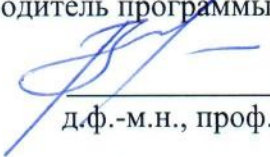


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский
политехнический университет»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель программы аспирантуры


В.Э. Вильдеман
д.ф.-м.н., проф., зав.каф. ЭМКМ

«20» «мая» 2022 г.

Рабочая программа дисциплины по программе аспирантуры

«Механика деформируемого твердого тела»

| | |
|---|---|
| Научная специальность | 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела |
| Направленность (профиль) программы аспирантуры | Механика деформирования и разрушения твердых тел |
| Выпускающая(ие) кафедра(ы) | Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение (ЭМКМ) Механика композиционных материалов и конструкций (МКМК) |
| Форма обучения | Очная |
| Курс: 3 | Семестр (ы): 5 |
| Виды контроля с указанием семестра: | |
| Экзамен: 5 | Зачет: Диф.зачет |

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Приказ Минобрнауки России от 20.10.2021 N 951 "Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)";
- Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 N 2122 "Об утверждении Положения о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре)";
- Самостоятельно устанавливаемые требования к реализуемым программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Пермского национального исследовательского политехнического университета;
- Базовый план по программе аспирантуры;
- Паспорт научной специальности.

1.1 Цель учебной дисциплины – формирование комплекса знаний, умений и навыков в области, изучающей закономерности процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов различной природы, а также напряженно- деформированное состояние твердых тел из этих материалов, при механических, тепловых, радиационных, статических и динамических воздействиях в пассивных и активных, газовых и жидких средах и полях различной природы.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Механика деформируемого твердого тела» является обязательной дисциплиной образовательного компонента плана аспиранта.

Дисциплина используется при подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Кандидатский экзамен представляют собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- модели механического поведения материалов;
- основные параметры напряженно-деформированного состояния;
- теории накопления повреждений, механика разрушения твердых тел и критерии прочности при сложных режимах нагружения.

Уметь:

- решать технологические проблемы деформирования и разрушения;
- предупреждать недопустимые деформации и трещины в конструкциях различного назначения.

Владеть:

- навыками анализа напряженно-деформированных состояний с использованием современных систем для испытания материалов (электромеханические, сервогидравлические, электродинамические испытательные системы);
- навыками выявления новых связей между структурой материалов, характером внешних воздействий и процессами деформирования и разрушения.

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

| № п.п. | Вид учебной работы | Трудоемкость, ч |
|--------|---------------------------------------|-----------------|
| | | 5 семестр |
| 1 | Аудиторная работа | 20 |
| | В том числе: | |
| | Лекции (Л) | 5 |
| | Практические занятия (ПЗ) | 6 |
| 2 | Контроль самостоятельной работы (КСР) | 9 |
| | Самостоятельная работа (СР) | 88 |
| | Форма итогового контроля: | Экзамен |

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Основные понятия и исходные положения

(Л – 2, СР – 15)

Тема 1. Краткий исторический обзор развития. Основные проблемы и практические приложения МДГТ в машиностроении, строительстве, судо и авиастроении и др. отраслях.

Тема 2. Различные свойства твердых, жидких и газообразных сред. Описание структуры реальных тел на макро, мезо и микроуровнях. Феноменологическое описание модели сплошной среды.

Тема 3. Понятие о напряжениях, деформациях, перемещениях и их полях. Напряженное и деформированное состояние частицы тела. Лагранжев и Эйлера способы описания движения и деформирования сплошной среды.

Раздел 2. 1. Механика и термодинамика сплошных сред

(Л – 3, СР – 40)

Тема 4. Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Физически и геометрически малый элемент.

Тема 5. Деформация элемента сплошной среды. Два способа описания деформации сплошного тела. Координаты Эйлера и координаты Лагранжа. Переход от Эйлера описания к Лагранжеву и обратно.

Тема 6. Преобразование координат. Контравариантные векторы и тензоры. Метрический или фундаментальный тензор.

Тема 7. Декартовы тензоры. Законы преобразования компонент декартовых тензоров.

Тема 8. Сложение и умножение тензоров. Матрицы и действия над ними. Матричное представление вектора в трехмерном пространстве.

Тема 9. Скалярное произведение вектора на тензор второго ранга и тензора на вектор. Симметрия матриц и тензоров. Главные значения и главные направления симметричных тензоров второго ранга.

Тема 10. Вычисление тензора малых деформаций по заданному полю перемещений. Формулы Чезаро.

Тема 11. Дивергенция тензора. Теорема Остроградского для векторного и тензорного полей.

Раздел 3. Теории механического поведения материалов. Механика разрушения.
(ПЗ – 6, СР – 33)

Тема 12. Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Физически и геометрически малый элемент. Деформация элемента сплошной среды.

Тема 13. Упругое деформирование твердых тел. Упругий потенциал и энергия деформации. Линейно упругое тело Гука. Понятие об анизотропии упругого тела.

Тема 14. Плоское напряженное и плоское деформированное состояние. Плоская задача теории упругости. Теория тонких упругих пластин и оболочек.

Тема 15. Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. Физические механизмы пластического течения. Деформационные теории пластичности.

Тема 16. Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации. Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Фохта, модель Томсона.

Тема 17. Теории старения, течения, упрочнения и наследственности. Ползучесть при сложном напряженном состоянии. Определяющие соотношения.

Тема 18. Понятие о разрушении и прочности тел. Динамическое распространение трещин. Коэффициент интенсивности напряжений, методы его вычисления и оценки.

4.2. Перечень тем практических занятий

Таблица 2

Темы практических занятий (из пункта 4.1)

| № п.п. | Номер темы дисциплины | Наименование темы практического занятия | Наименование оценочного средства | Представление оценочного средства |
|--------|-----------------------|---|------------------------------------|--|
| 1 | 4 | Понятие сплошного тела. Гипотеза сплошности. Два способа описания деформации сплошного тела. | Собеседование. Творческое задание. | Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий. |
| 2 | 5 | Переход от Эйлера описания к Лагранжеву и обратно. | Собеседование. Творческое задание. | Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий. |
| 3 | 6 | Преобразование координат. Контравариантные векторы и тензоры. Метрический или фундаментальный тензор. | Собеседование. Творческое задание. | Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий. |
| 4 | 9 | Скалярное произведение вектора на тензор второго ранга и тензора на вектор. Главные значения и главные направления симметричных тензоров второго ранга. | Собеседование. Творческое задание. | Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий. |
| 5 | 13, 15 | Упругое деформирование твердых тел. Пластическое деформирование твердых тел. | Собеседование. Творческое задание. | Вопросы по темам / разделам дисциплины. |

| | | | | |
|---|----|--|------------------------------------|--|
| | | | | Темы творческих заданий. |
| 6 | 16 | Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации. | Собеседование. Творческое задание. | Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий. |

4.3. Перечень тем для самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа аспирантов заключается в теоретическом изучении конкретных вопросов и выполнении творческих заданий.

Таблица 3

Темы самостоятельных заданий

| № п.п. | Номер темы дисциплины | Наименование темы самостоятельной работы | Наименование оценочного средства | Представление оценочного средства |
|--------|-----------------------|--|----------------------------------|--|
| 1 | 2 | Феноменологическое описание модели сплошной среды. | Собеседование | Вопросы по темам / разделам дисциплины |
| 2 | 5 | Переход от Эйлера описания к Лагранжу и обратно. | Собеседование | Вопросы по темам / разделам дисциплины |
| 3 | 6 | Контравариантные векторы и тензоры. Метрический или фундаментальный тензор. | Собеседование | Вопросы по темам / разделам дисциплины |
| 4 | 13 | Понятие об анизотропии упругого тела. | Собеседование | Вопросы по темам / разделам дисциплины |
| 5 | 14 | Теория тонких упругих пластин и оболочек. | Собеседование | Вопросы по темам / разделам дисциплины |
| 6 | 15 | Предел текучести. Упрочнение. Остаточные деформации. Идеальная пластичность. | Собеседование | Вопросы по темам / разделам дисциплины |
| 7 | 16 | Простейшие модели линейно вязкоупругих сред: модель Максвелла, модель Фохта, модель Томсона. | Собеседование | Вопросы по темам / разделам дисциплины |
| 8 | 17 | Ползучесть при сложном напряженном состоянии. | Собеседование | Вопросы по темам / разделам дисциплины |
| 9 | 18 | Коэффициент интенсивности напряжений, методы его вычисления и оценки. | Собеседование | Вопросы по темам / разделам дисциплины |

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Механика деформируемого твердого тела» аспирантам целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически;
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела;

3. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции;

6. Перечень учебно-методического, библиотечно-справочного и информационного, информационно-справочного обеспечения для работы аспиранта по дисциплине

6.1. Библиотечные фонды и библиотечно-справочные системы

| № | Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц) | Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий |
|--------------------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 Основная литература | | |
| 1 | Экспериментальные исследования свойств материалов при сложных термомеханических воздействиях: коллективная монография / В. Э. Вильдеман [и др.] ; Под ред. В. Э. Вильдемана .— Москва : Физматлит, 2012 .— 203 с. | 2 |
| 2 | Механика материалов. Методы и средства экспериментальных исследований / В.Э. Вильдеман, А.В. [и др.]; под ред. В.Э. Вильдемана. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 165 с. | 36+ЭБ |
| 2 Дополнительная литература | | |
| 2.1 Учебные и научные издания | | |
| 1 | Сопротивление материалов : учебное пособие для втузов / А. Г. Горшков, В. Н. Трошин, В. И. Шалашилин .— 2-е изд., испр .— Москва : Физматлит, 2005 .— 543 с. | 8 |
| 2 | Пластичность / А.А. Ильющин ; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова .— Репр. воспроизв. изд. 1948 г .— М. : Логос, 2004 .— (Классический университетский учебник) . Ч. 1: Упруго-пластические деформации / Авт. предислов. Е.И. Шемякина [и др.] .— 2004 .— 376 с. | 10 |
| 3 | Экспериментальная механика / Б. В. Букеткин [и др.] ; Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана; Под ред. Р. К. Вафина .— М. : Изд-во МГТУ, 2004 .— 135 с. | 5 |
| 4 | Лабораторный практикум по сопротивлению материалов : учебное пособие для вузов / А. С. Вольмир [и др.] .— Москва : Изд-во МАИ, 1997 .— 352 с. | 4 |
| 2.2 Периодические издания | | |
| 1 | Научно-технический журнал «Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника» | |
| 2 | Научно-технический журнал «Вестник ПНИПУ. Механика» | |

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Справочная Правовая Система КонсультантПлюс [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных правовой информ. : док., коммент., кн., ст., обзоры и др.]. – Версия 4015.00.02, сетевая, 50 станций. – Москва, 1992–2016. – Режим доступа: Компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

7. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

2. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / [Электрон. б-ка дис.](http://diss.rsl.ru) – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. Springer [Electronic resource : полнотекстовая база данных : электрон. журн., книги, изображения, протоколы исследований на англ. и нем. яз.] / Springer Science+Business Media. – Berlin [et al.] : Springer, 1830-2014. – Режим доступа: <http://link.springer.com/>. – Загл. с экрана.

4. Scopus [Electronic resource : реф.-библиограф. и наукометр. (библиометр.) база данных на англ. яз.] / Elsevier. – Amsterdam, 1960- . – Режим доступа: <http://www.scopus.com/>. – Загл. с экрана.

7.1. Основное учебное оборудование. Рабочее место аспиранта.

Таблица 4

| № п.п. | Наименование и марка оборудования (стенда, макета, плаката, лабораторное оборудование) | Кол-во ед. | Форма приобретения / владения (собственность, оперативное управление, аренда и т.п.) | Номер аудитории |
|--------|--|------------|--|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Компьютер (в составе Intel(R) Core(TM)i3CPU@2.93ГГц, 3.6ГБ ОЗУ) | 12 | Оперативное управление | 403 |
| 2 | Проектор PanasonicPT-LB78V | 1 | Оперативное управление | 404 |
| 3 | Экран | 1 | Оперативное управление | 404 |

8. Фонд оценочных средств

Освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра. Формой контроля освоения результатов обучения по дисциплине является кандидатский экзамен, проводимый с учетом результатов текущего контроля.

8.1. Описание показателей и критериев оценивания, описание шкал оценивания.

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию аспирантов

Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценку освоения дисциплин и проводится в форме собеседования и защиты отчета о творческом задании.

- **Собеседование**

Для оценки **знаний** аспирантов проводится собеседование в виде специальной беседы преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной для выяснения объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме.

Собеседование может выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

- **Защита отчета о творческом задании**

Для оценки **умений и владений** аспирантов используется творческое задание, имеющее нестандартное решение и позволяющее интегрировать знания различных областей, аргументировать собственную точку зрения.

Творческие задания могут выполняться в индивидуальном порядке или группой аспирантов.

Промежуточная аттестация

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего контроля. Промежуточная аттестация проводится в виде экзамена по дисциплине, в устно-письменной форме по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) и практическое задание (ПЗ).

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания. Пример билета представлен в приложении 1.

- **Шкалы оценивания результатов обучения при сдаче экзамена:**

Оценка результатов обучения по дисциплине проводится по 5-балльной системе оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена приведены в табл. 5.

Таблица 5

Шкала оценивания результатов освоения на экзамене

| Оценка | Критерии оценивания |
|--------|---|
| 5 | Аспирант продемонстрировал сформированные и систематические знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал отличные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов. Аспирант правильно выполнил контрольное задание билета. Показал успешное и систематическое применение полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все или большинство дополнительных вопросов. |
| 4 | Аспирант продемонстрировал сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания при ответе на теоретический вопрос билета. Показал недостаточно уверенные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов. Аспирант выполнил контрольное задание билета с небольшими неточностями. Показал в целом успешное, но сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов. |

| Оценка | Критерии оценивания |
|--------|--|
| 3 | <p>Аспирант продемонстрировал неполные знания при ответе на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал неуверенные знания в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p> <p>Аспирант выполнил контрольное задание билета с существенными неточностями. Показал в целом успешное, но не систематическое применение полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</p> |
| 2 | <p>При ответе на теоретический вопрос билета аспирант продемонстрировал фрагментарные знания при ответе на теоретический вопрос билета. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</p> <p>При выполнении контрольного задания билета аспирант продемонстрировал частично освоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</p> |

9. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Задания для текущего контроля и проведения промежуточной аттестации должны быть направлены на оценивание:

1. уровня освоения теоретических понятий, научных основ профессиональной деятельности;
2. степени готовности аспиранта применять теоретические знания и профессионально значимую информацию и оценивание сформированности когнитивных умений.
3. приобретенных умений, профессионально значимых для профессиональной деятельности.

10. Типовые контрольные вопросы и задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов освоения дисциплины

Перечень контрольных вопросов и заданий для сдачи кандидатского экзамена по научной специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Вычисление тензора малых деформаций по заданному полю перемещений.
2. Частные случаи анизотропии: трансверсально изотропное и ортотропное упругое тело.
3. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Ламе в перемещениях. Уравнения Бельтрами-Митчелла в напряжениях.

Типовые контрольные задания:

1. Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести.
2. Понятие о ползучести и релаксации. Кривые ползучести и релаксации.
3. Плоское напряженное и плоское деформированное состояние.

Полный комплект вопросов и заданий в форме утвержденных билетов хранится на кафедре ЭМКМ.

Программа

Механика деформирования и разрушения
твердых тел

Кафедра

Экспериментальная механика и
конструкционное материаловедение

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГАОУ ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНИПУ)

Дисциплина

«Механика деформируемого твердого тела»

БИЛЕТ № 1

1. Вычисление тензора малых деформаций по заданному полю перемещений.
2. Упругое деформирование твердых тел.
3. Пластическое деформирование твердых тел. Предел текучести.

Заведующий кафедрой ЭМКМ _____
(подпись)

Вильдеман В.Э.

« ____ » _____ 202 ____ г.

Лист регистрации изменений

| № п.п. | Содержание изменения | Дата, номер протокола заседания кафедры. Подпись заведующего кафедрой |
|-------------------|-----------------------------|--|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |