

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»

Институт информационных технологий, математики и механики

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол от  
«30» ноября 2022 г. № 13

**Рабочая программа дисциплины**  
**МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования  
специалитет

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность  
01.05.01 Фундаментальные математика и механика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы  
Фундаментальная механика и приложения

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород  
2023 год

## 1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.09.01 «Механика композиционных материалов» относится к части ООП специальность 01.05.01 Фундаментальные математика и механика, формируемой участниками образовательных отношений.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-6. Владение навыками самостоятельного анализа поставленной задачи, выбора корректного метода ее решения, построения алгоритма и его реализации	ПК-6.1. Умеет самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его. ПК-6.2. Владеет навыками решения практических задач, анализа результатов решения.	<i>Уметь</i> самостоятельно анализировать задачу, выбирать методы решения, создавать алгоритм решения и реализовывать его в задачах механики композиционных материалов. <i>Владеть</i> навыками решения практических задач, анализа результатов решения в области механики композиционных материалов.	<i>Вопросы, задания, сообщения</i>  <i>Вопросы, задания, сообщения</i>

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>3 з.е.</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
- текущий контроль (КСР)	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>38</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>	<b>36</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения						
Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР <sup>1</sup> , часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		ЗЛеТ <sup>2</sup>	ЗСеТ <sup>3</sup>	ЗЛаТ <sup>4</sup>	Всего	
Введение. Классификация КМ. Основные типы армирующих и матричных материалов и их свойства.	8	2	2		4	4
Микромеханика. Эффективные свойства композиционных материалов.	16	4	4		8	8
Методы определения эффективных свойств композитов, армированных непрерывными волокнами.	17	4	4		8	9
Макромеханика. Особенности краевых задач для композиционных материалов	17	4	4		8	9
Критерии прочности композиционных материалов	12	2	2		4	8
Текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация	36					
Итого	108	16	16		32	38
Самостоятельная работа обучающегося.						
<sup>2</sup> Занятия лекционного типа.						
<sup>3</sup> Занятия семинарского типа.						
<sup>4</sup> Занятия лабораторного типа.						

Практические занятия (семинарские занятия) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий (семинарских занятий) в форме практической подготовки отводится 32 часа.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: определения эффективных свойств композитов, армированных непрерывными волокнами.
- компетенций – ПК-6.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (экзамен).

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

- повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
- самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к занятиям семинарского типа, выполнение заданий по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
- подготовка к промежуточному контролю успеваемости (экзамен).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

## 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

*Фонд оценочных средств включает* контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *доклада (сообщения), вопросов и заданий* и промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к экзамену.

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Шкала оценивания сформированности компетенций		Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
		Знания	Умения	Навыки
<b>плохо</b>	<b>не зачтено</b>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа
<b>неудовлетворительно</b>		Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
<b>удовлетворительно</b>	<b>зачтено</b>	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
<b>хорошо</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
<b>очень хорошо</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>отлично</b>		Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
<b>превосходно</b>		Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
Не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

### 5.2.1. Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Определение КМ .	ПК-6
2. Примеры композитов в истории человечества	ПК-6
3. Природные композиты	ПК-6
4. Показатели качества материалов: удельная и абсолютная прочность, удельная и абсолютная жесткость	ПК-6
5. Матрица и включения	ПК-6
6. Тенденции развития традиционных материалов в XX столетии	ПК-6
7. Классификация по форме и расположению включений.	ПК-6
8. Основные типы армирующих волокон.	ПК-6
9. Сравнительный анализ свойств армирующих волокон	ПК-6
10. Основные типы матричных материалов.	ПК-6
11. Сравнительный анализ свойств матричных материалов	ПК-6

12. Свойства основных типов композиционных материалов.	ПК-6
13. Постановка задачи теории упругости для кусочно-неоднородной среды.	ПК-6
14. Условия на границе раздела фаз.	ПК-6
15. Понятие представительного объема (ПЭО)	ПК-6
16. Статистически однородная среда.	ПК-6
17. «Однородные» граничные условия в перемещениях	ПК-6
18. «Однородные» граничные условия в напряжениях	ПК-6
19. Статистически однородные поля напряжений и деформаций.	ПК-6
20. Постулат теории неоднородных сред Хашина	ПК-6
21. Определение эффективных свойств композиционного материала – прямой метод	ПК-6
22. Техника определения эффективных свойств прямым методом. Шесть независимых напряженных или деформированных состояний	ПК-6
23. Симметричность эффективного тензора жесткостей и податливостей	ПК-6
24. Определение эффективных свойств композиционного материала – энергетический метод	ПК-6
25. Техника определения эффективных свойств энергетическим методом	ПК-6
26. Возможность построения двухсторонних оценок (вилок) для эффективных свойств на основе энергетического метода	ПК-6
27. Уравнений деформирования микрон неоднородной среды с эффективными свойствами. Теория эффективного модуля.	ПК-6
28. Три группы методов определения эффективных свойств сред.	ПК-6
29. Геометрическая модель композита в полидисперсной модели Хашина	ПК-6
30. Переход от эффективных свойств одной составной сферы к эффективным свойствам ПЭО	ПК-6
31. Почему не удастся получить решение для эффективного модуля сдвига с помощью полидисперсной модели	ПК-6
32. Постановка задачи для неоднородных сред с одинаковыми модулями сдвига	ПК-6
33. Вспомогательная задача о гравитационном потенциале	ПК-6
34. Показать, что напряжения, полученные с помощью предлагаемого представления перемещений, являются истинными	ПК-6
35. Оценить «размах» вилки Фойгта-Рейса	ПК-6
36. Оценить «размах» вилки Хашина-Штрикмана	ПК-6
37. Основные ограничения вилок	ПК-6

38. Получить вилку Хашина-Штрикмана с помощью метода упрочнения Хилла	ПК-6
39. Решение Эшелби для однородного эллипсоида в бесконечной однородной среде	ПК-6
40. Геометрическая модель композита в трехфазной модели Кристенсена	ПК-6
41. Почему значение эффективного объемного модуля по полидисперсной и трехфазной моделям совпадают?	ПК-6
42. Периодические среды. Ячейка периодичности. Виды упаковок.	ПК-6
43. Условия на границах ЯП для задач растяжения-сжатия.	ПК-6
44. Условия на границах ЯП для задач сдвига.	ПК-6
45. Матрица жесткостей transversально изотропной среды. Количество независимых параметров	ПК-6
46. Определение технических констант transversально изотропной среды	ПК-6
47. Границы изменения коэффициентов Пуассона для transversально изотропной среды	ПК-6
48. Полидисперсная модель для transversально изотропной среды. Какие константы можно определить	ПК-6
49. Определение продольно-поперечных модулей сдвига. Задача об антиплоской деформации (Альманси)	ПК-6
50. Постановка задачи анизотропной теории упругости	ПК-6
51. Простейшие задачи анизотропной упругости: растяжение	ПК-6
52. Простейшие задачи анизотропной упругости: чистый изгиб	ПК-6
53. Простейшие задачи анизотропной упругости: кручение стержней	ПК-6
54. Принцип Сен-Венана для композитов.	ПК-6
55. Модель балки Тимошенко для учета деформаций поперечного сдвига.	ПК-6
56. Коэффициент сдвига. Варианты определения	ПК-6
57. Преобразование упругих характеристик однонаправленного материала при повороте системы координат	ПК-6
58. Упругие характеристики многослойных композитов при плоском напряжённом состоянии. Квази изотропные структуры	ПК-6
59. Классическая теории слоистых пластин.	ПК-6
60. Уточненная теории слоистых пластин.	ПК-6
61. Кромочные эффекты.	ПК-6
62. Модель трехслойной панели с легким наполнителем	ПК-6
63. Феноменологический и структурный подходы к построению критерия прочности.	ПК-6
64. Критерий Мизеса-Хилла. Критика.	ПК-6
65. Тензорный полиномиальный критерий (ТПК) предельного состояния КМ.	ПК-6
66. Упрощения ТПК для плоского напряженного состояния и ортотропии в осях образца. Эксперименты для определения констант	ПК-6
67. Упрощения ТПК для плоского напряженного состояния и ортотропии в	ПК-6

произвольных осях. Эксперименты для определения констант	
68. Поверхность прочности для графито-эпоксидного композита.	ПК-6

### 5.2.2. Типовые вопросы, выносимые на экзамен ПК-6

<i>Вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
1. Композиционные материалы. Определение, классификация, основные механические характеристики.	ПК-6
2. Основные типы армирующих волокон, их механические свойства.	ПК-6
3. Основные типы матричных материалов, их механические свойства.	ПК-6
4. Эффективные свойства композиционных материалов. Прямой и энергетический методы определения эффективных свойств. Микро- и макро механика.	ПК-6
5. Полидисперсная модель (модель составных сфер) для определения эффективных свойств макроскопически изотропной среды.	ПК-6
6. Решение Хилла для определения объемного модуля макроскопически изотропного композита с произвольной геометрией включений.	ПК-6
7. Вариационные оценки Фойгта-Рейса для эффективных свойств макроскопически изотропного композита.	ПК-6
8. Вариационные оценки Хашина-Штрикмана для эффективных свойств макроскопически изотропного композита. Схема получения оценок.	ПК-6
9. Самосогласованная и обобщенная самосогласованная (трехфазная) модели для определения эффективных свойств макроскопически изотропного композита.	ПК-6
10. Упругие свойства макроскопически трансверсально изотропного композита. Матрица жесткостей, матрица податливостей, технические константы, границы изменения коэффициентов Пуассона.	ПК-6
11. Полидисперсная модель (модель составных цилиндров) для определения эффективных упругих свойств макроскопически трансверсально изотропного волокнистого однонаправленного композита.	ПК-6
12. Модель периодической среды для определения эффективных упругих свойств волокнистого однонаправленного композита. Постановка задач на ячейке периодичности.	ПК-6
13. Задачи макромеханики конструкций из композитов. Особенности теоретических и экспериментальных исследований деформирования и прочности конструкций из композитов.	ПК-6
14. Уточненные модели изгиба тонкостенных конструкций из композитов. Модель С.П. Тимошенко для изгиба балок.	ПК-6
15. Подходы к расчету слоистых композиционных структур.	ПК-6
16. Предельные состояния композиционных материалов. Критерий Мизеса-Хилла. Тензорный полиномиальный критерий, его возможные упрощения	ПК-6

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### а) основная литература:

1. Кристенсен Р. Введение в механику композитов: Пер. с англ. /Под ред. Ю.М.Тарнопольского. М.: Мир, 1982. ( 4 экз.). <https://dwg.ru/dnl/6843>
2. Носов В.В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия: учебник Издательство: Лань, 2013. - 240 с., 3 экз. <http://e.lanbook.com/view/book/30427>
3. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов, М.:Машиностроение, 1988, <https://lib-bkm.ru/10930>, <https://mexalib.com/view/36761>

### б) дополнительная литература:

1. Фудзии Т., Дзако М. Механика разрушения композиционных материалов: Пер. с японского. М.: Мир, 1982. (4 экз.)



2. Победря Б.Е. Механика композиционных материалов. М.: Изд-во МГУ, 1984. (4экз.)
3. Бахвалов Н.С., Панасенко Г.П. Осреднение процессов в периодических средах. М.: Наука, 1984. (4 экз.).
4. Ю.В. Скворцов КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ», САМАРА, 2013, <http://repo.ssau.ru>
5. Брытков, Е.В. Механика композиционных материалов: учебное пособие / Е.В. Брытков, В.А. Санников; Балт.гос. техн. ун-т. – СПб., 2012 74 с. <http://library.voenmeh.ru/cnau/BYWQKW3JLidnpHj.pdf>

**в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы  
(в соответствии с содержанием дисциплины)**

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm>

Научно-образовательный центр при МИАН - <http://www.mi.ras.ru/>

Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ - <http://lib.mexmat.ru/>

электронная библиотека - <http://www.hi-edu.ru>

электронная библиотека - <http://www.hi-edu.ru>

электронные поисковые системы Yandex, Google и т.д.

**7. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ 01.05.01  
Фундаментальные математика и механика.

Автор

к.т.н., доцент Леонтьев Н.В.

Заведующий кафедрой  
теоретической,  
компьютерной и  
экспериментальной  
механики

д.ф.-м.н., профессор Игумнов Л.А.

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики от 30 ноября 2022 года, протокол № 3.