

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
"Ивановский государственный политехнический университет"**

УТВЕРЖДАЮ

Директор института _____

_____ 2026 г.

Математические модели в теории композитных материалов

рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой	ЕНиТБ (Естественных наук и техносферной безопасности)		
Учебный план	28.03.02 Наноинженерия; 08.03.01 Строительство		
Направленность (профиль)	Инженерия нанокompозитных материалов в строительстве		
Квалификация	бакалавр		
Форма обучения	очная		
Общая трудоемкость	2 ЗЕТ		
Часов по учебному плану	64	Виды контроля в семестрах: зачет, 8 семестр	
в том числе:			
аудиторные занятия	32		
самостоятельная работа	32		

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр	8		Итого	
	УП	РП	УП	РП
Вид занятий				
Лекции	20	20	20	20
Практические	12	12	12	12
Итого ауд.	32	32	32	32
Контактная работа	32	32	32	32
Сам. работа	32	32	32	32
Часы на контроль				
Итого	64	64	64	64

Программу составил(и):

Красильников И.В., Зав.кафедрой, _____

Рецензент(ы):

Румянцева Е.В., профессор, _____

Рабочая программа дисциплины

Математические модели в теории композитных материалов

Разработана в соответствии с ФГОС ВО

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 28.03.02 Наноинженерия. Утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 19 сентября 2017 г. N 923

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 08.03.01 Строительство (Приказ Минобрнауки России от 31.05.2017 г. № 481)

составлена на основании учебного плана

28.03.02 Наноинженерия; 08.03.01 Строительство

утвержденного ученым советом вуза от 26.03.2026 протокол №6

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

ЕНиТБ (Естественных наук и техносферной безопасности)

Зав. кафедрой И.В. Красильников _____

Согласовано

Зав. выпускающей кафедрой ЕНиТБ Красильников И.В. _____

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	
Цели:	Формирование у обучающихся системных теоретических знаний и практических навыков построения, анализа и применения математических моделей для прогнозирования эффективных физико-механических характеристик, напряженно-деформированного состояния и поведения композиционных (в т.ч. наноструктурированных) материалов при различных видах нагружения
Задачи:	1. Изучить фундаментальные принципы микромеханики и методы гомогенизации структурно-неоднородных сред. 2. Освоить аналитические и численные методы расчета эффективных модулей упругости, вязкоупругости и пластичности композитов с периодической структурой. 3. Сформировать навыки решения пространственных задач теории упругости для слоистых, волокнистых и структурно-анизотропных материалов. 4. Научиться применять математический аппарат для моделирования механического поведения композитов в условиях упруго-пластического деформирования и ползучести. 5. Развить компетенции в верификации расчетных моделей и их адаптации для задач инженерии нанокompозитных материалов в строительстве.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	
Цикл (раздел) ОП:	Б1.В.ДВ.08.02
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
	Обучающийся должен: Знать: теорию дифференциальных уравнений и векторный анализ, Классификацию и физико-химические свойства конструкционных материалов; Уметь: решать системы линейных уравнений и вычислять производные функций многих переменных; определять влияние структуры материала на его макроскопические свойства Владеть: терминологией в области строения и синтеза композиционных систем
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
	Производственная практика (преддипломная практика), Выполнение и защита выпускной квалификационной работы (Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы)

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ИНДИКАТОРЫ ИХ ДОСТИЖЕНИЯ	
ДПК-1:Способность решать профессиональные задачи с помощью знаний, приобретенных в процессе формирования индивидуальной образовательной траектории	
ДПК-1.1. Проектировать индивидуальные образовательные маршруты для построения профессиональной карьеры и определять стратегию профессионального развития	
В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен:	
Знать:	— Основные принципы микромеханики композитов и понятие представительного объема (RVE). — Математический аппарат теории упругости, вязкоупругости и пластичности для неоднородных сред. — Методы расчета эффективных физико-механических характеристик композитов (аналитические, полуэмпирические, вариационные). — Особенности математического моделирования слоистых, волокнистых и наноструктурированных композитов. — Принципы верификации расчетных моделей экспериментальными данными.
Уметь:	• Строить математические модели для описания напряженно-деформированного состояния композитов с периодической и непериодической структурой. • Выбирать и применять аналитические методы (нулевое приближение, точные решения) для расчета эффективных модулей упругости. • Использовать численные методы (МКЭ) для решения пространственных задач механики композитов. • Анализировать результаты моделирования и оценивать влияние архитектуры армирования на макроскопические свойства.
Владеть:	• Навыками построения тензоров эффективных модулей упругости для анизотропных композитов. • Методикой применения деформационной теории пластичности к композитным материалам. • Инструментами математического моделирования для прогнозирования механических свойств новых композиционных материалов. • Терминологией и стандартизированными подходами в области механики композиционных материалов.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)			
Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Примечание
Раздел 1. Введение в механику композитов. Микроструктура и макроскопические модели Тема 1.1. Основные понятия и классификация композиционных материалов. Периодическая структура. Тема 1.2. Представительный объем элемента (RVE). Уравнения теории упругости для неоднородных сред. Усреднение полей напряжений и деформаций.			
/Лек/	8	2	
/Пр/	8	2	
/СР/	8	4	
Раздел 2. Теория эффективных модулей упругости композитов Тема 2.1. Гомогенизация и постановка задачи об эффективных свойствах. Тема 2.2. Тензор модулей упругости нулевого приближения. Вариационные оценки и границы эффективных характеристик. Тема 2.3. Полуэмпирические выражения для композитов с ортогональной продольно-поперечной армировкой.			
/Лек/	8	4	
/Пр/	8	2	
/СР/	8	6	
Раздел 3. Аналитические методы для слоистых и волокнистых композитов Тема 3.1. Точные решения задач теории упругости для волокнистых композитов. Тема 3.2. Приближенные методы решения пространственных задач теории упругости. Тема 3.3. Учет контактного взаимодействия фаз и межфазных границ.			
/Лек/	8	4	
/Пр/	8	2	
/СР/	8	6	
Раздел 4. Численное моделирование композитов (МКЭ и специальные задачи) Тема 4.1. Применение метода конечных элементов к задачам механики композитов. Особенности дискретизации. Тема 4.2. Моделирование композита с волокном квадратного сечения. Тема 4.3. Построение матрицы А. А. Ильюшина в плоском случае. Задача о композите в виде «шахматной доски».			
/Лек/	8	4	
/Пр/	8	2	
/СР/	8	6	
Раздел 5. Вязкоупругие и упруго-пластические модели композитов Тема 5.1. Математические модели вязкоупругого поведения композитов с периодической структурой. Тема 5.2. Деформационная теория пластичности для структурно анизотропных тел. Тема 5.3. Упруго-пластическое поведение композитов: постановка задач и методы решения.			
/Лек/	8	3	
/Пр/	8	2	
/СР/	8	5	
Раздел 6. Математические модели анизотропии и прогнозирование свойств нанокompозитов Тема 6.1. Моделирование композитов сложной архитектуры и функциональных наноматериалов. Тема 6.2. Корреляция математических моделей с экспериментальными данными. Адаптация моделей для строительных наноструктурированных материалов. Тема 6.3. Верификация, валидация и практическое применение моделей в инженерных расчетах.			
/Лек/	8	3	
/Пр/	8	2	
/СР/	8	5	
/За/	8	0	

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках внутренней системы оценки качества подготовки для текущего контроля и промежуточной аттестации в университете применяется балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся (очной формы обучения). При реализации образовательной программы в университете применяются электронное обучение и дистанционные образовательные технологии. Для проведения аудиторной и внеаудиторной контактной работы используются технологии видеоконференцсвязи. Для проведения всех видов занятий используется электронная информационно-образовательная среда вуза. При реализации различных видов учебной работы по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- 1) лекции с использованием методов проблемного изложения материала;
- 2) на практических занятиях для пробуждения у обучающихся интереса и эффективного усвоения учебного материала используются следующие методы активного обучения:
 - презентации с использованием различных вспомогательных средств: видео, слайдов, компьютеров;
 - мини-лекция: эффективная форма преподнесения теоретического материала;
 - тестирование: определение уровня информированности обучающихся или их отношение к обсуждаемой теме;
 - обратная связь: позволяет выяснить реакцию участников на обсуждаемые темы, увидеть достоинства и недостатки организации и проведения обучения, оценить результат;
 - дискуссии: позволяют выявить индивидуальное мнение обучающихся по определенной теме.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Основные принципы микромеханики композитов. Понятие представительного объема (RVE) и методы его выбора.
2. Периодическая структура композиционных материалов. Уравнения теории упругости для структурно-неоднородных сред.
3. Теория эффективных модулей упругости: постановка задачи, физический смысл и основные подходы к определению.
4. Тензор модулей упругости нулевого приближения. Его математическая запись и применение.
5. Вариационные принципы и границы эффективных упругих характеристик композитов (оценки сверху и снизу).
6. Полуэмпирические модели расчета эффективных модулей композитов. Области их применимости.
7. Аналитические методы решения задач упругости для слоистых композитов. Основные гипотезы и ограничения.
8. Точные решения для волокнистых композитов с периодической структурой. Примеры и результаты.
9. Приближенные методы решения пространственных задач теории упругости композиционных материалов.
10. Учет контактного взаимодействия фаз в математических моделях композитов.
11. Метод конечных элементов в задачах механики композитов: особенности построения сетки и граничных условий.
12. Моделирование композита с волокном квадратного сечения методом МКЭ. Особенности симметрии.
13. Матрица А. А. Ильюшина в плоском случае: структура, вывод и практическое применение.
14. Задача о композите в виде «шахматной доски»: математическая постановка, методы решения и физические выводы.
15. Математические модели вязкоупругого поведения композитов с периодической структурой.
16. Деформационная теория пластичности для структурно анизотропных тел. Основные уравнения и допущения.
17. Упруго-пластическое поведение композитов: моделирование нелинейного деформирования.
18. Математические модели композитов с ортогональной продольно-поперечной армировкой.
19. Прогнозирование механических характеристик наноструктурированных композиционных материалов на основе макро моделирования.
20. Верификация математических моделей: сопоставление расчетных данных с результатами лабораторных испытаний.
21. Особенности математического моделирования функциональных нанокомпозитов на полимерной и цементной основе.
22. Практическое применение математических моделей композитов в современном строительстве: примеры и ограничения.

ФОС по дисциплине представлен в ПРИЛОЖЕНИИ к РПД.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1. Рекомендуемая литература

7.1.1 Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие, назначение, ссылка	Издательство, год
Л1.1	Димитриенко, Ю.И.	Механика сплошной среды: учебное пособие: в 4 томах — Том 4: Основы механики твердых сред, ,	Москва: МГТУ им. Баумана, 2011,
Л1.2	Жильцов А. В., Максимова Н. Н., Намм Р.В.	Двойственный подход с модифицированными функционалами Лагранжа для исследования контактных задач механики: монография ,	Благовещенск: АмГУ, 2024.,

7.1.2 Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие, назначение, ссылка	Издательство, год
Л2.1	Логунова Т.В., Щербакова Л. В., Мажайцев Е.А.	Цифровизация высокотехнологичных отраслей промышленности: учебник. , ,	Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2023.,
Л2.2	Олесников В.И., Беляк О.А.	Математические модели и экспериментальные исследования — основа конструирования гетерогенных антифрикционных материалов: монография , ,	Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2021.,

7.2. Электронные учебные издания и электронные образовательные ресурсы

E-learning Портал электронного образования ИВГПУ: <https://moodle.ivgpu.ru/>

7.3. Информационное обеспечение дисциплины	
7.3.1 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства	
	Лицензионное программное обеспечение вуза: Microsoft Windows, Microsoft Office. Свободно распространяемое: программный пакет Moodle. Прикладное программное обеспечение: Google Chrome, Opera, Mozilla Firefox и др.
7.3.2 Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	
7.3.2.1	ЭБС издательства "Лань", https://e.lanbook.com/
7.3.2.2	Электронная библиотека ИВГПУ, https://lib.ivgpu.ru/
7.3.2.3	ЭБС "Университетская Библиотека Онлайн", https://biblioclub.ru

8. МТО (ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБУЧЕНИЯ)
Для проведения занятий по дисциплине имеются аудитории для лекционных и практических занятий, оснащенные ученической доской, комплектом учебной мебели. Помещение для самостоятельной работы обучающихся оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета.

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
Обучающимся необходимо ознакомиться: - с содержанием рабочей программы изучаемой дисциплины (далее - РПД), с целями и задачами дисциплины, ее связями с другими дисциплинами образовательной программы, с основной и дополнительной литературой, в частности с методическими разработками по данной дисциплине. Для успешного усвоения теоретического материала необходимо регулярно посещать лекции, активно работать на практических занятиях и лабораторных работах, перечитывать лекционный материал, значительное внимание уделять самостоятельному изучению дисциплины. Основными видами аудиторной работы обучающихся являются лекционные занятия. В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы. В ходе лекционных занятий необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в изучении проблем. Конспектирование лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы, предполагающий интенсивную умственную деятельность студента. Практические занятия служат для закрепления изученного материала, развития умений, навыков и защиты выдвигаемых положений, а также для контроля преподавателем степени подготовленности обучающихся по изучаемой дисциплине. Практическое занятие – это занятие, проводимое под руководством преподавателя в учебной аудитории, направленное на углубление научно-теоретических знаний и овладение определенными методами самостоятельной работы. В процессе таких занятий вырабатываются практические умения. Перед практическим занятием следует изучить конспект лекции и рекомендованную преподавателем литературу, обращая внимание на практическое применение теории и на методику решения типовых задач. Логическая связь лекций и практических занятий заключается в том, что информация, полученная на лекции, в процессе самостоятельной работы на практическом занятии осмысливается и перерабатывается, при помощи преподавателя анализируется до мельчайших подробностей, после чего прочно усваивается. Целью самостоятельной работы является освоение фундаментальных знаний, развитие ответственности и организованности, умений самостоятельно работать с учебным материалом и приобретение навыков поиска и реферирования доступной научной информации. Самостоятельная работа во внеаудиторное время подразумевает: повторение лекционного материала; изучения учебной и научной литературы; подготовки к контрольным работам, тестированию, рубежному контролю.

10. УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ООП ВО ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ И ИНВАЛИДОВ

Преподавание дисциплины должно учитывать особенности познавательной деятельности и личностной особенности обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалидов (по возможности на лекциях, семинарах, лабораторных работах и т.д.). Учет особенностей обучающихся с инвалидностью в полной мере проявляется на предусмотренных для таких обучающихся индивидуальных консультациях по дисциплине.

Необходимо во время преподавания в общей группе учитывать реальные возможности лиц с ОВЗ и инвалидов. Коррекция методики преподавания для данной группы лиц возможна на индивидуальных занятиях. Преподаватель должен учитывать физиологические особенности обучаемого и разработать рекомендации и приемы выполнения поставленной задачи индивидуально. Возможен подбор индивидуального задания с коррекцией уровня сложности выполняемого задания.

Специальные условия для получения образования обучающимися с ограниченными возможностями здоровья условия обучения, воспитания и развития таких обучающихся, включающие в себя использование специальных образовательных программ и методов обучения и воспитания, специальных учебников, учебных пособий и дидактических материалов, специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь, проведение групповых и индивидуальных коррекционных занятий, обеспечение доступа в здания организаций, осуществляющих образовательную деятельность, и другие условия, без которых невозможно или затруднено освоение образовательных программ обучающимися с ограниченными возможностями здоровья.

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья электронное обучение и дистанционные образовательные технологии должны предусматривать возможность приема-передачи информации в доступных для них формах.

Необходимо учитывать тот факт, что обучающиеся не всегда имеют физическую возможность посещать занятия. Поэтому целесообразно разрабатывать дистанционную информационную поддержку процесса обучения. Таким средством могут являться обучающие компьютерные фильмы по данной дисциплине, презентации, которые обучающийся может просматривать дома в комфортной среде и без лимита времени.

Обучающиеся из числа лиц с ОВЗ и инвалидов обеспечиваются печатными и (или) электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.

При проведении занятий в компьютерных лабораториях целесообразно использовать проектор для наиболее удобного размещения обучающегося с ОВЗ при изложении материала занятия.