



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

---

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

«СОГЛАСОВАНО»

Руководитель ОП

Дорогов Е. Ю.  
(подпись) (Ф.И.О. рук. ОП)  
«07» сентября 2019 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующий кафедрой  
Теплоэнергетики и теплотехники

Штым К.А.  
(подпись) (Ф.И.О. зав. каф.)  
«07» сентября 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Тепломассообмен»**

**Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»**

профиль «Тепловые электрические станции»

**Форма подготовки: очная**

курс 2 семестр 4

лекции 36 час.

практические занятия 36 час.

лабораторные работы 18 час.

в том числе с использованием МАО лек. 4 /пр. 10 /лаб. - час.

всего часов аудиторной нагрузки 90 час.

самостоятельная работа 54 час.

в том числе на подготовку к экзамену 27 час.

контрольные работы (количество)

курсовая работа / курсовой проект - отсутствует

зачет \_ \_ семестр

экзамен 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта, самостоятельно устанавливаемого ДВФУ, утвержденного решением Ученого совета ДВФУ, протокол №06-15 от 04.06.2015, и утвержденного приказом ректора от 07.07.2015 № 12-13-1282.

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры Теплоэнергетики и теплотехники, протокол № 1 от «07» сентября 2019 г.

Заведующий кафедрой: д.т.н., профессор Штым К.А.

Составитель: к.т.н., доцент Цыбульская О.Н.

**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)

## АННОТАЦИЯ

### к рабочей программе учебной дисциплины «Тепломассообмен»

Рабочая программа учебной дисциплины «Тепломассообмен» разработана для студентов второго курса, обучающихся по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Тепловые электрические станции» (Б1.В.02).

Дисциплина «Тепломассообмен» является базовой в цикле специальных дисциплин по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа. Учебным планом предусмотрены лекционные занятия – 36 часов, практические занятия – 36 часов, лабораторные работы – 18 часов, самостоятельная работа – 54 часа, в том числе 27 часов на подготовку к экзамену. Дисциплина реализуется на 2 курсе в 4-м семестре.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, касающихся основных уравнений теории тепломассообмена, теории теплопроводности, методов решения задач стационарной и нестационарной теплопроводности, основных закономерностей лучистого теплообмена, классических задач стационарного теплообмена излучением, теории и экспериментальных результатов исследования конвективного теплообмена, критериальных уравнений конвективного теплообмена, теплообмена при испарении, кипении и конденсации, массообмена. В ходе изучения курса рассматриваются основные сведения о тепломассообменных аппаратах, их общая классификация, виды расчетов, конструктивные особенности.

Теория тепломассообмена является основой для расчета и создания тепломассообменных установок различного назначения. Изучение взаимосвязанного переноса тепловой энергии и массы имеет большое практическое значение для интенсификации теплоэнергетических, энерготехнологических и химико-технологических процессов.

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении следующих курсов: «Математика», «Физика», «Механика», «Техническая термодинамика».

#### **Перечень основных дисциплин и разделов, усвоение которых необходимо студентам для изучения данного курса**

Наименование дисциплины	Раздел	Тема
Математика	Дифференциальные уравнения	Дифференциальные уравнения первого порядка. Линейные дифференциальные уравнения $n$ -го порядка. Системы дифференци-

		альных уравнений. Численное решение дифференциальных уравнений.
	Дифференциальное и интегральное исчисление	Дифференциальное исчисление функций многих переменных. Интегральное исчисление функций многих переменных. Гармонический анализ: ряд, интеграл и преобразование Фурье.
Физика	Механика	Основные и производные физические величины. Уравнение движения тела. Второй закон Ньютона. Закон сохранения энергии.
	Молекулярная физика и термодинамика	Законы идеального газа. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Теплопередача.
	Оптика	Законы теплового излучения. Степень черноты тел. Абсолютно черное тело.
Механика	Законы сохранения	Уравнения Навье-Стокса. Гидродинамический пограничный слой.
Техническая термодинамика	Первый закон термодинамики	
	Второй закон термодинамики	

Знания, полученные при изучении данной дисциплины, используются в специальных курсах: «Котельные установки и парогенераторы», «Гидрогазодинамика», «Водоподготовка», «Тепловые электрические станции», при подготовке выпускной квалификационной работы.

**Цель** курса «Тепломассообмен» – дать студентам глубокие, прочные систематические знания по одному из основных разделов их профессиональной подготовки о проблемах, связанных с тепломассопереносом в технологических и природных процессах и о методах их решения.

Основные **задачи** курса – изучение экспериментальных фактов, лежащих в основе теории тепломассообмена, вывод уравнений теплопроводности и диффузии, освоение методов решения стационарных и нестационарных задач тепломассопереноса, задач с фазовыми переходами, изучение теории подобия и безразмерных параметров тепломассопереноса, теории и экспериментальных результатов исследования конвективного и лучистого теплообмена, а также тепломассообмена при испарении, кипении и конденсации.

Для успешного изучения дисциплины «Тепломассообмен» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

- ОК-1 Способность к самосовершенствованию и саморазвитию в профессиональной сфере, к повышению общекультурного уровня
- ОК-3 Способность проявлять инициативу и принимать ответственные решения, осознавая ответственность за результаты своей профессиональной деятельности
- ОК-4 Способность творчески воспринимать и использовать достижения науки, техники в профессиональной сфере в соответствии с потребностями регионального и мирового рынка труда
- ОПК-2 Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общепрофессиональные компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
ОПК-2 - Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знает	Основные понятия и законы процессов теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, молекулярной диффузии и конвективного массообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов тепло- и массообмена в различных аппаратах и устройствах
	Умеет	Рассчитывать процессы теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, молекулярной диффузии и конвективного массообмена по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе
	Владеет	Навыками экспериментального исследования процессов стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, массообмена, протекающих в конкретных технических системах

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Тепломассообмен» применяются методы активного обучения: вопросы

от студента к преподавателю или от преподавателя к студенту и индивидуальные задания, примеры типовых заданий с рекомендациями к выполнению приведены в Приложении 1.

В качестве метода интерактивного обучения проводятся обсуждения в группе при проведении лекционных и практических занятий.

Лекционные занятия по:

- по теме 2. Стационарная теплопроводность (4 часа),
- по теме 4. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена; применение методов подобия и размерностей к изучению процессов конвективного теплообмена (3 часа)

Практические занятия:

- занятие 6. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании цилиндра и пучка труб (4ч.),
- занятие 8. Теплообмен между твердыми телами, разделенными прозрачной средой (4ч.).

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

## **Раздел 1. Теплопроводность (8 часов)**

### **Тема 1. Основные положения учения о теплопроводности (2 часа)**

Способы тепло- и массопереноса: теплопроводность, конвекция, излучение, диффузия. Феноменологический метод изучения явлений тепло- и массообмена. Определение основных понятий: температурное поле, градиент температуры, тепловой поток, плотность теплового потока. Вектор плотности теплового потока. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей и твердых тел.

### **Тема 2. Стационарная теплопроводность (4 часа) с использованием интерактивного метода обсуждения в группе.**

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности. Закон Ньютона-Рихмана. Перенос тепла в плоской стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр цилиндрической стенки. Критический диаметр тепловой изоляции.

Температурное поле при наличии в теле источников теплоты (пластина, цилиндрический стержень).

Оребрение поверхности нагрева как способ интенсификации процесса теплопередачи.

Перенос тепла по стержню (ребру). Тепловой поток с поверхности стержня (ребра). Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра.

Численные методы решения задач стационарной теплопроводности; компьютерное моделирование.

#### **Типовые вопросы для группового обсуждения:**

✓ Можно ли вычислить критический диаметр цилиндрической стенки, не учитывая условий теплообмена её внешней поверхности с окружающей средой?

✓ Если на двух плоских стенках одинаковой толщины наблюдается одинаковый перепад температур, то может ли быть различной плотность теплового потока через эти стенки?

✓ Если у однородной цилиндрической стенки исследовать два одинаковых по толщине слоя – внутренний и внешний, то могут ли перепады температур в этих слоях оказаться одинаковыми?

✓ Может ли возрастать тепловой поток через цилиндрическую стенку вследствие увеличения её толщины, если при этом сохраняются неизменными температура внутреннего слоя стенки, температура окружающей среды, коэффициент теплоотдачи от наружного слоя стенки к окружающей среде?

### **Тема 3. Нестационарная теплопроводность (2 часа)**

Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) пластины. Метод Фурье. Безразмерная форма решения задачи о нестационарной теплопроводности пластины. Число Био. Безразмерное время (число Фурье).

Температурное поле в процессе охлаждения (нагрева) бесконечно длинного цилиндра, шара и некоторых тел конечных размеров.

Задача об охлаждении (нагревании) полуограниченного тела как модель начального периода нестационарной теплопроводности тела произвольной формы.

Регулярный режим охлаждения. Определение теплофизических свойств материалов методом регулярного режима. Теоремы Кондратьева.

Численные методы для нестационарной теплопроводности.

### **Раздел 2. Конвективный теплообмен в однородной среде (8 часов)**

**Тема 4. Система дифференциальных уравнений конвективного теплообмена; применение методов подобия и размерностей к изучению процессов конвективного теплообмена (3 часа) с использованием интерактивного метода обсуждения в группе.**

Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности.

Физические свойства жидкостей и газов, существенные для процесса конвективного теплообмена. Классификация теплоносителей по числу Прандтля.

Безразмерный вид математического описания конвективного теплообмена. Безразмерные комплексы: число Рейнольдса, число Грасгофа, число Рэлея, число Нуссельта. Теория подобия и размерности. Пограничный слой. Турбулентность. Рейнольдсовы преобразования дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Турбулентная теплопроводность. Турбулентная вязкость. Турбулентное число Прандтля.

#### **Типовые вопросы для группового обсуждения:**

✓ В том случае, когда подобие двух процессов достигнуто, могут ли отличаться числовые значения физических величин в сходственных точках?

✓ В том случае, когда подобие двух процессов достигнуто, равны ли в сходственных точках одноименные зависимые безразмерные величины?



✓ Должны ли быть одинаковыми числовые значения коэффициентов теплоотдачи вследствие того, что два различных процесса теплоотдачи удовлетворяют трем условиям однозначности?

### **Тема 5. Теплоотдача и гидравлическое сопротивление при вынужденном течении в каналах, обтекание трубы и пучка труб (3 часа)**

Теплообмен и сопротивление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. Аналогия Рейнольдса.

Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании трубы и пучка труб.

Теплообмен при движении теплоносителей в трубах и каналах. Первое начало термодинамики для течения в трубах. Местный и средний коэффициенты теплоотдачи.

Теплообмен и сопротивление при ламинарном течении в трубе. Интеграл Лайона. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Турбулентное движение в трубах. Формулы Михеева и Петухова.

Теплоотдача при течениях жидких металлов. Теплообмен сжимаемого газа. Теплообмен при сверхкритическом состоянии жидкостей.

Интенсификация конвективного теплообмена при течениях теплоносителя в трубах и каналах.

### **Тема 6. Расчёт коэффициентов теплоотдачи при свободной конвекции (2 часа)**

Теплоотдача при свободном движении жидкости около тел (пластина, труба), находящихся в неограниченном объёме жидкости. Свободная конвекция в ограниченном объёме (щели, зазоры).

### **Раздел 3. Теплообмен при фазовых и химических превращениях (6 часов)**

#### **Тема 7. Теплообмен при конденсации пара (3 часа)**

Пленочная и капельная конденсации. Конденсация пара на вертикальных стенках. Теплоотдача при ламинарном течении пленки. Метод теоретического расчета. Влияние различных факторов на теплоотдачу. Теплоотдача при смешанном режиме стекания пленки конденсата; метод расчета; расчетные уравнения для теплоотдачи. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках труб. Характер обтекания конденсатором пучков труб, измерение теплоотдачи по рядам, влияние скорости пара и других факторов. Расчет теплоотдачи при конденсации пара на горизонтальных пучках труб. Теплоотдача при капельной конденсации пара.

#### **Тема 8. Теплообмен при кипении жидкостей (3 часа)**

Механизм переноса теплоты при кипении. Влияние смачиваемости стенки жидкостью, краевого угла. Рост, отрыв и движение пузырей пара. Минимальный радиус центра парообразования; число действующих цен-

тров парообразования. Режимы кипения жидкости в большом объеме. Первая и вторая критические плотности теплового потока. Расчет критических тепловых нагрузок. Зависимость коэффициента теплоотдачи от давления, физических свойств жидкости, состояния поверхности и других факторов при кипении в большом объеме. Расчет теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости в большом объеме.

Теплообмен при кипении жидкости в трубах; зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости циркуляции, плотности теплового потока и других факторов. Расчет теплоотдачи в трубах.

#### **Раздел 4. Теплообмен излучением (6 часов)**

##### **Тема 9. Основные законы теплового излучения (2 часа)**

Физическая природа, понятия и законы теплового излучения. Интегральный и спектральные характеристики энергии излучения: поток, плотность потока и интенсивность излучения.

##### **Тема 10. Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой (2 часа)**

Метод многократных отражений и метод полных потоков излучения. Классификация потоков излучения.

Лучистый теплообмен между двумя безграничными пластинами, двумя концентрическими сферами и двумя коаксиальными цилиндрами.

Угловые коэффициенты излучения. Теоретические основы современных зональных методов расчёта теплообмена излучением. Интегральные уравнения излучения.

##### **Тема 11. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах (2 часа)**

Основы методов расчёта теплообмена излучением от излучающей и поглощающей среды к поверхностям нагрева теплообменных устройств.

Закон Бугера. Поглощательная способность и степень черноты среды (продуктов сгорания). Эффективная длина луча. Расчёт теплообмена в системе типа «газ в оболочке».

Понятие о методах расчёта сложного теплообмена (радиационно-кондуктивного и радиационно-конвективного).

#### **Раздел 5. Массообмен, теплообменные аппараты (8 часов)**

##### **Тема 12. Массопроводность (2 часа)**

Диффузия. Поток массы компонента. Вектор плотности потока массы смеси. Концентрационная диффузия. Закон Фика. Коэффициент диффузии. Термо- и бародиффузия.

##### **Тема 13. Массоотдача (2 часа)**

Массоотдача, математическое описание и аналогия процессов массо- и теплообмена

Дифференциальные уравнения совместных процессов массо- и теплообмена. Диффузионный пограничный слой. Аналогия процессов массо- и теплообмена. Диффузионные аналоги чисел Нуссельта и Прандтля.

Соотношения материального и энергетического баланса для межфазной границы. Случай полупроницаемой межфазной границы.

Формула Стефана. Стефанов поток.

Массо- и теплообмен при испарении в парогазовую среду. Адиабатное испарение.

Массо- и теплообмен при конденсации пара из парогазовой смеси.

**Тема 14. Теплогидравлический расчёт теплообменных аппаратов (4 часа)**

Классификация теплообменных аппаратов. Уравнения теплового баланса и теплопередачи. Среднелогарифмический температурный напор. Прямоток, противоток, сложные схемы движения теплоносителей.

Гидравлическое сопротивление теплообменных аппаратов.

Поинтервальный теплогидравлический расчёт. Понятие о расчёте смешительных теплообменников и о расчёте регенеративных теплообменных аппаратов.

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

### **Практические занятия (36 час.)**

**Занятие 1.** Теплопроводность в однослойной и многослойной плоской стенке при стационарном режиме (температурное поле, изотермические поверхности, градиент температуры, тепловой поток, коэффициент теплопроводности). (4ч.)

**Занятие 2.** Теплопередача в плоской стенке. Определение коэффициента теплопередачи, плотности теплового потока и температуры поверхностей однослойной и многослойной стенок. Определение количества теплоты, переданного плоской стенкой в процессе теплопередачи. (4ч.)

**Занятие 3.** Теплопроводность и теплопередача в цилиндрической стенке. Критический диаметр цилиндрической стенки. Критический диаметр изоляции. (4ч.)

**Занятие 4.** Теплопроводность при нестационарном режиме. (4ч.)

**Занятие 5.** Обработка опытных данных методом теории подобия. (4ч.)

**Занятие 6.** Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании цилиндра и пучка труб (4ч.) с использованием интерактивного метода обсуждения в группе.

### **Типовые вопросы для группового обсуждения:**

✓ Допускается ли применение безразмерных формул, соответствующих течению в круглых трубах, для расчета теплоотдачи при поперечном омывании труб?

✓ Одинаковы ли местные коэффициенты теплоотдачи по окружности трубы при поперечном ее омывании жидкостью?

✓ Возрастает ли коэффициент теплоотдачи при внешнем омывании трубы от угла атаки?

✓ Верно ли, что первый по ходу жидкости ряд труб в пучке имеет более высокий коэффициент теплоотдачи, чем последующие ряды?

### **Занятие 7. Теплоотдача при кипении жидкости. (4ч.)**

**Занятие 8. Теплообмен между твердыми телами, разделенными прозрачной средой (4ч.) с использованием интерактивного метода обсуждения в группе.**

### **Типовые вопросы для группового обсуждения:**

✓ Существует ли эффективный лучистый поток в зазоре между двумя параллельными стенками, если поверхности стенок имеют одинаковую температуру?

✓ Может ли серое тело излучать больше энергии, чем черное тело таких же размеров и в такой же окружающей среде, если температуры серого и черного тел одинаковы?

✓ Может ли серое тело поглощать больше энергии, чем черное тело таких же размеров и в такой же окружающей среде, если температуры серого и черного тел одинаковы?

✓ Может ли серое тело поглощать больше энергии, чем черное тело, если размеры и температуры серого и черного тел одинаковы, а температура окружающих тел различна?

### **Занятие 9. Тепловой расчет теплообменных аппаратов. (4ч.)**

## **Лабораторные работы (18 час.)**

**Лабораторная работа №1. Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов методом трубы (2 ч.)**

Целью работы является углубление знаний в области теории теплопроводности, изучение методики экспериментального определения коэффициента теплопроводности изоляционных материалов, исследование эффективности тепловой изоляции и получение навыков в проведении экспериментальных работ.

**Лабораторная работа №2. Определение теплопроводности твердых материалов методом пластины при имитационном моделировании процесса теплообмена (2ч.)**

Целью работы является определение теплопроводности фторопласта методом плоского слоя в зависимости от температуры, определить влияние на температурное поле внутренних источников теплоты и термических контактных сопротивлений.

**Лабораторная работа №3. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около горизонтального цилиндра методом имитационного моделирования процесса теплообмена (2ч.)**

Целью работы является углубление знаний по теории конвективного теплообмена при свободном движении среды, ознакомление с методикой опытного исследования процесса теплоотдачи, получение навыков в проведении эксперимента.

**Лабораторная работа №4. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции около вертикального цилиндра методом имитационного моделирования процесса теплообмена (2ч.)**

Целью работы является экспериментальное определение коэффициента теплоотдачи на поверхности вертикально расположенного цилиндра при естественной конвекции в неограниченном пространстве и сопоставление результатов опытов с расчетными данными.

**Лабораторная работа №5. Исследование теплоотдачи при вынужденном движении воздуха в трубе методом имитационного моделирования процесса теплообмена (2ч.)**

Целью работы является экспериментальное определение локальных и средних по длине трубы значений коэффициентов теплоотдачи при вынужденном движении воздуха в трубе при равных скоростях движения и сопоставление результатов опытов с известными критериальными зависимостями.

**Лабораторная работа №6. Исследование теплоотдачи при внешнем обтекании трубных пучков (2ч.)**

Целью работы является исследование зависимости теплоотдачи от гидравлического сопротивления пучка и от скорости движения воздуха, углубление знаний по теории подобия.

**Лабораторная работа №7. Исследование критических тепловых потоков при кипении жидкости (2ч.)**

Целью работы является углубление знаний по теплообмену при кипении, получение наглядного представления о режимах кипения, определения критической плотности теплового потока.

### **Лабораторная работа №8. Определение коэффициента излучения электропроводящих материалов калориметрическим методом при имитационном моделировании процесса теплообмена (2ч.)**

Целью работы является экспериментальное определение коэффициента излучения электропроводящего материала в зависимости от температуры и характеристик поверхностей (шероховатости и степени окисления).

### **Лабораторная работа №9. Исследование работы теплообменного аппарата при имитационном моделировании (2ч.)**

Цель работы - с помощью численного эксперимента определить зависимость тепловой мощности теплообменного аппарата в зависимости от схемы включения, вида теплоносителя, геометрических параметров (диаметры наружной и внутренней труб, длина) и режимных параметров. Определить коэффициент теплопередачи в зависимости от режимных параметров, коэффициент теплоотдачи по одному из теплоносителей методом теплообменника, а также зависимость тепловой мощности аппарата, коэффициентов теплопередачи и теплоотдачи от геометрических параметров турбулизаторов.

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

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся по дисциплине «Тепломассообмен» 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 дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Теплопроводность	ОПК-2	Знает основные понятия и законы процессов теплопроводности	УО-1 (вопросы для текущей проверки к разделу 1)	УО-1 Вопросы к экзамену 1-20

			<b>Умеет</b> рассчитывать процессы теплопроводности в однофазной среде	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 1-20
			<b>Владет</b> навыками экспериментального исследования процессов стационарной и нестационарной теплопроводности	ПР-6 (лабораторные работы № 1,2)	УО-1 Вопросы к экзамену 1-20
2	Конвективный теплообмен в однородной среде	ОПК-2	<b>Знает</b> основные понятия и законы процессов конвективного теплообмена в однофазной среде	УО-1 (вопросы для текущей проверки к разделу 2)	УО-1 Вопросы к экзамену 21-43
			<b>Умеет</b> рассчитывать процессы конвективного теплообмена в однофазной среде	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 21-43
			<b>Владет</b> навыками экспериментального исследования процессов свободной и вынужденной конвекции в однофазной среде	ПР-6 (лабораторные работы № 3,4,5,6)	УО-1 Вопросы к экзамену 21-43
3	Теплообмен при фазовых и химических превращениях	ОПК-2	<b>Знает</b> основные понятия и законы процессов теплообмена при фазовых превращениях	УО-1 (вопросы для текущей проверки к разделу 3)	УО-1 Вопросы к экзамену 44-52
			<b>Умеет</b> рассчитывать процессы теплообмена при фазовых превращениях	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 44-52
			<b>Владет</b> навыками экспериментального исследования процессов теплообмена при фазовых превращениях	ПР-6 (лабораторная работа №7)	УО-1 Вопросы к экзамену 44-52
4	Теплообмен излучением	ОПК-2	<b>Знает</b> основные понятия и законы процессов лучистого теплообмена	УО-1 (вопросы для текущей проверки к разделу 4)	УО-1 Вопросы к экзамену 59-64
			<b>Умеет</b> рассчитывать процессы лучистого теплообмена	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 59-64
			<b>Владет</b> навыками	ПР-6	УО-1

			экспериментального исследования процессов лучистого теплообмена	(лабораторная работа №8)	Вопросы к экзамену 59-64
5	Массообмен, теплообменные аппараты	ОПК-2	<b>Знает</b> основные понятия и законы процессов молекулярной диффузии и конвективного массообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов тепло- и массообмена в различных аппаратах и устройствах	УО-1 (вопросы для текущей проверки к разделу 5)	УО-1 Вопросы к экзамену 53-58, 65-69
			<b>Умеет</b> рассчитывать процессы молекулярной диффузии и конвективного массообмена по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 53-58, 65-69
			<b>Владет</b> навыками экспериментального исследования процессов массообмена, протекающих в конкретных технических системах	ПР-6 (лабораторная работа №8)	УО-1 Вопросы к экзамену 53-58, 65-69

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

1. Брюханов О.Н., Шевченко С.Н. Теплообмен: учебник / М.: ИНФРА-М, 2013. – 464 с.  
[http://artlib.osu.ru/web/books/content\\_all/1650.pdf](http://artlib.osu.ru/web/books/content_all/1650.pdf)
2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Теплообмен: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во: МЭИ, 2005. – 550 с.
3. Цыбульская О.Н., Упский М.В., Юдаков А. А. Теплообмен. – Владивосток: Издат. дом Дальневост. федерал. ун-та, 2013. – 108с.



4. Теплопередача: учеб. пособие / Балабин Д.Н., Юдаков А.А., Цыбульская О.Н. – Владивосток: Изд-во: ДВГТУ, 2008 г. – 274с.

5. Суслов В.А. Тепломассообмен: учебное пособие. – 3-е изд-е / ГОУ ВПО СПбГТУРП. СПб., 2008 – 120с. ISBN 5-230-14398-3

<http://www.nizrp.narod.ru/teplomassoobmen.pdf>

6.Примеры и задачи по тепломассообмену / Логинов В.С., Крайнов А.В., Юхнов Е.В., Феоктистов Д.В. – Изд-во: Лань, 2011 г. – 256с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=1553](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1553)

7. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоатомиздат, 1981, - 416 с.

8. Краснощёков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. – М.: Энергия, 1980.

9. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. Задачник по тепломассообмену. – М.: МЭИ. 1997. - 136 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Михатулин Д.С., Чирков А.Ю. Конспект лекций по тепломассообмену: учебное пособие / Московский государственный техн. ун-т им. Н.Э. Баумана. Москва, 2009. – 113 с.

<http://www.k204.ru/books/Mihatulin.pdf>

2. Бухмиров В.В. Тепломассообмен: учебное пособие / ФГБОУВПО. Иваново, 2014. – 360 с.

[http://ispu.ru/files/u2/Teplomassoobmen. Uchebnoe\\_posobie\\_dlya\\_bakalavr ov.pdf](http://ispu.ru/files/u2/Teplomassoobmen. Uchebnoe_posobie_dlya_bakalavr ov.pdf)

3. Орлов М.Е. Теоретические основы теплотехники. Тепломассообмен: учебное пособие / Ульяновск: УЛГТУ, 2013. – 204с.

<http://venec.ulstu.ru/lib/disk/2013/Orlov.pdf>

4.Савин И.К. Теоретические основы теплотехники (Краткий курс) Ч. II. Теплопередача: учебное пособие / Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2008. – 172с.

<http://elibrary.petsu.ru/docs/savin/teplotehnika2/total.pdf>

5. Коновалов В.И., Пахомов А.Н., Гатапова Н.Ц., Колиух А.Н. Методы решения задач теплопереноса. Теплопроводность и диффузия в неподвижной среде: учебное пособие / Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 80 с.

<http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2005/gatapova.pdf>

6. Теплофизика и теплотехника: Теплофизика: Курс лекций / Арутюнов В.А., Крупенников С.А., Сборщиков Г.С. – Изд-во: МИСИС, 2010 г. – 228 с.

[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=2083](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2083)

7. Солодов А.П. Принципы теплообмена. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 96 с.

8. Практикум по теплопередаче: Учебное пособие для вузов / А.П. Солодов, Ф.Ф. Цветков, А.В. Елисеев, В.А. Осипова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. - 296 с.

9. Дульнев Г.Н., Тихонов С.В. Основы теории теплообмена. – Спб: СПбГУИТМО, 2010. – 93с.

<http://books.ifmo.ru/file/pdf/738.pdf>

10. Аметистов Е.В. Основы теории теплообмена. – М.: МЭИ, 2000. - 240 с.

11. Солодов А.П., Ежов Е.В. Элементарные модели теплообмена при конденсации: Учебное пособие для студентов. – М.: Издательство МЭИ, 2006. – 51 с.

12. Галин Н.М., Кириллов П.Л. Теплообмен (в ядерной энергетике). – М.: Энергоатомиздат, 1987.

13. Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалёв С.А. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 1988. - 470 с.

14. Цветков Ф.Ф. Задачник по совместным процессам массо- и теплообмена – М.: МЭИ, 1997.

15. Цветков Ф.Ф., Салохин В.И. Теплообмен излучением. Задачи и упражнения. – М.: МЭИ, 1997.

16. Величко В.И., Пронин В.А. Интенсификация теплоотдачи и повышение энергетической эффективности конвективных поверхностей нагрева – М.: МЭИ, 1999.

17. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник. М., Энергоиздат, 1982.

18. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Пер. с англ.; под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.

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

1. Сайт Национального комитета по теплообмену (Российская Академия Наук «Международный центр по тепло- и массообмену»)

<http://www.nchmt.ru/>

2. Сайт ТЕПЛОТА – все для ТЕПЛОТЕХНИКА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА. Теплоэнергетика, теплоснабжение и теплообмен, термодинамика и теплопередача

<http://www.teplota.org.ua/>

3. Российская государственная библиотека

<http://www.rsl.ru/>

4. Государственная публичная научно-техническая библиотека России

<http://www.gpntb.ru/>

5. Научная электронная библиотека

<http://elibrary.ru/>

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

Программное обеспечение, доступное студентам для выполнения индивидуальных заданий, а также для организации самостоятельной работы:

Аудитория, количество рабочих мест	Перечень программного обеспечения
Компьютерный класс кафедры Теплоэнергетики и теплотехники, Аудитория Е-559 а, Аудитория Е-559 г	– Microsoft Office Professional Plus 2016 – офисный пакет, включающий программное обеспечение для работы с различными типами документов (текстами, электронными таблицами, базами данных и др.); – 7Zip 9.20 - свободный файловый архиватор с высокой степенью сжатия данных; – Adobe Acrobat XI Pro – пакет программ для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF; – AutoCAD 2017 - трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения; – WaterSteamPro – свойства воды и водяного пара; – WinDjView 2 – пакет программ для создания и просмотра электронных публикаций в формате DJVU; – КОМПАС-3D V16 x64 трёхмерная система автоматизированного проектирования и черчения; – ПК «Консультант Плюс» - офисный пакет нормативных документов; – ПК «ИС Техэксперт 6.0» - офисный пакет нормативных технических документов; – «BoilerDesigner 9.8.2.0» - пакет прикладных программ для решения задач теплоэнергетики.

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

- ✓ Microsoft Office Professional Plus 2016,
- ✓ Adobe Acrobat XI Pro,
- ✓ WinDjView 2.

Для рассылки учебных материалов и другой информации используется электронная почта Microsoft Outlook, доступная в личном кабинете ДВФУ.

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

Для успешного освоения дисциплины "Тепломассообмен" студенту

необходимо тщательно изучить теоретический материал прослушанный в лекционном курсе на аудиторных занятиях, после чего ознакомиться с теоретическим материалом в учебниках и учебных пособиях, а также желательно познакомиться с публикациями в периодических изданиях.

Затраты времени на освоение теоретического курса зависят от того, как активно студент работал в аудитории, слушая лекции и изучая материал на практических занятиях и лабораторных работах. Непонятные вопросы должны быть проработаны на консультациях. В случае пропуска занятий студенту потребуется сверхнормативное время на освоение пропущенного материала. Для закрепления материала лекций достаточно, перелистывая конспект или читая его, мысленно восстановить прослушанный материал. Ниже приведены комментарии к освоению отдельных разделов лекционного курса. Для закрепления материала курса необходимо проработать вопросы для самопроверки после каждого пройденного раздела дисциплины. Перечень вопросов к каждому разделу приведен в Приложении 2.

## **Методические комментарии к освоению отдельных разделов теоретического курса**

### **К разделу 1. Теплопроводность**

1. Приступая к изучению теории теплообмена необходимо усвоить механизм и физическую сущность каждого из способов передачи теплоты: теплопроводность (диффузия тепла), конвективный теплоперенос и излучение (радиационный теплоперенос). Обратит внимание на то, что все они одновременно участвуют в процессе теплопереноса, однако при различных условиях роль и значимость каждого из них может существенно изменяться. Так, в неподвижных сплошных телах основным механизмом передачи теплоты является теплопроводность. При движении среды возрастает вклад конвекции, а в условиях разреженных газов и высоких температур приоритет переходит к радиационному механизму переноса теплоты.

2. При рассмотрении первого способа теплопереноса - теплопроводности, обратит внимание на понятие температурного поля, как совокупности значений температуры для каждой точки исследуемого пространства в соответствующий момент времени. Нужно также уяснить понятия градиента температуры, теплового потока и его плотности.

3. Изучая основной закон теплопроводности (закон Фурье) обратит внимание на то, что в его записи  $q = -\lambda \text{ grad } t$  минус отражает факт противоположенности векторов плотности теплового потока и температурного градиента. Здесь необходимо получить представления о численных значени-

ях коэффициента теплопроводности  $\lambda$  для различных материалов, как характеристики их способности проводить теплоту.

4. Нужно понять физический смысл дифференциального уравнения теплопроводности, как варианта выражения первого закона термодинамики, из решения которого при соответствующих начальных и граничных условиях может быть получено температурное поле рассматриваемого объекта. Уяснить различие между разными граничными условиями: I рода - задание значения температур на поверхности тела; II рода - задание на границе плотности теплового потока (температурного градиента); III рода - установление линейной зависимости теплового потока от температурного напора на границе в виде закона Ньютона-Рихмана  $q = \alpha (t_n - t_{cp})$ . Здесь нужно понять, что коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  моделирует влияние на границу тела окружающей среды и зависит от ее физических свойств и условий движения.

5. Необходимо разобраться с методикой решения дифференциального уравнения теплопроводности для отыскания стационарных температурных полей в простейших ситуациях плоского и цилиндрического слоев.

6. Обратит внимание на особенность теплоизоляции цилиндрических тел. Здесь в отличие от плоских поверхностей существует ограничение на выбор материала теплозащитного покрытия, вызванное существованием критического диаметра, при котором тепловые потери достигают максимума.

7. Расчет нестационарных температурных полей путем решения уравнения теплопроводности связан со значительными трудностями математического характера. Для приобретения навыков приближенной инженерной оценки процессов нагрева или охлаждения тел с маленьким термическим сопротивлением изучить метод регулярного теплового режима.

## **К разделу 2. Конвективный теплообмен в однородной среде**

1. В предыдущем разделе курса, при рассмотрении граничных условий третьего рода уже фигурировали закон Ньютона-Рихмана и коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ , численное значение которого считалось известным. Основной задачей раздела, посвященного конвективному механизму переноса теплоты движущейся средой (теплоносителем), является изучение методик определения коэффициента теплоотдачи и применения их для практических расчетов. Здесь можно выделить два пути решения проблемы. Первый из них заключается в точном расчете  $\alpha$  из уравнения теплоотдачи в пограничном слое с использованием уравнения переноса тепловой энергии и уравнения движения вязкого теплоносителя (уравнение Навье-Стокса). Такая процедура, связанная с решением нескольких дифференциальных уравнений, весьма трудоемка даже для современных компьютерных средств вычислений. Второй путь создания методики определения коэффициента теплоотдачи базируется на фи-

зическом моделировании и обобщении экспериментальных данных с помощью теории подобия в виде критериальных уравнений теплоотдачи.

2. Здесь нужно твердо усвоить физический смысл отдельных критериальных чисел подобия, участвующих в описании конвективного переноса теплоты: значением  $Nu$  оценивается интенсивность теплоотдачи с поверхности твердого тела в подвижную окружающую среду, критерии  $Re$  и  $Gr$  характеризуют интенсивность вынужденного и свободного движения теплоносителя, величина  $Pr$  показывает соотношение его механических и тепловых свойств.

3. Необходимо детально освоить процедуру расчета коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  с применением критериальных уравнений теплоотдачи вида  $Nu = C Gr^{n_1} Re^{n_2} Pr^{n_3}$ . Рассмотреть теплообмен при вынужденном движении теплоносителя по трубам, а также при его свободной циркуляции. Обратить внимание на методику получения критериальных уравнений путем обобщения экспериментальных данных по теплоотдаче в подобных условиях.

### **К разделу 3. Теплообмен при фазовых и химических превращениях**

1. При изучении раздела необходимо представлять общую классификацию процессов: в объеме или на поверхности, пленочную или капельную, при неподвижном или движущемся паре, при паре насыщенном, влажном или перегретом. В случае пленочной конденсации необходимо различать режимы стелания пленки ламинарной и смешанной, т.е. ламинарный, сосуществующий с турбулентным. В случае капельной конденсации необходимо различать режимы с малым и большим температурным напорами.

2. Следует различать две составляющие термического сопротивления тепловому потоку при конденсации – сопротивление пленки конденсата на поверхности стенки и термическое сопротивление на границе раздела фаз (в Кнудсеновском слое), которое определяется коэффициентом конденсации и проявляется при малых давлениях.

3. При изучении темы следует обратить внимание на особенность интерпретации числа  $Re$  для пленки конденсата, на различие в определяющих размерах чисел Рейнольдса для пленки и для пара. Следует знать, что число Рейнольдса пленки становится зависимым, т.е. определяемым числом подобия, содержащим в себе искомую величину – коэффициент теплоотдачи.

4. Необходимо изучить классификацию процессов кипения, а для каждого элемента этой сложной классификации – методику определения коэффициентов теплоотдачи, плотности теплового потока или температуры стенки, иногда температуры перегрева жидкости. Обратить внимание на пузырьковый режим кипения, вследствие высокой интенсивности теплообме-

на. Знать, что именно для этой области кипения пока не существует строгой теории. Поэтому формулы для расчета теплоотдачи при развитом пузырьковом кипении различных жидкостей, в том числе и воды, иногда отличаются друг от друга, так что результаты вычислений по ним существенно не совпадают.

#### **Раздел 4. Теплообмен излучением**

1. Прежде всего нужно усвоить принципиальное отличие радиационного механизма переноса теплоты, связанного с электромагнитным излучением, от теплопроводности и конвекции.

2. Обратит внимание на то, что описание закономерностей радиационного теплопереноса проводится с использованием абсолютной температуры  $T$ , К.

3. Подробно изучить содержание и физическое проявление основных законов излучения. Особое внимание следует уделить закону Стефана-Больцмана, основного с точки зрения инженерного применения. Нужно усвоить, что степень черноты  $\epsilon$  не определяет цвет тела, а характеризует его излучательную способность относительно абсолютно черного тела.

4. Применение законов теплового излучения нужно рассмотреть на примере теплообмена между параллельными пластинами. Здесь обратит внимание на понятие приведенной степени черноты, как характеристики излучательной способности всей системы тел, участвующих в теплообмене. Изучить вопросы экранирования, как эффективного средства борьбы с тепловым излучением. Выяснить, как изменится лучистый тепловой поток при наличии экрана, какую роль при этом имеет его степень черноты.

#### **Раздел 5. Массообмен, тепломассообменные аппараты**

1. Рассмотреть классификацию теплообменных аппаратов по принципу действия: рекуператоры, регенераторы, смесители. Уяснить основные принципы работы устройств каждого типа.

2. Наиболее распространенными являются рекуперативные теплообменники, поэтому при теоретическом анализе теплопередачи можно ограничиться рассмотрением только этого типа устройств. Детально разобрать методику расчета рекуперативного теплообменника для прямоточной и противоточной схем движения теплоносителей. Обратит внимание на понятия среднелогарифмического и среднеарифметического температурного напора. Научиться анализировать изменение температур теплоносителей в зависимости от схемы их движения и значения водяных эквивалентов.

### **Методические рекомендации к практическим занятиям**

Для подготовки к практическим занятиям необходимо проработать материал предыдущих занятий, обращаясь при необходимости к рекомендуемой учебной литературе. К решению задач контрольного задания следует приступать только после изучения соответствующего раздела курса.

При выполнении контрольных задач необходимо соблюдать следующие правила:

- а) выписывать условие задачи и исходные данные;
- б) решение задач сопровождать кратким пояснительным текстом, в котором указывать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в формулу и откуда они берутся ( из условия , из справочника или были определены выше и т.д.);
- в) вычисления проводить в единицах СИ, показывать ход решения;
- г) постановки задач и основные результаты решения сопровождать графическими иллюстрациями.

После решения задачи нужно дать краткий анализ полученных результатов и сделать выводы. Всегда, если это возможно, нужно осуществлять контроль своих действий и оценивать достоверность полученных численных данных.

### **Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ**

Цель лабораторного практикума – закрепить теоретические положения изучаемой дисциплины, ознакомить с методикой постановки и проведения теплотехнического эксперимента.

Перед выполнением лабораторных работ студент должен по рекомендованной литературе изучить теоретический материал, относящийся к данным работам. Непосредственно перед выполнением каждой работы следует ознакомиться с опытной установкой, четко представить себе порядок проведения опыта и методику обработки полученных данных, составить план выполнения работы.

К работе на лабораторных установках допускаются студенты, имеющие теоретическую подготовку, прошедшие инструктаж по технике безопасности и зарегистрированные в журнале инструктажа.

При выполнении лабораторных работ запрещается включать силовое оборудование без разрешения преподавателя или лаборанта.

В лаборатории студент выполняет экспериментальную часть работы и черновые (необходимые) расчеты, после чего протокол наблюдений и черновик расчетов представляет преподавателю. Расчеты необходимо выполнять в системе СИ.

Отчет о выполненной работе должен быть оформлен индивидуально каждым студентом и должен содержать название и цель работы, краткую



методику постановки и проведения опыта, принципиальную схему установки, протокол экспериментальных и расчетных данных в виде таблицы, расчеты, графики и выводы.

### **Методические рекомендации по подготовке к экзамену**

Подготовка к экзамену осуществляется на основе лекционного материала, материала практических и лабораторных занятий с обязательным обращением к основным учебникам курса. Это исключает ошибки в понимании материала, облегчает его осмысление, а также прокомментарирует материал примерами и иллюстрациями, которые в лекциях не приводились. Обязательным условием допуска к экзамену является выполнение и защита лабораторных работ, решение всех запланированных задач и наличие содержательного конспекта лекций. На заключительном занятии проводится оценка знаний студентов с помощью тестовых заданий.

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

Освоение дисциплины «Тепломассообмен» предполагает использование мультимедийных учебных аудиторий вместимостью более 30 человек, оснащенных современными техническими средствами и доступом в сеть Интернет. Лабораторные работы и практические занятия проводятся в лаборатории термодинамики и теплообмена, оснащенной лабораторными установками и экспериментальным стендом для проведения лабораторных работ методами имитационного моделирования процессов теплообмена. Для самостоятельной работы студентам доступны компьютерные классы и читальные залы научной библиотеки ДВФУ.

<b>Наименование оборудованных помещений</b>	<b>Перечень основного оборудования</b>
Лаборатория термодинамики и теплообмена Аудитория E559 б	Стенды для выполнения лабораторных работ
Компьютерный класс Аудитория E559 г	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty
Компьютерный класс Аудитория E559 а	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty
Читальные залы Научной	Моноблок HP ProOne 400 All-in-One 19,5 (1600x900), Core

<p>библиотеки ДВФУ с открытым доступом к фонду (корпус А - уровень 10)</p>	<p>i3-4150T, 4GB DDR3-1600 (1x4GB), 1TB HDD 7200 SATA, DVD+/-RW, GigEth, Wi-Fi, BT, usb kbd/mse, Win7Pro (64-bit)+Win8.1Pro(64-bit), 1-1-1 Wty  Скорость доступа в Интернет 500 Мбит/сек.  Рабочие места для людей с ограниченными возможностями здоровья оснащены дисплеями и принтерами Брайля; оборудованы: портативными устройствами для чтения плоскочечатных текстов, сканирующими и читающими машинами видеоувеличителем с возможностью регуляции цветовых спектров; увеличивающими электронными лупами и ультразвуковыми маркировщиками</p>
<p>Мультимедийная аудитория Е933, Е934, Е433</p>	<p>проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеоисточников документ-камера CP355AF Avergence; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; беспроводные ЛВС обеспечены системой на базе точек доступа 802.11a/b/g/n 2x2 MIMO(2SS)</p>

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 «Тепломассообмен»**

Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Профиль «Тепловые электрические станции»

Форма подготовки: очная

**Владивосток**

**2019**

## План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Дата/сроки выполнения	Вид самостоятельной работы	Примерные нормы времени на выполнение, час	Форма контроля
1	1-3 неделя семестра	проработать конспект лекций по разделу 1 Теплопроводность	1	УО-1
		ответить на вопросы для самопроверки	1	УО-1, ПР-1
		решить задачи	3	ПР-2
		подготовиться к защите лабораторных работ №1, 2	3	ПР-6
2	4-9 неделя семестра	проработать конспект лекций по разделу 2 Конвективный теплообмен в однородной среде	1	УО-1
		ответить на вопросы для самопроверки	1	УО-1, ПР-1
		решить задачи	3	ПР-2
		подготовиться к защите лабораторных работ №3, 4, 5, 6	4	ПР-6
3	10-12 неделя семестра	проработать конспект лекций по разделу 3 Теплообмен при фазовых и химических превращениях	1	УО-1
		ответить на вопросы для самопроверки	1	УО-1, ПР-1
		решить задачи	2	ПР-2
		подготовиться к защите лабораторной работы №7	2	ПР-6
4	13-15 неделя семестра	проработать конспект лекций по разделу 4 Теплообмен излучением	1	УО-1
		ответить на вопросы для самопроверки	1	УО-1, ПР-1
		решить задачи	2	ПР-2
		подготовиться к защите лабораторной работы №8	2	ПР-6
5	16-18 неделя семестра	проработать конспект лекций по разделу 5 Массообмен, теплообменные аппараты	1	УО-1

	ответить на вопросы для самопроверки	1	УО-1, ПР-1
	решить задачи	3	ПР-2
	подготовиться к защите лабораторной работы №9	2	ПР-6

Организация самостоятельной работы производится в соответствии с графиком учебного процесса и план-графиком выполнения самостоятельной работы. Самостоятельная работа студентов по курсу «Тепломассообмен» предназначена для внеаудиторной работы и необходима для закрепления и углубления знаний, полученных на аудиторных занятиях, по изучению дополнительных разделов дисциплины, закреплению практических навыков дисциплины, а также для развития у студентов творческих навыков, инициативы, умения организовать свое время.

Самостоятельная работа включает проработку теоретического курса, оценку собственных знаний при помощи вопросов для собеседования (Приложение 2), а также включает в себя контрольные задания, состоящие из ответов на вопросы и решения задач.

#### **Характеристика контрольного задания и требования к выполнению**

Контрольные задания содержат вопросы по разделу дисциплины и задачи для решения (см. Приложение 2)

При выполнении контрольного задания необходимо соблюдать следующее:

1. Условия задачи и формулировки контрольных вопросов в работе переписываются полностью.

2. Решение задачи сопровождается кратким пояснительным текстом, где необходимо указать, какая величина определяется и по какой формуле, какие величины подставляются в эту формулу, откуда они взяты (из условия задачи, из литературного источника, с точным его указанием, с последующим уточнением, определены ранее).

3. Вычисления давать в развернутом виде.

4. Необходимо указать размерности величин, заданных в условии задач, а также найденных в результате решения задач.

5. При решении задач и в ответах на вопросы следует придерживаться принятой в учебнике системы обозначений, терминов и Международной системы единиц (СИ).

6. Вычисления производить с необходимой и достаточной для каждого случая степенью точности, не выходящей за пределы точности расчетных и справочных таблиц.

В заключение решения задач необходимо сделать краткий анализ полученных результатов с необходимыми выводами. Ниже приведены типовые задачи с рекомендациями к выполнению.

### Примеры типовых задач с рекомендациями к выполнению

**Задача 1.** По трубопроводу с внешним диаметром  $d_n$  и толщиной стенки  $\delta$  течет газ со средней температурой  $t_r$ . Коэффициент теплоотдачи от газа к стенке  $\alpha_1$ . Снаружи трубопровод охлаждается водой со средней температурой  $t_B$ . Коэффициент теплоотдачи от стенки к воде  $\alpha_2$ .

Определить коэффициент теплопередачи от газа к воде, погонный тепловой поток и температуры внутренней и наружной поверхностей трубы. Данные для решения задачи выбрать из таблицы 1.

*Рекомендации:*

- *Тепловой режим считать стационарным. Решение задачи базируется на теме «Теплопередача через цилиндрическую стенку».*
- *Лучистым теплообменом пренебречь.*

Таблица 1.

Но- мер вари- анта	$t_r, ^\circ\text{C}$	$d_n,$ мм	$\delta,$ мм	$t_B, ^\circ\text{C}$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
1	700	100	4	60	60	4000
2	800	110	5	70	54	4200
3	900	120	6	80	52	4400
4	1000	130	7	90	50	4600
5	1100	140	8	100	44	4800
6	1200	150	9	110	42	5000
7	1100	160	10	120	40	5200
8	1000	170	9	130	36	5400
9	900	180	8	140	32	5600
10	800	190	7	150	30	5800

**Задача 2.** Определить потери теплоты в единицу времени с одного погонного метра горизонтально расположенной цилиндрической трубы диаметром  $d$  в окружающую среду, если температура стенки трубы  $t_c$ , а температура воздуха  $t_a$ . Данные для решения приведены в таблице 2.

*Рекомендации:*

▪ Коэффициент теплоотдачи определять из критериальных уравнений теплоотдачи при поперечном обтекании. Особое внимание обратить на вид конвекции, режим течения и определяющую температуру. Теплофизические параметры воздуха рассчитывать с использованием линейной интерполяции по температуре.

▪ Лучистым теплообменом пренебречь.

Таблица 2.

Номер варианта	$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_b, ^\circ\text{C}$	$d_n, \text{мм}$	Вид конвекции
1	250	15	250	свободная
2	240	20	260	вынужденная (1 м/с)
3	230	25	270	смешанная (0,1 м/с)
4	220	30	280	свободная
5	210	25	290	вынужденная (3 м/с)
6	200	10	300	смешанная (0,05 м/с)
7	190	5	310	свободная
8	180	0	320	вынужденная (5 м/с)
9	170	-10	330	вынужденная (10 м/с)
10	160	-20	340	вынужденная (15 м/с)

Задача 3. Определить плотность лучистого теплового потока между двумя параллельно расположенными плоскими стенками, имеющими температуру  $t_1$  и  $t_2$  и степени черноты  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ . Как изменится интенсивность теплообмена при установке экрана со степенью черноты  $\varepsilon_3$ .

*Рекомендации:*

▪ Условия теплообмена считать стационарными. Теплопроводностью и конвективным теплообменом в зазоре между пластинами пренебречь.

▪ В качестве экрана взять тонкий металлический лист.

Таблица 3.

Номер варианта	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_3$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$T_2, ^\circ\text{C}$
1	0,50	0,42	0,060	200	15
2	0,55	0,44	0,055	250	20
3	0,60	0,46	0,050	300	25
4	0,65	0,48	0,045	350	30
5	0,70	0,50	0,040	400	35

6	0,75	0,52	0,035	450	40
7	0,80	0,54	0,030	500	45
8	0,85	0,56	0,025	550	50
9	0,90	0,58	0,020	600	55
10	0,95	0,60	0,015	650	60

### Критерии оценки (письменный ответ)

✓ 100-86 баллов - если ответ показывает глубокое и систематическое знание всего материала по проверяемому разделу курса и конкретного вопроса. Студент демонстрирует свободное владение научным языком и терминологией соответствующего раздела дисциплины, знание основной литературы и знакомство с дополнительно рекомендованной литературой, убедительно излагает ответ.

✓ 85-76 - баллов - знание основного содержания проверяемого раздела курса, умение анализировать основные проблемы в рамках раздела дисциплины; знание важнейших работ из списка рекомендованной литературы. В целом логически корректное, но не всегда точное и аргументированное изложение ответа.

✓ 75-61 - балл – поверхностные знания важнейших разделов программы и содержания раздела лекционного курса; затруднения с использованием терминологии учебной дисциплины; неполное знакомство с рекомендованной литературой; частичные затруднения с выполнением предусмотренных программой заданий; стремление логически определенно и последовательно изложить ответ.

✓ 60-50 баллов – незнание, либо отрывочное представление о предмете курса в рамках учебно-программного материала; отсутствие логической связи в ответе.





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

---

**ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**по дисциплине «Тепломассообмен»**  
Направление подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»  
Профиль «Тепловые электрические станции»  
Форма подготовки: очная

**Владивосток**  
**2019**

**Паспорт**  
**фонда оценочных средств**  
**по дисциплине (практике): Теплообмен**  
(наименование дисциплины, вид практики)

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<b>ОПК-2</b> Способность демонстрировать базовые знания в области естественнонаучных дисциплин, готовностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности; применять для их разрешения основные законы естествознания, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	Знает	Основные понятия и законы процессов теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, молекулярной диффузии и конвективного массообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов тепло- и массообмена в различных аппаратах и устройствах
	Умеет	Рассчитывать процессы теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, молекулярной диффузии и конвективного массообмена по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе
	Владеет	Навыками экспериментального исследования процессов стационарной и нестационарной теплопроводности, свободной и вынужденной конвекции в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, массообмена, протекающих в конкретных технических системах

№ п/п	Контролируемые разделы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства		
			текущий контроль	промежуточная аттестация	
1	Теплопроводность	ОПК-2	<b>Знает</b> основные понятия и законы процессов теплопроводности	УО-1 (вопросы для текущей проверки к разделу 1)	УО-1 Вопросы к экзамену 1-20
			<b>Умеет</b> рассчитывать процессы теплопроводности в однофазной среде	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 1-20

			<b>Владеет</b> навыками экспериментального исследования процессов стационарной и нестационарной теплопроводности	ПР-6 (лабораторные работы № 1,2)	УО-1 Вопросы к экзамену 1-20
2	Конвективный теплообмен в однородной среде	ОПК-2	<b>Знает</b> основные понятия и законы процессов конвективного теплообмена в однофазной среде	УО-1 (вопросы для текущей проверки к разделу 2)	УО-1 Вопросы к экзамену 21-43
			<b>Умеет</b> рассчитывать процессы конвективного теплообмена в однофазной среде	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 21-43
			<b>Владеет</b> навыками экспериментального исследования процессов свободной и вынужденной конвекции в однофазной среде	ПР-6 (лабораторные работы № 3,4,5,6)	УО-1 Вопросы к экзамену 21-43
3	Теплообмен при фазовых и химических превращениях	ОПК-2	<b>Знает</b> основные понятия и законы процессов теплообмена при фазовых превращениях	УО-1 (вопросы для текущей проверки к разделу 3)	УО-1 Вопросы к экзамену 44-52
			<b>Умеет</b> рассчитывать процессы теплообмена при фазовых превращениях	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 44-52
			<b>Владеет</b> навыками экспериментального исследования процессов теплообмена при фазовых превращениях	ПР-6 (лабораторная работа №7)	УО-1 Вопросы к экзамену 44-52
4	Теплообмен излучением	ОПК-2	<b>Знает</b> основные понятия и законы процессов лучистого теплообмена	УО-1 (вопросы для текущей проверки к разделу 4)	УО-1 Вопросы к экзамену 59-64
			<b>Умеет</b> рассчитывать процессы лучистого теплообмена	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 59-64
			<b>Владеет</b> навыками экспериментального исследования процессов лучистого теплообмена	ПР-6 (лабораторная работа №8)	УО-1 Вопросы к экзамену 59-64
5	Массообмен, теплообмен	ОПК-2	<b>Знает</b> основные понятия и законы процессов молекулярной диффузии	УО-1 (вопросы для текущей	УО-1 Вопросы к экзамену 53-58,

ные аппараты	и конвективного массообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов тепло- и массообмена в различных аппаратах и устройствах	проверки к разделу 5)	65-69
	<b>Умеет</b> рассчитывать процессы молекулярной диффузии и конвективного массообмена по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе	ПР-1 (тестовые задания), ПР-2, (контрольные задачи)	УО-1 Вопросы к экзамену 53-58, 65-69
	<b>Владет</b> навыками экспериментального исследования процессов массообмена, протекающих в конкретных технических системах	ПР-6 (лабораторная работа №8)	УО-1 Вопросы к экзамену 53-58, 65-69

## **Вопросы для текущего контроля при выполнении контрольных заданий по отдельным разделам дисциплины**

### **Раздел 1. Теплопроводность**

#### **Тема 1. Основные положения учения о теплопроводности**

1. Что изучает наука «Тепломассообмен»?
2. Какие элементарные способы переноса теплоты существуют?
3. Какова физическая сущность передачи теплоты при теплопроводности?
4. С помощью чего осуществляется теплообмен при конвекции?
5. С помощью чего осуществляется лучистый теплообмен?
6. Что такое температурное поле?
7. Что такое температурный градиент?
8. Как записывается уравнение Фурье?
9. Что такое тепловой поток и плотность теплового потока?
10. Как определяется температурный напор?
11. Что такое коэффициент теплопроводности, в каких единицах он измеряется?
12. Какие зависимости коэффициента теплопроводности от температуры для различных веществ Вам известны?
13. Запишите дифференциальное уравнение теплопроводности для

трехмерного нестационарного температурного поля.

14. Что такое условия однозначности, как они подразделяются?

15. Что такое начальные условия, для каких процессов они необходимы?

16. Что такое граничные условия, скольких родов они бывают и что характеризуют?

## **Тема 2. Стационарная теплопроводность**

1. Выведите уравнение теплопроводности через однослойную плоскую стенку при стационарном режиме.

2. По какому закону изменяется температура в однослойной плоской стенке?

3. От каких величин зависит тепловой поток, передаваемый теплопроводностью через однослойную плоскую стенку?

4. Теплопроводность через многослойную плоскую стенку при стационарном режиме – вывод уравнения.

5. Объясните понятие «термическое сопротивление стенки».

6. Как определяется температура между слоями в многослойной плоской стенке?

7. Выведите уравнение теплопроводности через однослойную цилиндрическую стенку при стационарном режиме.

8. Каков закон изменения температуры в однослойной цилиндрической стенке?

9. От каких величин зависит теплопроводность однослойной цилиндрической стенки?

10. Выведите уравнение теплопроводности через многослойную цилиндрическую стенку при стационарном режиме.

11. Как определяются температуры между слоями в многослойной цилиндрической стенке?

12. Теплопроводность через шаровую стенку при стационарном режиме – вывод уравнения.

13. По какому закону изменяется температура внутри шаровой стенки?

14. Что такое сложный теплообмен?

15. Что называется теплопередачей? Приведите примеры теплопередачи.

16. Выведите основное уравнение теплопередачи для однослойной плоской стенки.

17. Что называется коэффициентом теплопередачи?

18. Что называется полным термическим сопротивлением, и из каких величин оно складывается?

19. Передача теплоты через многослойную плоскую стенку и коэф-

фициент теплопередачи для нее.

20. Передача теплоты через однослойную цилиндрическую стенку: вывод уравнения.

21. Линейный коэффициент теплопередачи через однослойную цилиндрическую стенку: дать определение.

22. Уравнение полного термического сопротивления через многослойную цилиндрическую стенку.

23. Тепловой поток и коэффициент теплопередачи через многослойную цилиндрическую стенку.

24. Что называется критическим диаметром изоляции, и как он определяется?

25. Какие требуются условия, чтобы изоляция уменьшала потери теплоты?

26. В каких случаях и за счет чего можно интенсифицировать теплопередачу?

27. В каких случаях применяют ребристые стенки?

28. Теплопередача и коэффициент теплопередачи через ребристую стенку.

29. Какое существует общее правило для интенсификации теплопередачи?

### **Тема 3. Нестационарная теплопроводность**

1. Объясните общие закономерности нестационарных процессов.

2. Какие критерии подобия и безразмерные величины входят в уравнение температурного поля при нестационарном режиме?

3. Что характеризуют критерии Био и Фурье?

4. Объясните решение задачи теплопроводности в случае охлаждения неограниченной пластины при нестационарном режиме.

5. Охарактеризуйте частные случаи распределения температурного поля внутри неограниченной пластины.

### **Раздел 2. Конвективный теплообмен в однородной среде**

1. Что называется конвективным теплообменом?

2. Что такое теплоноситель? Какие теплоносители используются в технике для процессов теплообмена?

3. Назовите два вида конвекции.

4. Какие физические свойства теплоносителей влияют на теплообмен?

5. Гидродинамический и тепловой пограничные слои, их особенности и физический смысл.

6. Что называют теплоотдачей?

7. Каков физический смысл и единицы измерения коэффициента теплоотдачи?

8. Запишите уравнение Ньютона-Рихмана и объясните все входящие в него величины.

9. Функцией каких величин является коэффициент теплоотдачи?

10. Выведите дифференциальное уравнение теплоотдачи.

11. Запишите систему дифференциальных уравнений для конвективного теплообмена.

12. Что такое теория подобия и для чего она предназначена?

13. Какие три вида подобия Вам известны?

14. Что такое критерий подобия?

15. Чему равен критерий Рейнольдса, и что он характеризует?

16. Чему равен критерий Нуссельта, и что он характеризует?

17. Чему равен критерий Прандтля, и что он характеризует?

18. Чему равен критерий Грасгофа, и что он характеризует?

19. Чему равен критерий Пекле, и что он характеризует?

20. Чему равен критерий Фурье, и что он характеризует?

21. Какое уравнение называется критериальным?

22. Привести критериальное уравнение конвективного теплообмена в общем виде.

23. Как с помощью критериального уравнения конвективного теплообмена определить коэффициент теплоотдачи?

24. Сформулируйте три теоремы подобия.

25. Для чего используется метод анализа размерностей?

26. Что такое первичные и вторичные физические величины?

27. Какие первичные величины используются в системе СИ?

28. Что такое размерность?

29. В чем заключается смысл  $\pi$ -теоремы?

### **Раздел 3. Теплообмен при фазовых и химических превращениях**

1. Может ли коэффициент конденсации принимать значение более единицы?

2. Верно ли, что рост коэффициента конденсации характеризует снижение скачка температур в кнудсеновском слое?

3. Верно ли, что увеличение скачка температур в кнудсеновском слое связано с увеличением термического сопротивления на границе раздела фаз при конденсации пара?

4. Может ли увеличение термического сопротивления на границе раздела фаз сопровождаться уменьшением общего термического сопротив-

ления тепловому потоку, при конденсации?

5. Входит ли в состав числа Рейнольдса для пленки конденсата коэффициент теплоотдачи при конденсации?

6. Зависит ли коэффициент теплоотдачи при ламинарном режиме конденсации от температурного напора?

7. Верно ли, что увеличение критического радиуса парового пузырька способствует увеличению коэффициента теплоотдачи?

8. Верно ли, что удельная поверхностная работа и поверхностное натяжение имеют одинаковые единицы?

9. Верно ли, что увеличение краевого угла свидетельствует об ухудшении смачиваемости?

10. Может ли локальное ухудшение смачиваемости повлечь интенсификацию образования паровых пузырьков?

11. Одинаковы ли процессы перехода от пузырькового к пленочному режиму кипения в случаях регулируемой температуры стенки и регулируемой плотности теплового потока?

12. Можно ли приведенную скорость парообразования выражать в метрах в секунду (м/с)?

13. Всегда ли температура кипящей жидкости выше, чем температура в пузырьке пара?

14. Одинаковы ли единицы массового и объемного расходных паросодержаний?

15. Может ли увеличиваться первая критическая плотность теплового потока вслед за повышением давления кипящей жидкости?

#### **Раздел 4. Теплообмен излучением**

1. Каковы основные особенности лучистого теплообмена?

2. На какие части делится энергия падающего на тело потока излучения?

3. Какие тела называются абсолютно черным, абсолютно белым и абсолютно прозрачным?

4. Как определяется поверхностная плотность потока интегрального излучения?

5. Как определяется интенсивность излучения?

6. В чем сущность законов Планка и Вина?

7. Каково практическое применение закона Вина?

8. В чем сущность закона Стефана – Больцмана?

9. В чем сущность закона Кирхгофа?

10. Закон Ламберта. Для каких тел он применим?

11. Что такое степень черноты? От каких факторов она зависит?



12. Лучистый теплообмен между двумя параллельными пластинами.
13. Теплообмен излучением, когда одно тело находится внутри другого.
14. Уравнение лучистого теплообмена для произвольно расположенных тел.
15. Назначение экранов при лучистом теплообмене (приведите примеры).
16. Как приблизительно изменится количество излучаемой энергии при установке двух экранов?
17. Какие газы обладают способностью излучать?
18. В чем заключаются основные особенности излучения газов?
19. От чего зависит степень черноты излучающего газа?
20. Как определяется плотность потока излучения от газа к окружающим его поверхностям теплообмена?

### **Раздел 5. Массообмен, тепломассообменные аппараты**

1. Что такое массообмен? В каких технологических процессах и установках он встречается (привести примеры)?
2. Что такое диффузия? Какие виды диффузии Вам известны?
3. Чем обусловлены процессы термо- и бародиффузии?
4. Как определяется и в чем измеряется плотность потока массы?
5. Запишите закон Фика для молекулярной диффузии.
6. По какому уравнению определяется суммарная плотность потока массы, учитывающая концентрационную, термо- и бародиффузию?
7. Запишите дифференциальное уравнение массообмена.
8. Что такое массоотдача?
9. Какими уравнениями описывается процесс массоотдачи?
10. Как связаны между собой коэффициенты теплоотдачи, отнесенные к разности концентраций и к разности давлений?
11. Какие критерии подобия используются для описания процессов массообмена?
12. Существует ли аналогия между процессами теплообмена и массообмена?
13. Какие устройства называются тепломассообменными аппаратами?
14. Как классифицируются тепломассообменные аппараты?
15. Опишите принцип работы и приведите примеры рекуперативных, регенеративных, смесительных тепломассообменных аппаратов и теплообменников с внутренними источниками энергии.
16. Укажите достоинства и недостатки кожухотрубных и пластинчатых теплообменников.

17. По каким схемам осуществляется движение теплоносителей в тепло-мас-сообменных аппаратах?
18. Запишите формулу для определения водяного эквивалента.
19. Приведите графики изменения температур рабочих жидкостей в аппаратах с прямотоком и противотоком.
20. Какие бывают виды тепловых расчетов теплообменников, в чем их отличие?
21. Напишите основные уравнения, применяемые при тепловом расчете рекуперативных аппаратов?
22. По каким формулам определяются среднелогарифмический и среднеарифметический температурные напоры?
23. Как определить средний температурный напор для теплообменника со сложной схемой движения теплоносителей?
24. Как определяются конечные температуры теплоносителей в аппаратах с прямотоком и противотоком?

### **Перечень задач для выполнения контрольных заданий для текущего контроля**

1. Вычислить плотность теплового потока через плоскую однородную стенку, толщина которой значительно меньше ширины и высоты, если стенка выполнена: а) из стали,  $\lambda=40\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; б) из бетона,  $\lambda=1,1\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ ; в) из диатомитового кирпича,  $\lambda=0,11\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Во всех трёх случаях толщина стенки  $\delta=50\text{мм}$ . Температуры на поверхностях стенки поддерживаются постоянными:  $t_{c1}=100^{\circ}\text{C}$  и  $t_{c2}=90^{\circ}\text{C}$ .
2. Определить потерю теплоты  $Q$ , Вт, через стенку из красного кирпича длиной  $l=5\text{м}$ , высотой  $h=4\text{м}$  и толщиной  $\delta=0,25\text{м}$ , если температуры на поверхностях стенки поддерживаются  $t_{c1}=110^{\circ}\text{C}$  и  $t_{c2}=40^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности красного кирпича  $\lambda=0,70\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ .
3. Определить потери тепла через кирпичную стенку длиной 5м, высотой 3м и толщиной 250мм, если на поверхностях стенки поддерживаются температуры  $t_1=20^{\circ}\text{C}$  и  $t_2=-30^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности кирпича  $\lambda=0,6\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ .
4. Определить коэффициент теплопроводности материала стенки, если при толщине ее  $\delta=40\text{мм}$  и разности температур на поверхностях  $\Delta t=20^{\circ}\text{C}$ ; плотность теплового потока  $q=145\text{Вт}/\text{м}^2$ .
5. Определить тепловой поток  $q$  через плоскую шамотную стенку толщиной  $\delta=0,5\text{м}$  и найти действительное распределение температуры, если  $t_1=1000^{\circ}\text{C}$  и  $t_2=0^{\circ}\text{C}$  и  $\lambda=1,0(1+0,001t)\text{Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{C})$ .

6. Определить поток тепла, проходящий через  $1 \text{ м}^2$  стенки котла и температуру внутренней поверхности железного листа (под накипью), если толщина стенки  $\delta_1=20\text{мм}$ , коэффициент теплопроводности материала  $\lambda_1=50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$  и с внутренней стороны стенка покрыта слоем котельной накипи толщиной  $\delta_2=2\text{мм}$  с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2=1,0 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Температура наружной поверхности  $t_1=250^\circ\text{C}$  и внутренней  $t_3=200^\circ\text{C}$ .

7. Определить значение эквивалентного коэффициента теплопроводности пакета листового трансформаторного железа из  $n$  листов, если толщина каждого листа  $\delta_1=0,5\text{мм}$  и между ними проложена бумага толщиной  $\delta_2=0,05\text{мм}$ . Коэффициент теплопроводности железа  $\lambda_1=60\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$  и бумаги  $\lambda_2=0,15\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ .

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

9. Стальная стенка котла толщиной  $20\text{мм}$  покрыта слоем накипи  $2\text{мм}$ . Коэффициент теплопроводности стали  $\lambda_1=58\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ , накипи  $\lambda_n=1,05\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Температура чистой поверхности стенки котла равна  $310^\circ\text{C}$ , а поверхности накипи  $105^\circ\text{C}$ . Вычислить удельный тепловой поток через стенку и температуру в плоскости касания металла.

10. Вычислить потерю тепла через единицу поверхности обмуровки парового котла в зоне размещения водяного экономайзера и температуры поверхности стенки, если ее толщина  $250\text{мм}$ , температура газов  $700^\circ\text{C}$ , а температура воздуха в котельной  $30^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от газов к поверхности стенки составляет  $20 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$  и от стенки к воздуху  $10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Коэффициент теплопроводности стенки  $0,6 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ .

11. Паропровод диаметром  $170/160 \text{ мм}$  покрыт двухслойной изоляцией. Толщина первого слоя  $\delta_2=30\text{мм}$  и второго  $\delta_3=50\text{мм}$ . Коэффициенты теплопроводности трубы и изоляции соответственно равны:  $\lambda_1=50$ ,  $\lambda_2=0,15$  и  $\lambda_3=0,08 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Температура внутренней поверхности паропровода  $t_1=300^\circ\text{C}$  и внешней поверхности изоляции  $t_4=50^\circ\text{C}$ . Определить тепловые потери метра длины трубопровода.

12. Трубу внешним диаметром  $d=20\text{мм}$  необходимо покрыть тепловой изоляцией. В качестве изоляции может быть взят асбест с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , коэффициент теплоотдачи во внешнюю среду  $\alpha_2=5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Целесообразно ли в данном случае использовать асбест в качестве материала для тепловой изоляции?

13. Определить тепловой поток через 1м паропровода с внутренним диаметром 140мм и толщиной стенки 5мм, изолированного двумя слоями изоляции  $\delta=25$  мм,  $\delta=50$  мм. Коэффициенты теплопроводности соответственно равны:  $\lambda_1=50\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\lambda_2 = 0,035\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\lambda_3 = 0,11\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Температура на внутренней поверхности трубопровода  $t_1=250^\circ\text{C}$ , на наружной поверхности изоляции  $t_4=50^\circ\text{C}$ . Как изменятся тепловые потери, если слои изоляции поменять местами?

14. Вычислить потерю тепла с 1 п.м. неизолированного трубопровода диаметром  $d_1/d_2 = 150/165\text{мм}$ , проложенного на открытом воздухе, если внутри трубы протекает вода со средней температурой  $90^\circ\text{C}$ , а температура окружающего воздуха –  $15^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности материала трубы  $\lambda=50\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $1000\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$  и от трубы к окружающему воздуху  $12\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Определить температуры на внутренней и внешней поверхности трубы.

15. Найти толщину изоляции из материала с коэффициентом теплопроводности  $0,18\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$  при условии, чтобы потери тепла не превышали 0,5% от общего теплового потока. Паропровод имеет диаметр 100мм, длину 100м, расход пара составляет 0,3 кг/сек, температура окружающего воздуха  $25^\circ\text{C}$ , теплота конденсации  $1945\text{кДж}/\text{кг}$ ,  $t_{\text{н}}=200^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_1 = 5000\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ ,  $\alpha_2 = 10\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ .

16. Определить толщину обмуровки котла, если температура газов  $800^\circ\text{C}$ , температура окружающей среды  $20^\circ\text{C}$ , эквивалентный коэффициент теплопроводности обмуровки  $0,8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ , коэффициент теплоотдачи от газов к стенке и от стенки к окружающей среде соответственно равны 60 и 15  $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Температура наружной поверхности обмуровки не должна превышать  $55^\circ\text{C}$ .

17. Плотность теплового потока через плоскую стенку бака при температуре газов  $1100^\circ\text{C}$  и температуре воды  $180^\circ\text{C}$  составляет  $50\ 000 \text{ Вт}/\text{м}^2$ . Коэффициент теплоотдачи со стороны воды  $5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Определить коэффициент теплоотдачи со стороны газов, коэффициент теплопередачи и температуры поверхностей бака, если ее толщина 12мм, коэффициент теплопроводности металла  $56 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ .

18. Определить потерю теплоты с поверхности 1м неизолированного трубопровода, если его внутренний диаметр 76мм, толщина стенки 3мм, коэффициент ее теплопроводности  $50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ . Температура воды  $95^\circ\text{C}$ , наружная температура  $15^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от воды к стенке трубы  $5000\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$  и от трубы к воздуху  $15 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^\circ\text{C})$ . Во сколько раз уменьшатся потери тепла, если трубопровод изолировать слоем совелита толщиной 15мм. Коэффициент теплопроводности совелита  $0,0975 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$ .

19. Определить температуру на внутренней поверхности паропровода диаметром 200мм, изолированного слоем изоляции толщиной 100мм с коэффициентом теплопроводности  $0,11 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$ . Толщина стенки паропровода 16мм. Температура пара  $250^{\circ}\text{С}$  и наружного воздуха  $30^{\circ}\text{С}$ . Коэффициенты теплоотдачи со стороны пара и воздуха соответственно равны  $100 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$  и  $9 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$ . Термическим сопротивлением стенки трубы пренебречь.

20. По стальному трубопроводу с внутренним диаметром 60мм и толщиной стенки 3мм протекает рассол с температурой  $-22^{\circ}\text{С}$ . Коэффициент теплоотдачи от рассола к трубе  $1750 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$  и от трубы к воздуху  $17 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$ . Определить температуру в помещении и потерю холода через поверхность 1м трубопровода, если температура его наружной поверхности  $t_{\text{ст}2} = -21,5^{\circ}\text{С}$ . Коэффициент теплопроводности стали  $48 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$ .

21. Вычислить время нагрева пластины толщиной  $2\delta=14 \text{ мм}$ , которая имела температуру  $t_0=30^{\circ}\text{С}$ , а затем была помещена в печь с температурой  $t=140^{\circ}\text{С}$ . Нагрев закончен после того, как температура центра пластины достигла величины  $t_{\text{ц}} = 130^{\circ}\text{С}$ .  $\lambda=0,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$ ,  $a = 30\cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\alpha=5000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$ .

22. Неограниченные пластины толщиной  $2\delta_1=20\text{мм}$  и  $2\delta_2=200\text{мм}$  имеют одинаковую начальную температуру. Пластина нагревается в среде с температурой  $20^{\circ}\text{С}$ . Первая пластина выполнена из резины ( $\lambda_1=0,16 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$ ,  $c_1=1,4 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С})$ ,  $\rho_1 = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ ); вторая из мрамора ( $\lambda_2=3,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$ ,  $c_2=1 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С})$ ,  $\rho_2=2600 \text{ кг}/\text{м}^3$ ). В первом случае коэффициент теплоотдачи равен  $\alpha_1 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$ , во втором  $\alpha_2 = 20 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$ . Определить время, по истечении которого, температура в центре пластин будет равна  $60^{\circ}\text{С}$ .

23. Стальной слиток, имеющий форму параллелепипеда с размерами  $100 \times 200 \times 300 \text{ мм}$  имел начальную температуру  $t_0 = 20^{\circ}\text{С}$ , затем был помещен в печь с температурой  $1500^{\circ}\text{С}$ . Определить температуру в центре слитка через  $\tau=1,5$  часа после загрузки его в печь. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности стали соответственно равны  $\lambda=37,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$ ,  $a = 6,94\cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , а коэффициент теплоотдачи на поверхности слитка  $\alpha = 165 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$ .

24. Бетонная колонна охлаждается в воздухе, имеющем температуру  $t_0 = -20^{\circ}\text{С}$ . Начальная температура бетонной колонны  $30^{\circ}\text{С}$ . Радиус колонны  $r = 0,4\text{м}$ . Физические параметры бетона:  $\lambda = 0,87 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^{\circ}\text{С})$ ,  $\rho = 2100 \text{ кг}/\text{м}^3$ ,  $c = 0,88 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{С})$ . Коэффициент теплоотдачи от колонны к воздуху  $\alpha = 8 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{С})$ . Определить температуры поверхности колонны и ее середины через 6 и 12 часов после начала охлаждения.

25. Длинный стальной вал диаметром 150мм помещен в печь с температурой 870<sup>0</sup>С. Начальная температура вала 30<sup>0</sup>С. Нагрев закончен после того, как температура на поверхности вала достигла 840<sup>0</sup>С.

$\lambda = 40 \text{ Вт/(м}^0\text{С)}$ ,  $a = 6,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2\text{/с}$ ,  $\alpha = 16 \text{ Вт/(м}^2\cdot^0\text{С)}$ . Найти время нахождения вала в печи и температуру в центре вала.

26. Кирпичная стена толщиной 0,5м равномерно с обеих сторон охлаждается воздухом. Коэффициент теплоотдачи от стены к воздуху  $\alpha = 9 \text{ Вт/(м}^2\cdot^0\text{С)}$ . Физические параметры кирпичной кладки:  $\lambda = 0,75 \text{ Вт/(м}^0\text{С)}$ ,  $\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ ,  $c = 0,85 \text{ кДж/(кг}^0\text{С)}$ . Начальная температура стены 30<sup>0</sup>С, температура окружающего воздуха 8<sup>0</sup>С. Определить температуры поверхностей через 6, 12 и 24 часа после начала охлаждения.

27. Стальная болванка цилиндрической формы диаметром  $d = 80 \text{ мм}$  и длиной  $l = 160 \text{ мм}$  в начальный момент времени имела температуру 800<sup>0</sup>С. Болванка охлаждается на воздухе, который имеет температуру 30<sup>0</sup>С. Определить температуру в центре болванки через  $\tau = 30 \text{ мин}$ . после начала охлаждения. Коэффициенты теплопроводности и температуропроводности соответственно равны:  $\lambda = 23,3 \text{ Вт/(м}^0\text{С)}$ ,  $a = 6,11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2\text{/с}$ . Коэффициент теплоотдачи от поверхности болванки  $\alpha = 118 \text{ Вт/(м}^2\cdot^0\text{С)}$ .

28. Определить коэффициент теплоотдачи в условиях малого числа Био от поверхности цилиндрического калориметра, геометрические размеры которого равны:  $H = 0,066 \text{ м}$ ,  $R = 0,022 \text{ м}$ . Удельная теплоемкость стали, из которой выполнен калориметр составляет 0,44 кДж/(кг<sup>0</sup>С), а темп охлаждения  $2,5 \cdot 10^{-4} \text{ сек}^{-1}$ .

29. Цилиндр из льда диаметром 5 см, охлаждается до температуры -10<sup>0</sup>С, помещается в камеру с температурой 5<sup>0</sup>С. Через сколько времени он начнет таять, если коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 8 \text{ Вт/(м}^2\cdot^0\text{С)}$ ,  $\lambda$  льда = 1,9 Вт/(м<sup>2</sup>·<sup>0</sup>С),  $a = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2\text{/с}$ .

30. Образец из влажной глины выполнен в виде цилиндра  $d = 48 \text{ мм}$  и  $l = 70 \text{ мм}$ . Найти коэффициент температуропроводности и коэффициент неравномерности  $\Psi$ , если  $c_p = 1,25 \text{ кДж/(кг}^0\text{С)}$ ,  $\rho = 2020 \text{ кг/м}^3$ ,  $\alpha_\infty = 1500 \text{ Вт/(м}^2\cdot^0\text{С)}$ . Образец охлаждается в среде с постоянной температурой -20<sup>0</sup>С. Темп охлаждения  $m = 25,1 \text{ 1/час}$ .

31. Определить потерю теплоты путем конвекции вертикальным неизолированным паропроводом диаметром  $d = 100 \text{ мм}$  и высотой 3 м, если температура воздуха 30<sup>0</sup>С, а температура наружной стенки 170<sup>0</sup>С.

32. Определить средний коэффициент теплоотдачи в поперечном потоке воды для трубки  $d = 20 \text{ мм}$ , если температура воды  $t_{ж} = 20^0\text{С}$ , температура степени 40<sup>0</sup>С, скорость - 0,5 м/с.

33. Коэффициент теплоотдачи пятого ряда шахматного пучка равен  $60 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ , поверхность теплообмена в каждом ряду одна и та же. Как изменится средний коэффициент теплоотдачи пучка, если в пучке вместо пяти установить 15 рядов?

34. Определить потерю теплоты в окружающую среду конвективным теплообменом от горизонтального неизолированного паропровода диаметром 100 мм и длиной 25 м с температурой наружной поверхности  $115^\circ\text{С}$ , если температура воздуха  $15^\circ\text{С}$ . Как изменится потеря теплоты трубопроводом, если его температуру снизить до  $80^\circ\text{С}$ , заменив пар водой?

35. По трубопроводу с внутренним диаметром 50 мм протекает вода со скоростью 0,8 м/с при средней температуре  $50^\circ\text{С}$ . Температура стенки трубы  $65^\circ\text{С}$ . Определить потерю теплоты с поверхности 1 м трубы.

36. В трубе (образце) движется водяной пар давлением 6 бар и температурой  $250^\circ\text{С}$ , скорость движения пара 25 м/с. Чему должна быть равна скорость воды в гидродинамической модели, размеры которой составляют 1/10 от размеров образца? Температура воды  $20^\circ\text{С}$ .

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

$V_m, \text{ м/с} \dots\dots\dots$	2,0	3,14	4,65	8,8
$\alpha_m, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}) \dots\dots\dots$	50,4	68,6	90,6	141

Средняя температура воздуха, проходящего через модель,  $t_{ж.м} = 20^\circ\text{С}$ . При  $t_{ж.м} = 20^\circ\text{С}$  для воздуха  $\lambda_{ж} = 0,026 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{С})$  и  $\nu_{ж} = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ . Диаметр трубок модели  $d_m = 12,5 \text{ мм}$ . Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_m$  при обработке опытных данных был отнесен к средней арифметической разности температур между жидкостью и стенкой.

На основе данных, полученных на модели, найти формулу для расчета теплоотдачи конвекцией в первом газоходу котла в виде зависимости  $Nu = f(Re)$ .

38. Определить коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося сухого насыщенного водного пара к вертикальной трубе высотой 1 м, если температура ее поверхности  $100^\circ\text{С}$ , а давление насыщенного пара  $p = 1,5 \text{ бар}$ .

39. Определить количество сухого насыщенного пара, которое сконденсируется за 6 часов на горизонтальной трубке диаметром 3 м, если температура поверхности  $21^\circ\text{С}$ , а давление пара 0,05 бар.

40. Найти коэффициент теплоотдачи от конденсирующегося сухого насыщенного водяного пара к вертикальной трубе высотой 1,2 м, если температура ее поверхности  $101^\circ\text{С}$ , а давление пара  $p = 2,5 \text{ бар}$ .

41. Определить первую критическую плотность теплового потока при кипении воды в большом объеме при давлении  $1 \cdot 10^5$  и  $100 \cdot 10^5$  Па.

42. Определить коэффициент теплоотдачи при конденсации водяного пара при атмосферном давлении на поверхности горизонтальной трубы  $d = 16$  мм, если температура поверхности трубы  $t_c = 80^\circ\text{C}$ .

43. Определить тепловой поток  $Q$  и количество образовавшегося конденсата при конденсации водяного пара при атмосферном давлении на поверхности горизонтальной трубы диаметром  $d = 20$  мм, длиной  $l = 1$  м; температура поверхности трубы  $t_c = 80^\circ\text{C}$ .

44. Определить коэффициент теплоотдачи при конденсации водяного пара при атмосферном давлении на поверхности вертикальной трубы диаметром  $d = 16$  мм, высотой  $h = 3$  м. Температура поверхности трубы  $t_{\text{ст}} = 80^\circ\text{C}$ .

45. На наружной поверхности горизонтальной трубы диаметром  $d=20$  мм и длиной 2 м конденсируется сухой насыщенный пар. Как изменится коэффициент теплоотдачи при вертикальном расположении трубы, если режим стекания пленки сохранится ламинарным?

46. Как будет отличаться коэффициент теплоотдачи при конденсации сухого насыщенного пара двух труб, расположенных горизонтально, если диаметр одной трубы в 2 раза больше, чем другой, а все другие условия одинаковы? Режим стекания конденсата ламинарный.

47. Определить поверхность котла, необходимую для получения из кипящей воды 500 кг/ч сухого насыщенного пара при абсолютном давлении 0,3МПа, если температура поверхности нагрева  $141^\circ\text{C}$ .

48. Кипящая вода в большом объеме находится при давлении 30 бар. Разность между температурой стенки и температурой насыщения составляет  $3^\circ\text{C}$ . Как изменится коэффициент теплоотдачи и удельная тепловая нагрузка, если температурный напор увеличить в 5 раз, а давление оставить прежним?

49. Определить количество конденсата, образовавшегося за  $\tau = 30$  минут на поверхности вертикальной трубы высотой  $h = 1$  м и наружным диаметром  $d = 50$  мм. Конденсируется сухой насыщенный пар при давлении  $p = 10^5$  Па. Температура поверхности трубы  $90^\circ\text{C}$ .

50. Определить коэффициент теплоотдачи при пленочной конденсации сухого насыщенного водяного пара на горизонтальной трубе  $d = 28$  мм, длиной  $l = 2,5$  м. Давление пара  $p = 1,43 \cdot 10^5$  Па, температура трубы  $t_c = 103^\circ\text{C}$ . Определить также количество конденсата сконденсировавшегося пара за 1 час.



51. Определить поверхность нагрева котла, необходимую для получения из кипящей воды 300 кг/ч сухого насыщенного пара при абсолютном давлении 0,3 МПа, если температура поверхности нагрева 141<sup>0</sup>С.

52. Определить коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока при давлении кипящей воды 12 бар и температуре поверхности нагрева 200<sup>0</sup>С.

53. Кипящая вода в большом объеме находится под давлением 35 бар. Разность между температурой степени и температурой насыщения составляет 3<sup>0</sup>С. Как изменится коэффициент теплоотдачи и плотность теплового потока, если температурный напор увеличить в 5 раз, а давление оставить прежним?

54. Поверхность стального изделия имеет температуру 720<sup>0</sup>С и степень черноты  $\varepsilon = 0,7$ . Излучающую поверхность можно считать серой. Вычислить плотность собственного излучения поверхности изделия и длину волны, которой будет соответствовать максимальное значение спектральной интенсивности излучения.

55. Определить излучательную способность поверхности Солнца, если известно, что ее температура равна 5700<sup>0</sup>С и условия излучения близки к излучению абсолютно черного тела.

56. Определить количество тепла, передаваемого плоской стенкой, площадь которой равна 1 м<sup>2</sup>, к параллельной стенке. Температуры стенок соответственно равны 900 и 300<sup>0</sup>С, степень черноты обеих стенок 0,8. Между стенками установлен экран со степенью черноты  $\varepsilon_s = 0,1$ .

57. Определить количество тепла, передаваемого  $F = 1$  м<sup>2</sup> плоской стенкой с температурой 800<sup>0</sup>С к параллельной стенке с температурой 200<sup>0</sup>С, если между ними установлен экран; степени черноты обеих пластин и экрана равна 0,8.

58. Два абсолютно черных тела имеют температуры  $t_1 = 830^0\text{C}$  и  $t_2 = 520^0\text{C}$ . Определить длины волн, для которых интенсивность излучения этих тел будет наибольшей.

59. Количество теплоты, теряемой 1 кв.м паропровода за 1 с путем излучения, равно  $q = 1200$  Вт/м<sup>2</sup>. Температура поверхности паропровода равна 527<sup>0</sup>С. Температура окружающей среды 27<sup>0</sup>С. Диаметр паропровода 0,3 м. Определить степень черноты паропровода.

60. Во сколько раз увеличится максимум интенсивности абсолютно черного тела, если температура его поверхности возрастет в 2 раза?

61. Температура поверхности тела, которое можно считать серым равна 527<sup>0</sup>С. При этой температуре максимальное значение спектральной интенсивности излучения  $I_{\lambda, \max} = 1,37 \cdot 10^{10}$  Вт/м<sup>2</sup>. Определить степень черноты тела

и длину волны, при которой наблюдается максимум спектральной интенсивности.

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

63. Две плоскопараллельные поверхности, разделенные прозрачной средой, имеют соответственно температуры  $1000 \text{ К}$  и  $400 \text{ К}$  и одинаковые коэффициенты черноты, равные  $0,8$ . Расстояние между поверхностями мало по сравнению с их размерами. Вычислить плотность теплового потока излучением между поверхностями.

64. Две плоскопараллельные поверхности безграничных размеров разделены прозрачной средой и имеют температуры  $900 \text{ К}$  и  $350 \text{ К}$ . Найти плотность результирующего потока, если между ними установить два экрана, коэффициенты излучения поверхностей и экранов соответственно равны  $4,5$  и  $1,5 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$ .

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

66. Определить расход пара на обогрев воды в пароводяном теплообменнике при условии, что весь пар в теплообменнике превращается в конденсат, находящийся в состоянии насыщения при давлении греющего пара. Найти площадь поверхности нагрева. Представить схематично графики изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности нагрева. Потерями теплоты через стенки теплообменника в окружающую среду пренебречь. Исходные данные для расчета: расход воды в пароводяном теплообменнике –  $20 \text{ кг/с}$ ; температура воды на входе –  $40^{\circ}\text{C}$ , на выходе –  $90^{\circ}\text{C}$ ; степень сухости греющего пара –  $x = 0,98$ ; давление греющего пара –  $0,15 \text{ МПа}$ ; коэффициент теплопередачи –  $k = 2500 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$ .

67. Вычислить тепловой поток, передаваемый в теплообменнике площадью  $F = 3 \text{ м}^2$ , и температуры теплоносителей на выходе, если температуры на входе соответственно равны  $t_1 = 150^{\circ}\text{C}$ ,  $t_2 = 35^{\circ}\text{C}$ . Коэффициент теплопередачи  $k = 700 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C)}$ . Расходы теплоносителей  $G = 20 \text{ кг/с}$ ,  $G = 30 \text{ кг/с}$ , теплоемкости  $c_{p1} = 2,445 \text{ кДж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$ ,  $c_{p2} = 4,187 \text{ кДж/(кг} \cdot ^{\circ}\text{C)}$ . Расчеты выполнять для прямо- и противоточной схем движения теплоносителей.

68. Определить поверхность нагрева рекуперативного теплообменника и объемный расход продуктов сгорания при прямоточной и противоточной схемах движения теплоносителей, если объемный расход подогреваемого воздуха при нормальных условиях  $V_B = 15000 \text{ м}^3/\text{ч}$ , средний коэффициент теплопередачи от продуктов сгорания к воздуху  $k = 18 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  начальные и конечные температуры продуктов сгорания  $t'_1 = 500^\circ\text{С}$ ,  $t''_1 = 250^\circ\text{С}$ , а воздуха  $t'_2 = 10^\circ\text{С}$ ,  $t''_2 = 90^\circ\text{С}$ .

69. Определить общую длину труб противоточного маслоохладителя типа “труба в трубе”, изготовленных из углеродистой стали толщиной 3 мм. Трансформаторное масло, протекая по внутренней трубе диаметром  $d = 60 \text{ мм}$ , охлаждается от температуры  $t'_1 = 92^\circ\text{С}$  до  $t''_2 = 62^\circ\text{С}$ . Расход масла  $G_1 = 6,8 \text{ т/с}$ . Охлаждаемая вода, протекая по кольцевому зазору со скоростью  $V = 1,4 \text{ м/с}$ , нагревается от  $t'_1 = 24^\circ\text{С}$  до  $t''_2 = 40^\circ\text{С}$ .

70. В теплообменнике сухой насыщенный пар давлением 5 бар конденсируется на внешней поверхности труб. Вода, движущаяся по трубам, нагревается от 20 до  $70^\circ\text{С}$ . Определить среднелогарифмический температурный напор.

71. Определить поверхность нагрева противоточного рекуперативного теплообменника, необходимого для передачи  $8 \cdot 10^3 \text{ кВт}$  тепла, если температура газа на входе в теплообменник  $380^\circ\text{С}$ , на выходе  $210^\circ\text{С}$ , температура воздуха на входе  $150^\circ\text{С}$ . Расходы и теплоемкости газа и воздуха одинаковы, а коэффициент теплопередачи равен  $90 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Можно ли осуществить заданный подогрев воздуха по прямоточной схеме включения теплообменника?

72. Секундный расход охлаждаемой жидкости в теплообменном аппарате равен  $0,1 \text{ кг/с}$ , начальная температура жидкости  $120^\circ\text{С}$ , удельная теплоемкость  $3 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ . Поверхность теплообменника  $7 \text{ м}^2$ . Для охлаждения имеется  $0,3 \text{ кг/с}$  воды при температуре  $5^\circ\text{С}$ . Коэффициент теплопередачи  $k = 575 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Определить конечные температуры жидкостей и количество передаваемого тепла, если теплообменник выполнен по схеме противотока.

73. Требуется охладить  $0,33 \text{ кг/с}$  воды от температуры 95 до температуры  $35^\circ\text{С}$ . Для охлаждения используется  $0,64 \text{ кг/с}$  холодной воды при температуре  $12^\circ\text{С}$ . Определить площадь поверхности теплообмена, если коэффициент теплопередачи равен  $750 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Какая из двух схем: прямоток и противоток, приемлема в данном случае?

74. Противоточный теплообменник с поверхностью теплообмена  $30 \text{ м}^2$  используется для охлаждения воды с температурой  $70^\circ\text{С}$ . В качестве охла-

ждающей жидкости используется вода с начальной температурой  $30^{\circ}\text{C}$ . Определить конечную температуру охлаждаемой жидкости, если расход холодной и горячей воды одинаков и равен  $0,01 \text{ м}^3/\text{с}$ , а коэффициент теплопередачи равен  $850 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ .

75. Требуется охладить воду, расход которой равен  $0,12 \text{ кг}/\text{с}$ , от  $90$  до  $40^{\circ}\text{C}$ . Для ее охлаждения используется вода при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ , расход которой составляет  $0,10 \text{ кг}/\text{с}$ . Определить площадь поверхности теплообмена, если коэффициент теплопередачи равен  $850 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Какую схему нельзя применять в данном случае прямотока или противотока?

76. В теплообменнике охлаждаемая жидкость имеет начальную температуру  $150^{\circ}\text{C}$ . Ее расход составляет  $0,10 \text{ кг}/\text{с}$ , удельная теплоемкость  $3 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ . Для охлаждения используется вода при температуре  $15^{\circ}\text{C}$ , расход которой составляет  $0,5 \text{ кг}/\text{с}$ . Коэффициент теплопередачи равен  $200 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ; поверхность теплообмена  $8 \text{ м}^2$ . Вычислить конечные температуры жидкостей и количество передаваемого тепла, если теплообменник устроен по схеме противотока.

77. Расход воды, охлаждаемой в теплообменнике от  $80$  до  $40^{\circ}\text{C}$ , равен  $0,28 \text{ кг}/\text{с}$ . Для охлаждения используется вода с температурой  $5^{\circ}\text{C}$ , расход которой составляет  $0,40 \text{ кг}/\text{с}$ . Коэффициент теплопередачи равен  $800 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ . Определить поверхность при прямотоке и противотоке.

78. Определить конечные температуры, а также количество передаваемого тепла  $Q$  в теплообменнике с поверхностью нагрева  $F = 1,2 \text{ м}^2$ . Коэффициент теплопередачи  $k = 1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ ,  $t_1 = 150^{\circ}\text{C}$ ,  $t_2 = 20^{\circ}\text{C}$  и водяные эквиваленты  $W_1 = 500 \text{ Вт}/\text{К}$ ;  $W_2 = 1000 \text{ Вт}/\text{К}$ . Теплообменник включен по прямоточной схеме.

79. Для заданных и конечных температур теплоносителей:  $t_1' = 180^{\circ}\text{C}$ ,  $t_2' = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $t_1'' = 120^{\circ}\text{C}$ ,  $t_2'' = 80^{\circ}\text{C}$ . Определить средние температурные напоры для теплообменников, включенных по прямоточной, противоточной и перекрестной схемам.

80. В трубчатом пароводяном теплообменнике сухой насыщенный водяной пар с давлением  $p = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$  конденсируется на внешней поверхности труб. Вода, движущаяся по трубам, нагревается от  $20$  до  $90^{\circ}\text{C}$ . Определить среднелогарифмический температурный напор.

81. В противоточный водоводяной теплообменник, имеющий площадь поверхности нагрева  $F = 2 \text{ м}^2$ , греющая вода поступает с температурой  $85^{\circ}\text{C}$ ; ее расход  $G_1 = 2000 \text{ кг}/\text{ч}$ . Расход нагреваемой воды  $G_2 = 1500 \text{ кг}/\text{ч}$ , ее температура на входе  $25^{\circ}\text{C}$ . Определить количество передаваемой теплоты и ко-

нечные температуры теплоносителей, если известно, что коэффициент теплопередачи  $k = 1400 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

82. В трубчатом пароводяном теплообменнике сухой насыщенный водяной пар с давлением  $p = 3,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$  конденсируется на внешней поверхности труб. Вода, движущаяся по трубам, нагревается от  $25$  до  $95^\circ\text{C}$ . Определить расход пара, если расход воды  $G_1 = 8 \text{ т/ч}$ .

83. До какой температуры будет нагреваться вода в маслоохладителях, если расход масла и воды одинаковы  $G_1 = G_2$ ? Температуры масла на входе и выходе соответственно равны  $t_1' = 70^\circ\text{C}$ ,  $t_1'' = 30^\circ\text{C}$ . Температура охлаждающей воды на входе  $t_2' = 20^\circ\text{C}$ .

84. В теплообменнике необходимо охладить воду в количестве  $0,15 \text{ кг/с}$  от  $70^\circ\text{C}$  до  $50^\circ\text{C}$ , за счет воды при начальной температуре  $5^\circ\text{C}$ . Расход охлаждающей воды равняется  $0,5 \text{ кг/с}$ . Определить необходимую поверхность теплообмена, если схема движения противоточная и коэффициент теплопередачи равняется  $500 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ .

### **Перечень типовых вариантов тестовых заданий для текущего тестирования**

#### **Вариант 1**

1. В каких телах возможна теплопроводность в чистом виде?
  - а) в твердых*
  - б) жидких*
  - в) газообразных*
2. Дать понятие температурного поля.
3. Граничными условиями первого рода задается:
  - а) значение теплового потока для каждой точки поверхности*
  - б) закон теплообмена между поверхностью и окружающей средой*
  - в) распределение температуры по поверхности тела*
4. Дать понятие теплового потока.
5. От чего зависит коэффициент теплоотдачи?
  - а) коэффициента объемного расширения  $\beta$*
  - б) теплоемкости  $c$*
  - в) вязкости  $\mu$*
6. Понятие тепловой проводимости стенки, единицы измерения.

#### **Вариант 2**

1. Как называется процесс передачи тепла от горячей жидкости к холодной через разделяющую их стенку?
  - а) конвективным теплообменом*

б) теплопередачей

в) радиационно-кондуктивным теплообменом

2. Дать понятие температурного градиента.

3. В каких единицах измеряется плотность теплового потока?

а) Вт

б) Вт/м

в) Вт/м<sup>2</sup>

г) Вт/м<sup>3</sup>

4. Цель получения дифференциального уравнения теплопроводности.

5. Закон Ньютона-Рихмана используют:

а) для расчета теплопроводности

б) для расчета теплоотдачи конвекцией

в) для расчета теплового излучения

6. Понятие термического сопротивления стенки, единицы измерения.

### Вариант 3

1. Совокупность значений температур во всех точках изучаемого пространства называется:

а) тепловым потоком

б) температурным полем

в) поверхностной плотностью теплового потока

2. Что такое плотность теплового потока?

3. Чему равно термическое сопротивление стенки если её толщина  $\delta$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$  ?

а)  $\delta/\alpha$

б)  $\delta\lambda$

в)  $(\delta\lambda)^{0,5}$

г)  $\delta^2/\lambda$

4. Записать дифференциальное уравнение теплопроводности в случае трехмерного температурного поля при наличии внутренних источников теплоты.

5. Как определяют величину коэффициента теплоотдачи?

а) на основе закона сохранения энергии

б) из таблиц теплофизических величин

в) на основе эксперимента

6. Дать понятие эквивалентного коэффициента теплопроводности.

### Вариант 4

1. Что такое однородная среда?

- а) среда, состоящая из чистого вещества или из смеси веществ  
 б) среда, физические свойства которой являются функцией направления  
 в) среда, физические свойства которой в различных точках одинаковы при одинаковых температуре и давлении
2. Записать основной закон теплопроводности.
3. Как направлен градиент температуры?  
 а) параллельно изотермической поверхности  
 б) по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры  
 в) по нормали к изотермической поверхности в сторону убывания температуры  
 г) в произвольном направлении, пересекающем изотермические поверхности
4. Записать дифференциальное уравнение теплопроводности в случае трехмерного температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты.
5. Запишите единицы измерения тепловой проводимости стенки.  
 а)  $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$   
 б)  $\text{Вт}/\text{м}^2$   
 в)  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
6. Коэффициент теплопередачи, единицы измерения.

### **Вариант 5**

1. Производная температуры по нормали к изотермической поверхности называется:  
 а) разностью температур  
 б) температурным градиентом  
 в) нормалью температуры
2. Дать понятие конвекции.
3. Какую размерность имеет коэффициент теплоотдачи  $\alpha$ ?  
 а)  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$   
 б)  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$   
 в)  $\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{К})$   
 г)  $\text{Дж}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$
4. Записать дифференциальное уравнение теплопроводности в случае двухмерного температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты.
5. Термическое сопротивление стенки – это :  
 а) отношение теплопроводности стенки к ее толщине

- б) разность температур наружных поверхностей стенки*
  - в) падение температуры в стенке на единицу плотности*
6. Термическое сопротивление теплопередачи, единицы измерения.

### **Вариант 6**

1. Что такое стационарное температурное поле?

- а) это совокупность значений температур во всех точках изучаемого пространства*
- б) это поле, температура в каждой точке которого неизменна с течением времени*
- в) это поле, отвечающее неустановившемуся тепловому режиму*

2. Дать понятие теплового излучения.

3. По какому закону изменяется температура по толщине цилиндрической стенки?

- а) линейному*
- б) параболическому*
- в) логарфмическому*
- г) гиперболическому*

4. Записать дифференциальное уравнение теплопроводности в случае одномерного температурного поля при отсутствии внутренних источников теплоты.

5. Коэффициентом пропорциональности в законе Фурье является:

- а)  $\alpha$*
- б)  $\lambda$*
- в)  $\beta$*

5. По какому закону рассчитывается теплопередача через однослойную плоскую стенку?

- а) Фурье*
- б) Ньютона-Рихмана*
- в) Закону сохранения энергии*

6. Термическое сопротивление теплоотдачи, единицы измерения.

### **Вариант 7**

1. Единицы измерения температурного градиента

- а) Вт/м<sup>2</sup>*
- б) град/м*
- в) 1/К*

2. Что такое свободная и вынужденная конвекция?

3. Температура стенки  $t_{ст}$ , ее площадь  $F$ , температура жидкости  $t_{ж}$ . Чему равен тепловой поток?



а)  $\lambda F(t_{cm} - t_{жс})$

б)  $\lambda F t_{cm} / t_{жс}$

в)  $\alpha F(t_{cm} - t_{жс})$

г)  $\alpha F t_{cm} / t_{жс}$

4. С какой целью условия однозначности присоединяются к дифференциальному уравнению теплопроводности?

5. Расчетные уравнения теплопередачи зависят от

а) *толщины стенки*

б) *температуры поверхностей стенки*

в) *формы стенки, разделяющей теплоносители*

6. Критический диаметр изоляции.

### **Вариант 8**

1. Закон Фурье устанавливает пропорциональность между количеством переданной теплоты и :

а) *температурой*

б) *давлением*

в) *скоростью теплового потока*

2. Дать понятие коэффициента теплопроводности?

3. При расчете конвективного теплообмена подобие каких явлений учитывается числом Рейнольдса?

а) *гидромеханических при вынужденном движении?*

б) *гидромеханических при свободном движении*

в) *связанных с длительностью процесса теплообмена*

г) *связанных с теплопроводностью жидкости*

4. В чем заключаются граничные условия третьего рода?

5. Единицы измерения коэффициента температуропроводности:

а)  $m^2 \cdot K / Вт$

б)  $Вт / m^2$

в)  $Вт / (m^2 \cdot K)$

г)  $m^2 / c$

6. Целесообразность наложения изоляции.

### **Вариант 9**

1. Коэффициент теплопроводности газов зависит от:

а) *средней скорости перемещения молекул газа*

б) *теплоемкости газа*

в) *молекулярной массы*

2. Дать понятие коэффициента температуропроводности.

3. Коэффициентом пропорциональности в законе Ньютона-Рихмана является:

- а)  $\alpha$
- б)  $\lambda$
- в)  $\beta$

4. Для чего к дифференциальному уравнению теплопроводности присоединяются начальные и граничные условия?

5. В каких единицах измеряется коэффициент теплопроводности?

- а) Вт/м
- б) Вт/м К
- в) Дж/К
- г) Вт/м<sup>2</sup>К
- д) Вт/м<sup>2</sup>
- е) правильного ответа нет

6. Определите условие эффективности применения изоляции на трубопроводе.

### Вариант 10

1. По какому закону можно рассчитать теплопроводность?

- а)  $Q = \alpha (T_1 - T_2) F \tau$
- б)  $q = -\lambda \text{ grad } t$
- в)  $m = -D \text{ grad } c_i$
- г)  $M = \beta(C_1 - C_2) \cdot F \tau$

2. Дать понятие объемной плотности теплового потока.

3. Какой материал из перечисленных имеет наибольший коэффициент теплопроводности?

- а) сталь углеродистая
- б) сталь нержавеющая
- в) медь
- г) стекло

4. Перечислите три способа задания граничных условий.

5. По какому закону рассчитывается теплопередача через однослойную плоскую стенку?

- а) Фурье
- б) Ньютона-Рихмана
- в) Закону сохранения энергии

6. Почему, как правило, трубопроводы малых диаметров не изолируют?

## Перечень типовых экзаменационных вопросов для экзамена

1. Способы тепло- и массопереноса (теплопроводность, конвекция, тепловое излучение).
2. Модельные представления о среде, в которой происходят процессы теплообмена.
3. Методы изучения физических явлений.
4. Понятия температурного поля и температурного градиента.
5. Теплопроводность. Закон Фурье.
6. Коэффициент теплопроводности газов, жидкостей, твердых тел.
7. Дифференциальное уравнение теплопроводности, коэффициент температуропроводности.
8. Условия однозначности для процессов теплопроводности, граничные условия 1-го, 2-го, 3-го рода.
9. Теплопроводность однослойной плоской стенки, термическое сопротивление стенки.
10. Теплопроводность многослойной плоской стенки, эквивалентный коэффициент теплопроводности.
11. Теплопередача через однослойную плоскую стенку, коэффициент теплопередачи.
12. Теплопередача через многослойную плоскую стенку.
13. Теплопроводность цилиндрической однослойной стенки.
14. Теплопроводность цилиндрической многослойной стенки.
15. Теплопередача через цилиндрическую стенку.
16. Критический диаметр тепловой изоляции.
17. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты.
18. Нестационарные процессы теплопроводности, критерий Фурье.
19. Основные положения теории регулярного теплового режима.
20. 1-ая и 2-ая теоремы Кондратьева.
21. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана.
22. Коэффициент теплоотдачи.
23. Физические свойства жидкости (газа): коэффициенты вязкости, сжатия, объемного расширения.
24. Гидродинамический и тепловой пограничные слои.
25. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена.
26. Основные положения теории подобия физических явлений.
27. 1-я, 2-я и 3-я теорема подобия, определяющие и определяемые критерии подобия.

28. Условия подобия конвективного теплообмена при вынужденном движении теплоносителя (критерии  $Nu$ ,  $Re$ ,  $Pr$ ) .

29. Условия подобия процессов теплообмена при естественной конвекции (критерии  $Nu$ ,  $Gr$ ,  $Pr$ ).

30. Условия подобия процессов конвективного теплообмена при совместном свободно-вынужденном движении теплоносителя (критерии  $Nu$ ,  $Re$ ,  $Gr$ ,  $Pr$ ,  $Eu$ ).

31. Преобразованные критерии и уравнения подобия.

32. Обобщение опытных данных на основе теории подобия.

33. Особенности движения и теплообмена в трубах.

34. Теплоотдача при течении в гладких трубах круглого поперечного сечения при ламинарном режиме.

35. Теплоотдача при течении в гладких трубах круглого поперечного сечения при турбулентном режиме.

36. Теплоотдача в трубах некруглого поперечного сечения.

37. Теплоотдача в изогнутых трубах.

38. Теплоотдача в шероховатых трубах.

39. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании одиночной круглой трубы.

40. Теплоотдача при поперечном омывании пучков труб.

41. Теплоотдача при свободном движении жидкости вдоль вертикальной пластины, изменение коэффициента теплоотдачи от режима движения.

42. Теплоотдача при свободном движении около горизонтальной трубы.

43. Теплоотдача при очень малых значениях комплекса  $GrPr$ .

44. Теплообмен при свободном движении жидкости в ограниченном пространстве.

45. Теплообмен при конденсации чистого пара (общие положения, виды конденсации)

46. Теплообмен при кипении однокомпонентных жидкостей.

47. Скорость роста пузырьков, число Якоба.

48. Факторы, влияющие на теплообмен при кипении.

49. Структура потока и теплоотдача при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме.

50. Структура двухфазного потока и теплообмен при кипении жидкости внутри труб (вертикальная и горизонтальная трубы).

51. Кризисы кипения.

52. Кризисы 1-го и 2-го рода.

53. Массообмен в двухкомпонентных средах (основные понятия).

54. Закон Фика.

55. Диффузионные эффекты (Соре, Дюфо, бародиффузия).
56. Аналогия процессов теплообмена и массообмена.
57. Основной закон массоотдачи.
58. Тепло-и массообмен при химических превращениях.
59. Тепловое излучение, основные понятия, виды лучистых потоков.
60. Законы теплового излучения (Стефана-Больцмана, Ламберта, Кирхгофа, Планка, Вина).
61. Теплообмен излучением между твердыми телами, разделенными прозрачной средой.
62. Теплообмен в поглощающих и излучающих средах.
63. Сложный теплообмен.
64. Критерии радиационного подобия.
65. Теплообменные аппараты, общая классификация.
66. Поверхностные и смесительные теплообменники.
67. Варианты схем движения теплоносителей.
68. Определение среднего температурного напора.
69. Теплоносители, общая классификация.

**Критерии выставления оценки студенту на экзамене  
по дисциплине «Тепломассообмен»:**

<b>Баллы</b> (рейтинго- вой оцен- ки)	<b>Оценка за- чета/ экза- мена</b> (стандартная)	<b>Требования к сформированным компетенциям</b>
100-86	«зачтено»/ «отлично»	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, знает понятия и законы процессов теплопроводности, конвективного теплообмена в однофазной среде, теплообмена при фазовых превращениях, лучистого теплообмена, молекулярной диффузии и конвективного массообмена, необходимые в области экспериментального и расчетно-теоретического исследования процессов тепло- и массообмена в различных аппаратах и устройствах, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, рассчитывать процессы тепломассопереноса по формулам, приводимым в соответствующей учебной и справочной литературе, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения прак-

Баллы (рейтинго- вой оцен- ки)	Оценка за- чета/ экза- мена (стандартная)	Требования к сформированным компетенциям
		<p>тических задач. Владеет навыками экспериментального исследования процессов теплопереноса, протекающих в конкретных технических системах. Отлично владеет теоретическими знаниями и умеет их использовать на практике, основываясь при этом не только на лекционный материал, а ставя в основу информацию и навыки, приобретенные при самостоятельной работе.</p>
85-76	«зачтено»/ «хорошо»	<p>Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения. Достаточно уверенно оперирует специальными техническими терминами. Хорошо владеет теоретическими знаниями.</p>
75-61	«зачтено»/ «удовлетворительно»	<p>Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ. Допускает при ответе ошибки и неточности не являющиеся критическими. Частично уверенно оперирует специальными техническими терминами. Удовлетворительно владеет теоретическими знаниями.</p>
60-50	«не зачтено»/ «неудовлетворительно»	<p>Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине. Допускает при ответе грубые ошибки, или не может логически выстроить ответ. Не умеет оперировать специальными техническими терминами. Показывает не знание большей части теоретического материала.</p>