

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
от 30.11.2022 г. протокол № 13

**Рабочая программа дисциплины
МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
01.04.03 Механика и математическое моделирование

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
магистерская программа «Информационное и программное обеспечение. Инженерия»

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород
2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к обязательной части.

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
1	Блок 1. Дисциплины (модули) Обязательная часть	Дисциплина <i>Б1.О.06, «МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»</i> относится к обязательной части ООП направления подготовки 01.04.03 Механика и математическое моделирование.

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**	
УК-3. Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1. Знать основные принципы управления командой проекта.	Знать основные принципы управления группой при подготовке задания.	<i>задания, сообщения,</i>
	УК-3.2. Уметь вырабатывать командную стратегию при выполнении проекта.	Уметь вырабатывать командную стратегию при подготовке задания в группе	<i>задания, сообщения,</i>
	УК-3.3. Владеть методами мотивации команды на достижение поставленной цели.	Использовать методы мотивации членов группы при подготовке задания.	<i>задания, сообщения,</i>
ОПК-1. Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики	ОПК-1.1. Знает основы фундаментальных физико-математических дисциплин и других естественных наук.	Знает специализированные разделы механики деформируемого твердого тела для неоднородных и анизотропных сред, необходимые при создании моделей механики композитов.	<i>задания, сообщения, экзамен</i>
	ОПК-1.2. Умеет формулировать, анализировать и решать профессиональные задачи с применением фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук.	Умеет применять и модифицировать известные модели механики композитов при решении научных и технических задач.	<i>задания, сообщения, экзамен</i>
	ОПК-1.3. Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач математики и механики.	Имеет опыт разработки и применения математических моделей механики композитов	<i>задания, сообщения, экзамен</i>

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**	
ОПК-4. Способен использовать и создавать эффективные программные средства для решения задач механики	ОПК-4.1. Знает базовые понятия информатики, информации, ее измерения, кодирования и представления в вычислительных системах, принципы сбора, хранения и обработки информации, а также современные алгоритмы, средства разработки и программные средства.	Знает методы осреднения и определения эффективных свойств композитов, методы решения специализированные разделы теории упругости неоднородных анизотропных сред, анизотропных пластин и оболочек, критерии предельного состояния, необходимые при решении типовых задач механики композитов.	<i>задания, сообщения, экзамен</i>
	ОПК-4.2. Умеет использовать знания, полученные в области компьютерных наук.	Умеет использовать полученные знания в области компьютерных наук для решения типовых прикладных задач механики композитов	<i>задания, сообщения, экзамен</i>
	ОПК-4.3. Имеет практический опыт использования информационных технологий, а также создания программных средств для решения задач профессиональной деятельности.	Имеет опыт использования информационных технологий для численного решения учебных задач механики, в частности, средствами программного комплекса ANSYS.	<i>задания, сообщения, экзамен</i>

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	5 з.е.
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа	16
- текущий контроль КСР	2
самостоятельная работа	110
Промежуточная аттестация – экзамен	36

3.2. Содержание дисциплины

Очная форма обучения						
Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				СР ¹ , часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				
		из них				
		ЗЛеТ ₂	ЗСеТ ₃	ЗЛаТ ₄	Всего	
Введение. Классификация КМ. Основные типы армирующих и матричных материалов и их свойства.	24	2	2		4	20
Микромеханика. Эффективные свойства композиционных материалов.	33	4	4		8	25
Методы определения эффективных свойств композитов, армированных непрерывными волокнами.	33	4	4		8	25
Макромеханика. Особенности краевых задач для композиционных материалов	33	4	4		8	25
Критерии прочности композиционных материалов	19	2	2		4	15
Текущий контроль	2				2	
Промежуточная аттестация	36					
Итого	180	16	16		34	110
¹ Самостоятельная работа обучающегося.						
² Занятия лекционного типа.						
³ Занятия семинарского типа.						
⁴ Занятия лабораторного типа.						

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) 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 /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 16 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: разработки и применения математических моделей механики композитов; использования информационных технологий для численного решения учебных задач механики, в частности, средствами программного комплекса ANSYS.
- компетенций - УК-3, ОПК-1, ОПК-4.

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
плохо	не зачтено	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
		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.
удовлетворительно	зачтено	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
хорошо		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.
очень хорошо		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.
отлично		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.
превосходно		Уровень знаний в объеме,	Продemonстрированы все	Продemonстрирован

Шкала оценивания сформированности компетенций	Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)		
	Знания	Умения	Навыки
	превышающем программу подготовки.	основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов	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»
незачтено	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 .	ОПК-1
2. Примеры композитов в истории человечества	ОПК-1
3. Природные композиты	ОПК-1
4. Показатели качества материалов: удельная и абсолютная прочность, удельная и абсолютная жесткость	ОПК-1, УК-3
5. Матрица и включения	ОПК-1
6. Тенденции развития традиционных материалов в XX столетии	ОПК-1, УК-3
7. Классификация по форме и расположению включений.	ОПК-1
8. Основные типы армирующих волокон.	ОПК-1
9. Сравнительный анализ свойств армирующих волокон	ОПК-4
10. Основные типы матричных материалов.	ОПК-4

11. Сравнительный анализ свойств матричных материалов	ОПК-4
12. Свойства основных типов композиционных материалов.	ОПК-4
13. Постановка задачи теории упругости для кусочно-неоднородной среды.	ОПК-4
14. Условия на границе раздела фаз.	ОПК-4
15. Понятие представительного объема (ПЭО)	ОПК-4
16. Статистически однородная среда.	ОПК-4
17. «Однородные» граничные условия в перемещениях	ОПК-1
18. «Однородные» граничные условия в напряжениях	ОПК-1
19. Статистически однородные поля напряжений и деформаций.	ОПК-1
20. Постулат теории неоднородных сред Хашина	ОПК-1
21. Определение эффективных свойств композиционного материала – прямой метод	ОПК-1
22. Техника определения эффективных свойств прямым методом. Шесть независимых напряженных или деформированных состояний	ОПК-1
23. Симметричность эффективного тензора жесткостей и податливостей	ОПК-1
24. Определение эффективных свойств композиционного материала – энергетический метод	ОПК-1
25. Техника определения эффективных свойств энергетическим методом	ОПК-1
26. Возможность построения двухсторонних оценок (вилок) для эффективных свойств на основе энергетического метода	ОПК-4
27. Уравнений деформирования микронеднородной среды с эффективными свойствами. Теория эффективного модуля.	ОПК-4
28. Три группы методов определения эффективных свойств сред.	ОПК-4
29. Геометрическая модель композита в полидисперсной модели Хашина	ОПК-4
30. Переход от эффективных свойств одной составной сферы к эффективным свойствам ПЭО	ОПК-4
31. Почему не удастся получить решение для эффективного модуля сдвига с помощью полидисперсной модели	ОПК-4
32. Постановка задачи для неоднородных сред с одинаковыми модулями сдвига	ОПК-4
33. Вспомогательная задача о гравитационном потенциале	ОПК-4
34. Показать, что напряжения, полученные с помощью предлагаемого представления перемещений, являются истинными	ОПК-1
35. Оценить «размах» вилки Фойгта-Рейса	ОПК-1
36. Оценить «размах» вилки Хашина-Штрикмана	ОПК-1
37. Основные ограничения вилок	ОПК-1
38. Получить вилку Хашина-Штрикмана с помощью метода упрочнения Хилла	ОПК-1
39. Решение Эшелби для однородного эллипсоида в бесконечной однородной среде	ОПК-1
40. Геометрическая модель композита в трехфазной модели Кристенсена	ОПК-1
41. Почему значение эффективного объемного модуля по полидисперсной и трехфазной моделям совпадают?	ОПК-1
42. Периодические среды. Ячейка периодичности. Виды упаковок.	ОПК-1

43. Условия на границах ЯП для задач растяжения-сжатия.	ОПК-1
44. Условия на границах ЯП для задач сдвига.	ОПК-1
45. Матрица жесткостей трансверсально изотропной среды. Количество независимых параметров	ОПК-1
46. Определение технических констант трансверсально изотропной среды	ОПК-1
47. Границы изменения коэффициентов Пуассона для трансверсально изотропной среды	ОПК-4
48. Полидисперсная модель для трансверсально изотропной среды. Какие константы можно определить	ОПК-4
49. Определение продольно-поперечных модулей сдвига. Задача об антиплоской деформации (Альманси)	ОПК-4
50. Постановка задачи анизотропной теории упругости	ОПК-4
51. Простейшие задачи анизотропной упругости: растяжение	ОПК-4
52. Простейшие задачи анизотропной упругости: чистый изгиб	ОПК-4
53. Простейшие задачи анизотропной упругости: кручение стержней	ОПК-1
54. Принцип Сен-Венана для композитов.	ОПК-1
55. Модель балки Тимошенко для учета деформаций поперечного сдвига.	ОПК-1
56. Коэффициент сдвига. Варианты определения	ОПК-1
57. Преобразование упругих характеристик однонаправленного материала при повороте системы координат	ОПК-1
58. Упругие характеристики многослойных композитов при плоском напряжённом состоянии. Квази изотропные структуры	ОПК-1
59. Классическая теории слоистых пластин.	ОПК-4
60. Уточненная теории слоистых пластин.	ОПК-1
61. Кромочные эффекты.	ОПК-1
62. Модель трехслойной панели с легким заполнителем	ОПК-4
63. Феноменологический и структурный подходы к построению критерия прочности.	ОПК-1
64. Критерий Мизеса-Хилла. Критика.	ОПК-1
65. Тензорный полиномиальный критерий (ТПК) предельного состояния КМ.	ОПК-4
66. Упрощения ТПК для плоского напряженного состояния и ортотропии в осях образца. Эксперименты для определения констант	ОПК-1
67. Упрощения ТПК для плоского напряженного состояния и ортотропии в произвольных осях. Эксперименты для определения констант	ОПК-1
68. Поверхность прочности для графито-эпоксидного композита.	ОПК-4

5.2.2. Типовые вопросы, выносимые на экзамен

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Композиционные материалы. Определение, классификация, основные механические характеристики.	
2. Основные типы армирующих волокон, их механические свойства.	ОПК-1
3. Основные типы матричных материалов, их механические свойства.	ОПК-1
4. Эффективные свойства композиционных материалов. Прямой и энергетический	ОПК-1

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

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. (4 экз.)
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)**

1. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm>
2. Научно-образовательный центр при МИАН - <http://www.mi.ras.ru/>
3. Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ - <http://lib.mexmat.ru/>
4. электронная библиотека - <http://www.hi-edu.ru>
5. электронная библиотека - <http://www.hi-edu.ru>
6. 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 по направлению 01.04.03 Механика и математическое моделирование.

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 30.11.2022 года, протокол № 3.