

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

---

УТВЕРЖДЕНО

решением Ученого совета ННГУ

протокол № 10 от 02.12.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Механика композиционных материалов

---

Уровень высшего образования

Специалитет

---

Направление подготовки / специальность

01.05.01 - Фундаментальные математика и механика

---

Направленность образовательной программы

Фундаментальная механика и приложения

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.09.01 Механика композиционных материалов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
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	ПК-6.1: Умеет самостоятельно анализировать особенности задач механики композитов, знает методы решения указанных задач, умеет эффективно использовать и адаптировать существующие алгоритмы их решения.  ПК-6.2: Владеет навыками решения практических задач, анализа результатов решения разнообразных задач механики композитов.	Задания Сообщение	Экзамен: Контрольные вопросы

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	16
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	16
- КСР	2
самостоятельная работа	38
Промежуточная аттестация	36

**3.2. Содержание дисциплины**

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0	0 0 0
Введение. Классификация КМ. Основные типы армирующих и матричных материалов и их свойства.	10	2	2	4	6
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.	10	2	2	4	6
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	108	16	16	34	38

**Содержание разделов и тем дисциплины**

Введение. Классификация КМ. Основные типы армирующих и матричных материалов и их свойства.

Микромеханика. Эффективные свойства композиционных материалов.

Методы определения эффективных свойств композитов, армированных непрерывными волокнами.

Макромеханика. Особенности краевых задач для композиционных материалов.

Критерии прочности композиционных материалов.

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

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

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).

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-6:**

1. Показатели качества материалов: удельная и абсолютная прочность, удельная и абсолютная жесткость.
2. Тенденции развития традиционных материалов в XX столетии.
3. Определение КМ.
4. Примеры композитов в истории человечества.
5. Природные композиты.
6. Показатели качества материалов: удельная и абсолютная прочность, удельная и абсолютная жесткость.
7. Матрица и включения.
8. Тенденции развития традиционных материалов в XX столетии.
9. Классификация по форме и расположению включений.
10. Основные типы армирующих волокон.
11. «Однородные» граничные условия в перемещениях.
12. «Однородные» граничные условия в напряжениях.
13. Статистически однородные поля напряжений и деформаций.
14. Постулат теории неоднородных сред Хашина.
15. Определение эффективных свойств композиционного материала – прямой метод .
16. Техника определения эффективных свойств прямым методом. Шесть независимых напряженных или деформированных состояний.
17. Симметричность эффективного тензора жесткостей и податливостей.
18. Определение эффективных свойств композиционного материала – энергетический метод.
19. Техника определения эффективных свойств энергетическим методом.
20. Показать, что напряжения, полученные с помощью предлагаемого представления перемещений, являются истинными.
21. Оценить «размах» вилки Фойгта-Рейса.
22. Оценить «размах» вилки Хашина-Штрикмана.
23. Основные ограничения вилок.
24. Получить вилку Хашина-Штрикмана с помощью метода упрочнения Хилла.
25. Решение Эшелби для однородного эллипсоида в бесконечной однородной среде.
26. Геометрическая модель композита в трехфазной модели Кристенсена.
27. Почему значение эффективного объемного модуля по полидисперсной и трехфазной моделям совпадают?
28. Периодические среды. Ячейка периодичности. Виды упаковок.
29. Условия на границах ЯП для задач растяжения-сжатия.

30. Условия на границах ЯП для задач сдвига.
31. Матрица жесткостей трансверсально изотропной среды. Количество независимых параметров.
32. Определение технических констант трансверсально изотропной среды.
33. Простейшие задачи анизотропной упругости: кручение стержней.
34. Принцип Сен-Венана для композитов.
35. Модель балки Тимошенко для учета деформаций поперечного сдвига.
36. Коэффициент сдвига. Варианты определения.
37. Преобразование упругих характеристик однонаправленного материала при повороте системы координат.
38. Упругие характеристики многослойных композитов при плоском напряженном состоянии. Квази изотропные структуры.
39. Уточненная теории слоистых пластин.
40. Кромочные эффекты.
41. Феноменологический и структурный подходы к построению критерия прочности.
42. Критерий Мизеса-Хилла. Достоинства и недостатки..
43. Упрощения ТПК для плоского напряженного состояния и ортотропии в осях образца.  
Эксперименты для определения констант.
44. Упрощения ТПК для плоского напряженного состояния и ортотропии в произвольных осях.  
Эксперименты для определения констант.
45. Сравнительный анализ свойств армирующих волокон.
46. Основные типы матричных материалов.
47. Сравнительный анализ свойств матричных материалов.
48. Свойства основных типов композиционных материалов.
49. Постановка задачи теории упругости для кусочно-неоднородной среды.
50. Условия на границе раздела фаз.
51. Понятие представительного объема (ПЭО).
52. Статистически однородная среда.
53. Возможность построения двухсторонних оценок (вилок) для эффективных свойств на основе энергетического метода.
54. Уравнений деформирования микroneоднородной среды с эффективными свойствами. Теория эффективного модуля.
55. Три группы методов определения эффективных свойств сред.
56. Геометрическая модель композита в полидисперсной модели Хашина.
57. Переход от эффективных свойств одной составной сферы к эффективным свойствам ПЭО.
58. Почему не удастся получить решение для эффективного модуля сдвига с помощью полидисперсной модели.
59. Постановка задачи для неоднородных сред с одинаковыми модулями сдвига.
60. Вспомогательная задача о гравитационном потенциале.
61. Границы изменения коэффициентов Пуассона для трансверсально изотропной среды.
62. Полидисперсная модель для трансверсально изотропной среды. Какие константы можно определить.
63. Определение продольно-поперечных модулей сдвига. Задача об антиплоской деформации (Альманси).
64. Постановка задачи анизотропной теории упругости.
65. Простейшие задачи анизотропной упругости: растяжение.
66. Простейшие задачи анизотропной упругости: чистый изгиб.
67. Классическая теории слоистых пластин.
68. Модель трехслойной панели с легким заполнителем.
69. Тензорный полиномиальный критерий (ТПК) предельного состояния КМ.
70. Поверхность прочности для графито-эпоксидного композита.

71.Критерии предельного состояния максимальных напряжений и деформаций

72.Критерии предельного состояния Хашина

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Сообщение) для оценки сформированности компетенции ПК-6:

1. Модель периодических сред для вычисления эффективных свойств композитов
2. Асимптотический метод осреднения Н.С.Бахвалова, Б.Е.Победри.
3. Конечные элементы ANSYS и ЛОГОС для анализа сплошных композитных сред
4. Конечные элементы ANSYS и ЛОГОС для анализа тонкостенных композитных пластин и оболочек
5. Конечные элементы ANSYS и ЛОГОС для анализа композитных балок
6. Сравнение конечных элементов, предназначенных для анализа тонкостенных композитных конструкций
7. Специализированный пре и пост процессор ANSYS для анализа конструкций из композитов
8. Применение МКЭ для решения задачи осреднения по модели периодических сред.
9. Вывод вариационных оценок Хашина-Штрикмана с использованием специального вариационного принципа Вариационные оценки для однонаправленных волокнистых композитов
- 10.Модель периодических сред для вычисления эффективных свойств композитов
- 11.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Сообщение)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Ответ полный и правильный на основании изученной теории; теоретический материал и решение поставленных задач изложены в необходимой логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный. Могут быть допущены две-три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя.
не зачтено	Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

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

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка	Уровень подготовки
--------	--------------------

<b>зачтено</b>	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-6

1. Композиционные материалы. Определение, классификация, основные механические характеристики.
2. Основные типы армирующих волокон и их свойства.
3. Основные типы матричных материалов и их свойства. Технологии производства изделий.
4. Введение эффективных свойства композиционных материалов.
5. Прямой подход к определению эффективных свойств.
6. Энергетический подход к определению эффективных свойств.
7. Эффективные свойства макроскопически изотропной среды с малой концентрацией частиц.
8. Полидисперсная модель (модель составных сфер) для определения эффективных свойств макроскопически изотропной среды.
9. Решение Хилла для определения объемного модуля макроскопически изотропного композита с произвольной геометрией включений.
10. Вывод и анализ применимости оценок Фойгта-Рейса для эффективных свойств макроскопически изотропного композита.
11. Оценки Хашина-Штрикмана (без вывода) для эффективных свойств макроскопически изотропного композита. Анализ оценок: сильные и слабые моменты. Возможности уточнения
12. Классическая самосогласованная модель для эффективных свойств макроскопически изотропного композита.
13. Обобщенная самосогласованная (трехфазная) модель для эффективных свойств макроскопически изотропного композита.



14. Упругие свойства макроскопически трансверсально изотропного композита. Матрица жесткостей, матрица податливостей, технические константы, границы изменения коэффициентов Пуассона.
15. Полидисперсная модель для определения эффективных свойств трансверсально изотропных композитов.
16. Вариационные оценки эффективных свойств трансверсально изотропных и ортотропных сред (без вывода). Анализ оценок.
17. Определение эффективных свойств периодической слоистой среды с изотропными слоями.
18. Определение эффективных свойств периодического однонаправленного композита.
19. Определение эффективных свойств слоистой периодической среды.
20. Особенности задач для однородных анизотропных сред.
21. Преобразование напряжений, деформаций и упругих свойств при повороте системы координат.
22. Уточненные модели изгиба тонкостенных конструкций из композитов. Модель С.П. Тимошенко для изгиба балок.
23. Классическая модель многослойных пластин.
24. Варианты структуры многослойного пакета и вид матрицы материальных свойств.
25. Предельные состояния композиционных материалов. Тензорный полиномиальный критерий, его возможные упрощения.
26. Предельные состояния композиционных материалов. Критерии максимальных напряжений и деформаций.
27. Предельные состояния композиционных материалов. Критерий Хашина
28. Конечные элементы для анализа сплошных композитных сред
29. Конечные элементы для анализа тонкостенных композитных пластин и оболочек
30. Многослойные объемные конечные элементы.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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»
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».

Оценка	Критерии оценивания
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Кристенсен Ричард М. Введение в механику композитов / пер. с англ. А. И. Бейля, Н. П. Жмудя ; под ред. Ю. М. Тарнопольского. - М. : Мир, 1982. - 334 с. : ил. - 3.10., 4 экз.
2. Носов В. В. Механика композиционных материалов. Лабораторные работы и практические занятия / Носов В. В. - 2-е изд., перераб. и доп. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 240 с. - Книга из коллекции Лань - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-8114-1496-3., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=799933&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Фудзии Т. Механика разрушения композиционных материалов / пер. с яп. С. Л. Масленникова ; под ред. В. И. Бурлаева. - М. : Мир, 1982. - 232 с. : ил. - 1.40., 2 экз.
2. Победря Борис Ефимович. Механика композиционных материалов : [учеб. пособие для ун-тов по специальности "Механика"]. - М. : Изд-во МГУ, 1984. - 336 с. : ил. - 0.90., 3 экз.
3. Бахвалов Николай Сергеевич. Осреднение процессов в периодических средах : мат. задачи механики композиц. материалов. - М. : Наука, 1984. - 352 с. : ил. - 4.20., 2 экз.
4. Брытков Е. В. Механика композиционных материалов / Брытков Е. В. - Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2021. - 66 с. - Книга из коллекции БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова - Инженерно-технические науки., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=801628&idb=0>.

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 (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Мультимедийная техника (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 подготовки/специальности 01.05.01 - Фундаментальные математика и механика.

Автор(ы): Леонтьев Николай Васильевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Заведующий кафедрой: Игумнов Леонид Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 02.12.2024, протокол № 5.