

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Национальный исследовательский**  
**Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»**

**УТВЕРЖДЕНО**

решением ученого совета ННГУ  
протокол от "27 "апреля 2022 г. №6

**Рабочая программа дисциплины**  
**Механика деформируемого твердого тела**

Уровень высшего образования  
**Подготовка научных и научно-педагогических кадров**

Программа аспирантуры  
**Механика деформируемого твердого тела**

Научная специальность  
**1.1.8 Механика деформируемого твердого тела**

Форма обучения  
**Очная**

Нижний Новгород  
2022 год

### 1. Место и цель дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Механика деформируемого твердого тела» относится к числу обязательных, дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 4 году обучения в 7 семестре.

**Цель дисциплины** – углубление знаний о современных методах динамических испытаний материалов для экспериментального изучения механических свойств конструкционных материалов, ознакомление с особенностями испытаний при различных скоростях деформации, изучение методов нагружения и способов регистрации квазистатических и быстропротекающих процессов. Также цель изучения данной дисциплины заключена в подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.

### 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

**Знать:**

основные физико-механические свойства конструкционных материалов, методы статических испытаний, способы регистрации и обработки экспериментальной информации, основы теории упругости с основами теории пластичности и ползучести.

**Уметь:**

разработать план эксперимента, методически правильно выбрать средства измерений, соблюдать установленные требования, действующие нормы, правила и регламенты (стандарты) при выполнении измерений, составлять протоколы и отчеты о полученных результатах.

**Владеть:**

способами статистической обработки и анализа результатов испытаний, оформления отчетной документации.

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 1 з.е., всего – 36 часов, из которых 18 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия семинарского типа - 10 часов, консультации – 8 часов), 18 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

**Таблица 2**

**Структура дисциплины**

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Контактная работа, часов					
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Задачи и методы механических испытаний конструкционных	18	0	5	0	4	9	9

материалов							
2. Средства нагружения и регистрации при статических и динамических испытаниях	18	0	5	0	4	9	9
Промежуточная аттестация в 6 семестре: – экзамен	36						
Итого	36	0	10	0	8	18	18

**Таблица 3**

**Содержание дисциплины**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
1.	Задачи и методы механических испытаний конструкционных материалов	Задачи и методы механических испытаний конструкционных материалов	Семинар	Собеседование
2.	Средства нагружения и регистрации при статических и динамических испытаниях	Средства нагружения и регистрации при статических и динамических испытаниях	Семинар	Собеседование

**4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающегося состоит в изучении литературы и интернет-ресурсов по экспериментальным основам механики деформируемого твердого тела, методам динамических испытаний материалов, в выполнении научно-исследовательской работы, в индивидуальной подготовке аспирантов к кандидатскому экзамену по специальности и написании соответствующих разделов диссертации на соискание ученой степени.

**5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине**

***5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.***

При выполнении всех работ учитываются следующие **основные критерии**:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

***Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме экзамена***

Оценка *отлично* – исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы.

Оценка *хорошо* – достаточно полные знания программного материала, правильное понимание сути вопросов, знание определений, умение формулировать тезисы и аргументы. Ответы последовательные и в целом правильные, хотя допускаются неточности, поверхностное знакомство с отдельными теориями и фактами, достаточно формальное отношение к рекомендованным для подготовки материалам.

Оценка *удовлетворительно* – фрагментарные знания, расплывчатые представления о предмете. Ответ содержит как правильные утверждения, так и ошибки, возможно, грубые. Испытуемый плохо ориентируется в учебном материале, не может устранить неточности в своем ответе даже после наводящих вопросов.

Оценка *неудовлетворительно* – отсутствие ответа хотя бы на один из основных вопросов, либо грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией.

## ***5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине***

Вопросы для экзамена (кандидатского)

1. 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 к Лагранжу и обратно.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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 Сен-Венана.

6. 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.
7. Уравнения движения в форме Ламе. Динамические, геометрические и кинематические условия совместности на волновом фронте. Свободные волны в неограниченной изотропной упругой среде. Плоские гармонические волны. Коэффициенты отражения, прохождения и трансформации. Полное отражение.
8. Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Понятие о дислокациях. Локализация пластических деформаций. Линии ЛюдерсаЧернова.
9. 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.
10. Упрочняющееся упругопластическое тело. Упрочняющееся жесткопластическое тело. Функция нагружения, поверхность нагружения. Параметры упрочнения.
11. 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.
12. Деформационные теории пластичности. Теория Генки. Теория малых упругопластических деформаций А.А. Ильюшина. Теорема о разгрузке. Метод упругих решений. Задача о толстостенной трубе из упрочняющегося материала.
13. Упругопластические волны в стержне. Ударное нагружение. Волна разгрузки. Остаточные деформации. Критическая скорость удара.
14. Определение композитного материала. Возможные классификации. Основные типы и свойства армирующих материалов. Основные типы и свойства матричных материалов. Свойства основных типов композиционных материалов.
15. Постановка задачи теории упругости для неоднородной среды. Условия на границе раздела фаз. Понятие эффективных свойств композиционного материала. Микро- и макромеханика. Принцип эквивалентной однородности.
16. Эффективные свойства композитов, армированных непрерывными волокнами. Упругие константы трансверсально изотропного материала. Методы определения эффективных свойств композитов, армированных в нескольких направлениях. Модели периодических сред.
17. Особенности краевых задач для композиционных материалов. Простейшие задачи анизотропной упругости: растяжение, чистый изгиб, кручение стержней. Влияние анизотропии на характер деформирования. Принцип Сен-Венана для композитов.

18. Концепция сплошной среды с повреждениями, взаимосвязь параметров поврежденности материала, кинетики накопления повреждений и структурных уровней материала. Схемы линейного и нелинейного суммирования повреждений, равновесная и неравновесная стадии процесса накопления повреждений.
19. Многоочаговое разрушение, волны разрушения; многоцикловая усталость, кривая Велера, кривые усталости равной вероятности разрушения, схема суммирования повреждений при сменах режимов деформирования.
20. Малоцикловая усталость, диаграммы циклического деформирования материала, переходная стадия и установившийся режим, переходная долговечность, уравнение Коффина-Мэнсона.
21. Распределение напряжений и смещений в вершине трещины отрыва, плоского и антиплоского сдвига, коэффициент интенсивности напряжений, линейная механика разрушения.
22. Энергетический и силовой подходы к формулировке критерия разрушения упругих сред с трещинами, трещиностойкость, устойчивый, неустойчивый и динамический рост трещины, ветвление трещин; разрушение упругопластических сред с трещинами, поправка Ирвина для длины трещины в упругопластической зоне, коэффициент интенсивности напряжений и K-тарировки.
23. Усталостная долговечность тел с трещинами, кинетическая диаграмма усталостного разрушения, уравнение Пэриса.
24. Понятие о вычислительном эксперименте. Использование вычислительного эксперимента для решения задач механики деформируемого твердого тела.
25. Метод конечных разностей. Типичные разностные схемы для параболических, эллиптических и гиперболических уравнений. Метод конечных разностей для дифференциальных уравнений теории упругости.
26. Вариационный принцип минимума полной потенциальной энергии упругого тела. Методы Релея-Ритца, Бубнова-Галеркина и градиентного спуска в задачах минимизации функционала полной потенциальной энергии.
27. Метод конечных элементов в теории упругости. Пределы применимости метода конечных элементов.
28. Возможности численного моделирования конструкций из композитов в ANSYS. Конечные элементы для моделирования анизотропной сплошной среды (твердого тела). Конечные элементы для моделирования анизотропных оболочек.
29. Критерии предельного состояния композиционных материалов. Феноменологический и структурный подходы к построению критерия прочности. Тензорный полиномиальный критерий предельного состояния.

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

### **а) Основная литература**

Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: Учебное пособие. - Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. - 243 с. -

<http://window.edu.ru/resource/916/49916/files/dvgtu102.pdf>

б) Дополнительная литература

Сударикова Е.В. Неразрушающий контроль в производстве: Учебное пособие. Ч.1. - СПб.: ГУАП, 2007. - 137 с. - <http://window.edu.ru/resource/024/45024/files/cudarikova.pdf>

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics.htm> Учебники и книги по механике

<http://www.aspirantura.spb.ru/other/polez.html> Портал для аспирантов

<http://www.rsl.ru/> Российская государственная библиотека.

<http://www.gpntb.ru/> Государственная публичная научно-техническая библиотека России.

<http://elibrary.ru/> Научная электронная библиотека.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;

- материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;

- лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;

- обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Авторы: профессор кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики Константинов А.Ю.

Рецензент(ы) \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании методической комиссии Института информационных технологий, математики и механики от 01.12.2021 №2.