

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 композитов»**

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

Пермь 2022

## **1. Общие положения**

Рабочая программа дисциплины «Механика композитов» 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 механики композиционных материалов (КМ), технологической механики конструкций из КМ, а также формирование знаний о создании новых материалов, принципах исследования закономерностей механического поведения перспективных композиционных материалов и наноматериалов..

### **1.2 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Механика композитов» является обязательной дисциплиной 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:**

- особенности и развитие механики композиционных материалов;
- модели механики, используемые в современных базовых технологиях;
- различные структуры композиционных материалов, их отличительные черты и особенности деформирования и разрушения;
- определяющие соотношения процесса деформирования различных композиционных материалов и критерии их разрушения;

### **Уметь:**

- вести научно-исследовательскую деятельность в области механики композиционных материалов с использованием современных математических моделей и методов;
- расчеты деталей машин и конструкций из композиционных материалов;

### **Владеть:**

- основными уравнениями механики конструкционных материалов;
- навыками проведения экспериментальных исследований.

### 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	17
	В том числе:	
	Лекции (Л)	5
	Практические занятия (ПЗ)	6
2	Контроль самостоятельной работы (КСР)	6
	Самостоятельная работа (СР)	55
	Форма итогового контроля:	Зачет

### 4. Содержание учебной дисциплины

#### 4.1. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Раздел 1. Введение

(Л – 1, СР – 10)

Тема 1. Предмет и задачи курса «Механика композитов».

Тема 2. Структурные, функциональные и производственно-технологические особенности.

Раздел 2. Механика композиционных материалов

(Л – 4, СР – 25)

Тема 3. Механика армированного слоя. Микромеханика монослоя. Микромеханика упругих свойств монослоя.

Тема 4. Термоупругие свойства слоистых композитов. Диссипативные свойства монослоя. Диссипативные свойства слоистых композитов.

Тема 5. Многостадийный и многоуровневый характер процессов накопления повреждений композиционных материалов.

Тема 6. Математическое моделирование процессов неупругого деформирования и разрушения структурно неоднородных тел.

Тема 7. Закономерности механического поведения материалов на закритической стадии деформирования. Элементы математической теории процессов закритической деформации.

Тема 8. Механизмы разрушения структурно-неоднородных сред.

Раздел 3. Современные модели механики композиционных материалов.

(ПЗ – 4, СР – 20)

Тема 9. Модели механики однонаправленных и слоистых композиционных материалов, прогнозирование механических свойств.

Тема 10. Модели механики текстильных композитов и пространственно армированных композитов, описание структуры материала, прогнозирование механических свойств, программные пакеты.

Тема 11. Модели накопления повреждений в механике композиционных материалов. Использование моделей накопления повреждений для описания длительной прочности композиционных материалов и прогнозирования ресурса конструкций из КМ.

Тема 12. Модели механики композиционных материалов при высоких температурах. Эффективные термические свойства. Моделирование абляции и термомеханической эрозии.

Тема 13. Модели механики для описания динамического поведения композиционных материалов. Распространение волн в композиционных материалах.

Тема 14. Модели механики однонаправленных и слоистых композиционных материалов, прогнозирование механических свойств.

Раздел 4. Проектирование и обработка изделий из КМ  
(ПЗ – 2, СР – 10)

Тема 15. Этапы проектирования и обработки изделий из композитов.

Тема 16. Методики испытаний композитов. Общий обзор приспособлений для испытаний композитов. Особенности при испытаниях на растяжение образцов композиционных материалов.

#### 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	9	Модели механики однонаправленных и слоистых композиционных материалов, прогнозирование механических свойств	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
2	10	Модели механики текстильных композитов и пространственно армированных композитов, описание структуры материала, прогнозирование механических свойств, программные пакеты.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
3	12	Модели механики композиционных материалов при высоких температурах. Эффективные термические свойства.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
4	14	Модели механики однонаправленных и слоистых композиционных материалов, прогнозирование механических свойств.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
5	15	Этапы проектирования и обработки изделий из композитов.	Собеседование. Творческое задание.	Вопросы по темам / разделам дисциплины. Темы творческих заданий.
6	16	Методики испытаний композитов. Общий обзор приспособлений для испытаний композитов. Особенности при испытаниях на растяжение образцов композиционных материалов.	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	Задачи курса «Механика композитов».	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
2	2	Структурные, функциональные и производственно-технологические особенности.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
3	3	Механика армированного слоя. Микромеханика монослоя. Микромеханика упругих свойств монослоя.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
4	4	Термоупругие свойства слоистых композитов. Диссипативные свойства монослоя. Диссипативные свойства слоистых композитов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
5	5	Многостадийный и многоуровневый характер процессов накопления повреждений композиционных материалов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
6	6	Математическое моделирование процессов неупругого деформирования и разрушения структурно неоднородных тел.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
7	7	Закономерности механического поведения материалов на закритической стадии деформирования. Элементы математической теории процессов закритической деформации.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
8	8	Механизмы разрушения структурно-неоднородных сред.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
9	9	Модели механики однонаправленных и слоистых композиционных материалов, прогнозирование механических свойств.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
10	10	Модели механики текстильных композитов и пространственно армированных композитов,	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

		описание структуры материала, прогнозирование механических свойств, программные пакеты.		
11	11	Модели накопления повреждений в механике композиционных материалов. Использование моделей накопления повреждений для описания длительной прочности КМ и прогнозирования ресурса конструкций из КМ.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
12	12	Модели механики КМ при высоких температурах. Эффективные термические свойства. Моделирование абляции и термомеханической эрозии.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
13	13	Модели механики для описания динамического поведения композиционных материалов. Распространение волн в композиционных материалах.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
14	14	Многоуровневые модели механики композиционных материалов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
15	15	Этапы проектирования и обработки изделий из композитов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины
16	16	Методики испытаний композитов. Общий обзор приспособлений для испытаний композитов. Особенности при испытаниях на растяжение образцов композиционных материалов.	Собеседование	Вопросы по темам / разделам дисциплины

### 5. Методические указания для аспирантов по изучению дисциплины

При изучении «Механика композитов» 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
<b>1 Основная литература</b>		
1	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
2	Костиков В.И. Физико-химические основы технологии композиционных материалов: теоретические основы процессов создания композиционных материалов: учебное пособие для вузов. – Москва: Издат.дом МИСиС, 2011. – 240 с.	2
3	Полимерные композиционные материалы. Прочность и технология / С. Л. Баженов [и др.] .— Долгопрудный : Интеллект, 2010 .— 347 с. : ил .	25
<b>2 Дополнительная литература</b>		
<b>2.1 Учебные и научные издания</b>		
1	Сопротивление материалов : учебное пособие для вузов / А. Г. Горшков, В. Н. Трошин, В. И. Шалашилин .— 2-е изд., испр .— Москва : Физматлит, 2002 .— 543 с.	62
2	Справочник по композиционным материалам : в 2 кн. : пер. с англ. / Под ред. Дж. Любина .— М. : Машиностроение, 1988 .— .448 с.	42
3	Композиционные материалы : справочник / В. В. Васильев [и др.] ; Под ред. В. В. Васильева .— Москва : Машиностроение, 1990 .— 510 с. : ил.	50
4	Композиционные материалы : справочник / Академия наук Украинской ССР; Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича; Под ред. Д. М. Карпиноса .— Киев : Наук. думка, 1985 .— 592 с. : ил.	13
5	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
6	Конструкционная прочность и деформативность стеклопластиков / Ю. М. Тарнопольский, А. М. Скудра ; Академия наук Латвийской ССР ; Институт механики полимеров .— Рига : Зинатне, 1966 .— 260 с., 5 л. ил.	1
7	Лабораторный практикум по сопротивлению материалов: Учеб. пособие для вузов / А.С.Вольмир,Ю.П.Григорьев,В.А.Марьин,А.И.Станкевич .— М. : Изд-во МАИ, 1997 .— 352 с.	4
8	Специальные полимерные композиционные материалы / Ю. А.	2

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке+кафедре; местонахождение электронных изданий
1	2	3
	Михайлин .— Санкт-Петербург : Науч. основы и технологии, 2014 .— 658 с., 54,18 усл. печ. л. : ил.	
9	Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике / Ю. А. Михайлин .— Санкт-Петербург : Науч. основы и технологии, 2013 .— 715 с.	2
<b>2.2 Периодические издания</b>		
1	Научно-технический журнал «Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника»	
2	Научно-технический журнал «Вестник ПНИПУ. Механика»	
3	Научно-технический журнал «Композиты и наноструктуры»	
4	Всероссийский научный журнал «Механика композиционных материалов и конструкций»	

## 6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

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. ScienceDirect: Engineering [Electronic resource : полнотекстовая база данных: электрон. науч. журн. и книг на англ. и нем. яз.] / Elsevier. – Amsterdam, 1995- . – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/>. – 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. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс] : [полнотекстовая база данных : электрон. версии дис. и автореф. дис. по всем отраслям знания] / [Электрон. б-ка дис.](#) – Москва, 2003-2016. – Режим доступа: <http://diss.rsl.ru>, компьютер. сеть Науч. б-ки Перм. нац. исслед. политехн. ун-та. – Загл. с экрана.

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

### 6.2.1. Информационные и информационно-справочные системы

6. 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

### 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, 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.

### 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 <b>знания</b> в рамках усвоенного учебного материала, показал успешное или сопровождающееся отдельными ошибками применение <b>навыков</b> полученных <b>умений</b> 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 <b>знания</b> . При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов и неточностей. Проявил частично освоенное <b>умение</b> и <b>применение</b> 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 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. Привести алгоритм описания процессов разрушения, процедуру пошагового нагружения для однонаправленного слоистого композиционного материала
2. Смоделировать процесс разрушения на примере пучка волокон.
3. Испытания на растяжения. Образцы для испытаний. Основные зависимости, описание техники и методики испытаний.

Типовые контрольные задания:

1. Модели механического поведения однонаправленных и слоистых КМ.
2. Виды моделей накопления повреждений в КМ.

3. Особенности поведения КМ на закритической стадии деформирования.

Полный комплект вопросов и заданий хранится на кафедре ЭМКМ

**Лист регистрации изменений**

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