

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила  
Канта»**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
«Механика деформируемого твердого тела»**

для программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в  
аспирантуре

Калининград  
2024

## Лист согласования

Составитель: Великанов Н.Л., д.ф.-м.н., профессор ОНК «Институт высоких технологий»

Рабочая программа утверждена на заседании  
Ученого совета ОНК «Институт высоких технологий»

Протокол № 14 от «31» 01.2024 г.

Председатель Ученого совета  
ОНК «Институт высоких технологий» Профессор, д.ф.-м.н.

Юров А.В.

## Содержание:

<b>1. Общая характеристика дисциплины</b>	<b>4</b>
<b>2. Объём дисциплины</b>	<b>4</b>
<b>3. Содержание дисциплины</b>	<b>5</b>
<b>4. Учебно-тематический план дисциплины</b>	<b>9</b>
<b>5. Учебно-методическое сопровождение самостоятельной работы обучающихся</b>	<b>9</b>
<b>6. Оценочные средства для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся</b>	<b>9</b>
<b>7. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине</b>	<b>10</b>
<b>8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины</b>	<b>10</b>
<b>9. Материально-техническое обеспечение дисциплины</b>	<b>11</b>



	В зачетных единицах	5	2	3
--	---------------------	---	---	---

### **3. Содержание дисциплины**

№ пп	Наименование раздела/ темы	Содержание темы
1	Тема 1: Механика и термодинамика сплошных сред	<p>Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Физически и геометрически малый элемент. Деформация элемента сплошной среды. Два способа описания деформации сплошного тела. Координаты Эйлера и координаты Лагранжа. Переход от Эйлера описания к Лагранжеву и обратно. Тензор деформации Коши-Грина. Геометрический смысл компонент тензора деформации Грина. Тензор деформации Альманси. Геометрический смысл компонент тензора деформации Альманси. Условия совместности деформаций. Формулировка условий совместности деформаций в цилиндрической и сферической системе координат. Вычисление тензора малых деформаций по заданному полю перемещений. Формулы Чезаро. Классификация сил в механике сплошных сред: внешние и внутренние силы, массовые и поверхностные силы. Тензоры напряжений Коши, Пиолы и Кирхгофа. Законы сохранения механики сплошных сред: уравнения баланса массы, импульса, момента импульса, кинетической, потенциальной и полной энергии.</p>

2	Тема 2: Теория упругости	<p>Упругое деформирование твердых тел. Упругий потенциал и энергия деформации. Линейно упругое тело Гука. Понятие об анизотропии упругого тела. Тензор упругих модулей. Частные случаи анизотропии: трансверсально изотропное и ортотропное упругое тело. Упругие модули изотропного тела. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Ламе в перемещениях. Уравнения Бельтрами-Митчелла в напряжениях. Граничные условия. Постановка краевых задач математической теории упругости. Основные краевые задачи. Принцип СенВенана. Общие теоремы теории упругости: теорема Клапейрона, тождество взаимности, теорема единственности. Основные энергетические функционалы линейной теории упругости. Вариационные принципы теории упругости: принцип минимума полной потенциальной энергии, принцип минимума дополнительной энергии, принцип Рейснера. Теоремы Кастильяно. Теорема Бетти. Примеры. Действие сосредоточенной силы в неограниченной упругой среде. Тензор Грина. Граничные интегральные представления напряжений и перемещений. Формула Сомильяны. Общие представления решений уравнений теории упругости: представление Кельвина, представление Галеркина и представление Папковича-Нейбера. Нормальная нагрузка на границе полупространства (задача Буссинеска). Касательная нагрузка на границе полупространства (задача Черрути). Плоское напряженное и плоское деформированное состояние. Плоская задача теории упругости. Метод комплексных потенциалов Колосова-Мухелишвили. Комплексное представление напряжений и перемещений. Уравнения плоской задачи теории упругости в полярных координатах. Смешанная задача для полуплоскости. Задача Гриффитса. Антиплоская деформация. Трещина антиплоского сдвига в упругом теле. Кручение и изгиб призматического тела (задача СенВенана). Теоремы о циркуляции касательного напряжения при кручении и изгибе. Центр изгиба. Задача о действии штампа с плоским основанием на полуплоскость. Контактная задача Герца. Теория тонких упругих пластин и оболочек. Основные гипотезы.</p>
---	--------------------------	---

3	Тема 3: Теория пластичности	<p>Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций. Линии Людерса–Чернова. Идеальное упругопластическое тело. Идеальное жесткопластическое тело. Пространство напряжений. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Пространство главных напряжений. Геометрическая интерпретация условий текучести. Условие полной пластичности. Влияние среднего напряжения. Упрочняющееся упругопластическое тело. Упрочняющееся жесткопластическое тело. Функция нагружения, поверхность нагружения. Параметры упрочнения. Законы связи между напряженным и деформированным состояниями в теории течения. Принцип Мизеса. Постулат Друккера. Ассоциированный закон пластического течения. Теория скольжения. Краевые задачи теории течения. Теоремы единственности. Вариационные принципы теории течения. Теория предельного равновесия. Статическая и кинематическая теоремы теории предельного равновесия. Верхние и нижние оценки. Примеры</p>
4	Тема 4: Теория вязкоупругости и ползучести	<p>Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации. Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Фохта, модель Томсона. Время релаксации. Время запаздывания. Определяющие соотношения теории вязкоупругости. Ядра ползучести и релаксации. Непрерывные ядра и ядра со слабой особенностью. Термодинамические ограничения на выбор ядер ползучести и релаксации. Формулировка краевых задач теории вязкоупругости. Методы решения краевых задач теории вязкоупругости: принцип соответствия Вольтерры, применение интегрального преобразования Лапласа, численные методы. Теорема единственности. Вариационные принципы в линейной вязкоупругости. Применение вариационного метода к задачам изгиба.</p>

5	Тема 5: Механика разрушения	<p>Понятие о разрушении и прочности тел. Общие закономерности и основные типы разрушения. Концентраторы напряжений. Коэффициент концентрации напряжений: растяжение упругой полуплоскости с круговым и эллиптическим отверстиями. Феноменологические теории прочности. Критерии разрушения: деформационный, энергетический, энтропийный. Критерии длительной и усталостной прочности. Расчет прочности по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса прочности. Двумерные задачи о трещинах в упругом теле. Метод разложения по собственным функциям в задаче о построении асимптотик полей напряжений и перемещений у вершины трещины в упругом теле. Коэффициент интенсивности напряжений, методы его вычисления и оценки. Скорость высвобождения энергии при продвижении трещины в упругом теле. Энергетический подход Гриффитса в механике разрушения. Силовой подход в механике разрушения: модели Баренблатта и Ирвина. Эквивалентность подходов в случае хрупкого разрушения. Формула Ирвина.</p>
6	Тема 6: Численные методы решения задач механики деформируемого твердого тела	<p>Метод конечных разностей. Типичные разностные схемы для параболических, эллиптических и гиперболических уравнений. Метод конечных разностей для дифференциальных уравнений теории упругости. Вариационный принцип минимума полной потенциальной энергии упругого тела. Методы Релея–Ритца, Бубнова–Галеркина и градиентного спуска в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии. Метод конечных элементов в теории упругости. Пределы применимости метода конечных элементов. Применение сплайн-аппроксимаций. Метод интегральных преобразований. Формула Сомильяны и метод граничных интегральных уравнений (метод граничных элементов). Метод характеристик в двумерных задачах теории пластичности. Область определенности и область зависимости решения гиперболической краевой задачи. Метод лучевых разложений для решения гиперболических задач теории пластичности и волновой динамики. Понятие о вычислительном эксперименте.</p>

#### **4. Учебно-тематический план дисциплины**

Номер раздела, темы	Наименование разделов, тем	Количество часов					Форма контроля
		Всего	КР	Л	СПЗ	СР	
	<b>Семестр 3</b>	<b>72</b>	<b>36</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>36</b>	
1	Тема 1: Механика и термодинамика сплошных сред	24	12	8	4	12	
2	Тема 2: Теория упругости	24	12	8	4	12	
3	Тема 3: Теория пластичности	24	12	8	4	12	
4	<b>Семестр 4</b>	<b>108</b>	<b>36</b>	<b>24</b>	<b>12</b>	<b>54</b>	<b>КЭ</b>
5	Тема 4: Теория вязкоупругости и ползучести	36	12	8	4	18	
6	Тема 5: Механика разрушения	36	12	8	4	18	
7	Тема 6: Численные методы решения задач механики деформируемого	36	12	8	4	18	
	<b>Общий объем</b>	<b>180</b>	<b>72</b>	<b>48</b>	<b>24</b>	<b>90</b>	<b>18</b>

#### **5. Учебно-методическое сопровождение самостоятельной работы обучающихся**

Цель самостоятельной работы обучающихся заключается в глубоком, полном усвоении учебного материала и в развитии навыков самообразования. Самостоятельная работа может включать: работу с текстами, литературой, учебно-методическими пособиями, нормативными материалами, в том числе материалами сети интернет, а также проработку конспектов лекций, подготовка презентаций, рефератов, участие в работе семинаров, научных конференциях и пр.

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

##### **Примерные вопросы для проведения устного опроса по дисциплине:**

1. условия на поверхности тела
2. коэффициенты кубического уравнения относительно главных напряжений
3. правила знаков для линейных и угловых деформаций
4. выражения для инвариантов тензора деформаций
5. энергетический смысл уравнений неразрывности деформаций
6. однородные, изотропные, анизотропные, ортотропные тела
7. выражения закона Гука, связывающие объемную деформацию и среднее нормальное напряжение
8. принцип Сен-Венана
9. разница между плоской деформацией и обобщенным плоским напряженным состоянием
10. задачи о напряженном состоянии упругого тела с трещиной
11. определение понятиям устойчивого и неустойчивого развития трещины
12. три типа граничных условий на поверхности тела.

13. Чем отличаются друг от друга простое и сложное нагружения?
14. Что представляют собой активная и пассивная деформации?
15. Коэффициент интенсивности как основная характеристика тела с трещиной.

### **7. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине**

В ходе текущего контроля успеваемости (устный или письменный опрос, подготовка и защита реферата, доклад, презентация, тестирование и пр.) при ответах на учебных занятиях, а также промежуточной аттестации в форме зачета обучающиеся оцениваются по двухбалльной шкале:

Оценка «зачтено» - выставляется аспиранту, если он продемонстрировал знания программного материала, подробно ответил на теоретические вопросы, справился с выполнением заданий и (или) ситуационных задач, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

Оценка «не зачтено» - выставляется аспиранту, если он имеет пробелы в знаниях программного материала, не владеет теоретическим материалом и допускает грубые, принципиальные ошибки в выполнении заданий и (или) ситуационных задач, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

Оценка по результатам проведения кандидатского экзамена по дисциплине выставляется на основе совокупности ответов по вопросам программы кандидатского экзамена и по вопросам дополнительной программы по теме диссертации аспиранта, которая согласовывается с научным руководителем.

Оценка «отлично» выставляется за исчерпывающий ответ, отражающий знание и профессиональное владение материалом программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «хорошо» выставляется за ответ, содержащий не принципиальные погрешности, отражающий знание и свободное владение материалом программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «удовлетворительно» выставляется за ответ, отражающий знание принципиальных положений вопросов, при наличии погрешностей, устраняемых аспирантом при ответе на дополнительные вопросы программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за ответ, показывающий непонимание существа вопроса, наличия грубых ошибок в ответах на вопросы программы кандидатского экзамена и дополнительной программы по теме диссертации.

### **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

#### **Рекомендуемая литература:**

Основная литература

Иванов Н.Б. Теория деформируемого твердого тела: тексты лекций.

Казань: Издательство КНИТУ, 2013. 124 с. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258827>.

2. Колесников Ю.В. Механика контактного разрушения. Москва: URSS: [Изд-во ЛКИ], 2012. 222 с.

3. Ломакин В.А. Теория упругости неоднородных тел. М.: URSS: ЛЕНАНД, 2014. 367 с.

4. Аналитические решения смешанных осесимметричных задач для функциональноградиентных сред / С.М. Айзикович, В.М. Александров, А.С. Васильев, Л. И. Кренин, И. С.

Трубчик. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. 192 С.

**Программное обеспечение:**

Программное обеспечение обучения включает в себя:

- система электронного образовательного контента БФУ им. И. Канта - [www.lms-](http://www.lms-kantiana.ru)

**1.** [kantiana.ru](http://kantiana.ru), обеспечивающую разработку и комплексное использование электронных образовательных ресурсов;

- серверное программное обеспечение, необходимое для функционирования сервера и связи с системой электронного обучения через Интернет;

- корпоративная платформа Webinar.ru;

- установленное на рабочих местах студентов ПО: Microsoft Windows 7, Microsoft Office Standart 2010, антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security. Java 8 Update 231 MATLAB R2016a Dev-C++

**Электронные образовательные ресурсы:**

- НЭБ Национальная электронная библиотека, диссертации и прочие издания  
- ЭБС Консультант студента

- ПРОСПЕКТ ЭБС

- ЭБС ZNANIUM.COM

- ЭБС IBOOKS.RU

- Электронно-библиотечная система (ЭБС) Кантитана (<https://elib.kantiana.ru/>)

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

БФУ им. И. Канта имеет специальные помещения и лаборатории для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, научных исследований, промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы и помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования.