



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

**ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ШКОЛА)**

«СОГЛАСОВАНО»

УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель ОП

Директор департамента компьютерно-интегрированных производственных систем

Бочарова А.А.  
(Ф.И.О. рук. ОП)

«29» января 2021 г.



Змеу К.В.  
(Ф.И.О. дир. деп.)

«29» января 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Моделирование процессов теплообмена**

**Направление подготовки: 15.04.03 Прикладная механика**

**Магистерская программа Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг**

**Форма подготовки (очная)**

курс   2   семестр   3    
лекции  18  час.  
практические занятия  18  час.  
лабораторные работы  18  час.  
в том числе с использованием МАО лек.  4  /пр.  6  /лаб.  6  час.  
всего часов аудиторной нагрузки  54  час.  
в том числе с использованием МАО  16  час.  
самостоятельная работа  54  час.  
в том числе на подготовку к экзамену -    час.  
контрольные работы (количество)  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены  
зачет  3  семестр  
экзамен    семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 07.07.2015 №12-13-1282

Рабочая программа обсуждена на заседании отделения Машиностроения, морской техники и транспорта протокол № 5 от «29» января 2021 г.

Директор отделения: к.т.н., доцент Грибиниченко М.В.

Составитель: к.ф.-м.н., профессор Амосова Е.В.

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

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

Директор отделения \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

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

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

Директор отделения \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

## **Цели и задачи освоения дисциплины**

Учебная дисциплина «Моделирование процессов теплообмена» предназначена для студентов 2 курса, обучающихся по направлению 15.04.03 «Прикладная механика», магистерская программа «Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг». Дисциплина входит в вариативную часть блока «Дисциплины (модули)» (Б1.В.02).

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 часов. Учебным планом предусмотрены практические занятия (54 часов), самостоятельная работа студента (54 часов). Дисциплина реализуется на 2 курсе в 3-м семестре. Форма контроля - зачет.

**Целью** изучения дисциплины «Моделирование процессов теплообмена» является формирование у студентов системы знаний, умений и навыков, необходимых для применения современных численных методов к решению задач механики деформируемого твердого тела и механики жидкости в научно-исследовательской и научно-педагогической деятельности.

### **Задачи дисциплины –**

1. систематизация и структурирование основных представлений в области приближенных методов решения задач механики;
2. освоение студентами основных методов решения задач механики деформируемого твердого тела и механики жидкости;
3. выработка у студентов навыков самостоятельной работы с основными современными пакетами прикладных программ.

Для успешного изучения дисциплины «Моделирование процессов теплообмена» у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции:

владение навыками работы с различными источниками информации: книгами, учебниками, справочниками, Интернет;

умение использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического и

компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях

знать фундаментальные законы природы, законы естественнонаучных дисциплин и механики в процессе профессиональной деятельности;

использовать для решения задач механики соответствующий физико-математический аппарат, аналитические методы и вычислительные средства;

знать основы компьютерных CAD-CAE технологий и экспериментальные методы контроля качества материалов, и механических систем.

В результате изучения данной дисциплины у обучающихся формируются следующие общекультурные и профессиональные компетенции.

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p>ОПК-2</p> <p>способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы</p>	Знает	основы современных аналитических, вычислительных и экспериментальных методов исследования в области прикладной механики
	Умеет	применять аналитические и экспериментальные методы исследования, а также средства компьютерного моделирования и конечно-элементного анализа в области прикладной механики
	Владеет	умением грамотно сочетать аналитические и экспериментальные методы исследования, а также средства компьютерного моделирования и конечно-элементного анализа для эффективного решения задач в области прикладной механики
<p>ПК-5</p> <p>способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, решать сложные</p>	Знает	методы математического и компьютерного моделирования и проведения расчетно-экспериментальных исследований в области прикладной механики на основе классических теорий и достижений современных технологий конечно-элементного анализа
	Умеет	вести разработку физико-механических, математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения теоретических и расчетно-экспериментальных исследований и решения научно-технических задач в области прикладной механики
	Владеет	современными конечно-элементными системами

<p>научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня)</p>		<p>вычислительной механики и компьютерного проектирования и инжиниринга (CAD/CAE-системы)</p>
<p>ПК-8 способностью самостоятельно овладеть современными вычислительными методами и пакетами прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена, создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности</p>	<p>Знает</p>	<p>требования контроля качества материалов, элементов и узлов машин и установок, механических систем различного назначения</p>
	<p>Умеет</p>	<p>применять вычислительные методы и пакеты прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена</p>
	<p>Владеет</p>	<p>навыками создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности на основе пакетов прикладных программ</p>
<p>ПК-9 способностью самостоятельно овладеть современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в</p>	<p>Знает</p>	<p>основы современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов</p>
	<p>Умеет</p>	<p>применять на практике современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов</p>

сложных технических системах; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Владеет	современными методами экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, тепломассообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
---	---------	---

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Моделирование процессов теплообмена» применяются следующие методы активного/ интерактивного обучения: «проблемная лекция», «групповая консультация»

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

### **Тема 1. Введение в тепломассообмен. Способы переноса теплоты. Основные определения, терминология (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 твёрдых тел. Тепловое взаимодействие потока жидкости с обтекаемой поверхностью твердого тела. Закон Ньютона-Рихмана. Теплопередача.

### **Тема 2. Одномерные стационарные задачи теплопроводности (2 часа)**

Дифференциальное уравнение теплопроводности. Условия однозначности. Коэффициент температуропроводности.

Перенос теплоты в плоской стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и

многослойную плоскую стенку. Термические сопротивления. Коэффициент теплопередачи.

Перенос теплоты в цилиндрической стенке при постоянном и переменном коэффициенте теплопроводности. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку. Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор эффективной изоляции по её критическому диаметру.

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

Оребрение поверхности нагрева как способ интенсификации процесса теплопередачи. Теплопередача через оребренную стенку. Коэффициент эффективности ребра. Перенос теплоты по стержню (ребру). Тепловой поток с поверхности стержня (ребра).

### **Тема 3. Одномерные линейные нестационарные задачи теплопроводности (2 часа)**

Нестационарные задачи теплопроводности. Метод разделения переменных решения линейного уравнения теплопроводности (Фурье). Безразмерная форма задачи о нестационарном температурном поле в охлаждаемой пластине. Число Био. Безразмерное время (число Фурье).

Температурное поле в процессе охлаждения (нагревания) бесконечно длинного цилиндра 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.

### **Тема 4. Введение в численные методы решения задач теплопроводности (2 часа)**

Итеративные и вариативные методы решения дифференциальных уравнений математической физики; метод конечных разностей и метод конечных элементов.

Метод контрольного объёма (Патанкар) применительно к решению одномерных стационарных и нестационарных задач теплопроводности.

### **Тема 5. Введение в конвективный теплообмен (2 часа)**

Математическое описание процесса конвективного теплообмена: дифференциальные уравнения энергии, движения, неразрывности. Условия однозначности, уравнение теплоотдачи. Дифференциальные уравнения конвективного теплообмена в приближении пограничного слоя

Безразмерный вид математического описания конвективного теплообмена. Безразмерные комплексы: число Рейнольдса, число Грасгофа, число Релея, число Нуссельта.

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

Экспериментальное изучение процессов конвективного теплообмена. Тепловое моделирование. Элементы теории подобия и размерности. Пи – теорема.

Турбулентность. Рейнольдсовы преобразования дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Турбулентная теплопроводность. Турбулентная вязкость. Турбулентное число Прандтля.

### **Тема 6. Внешняя задача конвективного теплообмена (2 часа)**

Теплообмен и сопротивление при ламинарном и турбулентном пограничном слое на пластине. Задачи Блазиуса и Польгаузена. Аналогия Рейнольдса. Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании трубы и пучка труб.



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

### **Тема 7. Конвективная теплоотдача при течении жидкости в трубах (каналах) (2 часа)**

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. Вязкостный и вязкостно-гравитационный режимы. Турбулентное движение в трубах. Формулы Михеева и Петухова. Интеграл Лайона

Теплоотдача при течении жидких металлов. Теплообмен сжимаемого газа. Теплообмен при сверх критическом состоянии жидкостей.

Интенсификация конвективного теплообмена при течении теплоносителя в трубах и каналах.

### **Тема 8. Теплоотдача при фазовых превращениях теплоносителя (2 часа)**

Теплообмен при конденсации пара. Плёночная и капельная конденсация. Теория Нуссельта. Поправочные коэффициенты к теории Нуссельта по Д.А. Лабунцову (на волновое течение и переменность физических свойств конденсата). Турбулентное течение плёнки конденсата – расчёт коэффициента теплоотдачи (формула Лабунцова). Влияние скорости пара, состояния поверхности, влажности и перегрева пара, примесей воздуха в паре.

### **Тема 9. Теплообмен при кипении жидкостей. (2 часа)**

Кривая кипения. Пузырьковое и плёночное кипение. Критический радиус пузырька. Скорость роста пузырька. Отрывной диаметр пузырька. Частота отрыва пузырьков. Расчёт коэффициента теплоотдачи при

пузырьковом кипении в большом объёме. Критические тепловые нагрузки при кипении. Теплоотдача при плёночном кипении.

Кипение в трубах. Режим течения парожидкостной смеси. Гидродинамика и теплообмен при кипении в трубах. Кризисы теплоотдачи первого и второго рода. Расчёт коэффициентов запаса до кризиса.

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

**Занятие 1. Теплопроводность плоского слоя при постоянном коэффициенте теплопроводности. Теплопроводность плоского слоя при переменном коэффициенте теплопроводности. Многослойная стенка (2 часа)**

**Занятие 2. Теплопередача через однослойную и многослойную стенку. Теплопередача через цилиндрическую и шаровую стенку.**

**Критический диаметр тепловой изоляции. Выбор тепловой изоляции цилиндра (шара). (2 часа)**

**Занятие 3. Температурное поле в телах с внутренними источниками теплоты. Температурное поле в ребре. Коэффициент эффективности ребра. Расчет теплоотдачи (теплопередачи) ребрѐнной поверхности теплообмена (плоская стенка, цилиндрическая поверхность). (2 часа)**

**Занятие 4, Нестационарные задачи теплопроводности. Метод Фурье применительно к телам простой геометрии. Расчет температурного поля в бесконечной пластине и цилиндре. Расчет температурного поля в трехмерных телах простой геометрии. Количество теплоты, отданной телом в процессе охлаждения (нагревания) (2 часа)**

**Занятие 5. Регулярный режим охлаждения (нагревания) тел. Численное решение задач теплопроводности. Методы подобия и размерностей в задачах теплопроводности и конвективного теплообмена. Числа подобия. (2 часа)**

**Занятие 6. Расчет теплоотдачи при свободном движении жидкости. Расчет теплоотдачи при внешнем обтекании тел. Расчет теплоотдачи при течении жидкостей в каналах. Особые случаи расчета теплоотдачи (теплоотдача жидких металлов, учет сжимаемости газа, сверхкритического состояния вещества). (2 часа)**

**Занятие 7. Теплоотдача при плёночной конденсации пара на вертикальной поверхности и горизонтальной трубе. Ламинарное течение пленки конденсата. Теплоотдача при плёночной конденсации пара на вертикальной поверхности. Смешанный режим течения пленки конденсата. Учет дополнительных факторов при расчете теплоотдачи при конденсации. (2 часа)**

**Занятие 8. Механизм кипения жидкостей. Расчет основных параметров кипящей жидкости. Расчет теплоотдачи при развитом пузырьковом и пленочном кипении в большом объёме. Кризис кипения первого рода. Расчет теплоотдачи при кипении в трубах. Кризис кипения второго рода. Граничное паросодержание. Расчет запаса до кризиса кипения. (2 часа)**

**Занятие 9. Зачетное занятие. (2 часа)**

### **Лабораторные работы (18 часов)**

**Лабораторная работа 1. Методы стационарной теплопроводности (2 часа)**

**Лабораторная работа 2. Методы нестационарной теплопроводности (2 часа)**

**Лабораторная работа 3. Теплоотдача при свободной конвекции жидкости (4 часа)**

**Лабораторная работа 4. Теплоотдача при вынужденной конвекции жидкости (2 часа)**

**Лабораторная работа 5. Теплоотдача при конденсации водяного пара (4 часа)**

**Лабораторная работа 6. Теплоотдача при кипении жидкостей в большом объёме (4 часа)**

**Самостоятельная работа (54 часа)**

**План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине:**

<b>№ п/п</b>	<b>Дата/сроки выполнения</b>	<b>Вид самостоятельной работы</b>	<b>Примерные нормы времени на выполнение</b>	<b>Форма контроля</b>
1	1-5 неделя семестра	Выполнение индивидуального задания по темам занятий 1-4.	8 часов	ПР-12
2	5-10 неделя семестра	Подготовка к устному опросу по темам занятий 1-4.	4 часа	УО-1
3	10-15 неделя семестра	Выполнение индивидуального задания по темам занятий 5-9	8 часов	ПР-12
4	15-18 неделя семестра	Подготовка к устному опросу по темам занятий 5-9. индивидуального задания	5 часа	УО-1
6	12-18 неделя семестра	Подготовка к зачету	27 час.	зачет
<b>Итого</b>			<b>54 час.</b>	

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

#### **Устные опросы**

Устные опросы осуществляются преподавателем по завершению изучения каждого раздела. Вопросы и задания приведены в фондах оценочных средств. Для подготовки используется основная и

дополнительная литература по дисциплине «Моделирование процессов теплообмена».

Тестирование не предусмотрено.

Критерии оценки самостоятельной работы приведены в фондах оценочных средств.

### **Индивидуальные задания**

При организации самостоятельной работы студентам предлагается выполнить индивидуальные задания, которые также помогают раскрыть тему для курсового проектирования. При этом учитываются уровень подготовки каждого студента и трудности, которые могут возникнуть при выполнении самостоятельной работы. Выдача индивидуальных расчетно-графических заданий производится в зависимости от изучаемой тематики и определяется преподавателем.

#### **Пример типового индивидуального задания**

1.1 Определить потери тепла  $Q$  Вт через кирпичную стенку длиной  $l = 5$  м, высотой  $h=3$  м и  $\delta =250$  мм толщиной, если на одной поверхности поддерживается температура  $t_1=20^\circ\text{C}$ , а на другой  $t_2=-30^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопроводности кирпича  $\lambda=0,6$  Вт/м·град.

1.2 Определить коэффициент теплопроводности материала стенки, если при толщине стенки  $\delta =30$  мм и температурном напоре  $\Delta t =30^\circ\text{C}$  плотность теплового потока  $q =100$  Вт/м<sup>2</sup>.

1.3 Определить поток тепла, проходящего через 1 м<sup>2</sup> стенки котла, если толщина ее  $\delta_1 =20$  мм, коэффициент теплопроводности материала  $\lambda_1=50$  Вт/м·град и с внутренней стороны стенка покрыта слоем котельной накипи толщиной  $\delta_2 =2$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2=1,0$  Вт/м·град. Температура наружной поверхности  $t_1=250^\circ\text{C}$  и внутренней поверхности  $t_3=200^\circ\text{C}$ .

1.4 Вычислить тепловой поток  $q$  Вт/м<sup>2</sup> через 1 м<sup>2</sup> чистой поверхности нагрева парового котла и температуры на поверхностях стенки, если заданы следующие величины: температура дымовых газов  $t_{f1}=1000^{\circ}\text{C}$ , температура кипящей воды  $t_{f2}=200^{\circ}\text{C}$ , коэффициент теплоотдачи от газов к стенке  $\alpha_1=116,3$  Вт/м<sup>2</sup> ·град и от стенки к кипящей воде  $\alpha_2=5815$  Вт/м<sup>2</sup> ·град. Коэффициент теплопроводности материала стенки  $\lambda=58,15$  Вт/м·град и толщина стенки  $\delta=12$  мм.

1.5 Теплообменник пар-жидкость с площадью лицевой поверхности 3200 см<sup>2</sup> изготовлен из никеля толщиной 0,635 см и покрыт со стороны пара слоем меди толщиной 0,12 см. Сопротивление слоя накипи воды со стороны пара составляет 0,00176 м<sup>2</sup> ·град/Вт, а коэффициенты теплоотдачи от пара к стенке и от стенки к жидкости соответственно равны 5466 Вт/м<sup>2</sup> град и 614,1 Вт/м<sup>2</sup> ·град. Греющий пар имеет температуру 110<sup>o</sup>C, а подогретая жидкость 74<sup>o</sup>C. Определить: а) общую теплоотдачу от пара к жидкости; б) падение температуры в слое накипи; в) температуру границы раздела медь-никель. Коэффициенты теплопроводности меди и никеля принять соответственно равными 388,44 Вт/м·град и 58,85 Вт/м·град.

1.6 В камере холодильника стены сделаны из пробковых плит толщиной 101,6 мм, заключенных между двумя деревянными стенками по 12,7 мм толщиной. Найти величину потерь тепла в Вт/м<sup>2</sup>, если температура поверхности стенки –12<sup>o</sup>C внутри камеры и 21<sup>o</sup>C снаружи. Кроме того, найти температуру на границе пробковой плиты с наружной стенкой. Принять: а) коэффициент теплопроводности пробковых плит равным 0,0415 Вт/м·град; б) коэффициент теплопроводности деревянных стенок 0,1070 Вт/м·град.

1.7 Стальная труба диаметром  $d_1/d_2=100/110$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_1=58,15$  Вт/м·град покрыта изоляцией в два слоя одинаковой толщины  $\delta_2=\delta_3=50$  мм. Температура внутренней поверхности трубы  $t_{W1}=250^{\circ}\text{C}$  и наружной поверхности изоляции  $t_{W4}=50^{\circ}\text{C}$ . Определить

потери тепла через изоляцию с 1 м длины трубы и температуру на границе соприкосновения слоев изоляции, если первый слой изоляции, накладываемый на поверхность трубы, выполнен из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2 = 0,07$  Вт/м·град, а второй слой – из материала с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_3 = 0,14$  Вт/м·град.

1.8 Трубопровод диаметром  $d_1/d_2=44/51$  мм, по которому течет масло, покрыт слоем бетона толщиной  $\delta_2 = 80$  мм. Коэффициент теплопроводности материала трубопровода  $\lambda_1 = 58,15$  Вт/м·град. Коэффициент теплопроводности бетона  $\lambda_1 = 1,28$  Вт/м·град. Средняя температура масла на рассматриваемом участке трубопровода  $t_{f1} = 120^\circ\text{C}$ , температура окружающего воздуха  $t_{f2} = 20^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплоотдачи от масла к стенке  $\alpha_2 = 116,3$  Вт/м<sup>2</sup>·град и от поверхности бетона к воздуху  $\alpha_2 = 8,14$  Вт/м<sup>2</sup>·град. а) Определить потери тепла с 1 м оголенного трубопровода и трубопровода, покрытого бетоном. б) Каким должен быть коэффициент теплопроводности изоляции, чтобы при любой ее толщине тепловые потери с 1 м длины трубы уменьшились.

1.9 Стальная труба с внутренним диаметром 146 мм и наружным 168 мм покрыта 10 – сантиметровым слоем изоляции из 85% магнезии. Температура внутренней поверхности трубы  $246^\circ\text{C}$ , а температура наружной поверхности изоляции  $38^\circ\text{C}$ . Вычислить величину потерь тепла на 1 м длины трубы и температуру на границе между трубой и изоляцией. Принять коэффициенты теплопроводности стали и магнезии соответственно равными  $44,78$  Вт/м·град и  $0,066$  Вт/м·град.

1.10 Внутренняя поверхность сферической железной оболочки с внутренним радиусом 150 мм поддерживается при постоянной температуре  $49^\circ\text{C}$ . Определить максимальное количество тепла, которое может передаваться такой сфере от омывающей ее воды при  $100^\circ\text{C}$  при условии, что

коэффициент теплоотдачи вода-стенка равен 567,8 Вт/м<sup>2</sup>·град. Коэффициент теплопроводности железной оболочки принять равным 62,34 Вт/м·град.

1.11 Угольный нагревательный элемент изготовлен в виде пластинки шириной 76,2 см, толщиной 12,7 мм и длиной 0,9 м. Когда к концам пластинки приложено напряжение 12 В, ее поверхность равномерно нагревается до температуры 760°С. Какова температура в середине пластинки? Удельное электрическое сопротивление материала пластинки  $0,44 \cdot 10^{-4}$  Ом·м, а коэффициент теплопроводности 5,0 Вт/м·град. Указание: Рассмотреть распространение тепла только в направлении, перпендикулярном к наибольшим плоскостям пластинки.

1.12 Трубка из нержавеющей стали обогревается электрическим током путем непосредственного включения в электрическую цепь. Длина трубки  $l = 500$  мм, наружный и внутренний диаметры равны соответственно  $d_2 = 12,4$  мм и  $d_1 = 12,0$  мм. Все тепло, выделенное в стенке трубки, отводится через внешнюю поверхность трубки. Определить перепад температур в стенке и силу тока, пропускаемого по трубке, если тепловой поток, отводимый от внешней поверхности трубки  $Q = 13,96$  кВт. Удельное электрическое сопротивление и коэффициент теплопроводности материала трубки равны соответственно  $\rho = 0,85$  Ом·мм<sup>2</sup>/м и  $\lambda = 18,6$  Вт/м·град.

#### IV. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций		Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Темы дисциплины 1-4	ОПК-2	Знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету 1-15
		ПК-5 ПК-8	Умеет	Индивидуальное задание (ПР-12)	
			владеет		
2	Темы дисциплины 5-	ПК-8	Знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету 16-32
		ПК-9	Умеет	Индивидуальное задание	



№ п/ п	Контролируем ые разделы / темы дисциплины	Коды и этапы формирования компетенций	Оценочные средства	
			текущий контроль	промежуточна я аттестация
9		владеет	(ПР-12)	

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

### Основная литература

*(электронные и печатные издания)*

1. Любимова О.Н. Метод расчёта термоупругих напряжений для оболочек из стеклометаллокомпозита / Дальневосточный федеральный университет Владивосток : Изд. дом Дальневосточного федерального университета, 2012.- 77 с.

<http://lib.dvfu.ru:8080/lib/item?id=chamo:679367&theme=FEFU>

2. Каримов, А. Численные методы моделирования нелинейных процессов тепло- и массообмена на ЭВМ [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. Каримов. — Электрон. текстовые данные. — Алматы : Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 2014. — 200 с.

<http://www.iprbookshop.ru/58778.html>

3. Московский, С. Б. Курс статистической физики и термодинамики : учебник для вузов / С. Б. Московский. — Москва : Академический Проект, Фонд «Мир», 2015. — 317 с. — ISBN 5-8291-0616-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL:

<http://www.iprbookshop.ru/36735.html>

4. Никитин, М. Н. Численное моделирование процессов теплообмена в системах теплогазоснабжения и вентиляции : учебное пособие / М. Н. Никитин. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2017. — 98 с. <https://www.iprbookshop.ru/91149.html>

5. Расщепкин, А. Н. Теплообменные аппараты низкотемпературной техники : учебное пособие / А. Н. Расщепкин, В. А. Ермолаев. — Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2012. — 169 с. <https://www.iprbookshop.ru/14393.html>

6. Савенкова Н.А., Проворова О.Г. Численные методы в математическом моделировании: Учебное пособие / - 2-е изд., испр. и доп - М.:АРГАМАК-МЕДИА, НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 176 с. <http://znanium.com/catalog/product/455188>

#### **Дополнительная литература**

*(электронные и печатные издания)*

1. Абакумов Н.В. Лекции по численным методам математической физики: Уч.пос./ М.В.Абакумов, А.В.Гулин; МГУ им. М.В.Ломоносова. Факультет вычисл. математике и кибернетики. - М.:НИЦ ИНФРА-М,2013-158 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=364601>

2. Барашков В.А. Методы математической физики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. А. Барашков. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 152 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=492290>

3. Кудряшов Н.А. Методы нелинейной математической физики: Учебное пособие / Н.А. Кудряшов. - Долгопрудный: Интеллект, 2010. - 368 с. <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=247670>

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

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используются следующие информационно-справочные системы:

1. Программное обеспечение электронного ресурса сайта ДВФУ, включая ЭБС ДВФУ.
2. Материалы курса, размещенные в LMS BlackBoard, идентификатор: FU50219-151600.68—СНМ-01: Моделирование процессов теплообмена.
3. <http://elibrary.ru> - Научная электронная библиотека.
4. <https://www.maplesoft.com/applications/view.aspx?SID=154454> – русскоязычный портал Maple – обзор средств, примеры.
5. <https://www.malavida.com/ru/soft/maple/#gref> – скачать пробную версию Maple.
6. <https://matlab.ru/trial> - запрос пробной версии Matlab.
7. <https://matlab.ru/education/student-trial> - загрузка пробной версии Matlab, примеры, решения.

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

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется следующее программное обеспечение:

1. Microsoft Office (Access, Excel, PowerPoint, Word и т. д).
2. MathCAD, Maple, Matlab.

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

На изучение дисциплины отводится 54 часа аудиторных занятий и 54 часа самостоятельной работы.

На лекционных практических и лабораторных занятиях преподаватель объясняет материал, предлагает задания, контролирует работу студентов, отвечает на возникающие вопросы, подсказывает ход и метод решения.

**Рекомендации по работе с литературой.** Теоретический и практический материал курса разъяснён в материалах учебно-методического комплекса, предлагаемого преподавателем на занятиях, также в учебниках и учебных пособиях из списка основной и дополнительной литературы.

**Рекомендации по подготовке к зачету.** Успешная подготовка к зачету включает работу на практических и лабораторных занятиях в течение семестра, выполнение и успешная защита заданий у преподавателя. При подготовке к зачету необходимо освоить теорию: разобрать основные темы, постановки задач и используемые методы. К зачету допускается студент, защитивший выдаваемые индивидуальные задания.

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

Оборудование, размещенное в аудиториях для проведения практических и лабораторных занятий по дисциплине:

Моноблоки Lenovo C360G-i34164G500UDK – 20 шт;

Мультимедийный проектор, Mitsubishi EW330U, 3000 ANSI Lumen, 1280x800 – 1 шт;

Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, 50 см, размер рабочей области 236x147 см – 1 шт;

Акустическая система для потолочного монтажа с низким профилем, Extron SI 3CT LP (пара) – 3 шт;

Документ-камера AVervision CP355AF – 1 шт;

ЖК-панель 47", Full HD, LG M4716CCBA – 1 шт;

Сетевая видеочкамера Multipix MP-HD718 – 1 шт.

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.

## VIII. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### ПАСПОРТ ФОС

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции	
<p style="text-align: center;"><b>ОПК-2</b></p> <p>способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы</p>	Знает	основы современных аналитических, вычислительных и экспериментальных методов исследования в области прикладной механики
	Умеет	применять аналитические и экспериментальные методы исследования, а также средства компьютерного моделирования и конечно-элементного анализа в области прикладной механики
	Владеет	умением грамотно сочетать аналитические и экспериментальные методы исследования, а также средства компьютерного моделирования и конечно-элементного анализа для эффективного решения задач в области прикладной механики
<p style="text-align: center;"><b>ПК-5</b></p> <p>способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем)</p>	Знает	методы математического и компьютерного моделирования и проведения расчетно-экспериментальных исследований в области прикладной механики на основе классических теорий и достижений современных технологий конечно-элементного анализа
	Умеет	вести разработку физико-механических, математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения теоретических и расчетно-экспериментальных исследований и решения научно-технических задач в области прикладной механики
	Владеет	современными конечно-элементными системами вычислительной механики и компьютерного проектирования и инжиниринга (CAD/CAE-системы)

мирового уровня)		
ПК-8 способностью самостоятельно овладевать современными вычислительными методами и пакетами прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена, создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности	Знает	требования контроля качества материалов, элементов и узлов машин и установок, механических систем различного назначения
	Умеет	применять вычислительные методы и пакеты прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена
	Владеет	навыками создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности на основе пакетов прикладных программ
ПК-9 способностью самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, тепломассообмена в сложных технических системах; обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов	Знает	основы современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, тепломассообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
	Умеет	применять на практике современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, тепломассообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов
	Владеет	современными методами экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, тепломассообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов

### Контроль достижений целей курса

№	Контролируем	Коды и этапы	Оценочные средства
---	--------------	--------------	--------------------

п/п	ые разделы / темы дисциплины	формирования компетенций		текущий контроль	промежуточная аттестация
		ОПК-2	ПК-5 ПК-8		
1	Темы дисциплины 1-4	ОПК-2	Знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету 1-15
		ПК-5	Умеет	Индивидуальное задание (ПР-12)	
		ПК-8	владеет		
2	Темы дисциплины 5-9	ПК-8 ПК-9	Знает	Собеседование (УО-1)	Вопросы к зачету 16-32
			Умеет	Индивидуальное задание (ПР-12)	
			владеет		

### Шкала оценивания уровня сформированности компетенций

Код и формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции		критерии	показатели	
ОПК-2 способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы	Знает	основы современных аналитических, вычислительных и экспериментальных методов исследования в области прикладной механики	способность применять современные теории, физико-математические и вычислительные методы	способность применения информационных технологий в научно-исследовательской, научно-педагогической; проектно-конструкторской; производственно-технологической; научно-инновационной; консультационно-экспертной деятельности	
		Умеет	применять аналитические и экспериментальные методы исследования, а также средства компьютерного моделирования и конечно-элементного анализа в области прикладной механики	умение разрабатывать техническую документацию, оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы, оценивать значимость и перспективы использования результатов исследования	умение выбирать адекватные способы и методы решения теоретических, прикладных и экспериментальных задач,
		Владеет	умением грамотно сочетать аналитические и экспериментальные методы исследования, а также средства компьютерного	владение навыками работы с программными пакетами автоматизированного проектирования, умение работать с современными программными	способность самостоятельно осваивать и применять современные теории, физико-математические и вычислительные методы, новые системы компьютерной

		моделирования и конечно-элементного анализа для эффективного решения задач в области прикладной механики	комплексами компьютерного моделирования и компьютерного инжиниринга	математики и системы компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга
ПК-5 способностью самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня)	Знает	методы математического и компьютерного моделирования и проведения расчетно-экспериментальных исследований в области прикладной механики на основе классических теорий и достижений современных технологий конечно-элементного анализа	Знание проблематики задач прикладной механики с учетом потребностей промышленности	Способность объяснить и использовать современные математические и компьютерные модели, программные системы мультидисциплинарного анализа для решения задач в научно-исследовательской и профессиональной деятельности
	Умеет	вести разработку физико-механических, математических и компьютерных моделей, предназначенных для выполнения теоретических и расчетно-экспериментальных исследований и решения научно-технических задач в области прикладной механики	Умение осуществлять проведение расчетно-экспериментальных исследований в области прикладной механики на основе классических и технических теорий и методов	способность самостоятельно осваивать и применять высокопроизводительные вычислительные системы и используемые в промышленности наукоемкие компьютерные технологии (CAD/CAE-системы мирового уровня)
	Владеет	современными конечно-элементными системами вычислительной механики и компьютерного проектирования и инжиниринга (CAD/CAE-системы)	Владение навыками работы с новыми системами компьютерной математики, автоматизированного проектирования и компьютерного инжиниринга	Способность эффективно применять высокопроизводительные вычислительные системы, с использованием CAD/CAE технологий для решения задач в научно-исследовательской и профессиональной деятельности
ПК-8 способностью самостоятельно	Знает	требования контроля качества материалов,	Знание современных языков программирования, и	Способность применять современные программные комплексы



<p>овладевать современными вычислительными методами и пакетами прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена, создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло-и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности</p>		элементов и узлов машин и установок, механических систем различного назначения	методов использования программных средств по избранной тематике	для решения задач прикладной механики, разрабатывать оригинальные пакеты прикладных программ .
	Умеет	применять вычислительные методы и пакеты прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло-и массообмена	Умение применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований для специализированных задач прикладной механики	Умение формулировать технические задания и применять программные системы компьютерного проектирования (CAD-системы) в процессе конструирования деталей машин и элементов конструкций с учетом обеспечения их прочности, жесткости, устойчивости, долговечности, надежности и износостойкости
	Владеет	навыками создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло-и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности на основе пакетов прикладных программ	Владение навыками работы с мощными современными программными пакетами вычислительной математики, автоматического компьютерного проектирования и инжиниринга	Способность применять программные системы компьютерного моделирования (CAE-системы); применять методы математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях
<p>ПК-9 способностью самостоятельно овладевать современными методами и средствами проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, тепломассообмена в сложных технических системах; обрабатывать,</p>	Знает	основы современных методов и средств проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, тепломассообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	знание современных вычислительных методов и пакетов прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло- и массообмена	Способность применять современные вычислительные методы и пакеты прикладных программ для решения задач вычислительной гидромеханики и численного моделирования процессов тепло- и массообмена

анализировать и обобщать результаты экспериментов				
	Умеет	применять на практике современные методы и средства проведения экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	Умение принимать участие в создании универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач	Способность создавать универсальные инженерные методы расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности
	Владеет	современными методами экспериментальных исследований по задачам механики жидкости, многофазных потоков, теплообмена в сложных технических системах; обработки, анализа и обобщения результатов экспериментов	Владение практическими навыками создания универсальных инженерных методов расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности	Способность создавать универсальные инженерные методы расчетного моделирования гидро- и газодинамических задач вместе с сопряженными процессами тепло- и массопереноса в произвольных трехмерных областях различной сложности

**Методические материалы, определяющие процедуры оценивания  
результатов освоения дисциплины  
Оценочные средства для текущей аттестации  
Вопросы для собеседований по дисциплине «Моделирование  
процессов теплообмена»**

1. Теплопроводность. Гипотеза Фурье. Коэффициент теплопроводности. Передача тепла через плоскую стенку. Вывод формулы для коэффициента теплопередачи через плоскую стенку.

2. Капиллярная длина и отрывной радиус пузырька. Кризисы кипения первого и второго рода при кипении в большом объеме, физика кризисов теплоотдачи. Зависимость коэффициента теплоотдачи от перегрева стенки и теплового потока с учетом пузырькового и пленочного кипения. Оценка критического теплового потока на основе анализа характерных времен для пузырьков. Критический тепловой поток. Формула Кутателадзе для критического теплового потока..

3. Теплоотдача. Гипотеза Ньютона. Коэффициент теплопередачи через плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи через систему плоских стенок. Расчет температуры на поверхности стенки.

4. Понятие о численном решении уравнений теплопроводности. Принципы построения разностных аппроксимаций производных первого и второго порядков. Разностный вид одномерного нестационарного уравнения теплопроводности. Явный алгоритм решения разностного уравнения.

5. Теплоотдача. Гипотеза Ньютона. Коэффициент теплопередачи через плоскую стенку. Коэффициент теплопередачи через систему плоских стенок. Расчет температуры на поверхности стенки.

6. Тепловой поток. Связь теплового потока с градиентом температуры. Вывод уравнения баланса тепла. Уравнение теплопроводности.

7. Тепловой поток. Связь теплового потока с градиентом температуры. Вывод уравнения баланса тепла. Уравнение теплопроводности.

8. Уравнение нестационарной теплопроводности. Начальные и граничные условия Безразмерные критерии Фурье и Био, их физический смысл.

9. Начальные и граничные условия для уравнения теплопроводности. Граничные условия I, II, III рода, их физический смысл. Граничное условие сопряжения.

10. Излучение. Виды излучения. Абсолютно черное тело, понятие серого тела. Прохождение излучения через вещество. Коэффициенты пропускания, отражения и поглощения излучения, связь между ними.

11. Перенос тепла через цилиндрическую стенку. Распределение температуры внутри цилиндрической стенки. Тепловой поток на единицу длины цилиндрической стенки.

12. Зависимость полного потока излучения от температуры. Закон Стефана-Больцмана. Понятие абсолютно-черного тела. Приближение серого тела. Коэффициент серости.

13. Вывод формулы для коэффициента теплопередачи через цилиндрическую стенку. Коэффициент теплопередачи через систему коаксиальных цилиндрических стенок.

14. Теплообмен излучением. Виды излучения. Распределение энергии излучения по частотам. Вывод формулы Планка. Законы Вина и Рэлея-Джинса.

15. Критическая толщина изоляции. Физический смысл критической толщины изоляции, вывод формулы для критической толщины изоляции.

16. Картина течения и испарения при движении недогретой жидкости в вертикальном канале при течении в круглой трубе с однородным тепловым потоком. Зависимость температуры стенки, среднemasсовой температуры и паросодержания по длине канала. Режимы течения с учетом кипения и испарения. Понятие о дисперсно-кольцевом и дисперсном режимах течения двухфазной среды.

**Критерии оценки устного опроса:**

✓ 100-85 баллов - если ответ показывает прочные знания основных положений изучаемого раздела механики, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.

✓ 85-76 - баллов - ответ, обнаруживающий прочные знания основных положений изучаемого раздела механики, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 - балл - оценивается ответ, свидетельствующий в основном о знании основных положений изучаемого раздела механики, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.

✓ 60-50 баллов - ответ, обнаруживающий незнание основных положений изучаемого раздела механики, отличающийся неглубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, сформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа

### **Критерии оценки ИДЗ:**

✓ 100-85 баллов выставляется студенту, если на защите ИДЗ он показывает прочные знания основных численных методов, используемых в задачах прикладной механики, умеет оценивать эффективность их применения и погрешность вычислений, демонстрирует способность к самостоятельному углублению знаний современных англоязычных программных комплексов.

✓ 85-76 баллов выставляется студенту, если на защите ИДЗ он показывает прочные знания основных численных методов, используемых в задачах прикладной механики; владение англоязычным терминологическим аппаратом в задачах моделирования механических систем и процессов; умение оценивать эффективность их применения и погрешность вычислений. Однако допускается одна - две неточности в ответе.

✓ 75-61 балл выставляется студенту, если на защите ИДЗ он показывает недостаточные знания основных численных методов, используемых в задачах прикладной механики; недостаточное владение англоязычным терминологическим аппаратом в задачах моделирования механических систем и процессов; недостаточную полноту выполнения задания. Допускается несколько ошибок в пояснительной записке.

✓ 60-50 баллов выставляется студенту, если на защите ИДЗ он показывает незнание основных численных методов, используемых в задачах прикладной механики, не владеет англоязычным терминологическим аппаратом в задачах моделирования механических систем и процессов. Допускаются серьезные ошибки в пояснительной записке; демонстрирует неумение использовать программные средства и вычислительные пакеты.

### **Оценочные средства для промежуточной аттестации**

#### **Перечень типовых вопросов к зачету**

1. Механизмы переноса теплоты. Основные виды теплообмена  
Теплопроводность. Температурное поле. Гипотеза Фурье. Теплоотдача и

теплопередача Коэффициенту теплоотдачи и теплопередачи, их физический смысл.

2. Уравнение энергии -уравнение Фурье-Кирхгофа (с выводом).

3. Динамическое уравнение движения (уравнение Навье-Стокса). Уравнение сплошности. (неразрывности движения). Их физический смысл.

4. Основное уравнение теории теплопроводности (уравнение Фурье) и его физический смысл. Краевые условия. Задачи о температурном поле твердого тела, условия первого, второго и третьего рода.

5. Решение задачи определения температурного поля плоской однослойной стенки стационарном режиме в граничных условиях первого рода. Многослойная плоская стенка. Тепловой поток через однослойную и многослойную плоскую стенку.

6. Теплопередача через плоскую однослойную и многослойную стенку при стационарном режиме. Средний температурный напор и методы его вычисления.

7. Решение задачи определения температурного поля однослойной цилиндрической стенки при стационарном режиме в граничных условиях первого рода. Тепловой поток.

8. Теплопередача через однослойную и многослойную цилиндрическую стенку при стационарном режиме. Критический диаметр изоляции. Пути интенсификации теплопередачи.

9. Теплопроводность при нестационарном режиме неограниченной плоской стенки в граничных условиях третьего рода. Использование метода обобщенных переменных для представления результатов решения. Физический смысл чисел Фурье и Био. Влияние числа Био на температурное поле.

10. Метод обобщенных переменных. Обобщенные переменные и обобщенное уравнение для теплоотдачи. Физический смысл чисел  $Re$ ,  $Eu$ ,  $Pr$ ,  $Ga$ ,  $Ar$ ,  $Gr$ ,  $Pe$ ,  $Pr$ ,  $Nu$ .

11. Понятие о динамическом пограничном слое. Дифференциальные уравнения динамического ламинарного пограничного слоя.

12. Понятие о тепловом пограничном слое. Система дифференциальных уравнений ламинарного пограничного слоя.

13. Турбулентный перенос теплоты и количества движения. Представление о турбулентном течении как результате наложения пульсационного течения на среднее. Простейшая модель турбулентного потока по Прандтлю.

14. Продольное обтекания пластины. Теплоотдача при ламинарном пограничном слое. Обобщенное уравнение. Зависимость теплоотдачи от изменения физических свойств жидкости.

15. Продольное обтекания пластины. Число Стантона и его физический смысл. Связь между коэффициентом теплоотдачи и коэффициентом трения (аналогия переноса теплоты и количества движения).

16. Продольное обтекания пластины. Теплоотдача при турбулентном пограничном слое. Схема турбулентного пограничного слоя. Обобщенное уравнение для теплоотдачи. Изменение коэффициента теплоотдачи вдоль пластины.

17. Теплоотдача при вынужденном движении в трубах. Режимы течения. Начальный участок гидродинамической и тепловой стабилизации. Изменение коэффициента теплоотдачи по длине трубы.

18. Теплоотдача при ламинарном течении жидкости в трубах. Вязкостный вязкостногравитационный режимы течения. Структура обобщенных уравнений. Учет зависимости физических свойств жидкости от температуры. Учет влияния свободной конвекции.

19. Теплоотдача при турбулентном течении жидкости в трубах. Структура обобщенного уравнения. Учет зависимости физических свойств жидкости от температуры.



20. Теплоотдача при поперечном обтекании одиночного цилиндра. Явление отрыва. Локальный и средний коэффициенты теплоотдачи. Структура обобщенного уравнения.

21. Теплоотдача при поперечном обтекании пучков труб. Особенности процесса Структура обобщенного уравнения.

22. Свободное движение. Механизм процесса термической гравитационной конвекции. Структура обобщенного уравнения для расчета интенсивности теплообмена в неограниченном пространстве.

23. Теплообмен при свободном движении жидкости в ограниченном пространстве.

24. Теплоотдача при конденсации. Основные физические представления.

25. Виды конденсации. Ламинарное и турбулентное течение пленки конденсата. Структура обобщенного уравнения для теплоотдачи.

26. Пленочная конденсация неподвижного пара на вертикальной стенке при ламинарном течении пленки конденсата. Решение Нуссельта (постановка задачи, допущения).

27. Теплоотдача при кипении. Режимы кипения. Физическая модель процесса развитого кипения. Минимальный (критический) радиус пузырька.

28. Теплоотдача при кипении в большом объеме. Зависимость коэффициента теплоотдачи от плотности теплового потока. Кривые кипения. Явление кризиса и его физическая природа.

29. Теплоотдача при развитом пузырьковом кипении жидкости в большом объеме. Структура обобщенного уравнения.

30. Основные законы теплового излучения. Закон Кирхгофа. Закон Стефана-Больцмана.

31. Спектральное распределение энергии по Планку. Закон смещения Вина. Теплообмен излучением между параллельными пластинами, разделенными прозрачной средой. Роль экранов.

32. Особенности излучения и поглощения газов. Приближенный метод расчета лучистого теплообмена между газом и ограждающей поверхностью.

**Критерии выставления оценки студенту на зачете по дисциплине  
«Моделирование процессов теплообмена»**

<b>Баллы (рейтингово й оценки)</b>	<b>Оценка экзамена (стандартная)</b>	<b>Требования к сформированным компетенциям</b>
60-100	«зачет»	«Зачет» выставляется студенту, если он прочно усвоил учебный материал по механике конструкционных материалов, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, свободно использует компьютер для сбора и анализа данных, правильно обосновывает принятое решение, владеет навыками и приемами выполнения практических задач, связанных вопросами процессов теплообмена в области профессиональной деятельности.
0-59	«незачет»	«незачет» выставляется студенту, который не знает значительной части материала по дисциплине, допускает существенные ошибки, выполняя практические работы. Оценка «незачет» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине