

**Приложение 1**  
**УТВЕРЖДЕНО**  
**приказом ФИЦ КазНЦ РАН**  
**22.04.2019 № 17-А**

Разработано и рекомендовано к утверждению  
Ученым советом ИММ – обособленного  
структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН  
14 марта 2019 г., протокол № 3

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **«Механика деформируемого твердого тела»**

Уровень высшего образования  
Подготовка кадров высшей квалификации  
Направление подготовки

#### **01.06.01 МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА**

Направленность подготовки:

Механика деформируемого твердого тела (01.02.04)

Квалификация выпускника:

Исследователь. Преподаватель-исследователь

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Виды учебной деятельности, способ и формы ее проведения, трудоемкость дисциплины.
2. Перечень планируемых результатов обучения.
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.
4. Содержание дисциплины.
5. Учебно-тематический план занятий
6. Формы текущего контроля и промежуточной аттестации, критерии оценки.
7. Перечень учебной литературы и ресурсов сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины.
8. Описание материально-технической базы, необходимой для освоения дисциплины.

## **1. ВИДЫ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СПОСОБ И ФОРМЫ ЕЕ ПРОВЕДЕНИЯ, ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ**

Виды учебной деятельности: аудиторные занятия - 1 зачетная единицы труда (36 часов), самостоятельная работа – 9 зачетных единиц труда (324 часа), всего – 10 зачетных единиц труда (360 часов).

Форма проведения аудиторных занятий – лекции, семинары, консультации.

В рамках часов самостоятельной работы по указанию преподавателя аспиранты прорабатывают темы и осваивают теоретические вопросы, излагаемые в лекционном курсе, а также самостоятельно изучают другие вопросы программы.

Формой итогового контроля является зачет.

Формой промежуточной аттестации является кандидатский экзамен.

## **2. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ**

В результате освоения дисциплины выпускник должен обладать следующими компетенциями:

### **2.1 Универсальные компетенции:**

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5).

### **2.2 Обще-профессиональные компетенции:**

- способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);
- готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования (ОПК-2).

### **2.3 Профессиональные компетенции:**

- способность собирать и анализировать мировые научные знания о фундаментальных основах современной механики деформируемого твердого тела и формулировать направления самостоятельных исследований (ПК-1);
- владение основами современных методов экспериментальной механики деформируемого твердого тела (ПК-2);
- способность обобщать и анализировать полученные результаты и представлять их в виде научных публикаций (ПК-3).

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина «Механика деформируемого твердого тела» является обязательной и включена в Блок № 1 программы аспирантуры, относящийся к вариативной части основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению подготовки 01.06.01 Математика и механика. Обучение проводится на втором курсе.

Данная дисциплина базируется на знаниях и умениях, выработанных при прохождении общих профессиональных курсов теоретической механики, сопротивления материалов, математического анализа, уравнений математической физики в рамках магистерской программы образования или специалитета. Владением данными знаниями и умениями устанавливается в ходе вступительных испытаний в аспирантуру.

Аспирант должен обладать навыками самостоятельного освоения изучаемого материала.

В результате освоения дисциплины аспирант должен получить дополнительные знания, умения и навыки. Аспирант должен:

#### ***Знать:***

- состояние механики деформируемых твердых тел;
- основы механики разрушения;
- состояние механики тонкостенных конструкций;
- методы научных исследований в области механики тонкостенных конструкций;
- методы научных исследований в области механики тонкослойных элементов конструкций;
- сплайновый вариант метода конечных элементов для расчета оболочек сложной геометрии;
- сплайновый вариант метода конечных элементов для расчета трехмерных тел сложной геометрии;
- правила и требования техники безопасности при проведении экспериментальных исследований.

#### ***Владеть:***

- знаниями, на основе которых осуществляется анализ работы тонкостенных конструкций, включая конструкции с дефектами;
- навыками сбора, обработки и систематизации информации по теме исследования.

#### ***Уметь:***

- анализировать научную литературу с целью самостоятельного выбора направления исследования, самостоятельно составлять план исследования; участвовать в научных дискуссиях;

- определять необходимые подходы и методы исследования; определять необходимые ресурсы (материальные и нематериальные) для выполнения исследования.

Дисциплина направлена на подготовку к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине.

## **4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **4.1. Введение в механику деформируемого твердого тела**

- 4.1.1. Стержневые системы. Упругое тело. Неупругость. Механика разрушения. Пластины и оболочки. Основные понятия.
- 4.1.2. Основные соотношения для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) одномерных, двумерных и трехмерных элементов конструкций. Методы, используемые для анализа напряженно-деформированного состояния НДС.

### **4.2. Введение в теорию пластин и оболочек**

- 4.2.1. Классификация задач теории оболочек: слабый изгиб, средний изгиб, сильный изгиб оболочки. Деформация поверхности и оболочки. Соотношения упругости.
- 4.2.2. Уравнения равновесия теории тонких оболочек.

### **4.3. Методы решения задач теории пластин и оболочек**

- 4.3.1. Метод конечных разностей для расчета краевых задач теории пластин и оболочек. Метод коллокаций для решения задач теории пластин и оболочек.
- 4.3.2. Метод конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния тонкостенных конструкций.

### **4.4. Вариационные уравнения теории оболочек**

- 4.4.1. Начало возможных перемещений. Энергия деформации оболочки. Вариационное уравнение Лагранжа.
- 4.4.2. Метод Бубнова-Галеркина. Уравнения метода Бубнова-Галеркина. Метод Ритца.

### **4.5. Панели и пологие оболочки**

- 4.5.1. Конструктивно анизотропные панели сложной геометрии. Перемещения и деформации. Уравнения равновесия. Численное решение системы дифференциальных уравнений.
- 4.5.2. Двусвязные пластины и пологие оболочки. Параметризация оболочки. Основные соотношения и допущения. Уравнения равновесия. Метод и алгоритм решения задачи.

### **4.6. Оболочки сложной геометрии**

- 4.6.1. Сплайновый вариант метода конечных элементов для расчета оболочек сложной геометрии. Параметризация срединной поверхности оболочек сложной геометрии.
- 4.6.2. Геометрические величины оболочек сложной геометрии на этапе

параметризации в прямоугольной, в цилиндрической, сферической и тороидальной системах координат. Геометрические величины для резных поверхностей.

- 4.6.3. Экспериментальный способ параметризация срединной поверхности оболочек сложной геометрии.
- 4.6.4. Геометрические и физические соотношения. Метод решения. Вариационное уравнение Лагранжа. Аппроксимация исходных перемещений в пределах элемента. Алгоритм построения расчетной сетки.

#### **4.7. Трехмерное упругое тело**

- 4.7.1. Геометрические и физические соотношения для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) трехмерных тел. Вариационное уравнение Лагранжа.
- 4.7.2. Метод конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния трехмерных тел сложной геометрии. Параметризация трехмерной области сложной геометрии.
- 4.7.3. Метод решения. Аппроксимация исходных перемещений в пределах трехмерного элемента. Алгоритм расчета.

### **5. УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЗАНЯТИЙ**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование темы</b>	<b>Аудиторные занятия</b>	<b>Самост. работа</b>	<b>Всего часов</b>
4.1.	Введение в механику деформируемого твердого тела	<b>4</b>	<b>42</b>	<b>46</b>
4.2.	Введение в теорию пластин и оболочек	<b>4</b>	<b>42</b>	<b>46</b>
4.3.	Методы решения задач теории пластин и оболочек	<b>4</b>	<b>42</b>	<b>46</b>
4.4.	Вариационные уравнения теории оболочек	<b>4</b>	<b>42</b>	<b>46</b>
4.5.	Панели и пологие оболочки	<b>4</b>	<b>42</b>	<b>46</b>
4.6.	Оболочки сложной геометрии	<b>8</b>	<b>57</b>	<b>65</b>
4.7.	Трехмерное упругое тело	<b>8</b>	<b>57</b>	<b>65</b>
<b>ИТОГО</b>		<b>36</b>	<b>324</b>	<b>360</b>

### **6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ, КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ**

**6.1. Текущий контроль:** текущий контроль освоения дисциплины проводится регулярно, начиная со второй недели обучения, в форме контроля

посещаемости, устного опроса по изучаемой теме. Формой итогового контроля по дисциплине является зачет. Зачет проводится по вопросам.

### ***Вопросы к итоговому контролю***

1. Основные гипотезы расчета стержней, оболочек и трехмерных тел.
2. Причины разрушения конструкций.
3. Линейные и нелинейные задачи: отличительные признаки.
4. Вариационное уравнение Лагранжа.
5. Особенности метода конечных разностей.
6. Сущность метода Бубнова-Галеркина.
7. Основные соотношения для расчета панелей.
8. Подходы расчета оболочек сложной геометрии
9. Особенности параметризации поверхностей в различных системах координат.
10. Основные соотношения, используемые в сплайновом варианте МКЭ.
11. Подходы анализа НДС трехмерных тел.
12. Геометрические соотношения СВ МКЭ-3.
13. Вопросы параметризации трехмерных тел сложной геометрии.
14. Алгоритм расчета в СВ МКЭ-3.
15. Отличительные особенности расчета оболочек и трехмерных тел.

### **6.2. Критерии оценки итогового контроля:**

«зачтено»	Вопрос раскрыт, основные идеи, гипотезы, соотношения, алгоритмы и подходы изложены.
«не зачтено»	Вопрос не раскрыт или раскрыт частично, основные идеи, гипотезы, соотношения, алгоритмы и подходы не изложены

**При отсутствии оценки «зачтено» обучающийся не допускается к промежуточной аттестации**

### **6.3. Промежуточная аттестация: кандидатский экзамен по утвержденной программе (для обязательных дисциплин)**

Кандидатский экзамен по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» проводится в устной форме по вопросам программы, на экзамене предлагается три вопроса (без билетов). После устного ответа могут заданы дополнительные и уточняющие вопросы, не выходящие за пределы программы кандидатского экзамена.

#### 6.4. Критерии оценки промежуточной аттестации

<b>Отлично</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Все вопросы раскрыты полностью</li> <li>– Обучающийся владеет основными теориями и глубоко понимает их содержание</li> <li>– Имеет ясное представление связи теории и практики в рамках излагаемого материала</li> <li>– Уверенно владеет необходимыми методами решения конкретных задач, может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами</li> <li>– Ясно и четко дает основные определения. Владеет терминологическим и понятийным аппаратом</li> <li>– Развернуто отвечает на дополнительные вопросы.</li> </ul>
<b>Хорошо</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Вопросы раскрыты по существу</li> <li>– Обучающийся в целом владеет основными теориями и понимает их содержание</li> <li>– Имеет общее представление о связи теории и практики в рамках излагаемого материала</li> <li>– Владеет в целом необходимыми методами решения конкретных задач, может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами</li> <li>– В достаточной мере владеет понятийным и терминологическим аппаратом</li> <li>– Имеет затруднения при ответе на дополнительные вопросы.</li> </ul>
<b>Удовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Вопросы раскрыты, но не полностью</li> <li>– Слабое понимание связи теории и практики</li> <li>– Обучающийся может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, но имеет затруднения при решении некоторых задач</li> <li>– Обучающийся не демонстрирует уверенного владения понятийным и терминологическим аппаратом</li> <li>– Дополнительные вопросы вызывают затруднение.</li> </ul>
<b>Неудовлетворительно</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Большая часть вопросов не раскрыта</li> <li>– Обучающийся не может проиллюстрировать основные положения теории конкретными примерами, не может применить теорию при решении конкретных задач</li> <li>– Нет ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul>



## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 7.1. Литература

(жирным шрифтом выделена основная литература)

- 1. Амензаде Ю.А. Теория упругости (3-е издание). М.: Высшая школа, 1976.**
- 2. Еремеев В.А., Зубов Л.М. Механика упругих оболочек. М.: Наука, 2008.**
3. Кукуджанов В.Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций. М.: МФТИ, 2008.
4. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 576 с.
5. Якупов Н.М. Прикладные задачи механики упругих тонкостенных конструкций. ИММ КНЦ РАН, Казань, 1994 г. 124 с.
6. Якупов Н.М. Механика: проблема-идея-практика. ИММ КазНЦ РАН, Казань, Общество изобретателей РТ, Изд-во КГУ, 2010. 161 с.
7. Якупов С.Н., Тамеев И.М., Якупов Н.М. Диагностика и лечение трубопроводов, Казань, Изд-во АО «ИД «Казанская недвижимость», 2018. 180 с.

### 7.2. Электронные ресурсы

1. Ишлинский А.Ю., Ивлев Д.Д. Математическая теория пластичности. М.: Физматлит, 2003 (eqworld.ipmnet.ru, библиотека КФТИ, <http://biblioclub.ru/>).
2. Лейбензон Л.С. Курс теории упругости. ОГИЗ. Гос. изд-во техн.-теор. Литературы. 1947. 464 с. (<http://eqworld.ipmnet.ru/>).
3. Седов Л.И. Механика сплошной среды. В 2-х томах. М.: Наука – Физматлит, 1976. (<http://eqworld.ipmnet.ru/>).
4. Нигматулин Р.И. Основы механики сплошных сред. Курс лекций для студентов МГУ. 2010. (<http://nigmatulin.ru/faylovyiy-arhiv/2.html>)
5. Электронная платформа издательства Elsevier - <http://www.scopus.com> (Реферативно-поисковая база данных Scopus)
6. Платформа научной электронной библиотеки e-Library.ru - <http://www.elibrary.ru>
7. Электронная платформа издательства SPRINGER - <http://www.springerlink.com>

## 8. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Лекционные занятия и консультации, самостоятельная работа по освоению дисциплины и подготовка к сдаче кандидатских экзаменов проводятся в специальных помещениях (читальный зал научной библиотеки и/или конференц-залы), оборудованных мебелью (столы, стулья), классной доской (меловой), компьютером, проектором для демонстрации презентаций.