

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московской области

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИРОДЫ, ОБЩЕСТВА  
И ЧЕЛОВЕКА «ДУБНА»  
(университет «Дубна»)**

Факультет естественных и инженерных наук

Кафедра «Энергия и окружающая среда»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по учебно-методической и научной работе

\_\_\_\_\_ С. В. Моржухина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Теория упругости и метод конечных элементов»**

Направление подготовки  
160100.62 «Авиастроение»

Профиль подготовки  
«Самолетостроение»

Квалификация выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

г. Дубна, 2014 г.

Программа составлена в соответствии с ФГОС ВПО с учетом рекомендациями ПрООП ВПО по направлению и профилю подготовки бакалавров 160100.62 «Авиастроение».

Программа рассмотрена на заседании кафедры Энергия и окружающая среда

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

И.о. заведующего кафедрой \_\_\_\_\_ /Деникин А.С./

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета \_\_\_\_\_ /Деникин А.С./

Рецензент: \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание, Ф.И.О., место работы, должность)

Руководитель библиотечной системы \_\_\_\_\_ /В.Г. Черепанова/

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Цели и задачи освоения дисциплины</b> .....	4
2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата.....	4
3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.....	4
4. Содержание и структура дисциплины.....	5
4.1. Структура дисциплины.....	5
4.2. Содержание разделов дисциплины.....	6
4.3. Практические занятия (семинары).....	7
4.4. Домашние работы.....	8
4.5. Курсовая работа.....	9
<b>5. Образовательные технологии</b> .....	9
5.1. Методические рекомендации для студентов:.....	9
5.2. Методические рекомендации для преподавателей:.....	10
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.....	13
6.1. Контрольные вопросы по отдельным темам для проведения контрольных опросов, домашние задания, темы курсовых работ, вопросы к экзамену.....	13
6.2. Задание для самостоятельной работы в Интернет.....	15
<b>7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины</b> .....	15
7.1. Основная литература.....	15
7.2. Дополнительная литература.....	16
7.3. Интернет-ресурсы.....	16
<b>8. Материально-техническое обеспечение дисциплины</b> .....	16

## **1. Цели и задачи освоения дисциплины**

Курс «Теория упругости и метод конечных элементов» имеет целью: дать студентам необходимый объём знаний по теоретическим основам теории упругости и, в частности, метода конечных элементов для последующего определения нагрузок в элементах силовых конструкций, правильности выбора расчётных схем, построение математических моделей, расчёта напряжённо-деформированного состояния, определение запасов прочности, а также развитие инженерного мышления, направленного на создание узлов и конструкций, функционирующих в заданных габаритах и удовлетворяющих заданным критериям работоспособности.

Задачи дисциплины:

- изложить общие понятия теории упругости, теории деформированного состояния;
- дать навыки приложения знаний в области теории упругости для решения типовых задач теории упругости;
- изложить основы метода конечных элементов в приложении к решению задач теории упругости;
- дать навыки использования МКЭ для решения типовых задач с применением программных средств.

Воспитательной целью дисциплины является формирование у студентов творческого подхода к освоению технологий, методов и средств проектно-конструкторской деятельности в области авиастроения, способствовать углублению мотивированного интереса к будущей профессии.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата**

Дисциплина «Теория упругости и метод конечных элементов» изучается на 2 и 3 курсах в 4 и 5 семестрах.

Изучение дисциплины «Теория упругости и метод конечных элементов» базируется на знании естественнонаучных и математических дисциплин, курсов «Теоретической механики», «Сопротивление материалов», «Строительная механика».

Материалы курса являются составляющей при изучении курсов «Внешние нагрузки и нормы прочности», «Прочность летательных аппаратов», «Механика композитных материалов», «Конструирование и проектирование летательных аппаратов», а также при работе над выпускной квалификационной работой.

## **3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.**

Изучение дисциплины «Теория упругости и метод конечных элементов» направлено на формирование у студентов следующих компетенций:

- владеть культурой мышления, способностью обобщать, анализировать и воспринимать информацию, ставить цели и выбирать пути их достижения (ОК-1);
- способностью логически верно строить устную и письменную речь (ОК-2);
- иметь навыки работы с компьютером как средством управления информацией (ОК-11);
- готовностью к решению сложных инженерных задач с использованием базы знаний математических и естественно-научных дисциплин (ПК-1);
- владеть навыками получать, собирать, систематизировать и проводить анализ исходной информации для разработки конструкций летательных аппаратов и их систем (ПК-2);
- способностью выполнить техническое и технико-экономическое обоснование принимаемых проектно-конструкторских решений, владеть методами технической экспертизы проекта (ПК-4);

- владеть методами и имеет навыки моделирования и создания авиационных конструкций на основе современных информационных технологий с использованием средств автоматизации проектно-конструкторских работ (ПК-6);
- владеть методами расчета прочности конструкций летательных аппаратов (ДПК-1);
- иметь навыки расчета прочности конструкций летательных аппаратов (ДПК-2);
- иметь навыки математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов исследований (ЭИ-1);
- готовностью к участию в составлении отчетов по выполненному заданию (ЭИ-4).

В результате изучения дисциплины «Теория упругости и метод конечных элементов» студент должен:

<i>Результат обучения</i>	<i>Компетенция</i>	<i>Образовательная технология</i>	<i>Вид задания</i>
<b>Знать и иметь представление:</b> основные положения теории упругости изложить, теории деформированного состояния;	ОК-1 ПК-1,2 ДПК-1,2	Л1-3; С1-10	Д1-17, КрР1,2
<b>Знать и иметь представление:</b> изложить основы метода конечных элементов в приложении к решению задач теории упругости;	ОК-1 ПК-1,2 ДПК-1,2	Л4-6 С11-18	Д14-17 КрР3,4
<b>Приобрести навыки:</b> приложения знаний в области теории упругости для решения типовых задач теории упругости;	ОК-1 ПК-1,2,4,6 ДПК-1,2	С1-18 Курсовое проектирование	Д1-17 КрР1-4 КР
<b>Иметь опыт</b> использования МКЭ для решения типовых задач с применением программных средств.	ОК-1,2,11 ПК-1,2,6 ДПК-1,2 ЭИ-1	С15-18 Курсовое проектирование	Д1-17 КрР1-4 КР
<b>Иметь опыт</b> выбора исходных данных; самостоятельного изучением сложных разделов программы по первоисточникам; составления технических отчетов.	ОК-1,2,11 ПК-1,2 ЭИ-4	Курсовое проектирование	Д1-17 КрР1-4 КР

#### 4. Содержание и структура дисциплины

##### 4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 7 ЗЕТ, 252 часов.

Вид работы	Трудоемкость, часов		
	4 семестр	5 семестр	Всего
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>144</b>	<b>108</b>	<b>252</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>140</b>
<i>Лекции (Л)</i>	17	36	53
<i>Практические семинарские занятия (ПЗ)</i>	51	36	87
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	–	–	–
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>76</b>	<b>9</b>	<b>85</b>

Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников, учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.п.)	36	9	45
Курсовой проект, курсовая работа	40	–	40
Расчетно-графическое задание	–	–	–
Реферат	–	–	–
Эссе	–	–	–
Самостоятельное изучение разделов	–	–	–
Подготовка и сдача экзамена	–	–	–
<b>Контроль</b>	–	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Вид промежуточного контроля</b>	Зачет с оценкой, КР	Экзамен	Зачет с оценкой, Экзамен, КР

#### 4.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование разделов и подразделов	Неделя				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) <sup>1</sup>
			Л	ПЗ	СР	Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			53	87	85	Зачет с оценкой – 4 семестр, Экзамен – 4, 5 семестр, Курсовая работа - 4 семестр
<b>4 семестр</b>						
1.	Введение в теорию упругости	1-12	12	36	18	КО
2.	Плоская задача теории упругости	13-17	5	15	18	КО
	Защита курсовой работы				40	Зачет, Защита КР
	Подготовка к экзамену				27	Экзамен
<b>5 семестр</b>						
3.	Теория изгиба пластин	1-3	6	6	3	КО
4.	Основные понятия и концепция МКЭ	4-6	6	6	2	КО
5.	Конечно-элементный анализ	7-10	8	8	2	КО
6.	Решение задачи МКЭ с применением программных средств	11-18	16	18	2	КО
	Подготовка к экзамену				27	Экзамен

#### 4 семестр

1 Введение в теорию упругости

1.1 Тензор напряжений. Уравнения равновесия теории напряженного состояния

1.2 Главные оси и главные напряжения. Общий (трехмерный) случай напряженного состояния

<sup>1</sup> Формы текущего контроля: защита лабораторной работы (ЛР), выполнение курсового проекта (КП), курсовой работы (КР), расчетно-графического задания (РГЗ), домашнего задания (ДЗ), написание реферата (Р), эссе (Э), коллоквиум (К), рубежный контроль (РК), тестирование (Т), контрольная работа (КрР), контрольный опрос (КО) и др.

- 1.3 Инварианты тензора напряжений. Теория деформированного состояния, основные положения
- 1.4 Тензор деформации. Уравнение совместности деформации (уравнение Сен-Венана)
- 1.5 Обобщенный закон Гука. Общая постановка задачи в теории упругости
- 1.6 Методы решения задач теории упругости
- 2 Плоская задача теории упругости
  - 2.1 Плоское деформированное состояние. Методы решения задач плоской деформации
  - 2.2 Плоское напряженное состояние. Функция Эри
  - 2.3 Основные уравнения теории упругости в полярных координатах. Примеры применения функции напряжения в полярных координатах

### 5 семестр

- 3 Теория изгиба пластин
  - 3.1 Теория изгиба пластин. Основные положения. Физические уравнения и уравнения равновесия теории пластин
  - 3.2 Дифференциальное уравнение упругой поверхности пластины. Виды граничных условий при изгибе пластин
  - 3.3 Теория изгиба для круглой пластины. Частные случаи расчета изгиба пластин
  - 3.4 Приближенные методы решений для пластин
- 4 Основные понятия и концепция МКЭ
  - 4.1 Общие понятия и классификация задач вычислительной механики. Основные понятия и концепция МКЭ.
  - 4.2 Понятие о конечных элементах. Конечно-элементная формулировка плоской задачи теории упругости: базовые соотношения
  - 4.3 Конечно-элементная формулировка плоской задачи теории упругости: вывод СЛАУ МКЭ
- 5 Конечно-элементный анализ
  - 5.1 Балочный конечный элемент: система координат и интерполяция
  - 5.2 Треугольный линейный конечный элемент: система координат и интерполяция. Треугольный линейный конечный элемент: вывод расчетных соотношений
  - 5.3 Изопараметрический подход в МКЭ. Четырехсторонние двумерные элементы
  - 5.4 Формирование и решение глобальной системы конечно-элементных уравнений
  - 5.5 Алгоритм МКЭ для трехмерной задачи теории упругости
- 6 Решение задачи МКЭ с применением программных средств
  - 6.1 Современные программные средства конечно-элементного анализа
  - 6.2 Примеры применения программных средств конечно-элементного анализа

#### 4.3. Практические занятия (семинары).

№	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Кол. часов
<b>4 семестр</b>			
1.	1	Главные оси и главные напряжения	3
2.	1	Инварианты тензора напряжений	3
3.	1	Трехмерная задача теории упругости	3
4.	1	Деформированное состояние. Тензор деформации	6
5.	1	Уравнение совместности деформации. Обобщенный закон Гука.	6

6.	1	Общая постановка задачи в теории упругости	6
7.	1	Методы решения задач теории упругости (примеры решения задач). Контрольная работа №1	6
8.	2	Плоское деформированное состояние. Методы решения задач плоской деформации	6
9.	2	Плоское напряженное состояние. Функция Эри	6
10.	2	Примеры применения функции напряжения в полярных координатах. Контрольная работа № 2	6
<b>5 семестр</b>			
11.	3	Изгиб пластины (прямоугольные пластины)	4
12.	3	Изгиб пластины (круглые пластины)	4
13.	3	Приближенные методов решений для пластины (решение в рядах)	4
14.	3	Приближенные методы решения пластин (метод Бубнова-Галеркина) Контрольная работа №3	4
15.	4	Конечно-элементная формулировка плоской задачи теории упругости	4
16.	5	Расчет плоской конструкции из балочных элементов	4
17.	5	Расчет плоской конструкции из треугольных конечных элементов	4
18.	6	Расчет конструкций с применением программных средств. Контрольная работа № 4	8

#### 4.4. Домашние работы

№	Тема задания	неделя
<b>4 семестр</b>		
Д1.	Проработка содержания раздела 1 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение домашнего задания по теме «Главные оси и главные напряжения».	1
Д2.	Проработка содержания раздела 1 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение домашнего задания по теме «Инварианты тензора напряжений».	2-3
Д3.	Проработка содержания раздела 1 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение домашнего задания по теме «Трехмерная задача теории упругости»	4-5
Д4.	Проработка содержания раздела 1 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение домашнего задания по теме «Деформированное состояние. Тензор деформации»	6-7
Д5.	Проработка содержания раздела 1 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение домашнего задания по теме «Уравнение совместности деформации. Обобщенный закон Гука»	8-9
Д6.	Проработка содержания раздела 1 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение домашнего задания по теме «Методы решения задач теории упругости».	10-11
Д7.	Проработка содержания раздела 2 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение домашнего задания по теме «Плоское деформированное состояние. Методы решения задач плоской деформации»	12-13
Д8.	Проработка содержания раздела 2 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение домашнего задания по теме «Плоское напряженное состояние. Функция Эри».	14-15
Д9.	Проработка содержания раздела 2 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение домашнего задания по теме «Примеры применения функции напряжения в полярных координатах»	16-17
<b>5 семестр</b>		



Д10.	Проработка содержания раздела 3 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Сбор материала для выполнения курсовой работы. Решение задач по теме «Изгиб пластины (прямоугольные пластины)»	1
Д11.	Проработка содержания раздела 3 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Сбор материала для выполнения курсовой работы. Решение задач по теме «Изгиб пластины (круглые пластины)»	2
Д12.	Проработка содержания раздела 3 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение разделов курсовой работы. Решение задач по теме «Приближенные методов решений для пластины (решение в рядах)»	3
Д13.	Проработка содержания раздела 3 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение разделов курсовой работы. Решение задач по теме «Приближенные методы решения пластин (метод Бубнова-Галеркина)»	4
Д14.	Проработка содержания раздела 4 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение разделов курсовой работы. Решение задач по теме «Конечно-элементная формулировка плоской задачи теории упругости»	5-6
Д15.	Проработка содержания раздела 5 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение разделов курсовой работы. Решение задач по теме «Расчет плоской конструкции из балочных элементов»	7-8
Д16.	Проработка содержания раздела 5 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение разделов курсовой работы. Решение задач по теме «Расчет плоской конструкции из треугольных конечных элементов»	9-10
Д17.	Проработка содержания раздела 6 по учебным пособиям (в том числе с комплектом материалов в электронной форме). Выполнение разделов курсовой работы. Подготовка презентации курсовой работы. Решение задач по теме «Расчет конструкций с применением программных средств»	11-18

#### 4.5. Курсовая работа

Учебным планом предусмотрено выполнение курсового проекта в объеме 20 часов в 4 семестре. Примерные темы курсового проекта приведены в разделе 6.

### 5. Образовательные технологии

#### 5.1. Методические рекомендации для студентов:

Рабочей программой настоящей дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студентов в объеме, определяемом учебным планом. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к практическим занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к сдаче коллоквиумов, выполнению тестовых заданий и сдаче зачетов и экзаменов.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей настоящей программе дисциплины. По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе дисциплины следует сначала прочитать рекомендованную литературу и при необходимости

сти составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, сайтов и обучающих программ, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

Перечень обязательных видов работы студентов:

1. Посещение лекционных и практических занятий;
2. Выполнение курсового проекта;
3. Выполнение домашних практических работ;
4. Работа с Интернет-источниками;
5. Чтение рекомендованной литературы.

Преподаватель оценивает работу студента на основании контрольного опроса в начале каждого практического занятия, а также по результатам выполнения домашних заданий и защиты курсового проекта.

#### 5.2. Методические рекомендации для преподавателей:

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

**Информационные технологии:** использование электронных образовательных ресурсов при самостоятельной работе с содержанием дисциплины, а также при подготовке к лекциям и практическим занятиям.

**Работа в команде:** совместная работа студентов в группе при коллективном решении задач на практических занятиях с коллективным обсуждением алгоритмов и результатов решений.

Одной из задач преподавателей, ведущих занятия по настоящей дисциплине является выработка у студентов осознания важности, необходимости и полезности знания дисциплины для дальнейшей работы их инженерами, специалистами. Методическая модель преподавания дисциплины основана на применении активных методов обучения.

Принципами организации учебного процесса являются:

- активное участие студентов в учебном процессе;
- проведение практических занятий, определяющих приобретение навыков решения проблемы;
- приведение примеров применения изучаемого теоретического материала к реальным практическим ситуациям.

Для более глубокого изучения предмета преподаватель предоставляет студентам информацию о возможности использования по разделам дисциплины Интернет-ресурсов, кафедральной библиотеки.

#### Виды и содержание учебных занятий

*Теоретические занятия (лекции).*

Теоретические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме в форме лекции-беседы. Основная направленность – вызвать у студентов мотивацию к пониманию существа рассматриваемых в лекции вопросов, а не к формальной записи ее содержания.

Структура каждой лекции следующая:

- в начале, объявляется тема очередной лекции;

- дается общая характеристика познавательных «проблем», подлежащих последующему рассмотрению в ходе лекции, акцентируется внимание на наиболее значимых из них;
- делается небольшая преамбула к очередной «проблеме», дающая основание для последующего диалога и логически подготавливающая студентов к диалогу;
- формулируется вопрос к аудитории о возможных вариантах решения поставленной «проблемы»;
- выслушиваются все варианты ответов;
- поочередно путем коллективного обсуждения оценивается правильность или целесообразность каждого из высказанных ответов и делается окончательный вывод о решении поставленной «проблемы»;
- делается небольшая преамбула к следующей «проблеме» и т.д.

Важным является доброжелательность отношения к каждому из высказанных студентами мнений независимо от степени его истинности, чтобы не погасить желание участвовать в дискуссии. В конце каждой лекции делается небольшое заключение, студентам предлагается задать вопросы и сообщается тема следующей лекции.

#### *Практические занятия.*

Практические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме по технологии работа в команде. Содержанием практических занятий является решение задач и проведение консультаций.

Организация занятий следующая:

- в начале занятия объявляется его тема, и ставятся познавательные цели;
- преподавателем демонстрируется вариант решения одной из типовых задач (при необходимости);
- студенты поочередно выполняют решение задачи у доски;
- в ходе демонстраций решений проводятся коллективные обсуждения, выявляются ошибки и недочеты;
- при решении задач на подбор сечений группа студентов разбивается на команды, каждая из которых проводит проверочный расчёт одного из сечений;
- преподаватель подводит итоги работы команд, оценивает степень достижения поставленных целей, объявляет тему следующего занятия.

#### *Управление самостоятельной работой студента.*

Содержанием внеаудиторной самостоятельной работы студентов является интерактивная работа с учебным материалом дисциплины по электронному комплексу лекций, по учебным пособиям.

Студент имеет полную свободу выбора траектории обучения. По каждой дидактической единице (разделу, параграфу) учебного материала предусмотрен самоконтроль с использованием рекомендованных вопросов самоконтроля, решения домашних заданий.

Итогом самостоятельной работы студента по разделу дисциплины в совокупности с работой на аудиторных занятиях является оценка по разделу.

*Таблица: Интерактивные образовательные технологии*

Семестр	Вид занятия	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
4	лекции	Теоретические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме в форме лекции-беседы на основе мультимедиа-презентации.	17
	семинары	Практические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме по технологии работа в коман-	51

		де	
5	лекции	Теоретические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме в форме лекции-беседы на основе мультимедиа-презентации.	36
	семинары	Практические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме по технологии работа в команде.	36
Итого:			140

*Методика формирования оценки «зачтено»:*

«зачтено» – в течение семестра студент посетил не менее 75% занятий, пропуски занятий по уважительной причине. В целом выполнены все домашние задания. Результаты выполнения контрольных работ или индивидуальных заданий (рефераты, типовые расчеты, курсовые работы и т.п.) удовлетворительные.

«не зачтено» – в течение семестра студент посетил менее 50% занятий, пропуски по неуважительной причине. Не выполнены более 50% домашних заданий. Результаты выполнения хотя бы одной контрольных работ неудовлетворительные. Неудовлетворительная оценка получена за выполнение индивидуальных заданий.

*Методика формирования экзаменационной оценки:*

“5” – «отлично»: даны все ответы на теоретические вопросы курса, что демонстрирует глубокие знания основных понятий курса. Практическая задача (при наличии) решена в полном объеме и получен верный ответ.

“4” – «хорошо»: частично даны ответы на теоретические вопросы (75% верных ответов от общего количества вопросов), что демонстрирует хорошие знания основных понятий курса. Решение практической задачи (при наличии) в целом верное, допущены незначительные неточности при получении численного результата.

“3” – «удовлетворительно»: количество верных ответов на теоретические вопросы составляет 50% от их общего количества, что демонстрирует посредственные знания основных понятий курса. Практическая задача (при наличии) решена частично, решение основано на верных принципах, однако допущены значительные неточности при формулировке законов и выполнении численных вычислений.

“2” – «неудовлетворительно»: количество верных ответов на теоретические вопросы менее 50%, данные ответы содержат принципиальные ошибки и демонстрирует низкий уровень знания основных понятий курса. Практическая задача (при наличии) решена неверно или неправильно.

*Методика формирования оценки за выполнение курсового проекта (работы):*

«отлично»: Отчет по курсовому проекту (работе) выполнен на высоком уровне. Представленный материал фактически верен, опускаются негрубые фактические неточности. Студент свободно отвечает на вопросы, связанные с темой курсового проекта. Материал изложен грамотно, доступно для предполагаемого адресата, логично и интересно. Стиль изложения соответствует задачам курсового проекта. Студент проявил инициативу, творческий подход, способность к выполнению сложных заданий. Документация представлена полностью и в срок

«хорошо»: Курсовой проект (работа) выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне. Студент отвечает на вопросы, связанные с практикой, но недостаточно полно. Допускаются отдельные ошибки, логические и стилистические погрешности. Текст курсового проекта недостаточно логически выстроен, или обнаруживает недостаточное владение риторическими навыками. Студент достаточно полно, но без инициативы и творческих находок выполнил возложенные на него задачи в процессе прохождения практики. Документация представлена достаточно полно и в срок, но с некоторыми недоработками.

«удовлетворительно»: Уровень представленного проекта (работы) недостаточно высок. Студент может ответить, лишь на некоторые вопросы, заданные на курсовое проектирование. Курсовой проект написан несоответствующим стилем, недостаточно полно изложен материал, допущены различные речевые, стилистические и логические ошибки. Студент выполнил большую часть возложенной на него работы. Документация сдана со значительным опозданием (больше недели). Отсутствуют некоторые документы.

«неудовлетворительно»: Курсовой проект (работа) выполнен на низком уровне. Ответы на вопросы по содержанию курсового проекта обнаруживают непонимание предмета и отсутствие ориентации в материале курсового проекта. Допущены грубые орфографические, пунктуационные, стилистические и логические ошибки в курсовом проекте. Неясность и примитивность изложения делают текст трудным для восприятия. Студент практически не выполнил свои задачи или выполнил только некоторые поручения, связанные с подготовкой курсового проекта. Документация не сдана.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Оценивание уровня учебных достижений студента осуществляется в виде внутри-семестрового текущего и промежуточного контроля.

Фонды оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- Домашние задания по разделам.
- Задания для выполнения курсового проекта по дисциплине.
- Комплект экзаменационных вопросов и задач.

Критерии оценивания основываются на результатах текущего контроля (проводится на основании результатов контрольных работ, соблюдения графика представления домашних заданий и их качества, активности студентов на занятиях).

После окончания 4 семестра проводится зачет с оценкой, защита курсовой работы и экзамен. По окончании курса в 5 семестре проводится экзамен. Экзамены проводятся в письменной форме с последующим собеседованием. В экзаменационный билет входит 2 теоретических вопроса, ответы на которые должны быть оформлены письменно. Оценка за экзамен формируется по результатам устного собеседования по вопросам экзаменационного билета. Допускается задавать дополнительные вопросы по всем разделам предмета для уточнения оценки экзамена.

*6.1. Контрольные вопросы по отдельным темам для проведения контрольных опросов, домашние задания, темы курсовых работ, вопросы к экзамену*

*Примеры домашних и контрольных заданий:*

1. Определение главных компонент, инвариантов и направление главных осей тензора напряжений.
2. Расчет плоского напряженно-деформированного состояния с применением функции Эри.
3. Расчет изгиба пластины.
4. Расчет плоской балочной конструкции методом конечных элементов.

*Темы курсовых проектов.*

1. Разработка приложения для расчета главных осей и главных компонент тензора напряжений.
2. Разработка приложения для расчета плоского напряженно-деформированного состояния прямоугольной пластины с произвольным закреплением.
3. Решение плоской задачи теории упругости методом конечных элементов.

4. Задача о кручении бруса.
5. Разработка приложения для расчета напряженно-деформированного состояния прямоугольной, произвольно закрепленной пластины, нагруженной избыточным давлением с определенным законом распределения.
6. Разработка приложения для расчета напряженно-деформированного состояния круглой, произвольно закрепленной пластины, нагруженной избыточным давлением с определенным законом распределения.
7. Разработка программного комплекса вычисления напряженно-деформированного состояния плоской балочной конструкции на основе метода конечных элементов

Вопросы, выносимые на экзамен:

*4 семестр*

1. Структура механики
2. Теория напряженного состояния
3. Уравнения равновесия теории напряженного состояния
4. Главные оси и главные напряжения
5. Общий (трехмерный) случай напряженного состояния
6. Теория деформированного состояния
7. Тензор деформации
8. Уравнение совместности деформации (уравнение Сен-Венана)
9. Обобщенный закон Гука
10. Постановка задачи в теории упругости
11. Плоская задача теории упругости
12. Методы решения задач теории упругости
13. Методы решения задач плоской деформации
14. Плоское напряженное состояние
15. Функция Эри
16. Примеры решения плоской задачи теории упругости с применением функции Эри
17. Основные уравнения плоской задачи теории упругости в полярных координатах
18. Функция напряжения в полярных координатах

*5 семестр*

19. Теория изгиба пластин. Основные положения
20. Физические уравнения и уравнения равновесия теории пластин
21. Математической концепции МКЭ.
22. Физическая концепция МКЭ.
23. Основные шаги численного моделирования.
24. Основное уравнение МКЭ.
25. Шаги общего алгоритма МКЭ.
26. Атрибуты конечных элементов.
27. Классификация конечных элементов.
28. Понятие и типы граничных условий в задачах механики конструкций.
29. Понятие ослабленной формулировки задачи теории упругости.
30. Выражение полной потенциальной энергии тела.
31. Интерполирующие соотношения и матрица градиентов.

32. Принцип минимума потенциальной энергии.
33. Вариация потенциальной энергии деформации тела.
34. Элементарная работа внешних сил.
35. Понятие параметрического представления функций.
36. Основные свойства треугольной системы координат.
37. Интерполяционные соотношения линейного треугольного элемента.
38. Формулы вычисления частных производных функции на треугольном элементе.
39. Матрица градиентов линейного треугольного элемента.
40. Элементная матрица жесткости и элементного вектора узловых сил

Пример оформления экзаменационного билета:

<p><b>Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области Международный университет природы, общества и человека "Дубна" Кафедра "Энергия и окружающая среда"</b></p> <p>Экзаменационный билет № 1</p> <p>Направление: 160100.62 Авиастроение Дисциплина: Теория упругости и МКЭ 3 курс (5 семестр)</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Уравнения равновесия теории напряженного состояния</li> <li>2. Формулы вычисления частных производных функции на треугольном элементе</li> </ol> <p>И.о. заведующего кафедрой _____ /Деникин А.С./ (подпись)</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 6.2. Задание для самостоятельной работы в Интернет

В ходе изучения курса предусмотрено использование компьютера для поиска материалов по тематике разделов в сети Интернет, а также для изучения дополнительных материалов по темам лекций.

## 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература<sup>2</sup>

1. **Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.** Теория упругости : Учебное пособие для вузов / Под ред. Л.П.Питаевского. - 5-е изд., стер. - М. : Физматлит, 2001. - 262с. : ил. - (Теоретическая физика в 10 т. ; Т.7). - ISBN 5-9221-0122-6
2. **Папуша А.Н.** Механика сплошных сред : Учебник для студентов вузов. - М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2011. - 688с. : ил. - ISBN 978-5-4344-0023-7
3. **Гоц А.Н.** Численные методы расчета в энергомашиностроении: Учебное пособие для вузов. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Инфра-М: Форум, 2015. - 352с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 9785911349264.

<sup>2</sup> Список основной литературы должен включать только источники, имеющиеся в наличии в библиотечной системе университета и удовлетворяющие предъявляемым требованиям. Необходимо согласование с руководителем библиотечной системы.

4. **Рекач В.Г.** Руководство к решению задач по теории упругости : Учебное пособие для студентов. - 3-е изд. - М. : Либроком, 2010. - 216с. - ISBN 978-5-397-01361-1

### 7.2 Дополнительная литература

1. **Пирумов У.Г.** Численные методы: Учебное пособие для вузов / Пирумов Ульян Гайкович; Рец. В.Б.Миносцев, Ю.И.Яламов. - 3-е изд.,испр. - М.: Дрофа, 2004. - 224с.: ил. - (Высшее образование). - Лит.:с.216.-Имен.указ.:с.217. - ISBN 9785710787779.
2. [Электронный ресурс] **Формалев В.Ф.**, Ревизников Д.Л. Численные методы: учебное пособие. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 г. 399 с. <http://www.knigafund.ru/books/106329>
3. **Дыховичный Ю.А.** Пространственные составные конструкции: Учебное пособие для вузов / Дыховичный Юрий Абрамович, Жуковский Эрнест Залманович. - М.: Высшая школа, 1989. - 288с.: ил. - ISBN 5-06-000553-4.
4. **Трудоношин В.А.** Математические модели технических объектов: Учебное пособие для вузов / Трудоношин Владимир Анатольевич, Пивоварова Наталья Владимировна. - М.: Высшая школа, 1986. - 160с.: ил. - (Системы автоматизированного проектирования; Кн.4). - (Новая техника). - Исп.лит.:с.158.
5. **Мейз, Дж.** Теория и задачи механики сплошных сред / Пер.с англ. Е.И.Свешниковой; Под ред. М.Э.Эглит. - 2-е изд. - М. : Издательство ЛКИ, 2007. - 320с. : ил. - ISBN 978-5-382-00049-7

### 7.3 Интернет-ресурсы

#### *Электронно-библиотечные системы (ЭБС) и БД*

1. ЭБС «Лань»: <http://e.lanbook.com/>
2. ЭБС «Нэлбук»: [www.nelbook.ru](http://www.nelbook.ru)
3. ЭБС «Университетская библиотека онлайн»: [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
4. ЭБС ZNANIUM.COM: <http://znanium.com/>

#### *Профессиональные интернет-ресурсы*

1. «Уголок неба». Большая авиационная энциклопедия: <http://www.airwar.ru/>
2. Авиационная библиотека: <http://civilavia.info/>
3. Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского (ЦАГИ): <http://www.tsagi.ru>
4. Общероссийская общественная организация «Ассоциации инженерного образования России»: <http://aeer.ru>
5. ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»: <http://www.ktrv.ru/>
6. ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (ОАО «ОАК»): <http://uacrussia.ru>
7. Федеральное космическое агентство (Роскосмос): <http://www.roscosmos.ru/>
8. Федеральное агентство воздушной авиации (Росавиация): <http://www.favt.ru/>
9. International Astronautical Federation (Международная Федерация астронавтики): <http://www.iafastro.org/>
10. International Council on Aeronautical Sciences (ICAS) (Международный совет по авиационным наукам): <http://www.icas.org/>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Компьютерные презентации по материалам лекций
2. Учебная аудитория, оборудованная мультимедиа проектором.
3. Компьютерный учебный класс компании «Прогрестех-Дубна» с предустановленным программным обеспечением