

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

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель ОНК
«Институт высоких технологий»
А.В. Юров

«_____» _____ 2023 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Механика деформируемого твердого тела»

для программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Калининград
2023

Лист согласования

Составители:

Лейцин Владимир Нояхович, д.ф.-м.н., профессор, профессор ОНК «Институт высоких технологий»

Программа одобрена Ученым советом ОНК «Институт высоких технологий»

Протокол №7 от «б» июля 2023 г.

Председатель Ученого совета ОНК «Институт высоких технологий» _____ А.А. Шпилевой

Содержание

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

1. Общая характеристика дисциплины

Учебная дисциплина «**Механика деформируемого твердого тела**» относится к числу дисциплин, направленных на подготовку и сдачу кандидатского экзамена по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре научной специальности 1.1.8 «**Механика деформируемого твердого тела**».

Целью дисциплины "Механика деформируемого твердого тела" является приобретение основных профессиональных компетенций в ходе углубленного изучения данной области знаний. Данная дисциплина предназначена для студентов аспирантуры и направлена на следующие ключевые цели и задачи:

1. Понимание фундаментальных основ механики и термодинамики сплошных сред:

Основная цель - обеспечить студентов глубокими знаниями о законах деформирования, повреждения и разрушения природных, искусственных и вновь создаваемых материалов, лежащих в основе явлений в деформируемых твердых телах. Студенты должны научиться объяснять и предсказывать физико-механические и другие, связанные с ними, характеристики композиционных материалов и конструкций, включая интеллектуальные материалы.

2. Анализ и применение в научных исследованиях:

Дисциплина направлена на развитие у студентов навыков критического анализа связанных процессов в деформируемых твердых телах и их применения для решения научных и инженерных задач.

3. Численные методы решения задач механики деформируемых твердых тел:

Студенты должны углубленно изучить основные подходы численного моделирования состояния деформируемых твердых тел таких, как методы конечных разностей, конечных элементов и интегральных уравнений, а также понять способы верификации результатов вычислительных экспериментов в решении задач механики деформируемого твердого тела.

4. Применение знаний в практических областях:

Дисциплина также направлена на развитие умений студентов в применении знаний механике конструкционных и функциональных материалов в различных научных и технических областях.

В результате успешного изучения этой дисциплины студенты аспирантуры будут обладать глубоким пониманием современной механики деформированного твердого тела и способностью применять это знание в актуальных научных исследованиях и разработках.

Язык реализации дисциплины – русский.

2. Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, час.	Объем по семестрам
		1,2
Контактная работа обучающегося с преподавателем по видам учебных занятий (КР):	56	28,28
<i>Лекционные занятия (Л)</i>	20	10,10
<i>Семинарские/ Практические занятия (СПЗ)</i>	36	18,18
Самостоятельная работа обучающегося, в том числе подготовка к промежуточной аттестации (СР)	70	44,26
Вид промежуточной аттестации: Зачет (З), Зачет с оценкой (ЗО), Экзамен (Э), Кандидатский экзамен (КЭ)	18	18 КЭ (2 сем.)
Общий объем	В часах	144
	В зачетных единицах	4

3. Учебно-тематический план дисциплины

Номер раздела, темы	Наименование разделов, тем	Количество часов					Форма контроля
		Всего	КР	Л	СПЗ	СР	
Семестр 1		72	28	10	18	44	КЭ
Раздел 1	Основы механики и термодинамики сплошных сред	28	12	4	8	16	
Тема 1.1	<p>Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Физически и геометрически малый элемент. Деформация элемента сплошной среды. Координаты Эйлера и координаты Лагранжа. Тензор деформаций Коши-Грина и геометрический смысл его компонентов. Тензор деформаций Альманси. Условия совместности деформаций</p> <p>Вектор напряжений на произвольной площадке и его связь с векторами напряжений на трех взаимно ортогональных площадках. Симметрия тензора напряжений. Общее представление тензора напряжений и его инвариантность.</p>	14	6	2	4	8	
Тема 1.2	<p>Законы сохранения механики сплошных сред: баланс массы, импульса, момента импульса, кинетической, потенциальной и полной энергии. Термодинамические процессы и циклы. Параметры состояния. Понятие о работе, внутренней энергии, температуре и энтропии. Законы термодинамики. Термодинамические потенциалы состояния. Определяющие соотношения механики сплошных сред.</p>	14	6	2	4	8	
Раздел 2	Законы деформирования твердого тела	44	16	6	10	28	
Тема 2.1	<p>Теория упругости. Упругий потенциал и энергия деформации. Анизотропия упругого тела. Матрица упругих модулей. Упругие модули изотропного тела.</p> <p>Система уравнений теории упругости. Общая постановка задачи. Постановка задачи в перемещениях. Уравнения Бельтраме-Митчела в напряжениях. Граничные условия. Принцип смягчения граничных условий Сен-Венана.</p> <p>Теорема Клайперона; тождество взаимности; теорема единственности. Энергетические функционалы теории упругости. Вариационные принципы. Теоремы Кастильяно. Теорема Бетти.</p> <p>Фундаментальные решения теории упругости. Формула Соммильяны.</p> <p>Основные гипотезы теории тонких пластин и оболочек. Постановка задач теории пластин и оболочек. Безмоментная теория. Краевые эффекты. Динамические задачи упругости. Динамические,</p>	20	8	2	6	12	

	геометрические и кинематические условия совместности на волновом фронте. Свободные волны в неограниченной изотропной среде. Плоские волны. Волны Релея. Волны Лява. Установившиеся колебания. Частоты и формы собственных колебаний. Вариационный принцип Релея. Температурные задачи теории упругости. Уравнения термоупругости.						
Тема 2.2	Теория пластичности. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Физические механизмы пластического течения. Дислокации. Локализация пластических деформаций. Пространство напряжений. Критерий текучести и поверхность текучести. Критерии Треска и Мизеса. Влияние среднего напряжения. Упрочняющиеся упругопластические и жесткопластические тела. Параметры упрочнения. Связь напряженного и деформированного состояний в теории течения. Краевые задачи теории течения. Теоремы единственности. Вариационные принципы теории течения. Деформационные теории пластичности. Теория малых упруго пластических деформаций А.А. Ильюшина. Теорема о разгрузке.	12	4	2	2	8	
Тема 2.3	Теория вязкоупругости и ползучести Ползучесть и релаксация. Простейшие модели линейных вязкоупругих тел. Время релаксации. Время запаздывания. Определяющие соотношения вязкоупругости. Ядра ползучести и релаксации. Термодинамические ограничения на выбор ядер ползучести и релаксации. Краевые задачи вязкоупругости. Принцип соответствия Вольтерры. Интегральные преобразования Лапласа. Численные методы. Теорема единственности.	12	4	2	2	8	
	Семестр 2	72	28	10	18	26	18
Раздел 3	Механика разрушения	36	16	4	12	20	
Тема 3.1	Общие закономерности и основные типы разрушения. Концентраторы напряжений. Феноменологические теории прочности. Деформационный и энергетический критерии прочности. Критерии длительной и усталостной прочности. Расчет прочности по допускаемым напряжениям. Коэффициент запаса прочности. Двумерные задачи о трещинах в упругом теле. Коэффициенты интенсивности напряжений. Высвобождение энергии при продвижении трещины. Подход Гриффитца. Силовой подход в механике разрушения: модели Дагдейла-Баренблатта и Ирвина. Эквивалентность подходов хрупкого разрушения. J-интеграл Черепанова-Райса. Вычисление потока энергии в вершину трещины. JR кривая.	36	16	4	12	20	

	Оценка пластической зоны у вершины трещины по Ирвину. Кинетическая концепция прочности твердых тел. Формула Журкова. Понятие об усталостном разрушении. Малоцикловая и многоцикловая усталость. Понятие о поврежденности. Принцип линейного суммирования повреждений. Накопление повреждений в условиях ползучести.						
Раздел 4	Численные методы механики деформируемого твердого тела.	18	12	6	6	6	
	Метод перемещений строительной механики. Метод конечных элементов.	6	4	2	2	2	
	Метод граничных интегральных уравнений.	6	4	2	2	2	
	Понятие о вычислительном эксперименте. Использование вычислительного эксперимента для решения задач механики деформируемого твердого тела	6	4	2	2	2	
	Общий объем	144	56	20	36	70	18

4. Учебно-методическое сопровождение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа осуществляется в виде изучения литературы, данных по публикациям, подготовке индивидуальных работ, работа с лекционным материалом, самостоятельное изучение отдельных тем дисциплины; поиск и обзор литературы и электронных источников; чтение и изучение учебника и учебных пособий.

5. Промежуточная аттестация по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела»

Промежуточная аттестация по дисциплине «Механика деформируемого твердого тела» проводится в формате кандидатского экзамена.

Перечень вопросов к кандидатскому экзамену:

1. Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности.
2. Координаты Эйлера и координаты Лагранжа.
3. Тензор деформаций Коши-Грина.
4. Тензор деформаций Альманси.
5. Симметрия тензора напряжений.
6. Инвариантность тензора напряжений.
7. Закон сохранения массы.
8. Закон сохранения импульса.
9. Закон сохранения момента импульса.
10. Закон сохранения энергии.
11. Термодинамические процессы.
12. Определяющие соотношения механики сплошных сред.
13. Матрица упругих модулей.
14. Система уравнений теории упругости.
15. Постановка задачи в перемещениях.
16. Теорема Клайперона.
17. Теоремы Кастилиано.
18. Теорема Бетти.

19. Основные гипотезы теории тонких пластин и оболочек.
20. Свободные волны в неограниченной изотропной среде.
21. Волны Релея.
22. Волны Лява.
23. Установившиеся колебания.
24. Частоты и формы собственных колебаний.
25. Температурные задачи теории упругости.
26. Предел текучести.
27. Остаточные деформации.
28. Дислокации.
29. Локализация пластических деформаций.
30. Связь напряженного и деформированного состояний в теории течения.
31. Теория малых упруго пластических деформаций А.А. Ильюшина.
32. Ползучесть и релаксация.
33. Ядра ползучести и релаксации.
34. Принцип соответствия Вольтерры.
35. Концентраторы напряжений.
36. Деформационный критерии прочности.
37. Энергетический критерии прочности.
38. Коэффициент запаса прочности.
39. Коэффициенты интенсивности напряжений.
40. Высвобождение энергии при продвижении трещины. Подход Гриффита.
41. J-интеграл Черепанова-Райса.
42. Оценка пластической зоны у вершины трещины по Ирвину.
43. Формула Журкова.
44. Усталостное разрушение.
45. Принцип линейного суммирования повреждений.
46. Вычислительный эксперимент.

6. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

По итогам кандидатского экзамена на основе совокупности ответов по вопросам программы кандидатского экзамена, выставляется оценка по шкале порядка: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Отлично	<ul style="list-style-type: none"> – грамотно использована научная терминология; – четко сформулирована проблема, выдвигаемые тезисы основательно аргументированы; – указаны основные точки зрения по рассматриваемому вопросу; – выражена и аргументирована собственная точка зрения на рассматриваемые аспекты проблемы
Хорошо	<ul style="list-style-type: none"> – научная терминология применяется, допускаются несущественные ошибка или неточность в понятийном аппарате; – проблема сформулирована, – имеются недостатки в аргументации выдвигаемых тезисов, допущены фактические неточности, которые не носят существенного характера; – продемонстрировано знание дискуссионных проблем по излагаемому вопросу - выражена и аргументирована собственная точка зрения на рассматриваемые аспекты проблемы
Удовлетворительно	<ul style="list-style-type: none"> – имеется представление о научной терминологии, но допущены существенные неточности в дефинициях;

	<ul style="list-style-type: none"> – названы и определены лишь некоторые характеристики рассматриваемой проблемы, система аргументации высказываемых тезисов отсутствует – допущены незначительные фактические неточности; – научные дискуссии по рассматриваемой проблеме не охарактеризованы – собственная позиция по проблемным моментам вопросов не выражена
Неудовлетворительно	<ul style="list-style-type: none"> – отсутствует знание терминологии, научных дискуссий вокруг рассматриваемой проблемы; – в ответе допускаются грубые фактические ошибки, – не представлена собственная точка зрения по характеризующей проблеме

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Бреббия К., Уокер С. Применение метода граничных элементов в технике. М.: Мир, 1982.
2. Годунов С.К., Рябенький В.С. Разностные схемы. М.: Наука, 1977.
3. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975.
4. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. М.: Наука, 1969.
5. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. М.: Машиностроение, 1975.
6. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука, 1966.
7. Новацкий В. Теория упругости. М.: Мир, 1975.
8. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966.
- 10
9. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1988.
10. Седов Л.И. Механика сплошной среды. В 2-х томах. М.: Наука, 1983, 1984.

Дополнительная литература

1. Ивлев Д.Д. Теория идеальной пластичности. М.: Наука, 1966.
2. Ильюшин А.А. Механика сплошной среды. М.: Изд-во МГУ, 1990.
3. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. М.: Наука, 1974.
4. Ключников В.Д. Математическая теория пластичности. М.: Изд-во МГУ, 1979.
5. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. М.: Мир, 1974.
6. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970.
7. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. М.: Наука, 1985.
8. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. М.: Наука, 1965.
9. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975.
10. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения. М.: Наука, 1974.

Программное обеспечение:

- система электронного образовательного контента БФУ им. И. Канта – www.lms-3.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;
- установленное на рабочих местах студентов ПО: Microsoft Windows 7, Microsoft Office Standart 2010, антивирусное программное обеспечение Kaspersky Endpoint Security.

Электронные образовательные ресурсы:

- НЭБ Национальная электронная библиотека, диссертации и прочие издания
- eLIBRARY.RU Научная электронная библиотека, книги, статьи, тезисы докладов конференций
- Гребенников Электронная библиотека ИД журналы
- ЭБС Консультант студента
- ПРОСПЕКТ ЭБС
- ЭБС ZNANIUM.COM
- РГБ Информационное обслуживание по MBA
- БЕН РАН
- Электронно-библиотечная система (ЭБС) Кантитана (<https://elib.kantiana.ru/>)

8. 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.