $\alpha_1=110 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}$  и от стенки к кипящей воде  $\alpha_2=5000 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°С}$ . Коэффициент теплопроводности материала стенки  $\lambda = 35 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$  и толщина стенки  $\delta = 20 \text{ мм}$ .

**Ответ:**  $q=29006,3 \text{ Вт/м}^2$ ,  $t_{c1} = 1036,3 \text{ °С}$ ,  $t_{c2} = 311,2 \text{ °С}$ ,  $t_{c3} = 294,6 \text{ °С}$ ,  $t_{c4} = 185,8 \text{ °С}$

10. Вычислить плотность теплового потока через  $1 \text{ м}^2$  поверхности нагрева парового котла и температуры на поверхностях слоев, при условии что поверхность со стороны дымовых газов покрылась слоем сажи толщиной  $\delta_c = 2 \text{ мм}$  ( $\lambda_c = 0,08 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ ), а со стороны воды – слоем накипи  $\delta_n = 2 \text{ мм}$  ( $\lambda_n = 0,8 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ ), если температура дымовых газов  $t_{жс1}=1500 \text{ °С}$ , кипящей воды  $t_{жс2}=210 \text{ °С}$ ; коэффициенты теплоотдачи от газов к стенке  $\alpha_1=130 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°С)}$  и от стенки к кипящей воде  $\alpha_2=4600 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°С}$ . Коэффициент теплопроводности материала стенки  $\lambda = 50 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$  и толщина стенки  $\delta = 20 \text{ мм}$ .

**Ответ:**  $q=36023,8 \text{ Вт/м}^2$ ,  $t_{c1} = 1222,9 \text{ °С}$ ,  $t_{c2} = 322,3 \text{ °С}$ ,  $t_{c3} = 307,9 \text{ °С}$ ,  $t_{c4} = 217,8 \text{ °С}$

11. Железобетонная дымовая труба с внутренним диаметром  $d_2=1000 \text{ мм}$  и наружным диаметром  $d_3=1200 \text{ мм}$  должна быть футерована внутри огнеупором. Определить толщину футеровки и температуру наружной поверхности трубы  $t_3$ , из условий, чтобы тепловые потери с  $1 \text{ м}$  трубы не превышали  $1800 \text{ Вт/м}$ , а температура внутренней поверхности железобетонной стенки  $t_2$  не превышала  $210 \text{ °С}$ . Температура внутренней поверхности футеровки  $t_1=500$ , коэффициент теплопроводности футеровки  $\lambda_1=0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ , коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_2=1,1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ .

**Ответ:**  $t_3 = 169,8 \text{ °С}$ ,  $\delta=195 \text{ мм}$

12. Железобетонная дымовая труба с внутренним диаметром  $d_2=1000 \text{ мм}$  и наружным диаметром  $d_3=1400 \text{ мм}$  должна быть футерована внутри огнеупором. Определить толщину футеровки и температуру наружной поверхности трубы  $t_3$ , из условий, чтобы тепловые потери с  $1 \text{ м}$  трубы не превышали  $2300 \text{ Вт/м}$ , а температура внутренней поверхности железобетонной стенки  $t_2$  не превышала  $190 \text{ °С}$ . Температура внутренней поверхности футеровки  $t_1=480$ , коэффициент теплопроводности футеровки  $\lambda_1=0,5 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ , коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_2=1,3 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°С)}$ .

**Ответ:**  $t_3 = 95,2 \text{ °С}$ ,  $\delta=155 \text{ мм}$

**2. Расчетно-графическая работа по разделу «Конвективный теплообмен»**



1. По трубке диаметром  $d=16$  мм и длиной  $l=2,1$  м течет горячая вода, отдающая теплоту через стенку трубы среде, омывающей трубку снаружи. Расход воды через трубку  $G=0,0091$  кг/с; температура воды на входе  $t_{ж1}=87,2$  °С; температура воды на выходе  $t_{ж2}=29$  °С; средняя температура стенки трубки  $t_c=15,3$  °С. Вычислить значения критериев  $Nu$ ,  $Re$  и  $Pe$ , приняв в качестве определяющей температуры среднеарифметическую температуру жидкости. Коэффициент теплоотдачи отнести к средней арифметической разности температур между водой и стенкой.

**Ответ:**  $Nu=11,9$ ;  $Re=1485$ ;  $Pe=4600$ .

2. Вычислить коэффициент теплоотдачи и число  $Nu$  для условий предыдущей задачи, если коэффициент теплоотдачи отнести к средней логарифмической разности температур между жидкостью и стенкой. Сравнить полученные результаты с предыдущим решением.

**Ответ:**  $\alpha_{л}=597$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С);  $Nu_{л}=14,5$ .

3. Необходимо опытным путем определить распределение температур в длинном стальном вале диаметром  $d=400$  мм через  $\tau=2,5$  ч после загрузки его в печь. Для стали коэффициенты теплопроводности и температуропроводности равны:  $\lambda=42$  Вт/(м·°С);  $a=1,18 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с. Коэффициент теплоотдачи к валу в печи  $\alpha=116$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Исследование решено проводить на геометрически подобной модели вала, выполненной из легированной стали. Для модели  $\lambda_m=16$  Вт/(м·°С);  $a_m=0,53 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с;  $\alpha_m=116$  Вт/(м<sup>2</sup>·°С). Определить диаметр  $d_m$  модели вала и промежуток времени  $t_m$ , через который после загрузки модели в печь необходимо измерить распределение температур в модели.

**Ответ:**  $d_m=117,5$  мм;  $t_m=1735$  с.

### **3. Расчетно-графическая работа по разделу «Теплообмен излучением»**

1. Определить излучательную способность поверхности Солнца, если известно, что ее температура равна 5700 °С и условия излучения близки к излучению абсолютно черного тела. Вычислить также длину волны, при которой будет наблюдаться максимум спектральной интенсивности излучения и общее количество лучистой энергии, испускаемой Солнцем в единицу времени, если диаметр Солнца можно принять равным  $1,391 \cdot 10^9$  м.

**Ответ:**  $E_0 = 72,2 \cdot 10^6$  Вт/м<sup>2</sup>;  $\lambda_{\text{макс}} = 0,65$  мкм;  $Q = 4,38 \cdot 10^{26}$  Вт.

2. Поверхность стального изделия имеет температуру  $t = 727 \text{ }^\circ\text{C}$  и степень черноты 0,7. Излучающую поверхность можно считать серой. Вычислить плотность собственного излучения поверхности изделия и длину волны, которой будет соответствовать максимальное значение спектральной интенсивности излучения.

**Ответ:**  $E = 3,97 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2$ ;  $\lambda_{\text{макс}} = 2,898 \text{ мкм}$ .

3. Найти максимальные значения спектральной интенсивности излучения для условий двух предыдущих задач.

**Ответ:**  $J_0 \lambda_{\text{макс}} = 9,94 \cdot 10^{13} \text{ Вт/м}^2$ ;  $J_{\lambda_{\text{макс}}} = 9,15 \cdot 10^9 \text{ Вт/м}^2$ .

4. Определить, какую долю излучения, падающего от абсолютно черного источника, будет отражать поверхность полированного алюминия при температуре  $t = 250 \text{ }^\circ\text{C}$ , если известно, что при этой температуре излучательная способность поверхности  $E = 170 \text{ Вт/м}^2$ . Температура источника черного излучения равна температуре поверхности алюминия.

**Ответ:**  $R = 0,96$ .

#### 4. Расчетно-графическая работа по разделу «Теплообмен при фазовых превращениях»

1. На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром  $d = 20 \text{ мм}$  и высотой  $H = 2 \text{ м}$  конденсируется сухой насыщенный пар при давлении  $p = 100 \text{ кПа}$ . Температура поверхности трубы  $t_c = 94,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить средний по высоте коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара  $G$ , которое конденсируется на поверхности трубы.

**Ответ:**  $\alpha = 7840 \text{ Вт/(м}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$ ;  $G = 8 \text{ кг/ч}$ .

2. На вертикальной трубе водоподогревателя конденсируется сухой насыщенный пар. Давление пара  $p = 8,6 \text{ МПа}$ . Температура наружной поверхности трубы  $t_c = 287 \text{ }^\circ\text{C}$ . Высота трубы  $H = 1,8 \text{ м}$ . Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к стенке трубы.

**Ответ:**  $\alpha = 8100 \text{ Вт/(м}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$ .

3. На наружной поверхности горизонтальной трубы  $d = 20 \text{ мм}$  и длиной  $l = 2 \text{ м}$  конденсируется сухой насыщенный пар при давлении  $p = 100 \text{ кПа}$ . Температура поверхности трубы  $t_c = 94,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара  $G$ , которое конденсируется на поверхности трубы. Сравнить результаты расчета с ответом к предыдущей задаче.

**Ответ:**  $\alpha = 15\,600 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^\circ\text{С})$ ;  $G = 15,9 \text{ кг}/\text{ч}$ .

### **5. Расчетно-графическая работа по разделу «Массоотдача»**

1. Плоское влажное изделие длиной  $l=0,5 \text{ м}$  продольно омывается потоком сухого воздуха, для которого температура  $t_\infty=20 \text{ }^\circ\text{С}$ , давление  $p=0,202 \text{ МПа}$ , скорость  $w_\infty=1 \text{ м}/\text{с}$ . Температура изделия постоянна по всей длине ( $t_c=20 \text{ }^\circ\text{С}$ ). Найти коэффициент массоотдачи  $\beta$ .

**Ответ:**  $\beta=4,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

2. Тонкая пластина длиной  $l_0 = 2 \text{ м}$  и шириной  $a = 1,5 \text{ м}$  обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока, соответственно,  $w_0 = 5 \text{ м}/\text{с}$ ;  $t_0 = 20 \text{ }^\circ\text{С}$ . Определить средний по длине пластины коэффициент массоотдачи.

**Ответ:**  $\beta=0,02 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

### **ПР-2 Контрольная работа**

Комплект заданий для выполнения контрольной работы №1

#### **Вариант 1**

1. Определить излучательную способность поверхности Солнца, если известно, что ее температура равна  $5900 \text{ }^\circ\text{С}$  и условия излучения близки к излучению абсолютно черного тела. Вычислить также длину волны, при которой будет наблюдаться максимум спектральной интенсивности излучения и общее количество лучистой энергии, испускаемой Солнцем в единицу времени, если диаметр Солнца можно принять равным  $1,246 \cdot 10^9 \text{ м}$ .

2. Определить, какую долю излучения, падающего от абсолютно черного источника, будет отражать поверхность полированного алюминия при температуре  $t = 265 \text{ }^\circ\text{С}$ , если известно, что при этой температуре излучательная способность поверхности  $E = 183 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Температура источника черного излучения равна температуре поверхности алюминия.

#### **Вариант 2**

1. Определить излучательную способность поверхности Солнца, если известно, что ее температура равна  $5560 \text{ }^\circ\text{С}$  и условия излучения близки к излучению абсолютно черного тела. Вычислить также длину волны, при которой будет наблюдаться максимум спектральной интенсивности излучения и общее количество лучистой энергии, испускаемой Солнцем в единицу времени, если диаметр Солнца можно принять равным  $1,732 \cdot 10^9 \text{ м}$ .

3. Определить, какую долю излучения, падающего от абсолютно черного источника, будет отражать поверхность полированного алюминия при температуре  $t = 283 \text{ }^\circ\text{С}$ , если известно, что при этой температуре

излучательная способность поверхности  $E = 170 \text{ Вт/м}^2$ . Температура источника черного излучения равна температуре поверхности алюминия.

### Комплект заданий для выполнения контрольной работы №2

#### Вариант 1

1. На вертикальной трубе водоподогревателя конденсируется сухой насыщенный пар. Давление пара  $p = 9 \text{ МПа}$ . Температура наружной поверхности трубы  $t_c = 264 \text{ °С}$ . Высота трубы  $H = 2,2 \text{ м}$ . Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к стенке трубы.

2. На наружной поверхности горизонтальной трубы  $d = 25 \text{ мм}$  и длиной  $l = 1,7 \text{ м}$  конденсируется сухой насыщенный пар при давлении  $p = 100 \text{ кПа}$ . Температура поверхности трубы  $t_c = 91,6 \text{ °С}$ . Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара  $G$ , которое конденсируется на поверхности трубы. Сравнить результаты расчета с ответом к предыдущей задаче.

#### Вариант 2

1. На вертикальной трубе водоподогревателя конденсируется сухой насыщенный пар. Давление пара  $p = 7,9 \text{ МПа}$ . Температура наружной поверхности трубы  $t_c = 314 \text{ °С}$ . Высота трубы  $H = 1,8 \text{ м}$ . Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к стенке трубы.

2. На наружной поверхности горизонтальной трубы  $d = 32 \text{ мм}$  и длиной  $l = 2,3 \text{ м}$  конденсируется сухой насыщенный пар при давлении  $p = 100 \text{ кПа}$ . Температура поверхности трубы  $t_c = 86 \text{ °С}$ . Определить средний коэффициент теплоотдачи от пара к трубе и количество пара  $G$ , которое конденсируется на поверхности трубы. Сравнить результаты расчета с ответом к предыдущей задаче.

### Комплект заданий для выполнения контрольной работы №3

#### Вариант 1

1. Плоское влажное изделие длиной  $l=0,5 \text{ м}$  продольно омывается потоком сухого воздуха, для которого температура  $t_\infty=20 \text{ °С}$ , давление  $p=0,202 \text{ МПа}$ , скорость  $w_\infty=1 \text{ м/с}$ . Температура изделия постоянна по всей длине ( $t_c=20 \text{ °С}$ ). Найти коэффициент массоотдачи  $\beta$ .

2. Тонкая пластина длиной  $l_0 = 2 \text{ м}$  и шириной  $a = 1,5 \text{ м}$  обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока, соответственно,  $w_0 = 5 \text{ м/с}$ ;  $t_0 = 20 \text{ °С}$ . Определить средний по длине пластины коэффициент массоотдачи.

#### Вариант 2

1. Плоское влажное изделие длиной  $l=0,9$  м продольно омывается потоком сухого воздуха, для которого температура  $t_{\infty}=35$  °С, давление  $p=0,195$  МПа, скорость  $w_{\infty}=0,9$  м/с. Температура изделия постоянна по всей длине. Найти коэффициент массоотдачи  $\beta$ .

2. Тонкая пластина длиной  $l_0 = 1,3$  м и шириной  $a = 1,1$  м обтекается продольным потоком воздуха. Скорость и температура набегающего потока, соответственно,  $w_0 = 6$  м/с;  $t_0 = 16$  °С. Определить средний по длине пластины коэффициент массоотдачи.