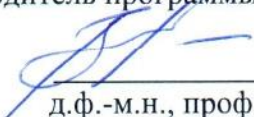


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

**«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

**«Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и
элементов конструкций»**

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: 2	Семестр (ы): 4
Виды контроля с указанием семестра:	
Экзамен:	Зачет: 4
	Диф.зачет

Пермь 2022

1. Общие положения

Рабочая программа дисциплины «Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и элементов конструкций» 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 о закономерностях процессов возникновения и развития структурных повреждений материалов, умений и навыков разработки уравнений и критериев, адекватно описывающих микро- и макромеханизмы разрушений, изучение условий взаимодействия структурных элементов с учетом технологических особенностей схем армирования и статистических факторов, методик проведения вычислительных экспериментов, анализа и диагностики повреждений, необходимых при проектировании и создании композиционных материалов, а также эксплуатация изделий из них.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и элементов конструкций» является дисциплиной по выбору образовательного компонента плана аспиранта.

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

В результате изучения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты:

Знать:

- теоретические и экспериментальные методы изучения деформационных и прочностных свойств композиционных материалов;
- основные явления микроразрушения;
- математические модели механизмов накопления повреждений в материалах;
- функции поврежденности;

Уметь:

- проводить анализ микромеханизмов разрушения структурно-неоднородных сред с учетом технологических форм;
- классифицировать виды разрушений;

Владеть:

- навыками использования испытательной и вычислительной техники;
- навыками прогнозирования эффективных прочностных свойств;
- навыками оценки прочности при сложном напряженном состоянии;

3. Структура учебной дисциплины по видам и формам учебной работы

Таблица 1

Объем и виды учебной работы

№ п.п.	Вид учебной работы	Трудоемкость, ч
		4 семестр
1	Аудиторная работа	21
	В том числе:	
	Лекции (Л)	
	Практические занятия (ПЗ)	16
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	5
	Самостоятельная работа (СР)	51
	Форма итогового контроля:	Зачет

4. Содержание учебной дисциплины

4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Основы понятия и исходные положения. Модели механического поведения материалов

(ПЗ – 6, СР – 26)

Тема 1. Актуальность исследований в области механики разрушения композитов. Разрушение и поврежденность. Многоуровневый анализ поврежденности. Цели проектирования. Характеристики идеальной конструкции с точки зрения прочностного анализа, критерии экономичности и безопасности. Системы для испытаний .

Тема 2. Классификация видов разрушения. Виды механического разрушения. Стадии процессов накопления повреждений композиционных материалов. Многоуровневый и многостадийный характер накопления повреждений. Особенности процессов разрушения волокнистых композитов. Распределение напряжений около краев разорванного волокна. Неэффективная длина волокна.

Тема 3. Феноменологические и структурные модели накопления повреждений. Принципы создания математических моделей процессов деформирования и разрушения. Структурно-феноменологический подход механики композитов. Схемы расчета конструкций из композиционных материалов с оценкой поврежденности в рамках структурно-феноменологического подхода.

Тема 4. Статистический характер процессов разрушения. Статистические законы распределения случайных прочностных констант.

Тема 5. Модели, основанные на введении скалярной меры повреждений. Правило линейного суммирования повреждений. Гипотезы нелинейного накопления повреждений. Параметр поврежденности Качанова-Работнова. Континуальные модели повреждений.

Тема 6. Скалярная функция поврежденности. Функция поврежденности как тензор второго ранга. Тензор поврежденности четвертого ранга. Тензор поврежденности трансверсально-изотропного материала, не изменяющего тип анизотропии в процессе деформирования. Повреждаемый ортотропный материал.

Раздел 2. Стадии процессов разрушения материалов. Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов.

(ПЗ – 10, СР – 25)

- Тема 7. Критериальная оценка прочности при сложном напряженном состоянии. Модели многостадийных процессов структурного разрушения. Моделирование разрушения по совокупности критериев. Схемы изменения характеристик и стадии процесса разрушения изотропного материала. Схемы изменения характеристик и стадии процесса разрушения трансверсально-изотропного материала.
- Тема 8. Схемы изменения характеристик и стадии процесса разрушения ортотропного материала. Моделирование потери несущей способности армированного монослоя.
- Тема 9. Краевая задача механики неупругого деформирования и разрушения структурно-неоднородных тел. Методы решения физически нелинейных задач. Алгоритмизация описания процессов разрушения, процедура пошагового нагружения. Прогнозирование эффективных материальных функций неупругого деформирования. Прогнозирование эффективных прочностных свойств.
- Тема 10. Моделирование процессов деформирования и разрушения слоистых композитов. Слоистые композиты с изотропными слоями. Слоистые композиты с ортотропными слоями.
- Тема 11. Моделирование процессов деформирования и разрушения волокнистых композитов при нагружении в поперечной плоскости.
- Тема 12. Общие сведения о механике распространения трещин. Энергетический и силовой подходы механики хрупкого разрушения.
- Тема 13. Закритическое деформирование и разрушение. Нагружающая система. Оценка устойчивости накопления повреждений. Оценка безопасности конструкций и сооружений.

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	2	Распределение напряжений около краев разорванного волокна. Неэффективная длина волокна.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	4	Статистические законы распределения случайных прочностных констант.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	6	Скалярная функция поврежденности.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	7	Моделирование разрушения по совокупности критериев.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины.

				Темы творческих заданий.
5	8	Моделирование потери несущей способности армированного монослоя.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
6	9	Методы решения физически нелинейных задач. Алгоритмизация описания процессов разрушения, процедура пошагового нагружения.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
7	11	Моделирование процессов деформирования и разрушения волокнистых композитов при нагружении в поперечной плоскости.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
8	13	Оценка устойчивости накопления повреждений.	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	1	Системы для испытаний	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	2	Многостадийный характер накопления повреждений	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
3	3	Схемы расчета конструкций из композиционных материалов с оценкой поврежденности в рамках структурно-феноменологического подхода	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
4	5	Континуальные модели повреждений	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
5	7	Схемы изменения характеристик и стадии процесса разрушения изотропного материала	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

6	8	Стадии процесса разрушения ортотропного материала	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
7	10	Слоистые композиты с ортотропными слоями	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
8	12	Силовой подход механики хрупкого разрушения	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении дисциплины «Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и элементов конструкций» 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

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

№	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	Основы нанотехнологии в технике : учебное пособие для вузов / А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров, И. М. Ибрагимов .— Москва : Академия, 2009 .— 239 с. : ил. — (Высшее профессиональное образование, Машиностроение) .— Посвящается 75-летию Московского государственного открытого университета .— Библиогр.: с. 238 .	14
2	Механика материалов. Методы и средства экспериментальных исследований / В. Э. Вильдеман [и др.]; Пермский национальный исследовательский политехнический университет; Под ред. В. Э. Вильдемана. — Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2011. — 164 с	36 + ЭБ
3	Кривцов А.М. Деформирование и разрушение твердых тел с микроструктурой. М.: Физматлит, 2007.	2
2 Дополнительная литература		
2.1 Учебные и научные издания		

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
1	Вильдеман В.Э. Моделирование процессов деформирования и разрушения композитов. Ч.1.: Модели накопления повреждений: Учебн. пособие. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2000. – 76 с.	50
2	Вильдеман В.Э. Моделирование процессов деформирования и разрушения композитов. Ч.2.: Основы математической теории закритической деформации разупрочняющих сред: Учебн. пособие. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2000. – 70 с.	50
3	Вильдеман В.Э. Моделирование процессов деформирования и разрушения композитов. Ч.3.: Закритическое деформирование структурных элементов: Учебн. пособие. – Пермь: Перм. гос. техн. ун-т, 2000. – 72 с.	50
4	Ильюшин А.А. Пластичность. Ч. 1: Уруго-пластические деформации / Авт. предислов. Е.И. Шемякина [и др.] .— 2004 .— 376 с. : ил. — Библиогр.: с. 370-372 .— Имен. указ.: с. 373 .— Предм. указ.: с. 374-376.	10
5	Нанотехнологии : учебное пособие для вузов : пер. с англ. / Ч. Пул, Ф. Оуэнс .— Москва : Техносфера, 2004 .— 327 с : ил.	3
6	Матвиенко Ю.Г. Модели и критерии механики разрушения. М.: Физматлит, 2006.-328 с.	3
2.2 Периодические издания		
1	Научно-технический журнал «Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника»	
2	Научно-технический журнал «Вестник ПНИПУ. Механика»	

6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

1. Электронная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных электрон. док., издан. в Изд-ве ПНИПУ] / Перм. нац. исслед. политехн. ун-т, Науч. б-ка. – Пермь, 2016. – Режим доступа: <http://elib.pstu.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

2. Электронно-библиотечная система Издательство «Лань» [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии кн., журн. по гуманит., обществ., естеств. и техн. наукам] / Электрон.-библ. система «Изд-ва «Лань». – Санкт-Петербург, 2010-2016. – Режим доступа: <http://e.lanbook.com>, по IP-адресам компьютер. сети Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

3. Научная Электронная Библиотека eLibrary [Электронный ресурс : полнотекстовая база данных : электрон. журн. на рус., англ., нем. яз. : реф. и наукометр. база данных] / Науч. электрон. б-ка. – Москва, 1869- . – Режим доступа: <http://elibrary.ru/>. – Загл. с экрана.

4. Web of Science (Web of Knowledge) [Electronic resource : реф. и наукометр. баз данных на англ. яз. по всем отраслям знания] / Thomson Reuters. – New York, 2001- . – Режим доступа: <http://apps.webofknowledge.com/>. – Загл. с экрана.

5. 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.

6.

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

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 зачет, 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 зачета по дисциплине «Экспериментальная механика конструкционных материалов», в устно-письменной форме.

8.2. Шкалы оценивания результатов обучения:

Оценка результатов обучения по дисциплине «Научный семинар» проводится по шкале оценивания «зачтено», «незачтено» путем выборочного контроля во время зачета.

Типовые шкалы и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета приведены в табл. 5.

Таблица 5

Шкала и критерии оценки результатов обучения на зачете

Оценка	Критерии оценивания
<i>Зачтено</i>	Аспирант уверенно или менее уверенно выступил с устным докладом на научном семинаре. Показал сформированные или содержащие отдельные пробелы знания в рамках усвоенного учебного материала, показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение навыков полученных умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов правильно.
<i>Незачтено</i>	Аспирант неуверенно выступил с устным докладом на научном семинаре или не подготовил доклад. При ответах аспирант продемонстрировал фрагментарные знания . При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов и неточностей. Продемонстрировал частично освоенное умение и применение полученных навыков при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.

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 зачета по дисциплине «Моделирование процессов деформирования и разрушения материалов и элементов конструкций» разработан с учетом научных достижений научно-исследовательской школы кафедры.

Типовые творческие задания:

1. Моделирование разрушения по совокупности критериев.
2. Краевая задача механики неупругого деформирования и разрушения структурно-неоднородных тел.
3. Прогнозирование эффективных материальных функций неупругого деформирования.

Типовые контрольные задания:

1. Моделирование процессов деформирования и разрушения слоистых композитов.
2. Моделирование процессов деформирования и разрушения волокнистых композитов при нагружении в поперечной плоскости.

Полный комплект вопросов и заданий хранится на кафедре ЭМКМ.

Лист регистрации изменений

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