

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 15.04.03 Прикладная механика

Наименование образовательной программы: Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
НЕЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Вариативная
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.В.08.01.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	2 семестр - 16 часов;
Практические занятия	2 семестр - 16 часов;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	2 семестр - 18 часов;
Самостоятельная работа	2 семестр - 89,2 часа;
в том числе на КП/КР	2 семестр - 15,7 часов;
Иная контактная работа	2 семестр - 4 часа;
включая: Тестирование Контрольная работа Решение задач	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсовой работы Экзамен	2 семестр - 0,3 часа; 2 семестр - 0,5 часа; всего - 0,8 часа

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Позняк Е.В.
	Идентификатор	Rd1b94958-PozniakYV-2647307e

(подпись)

Е.В. Позняк

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Позняк Е.В.
	Идентификатор	Rd1b94958-PozniakYV-2647307e

(подпись)

Е.В. Позняк

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Меркурьев И.В.
	Идентификатор	Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883f

(подпись)

И.В. Меркурьев

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Целью освоения дисциплины является изучение основных положений, моделей и методов нелинейной механики сплошной среды, необходимых в профессиональной деятельности

Задачи дисциплины

- изучение основных моделей нелинейной механики сплошной среды;
- обоснованное применение нелинейных моделей и методов нелинейной механики сплошной среды в прикладных задачах статики и динамики;
- решение прикладных задач механики сплошной среды с учетом физической и/или геометрической нелинейности в соответствии с нормативными документами и с применением современных конечно-элементных программных комплексов.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ОПК-2 способностью применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы		знать: - основы моделирования и расчета на прочность элементов конструкций, находящихся в стадии нелинейного деформирования при запроектных нагрузках, в том числе в специализированных программных комплексах. уметь: - получать, анализировать и представлять решения (в том числе численные) нелинейных задач механики.
ПК-14 способностью проектировать машины и конструкции с учетом требований обеспечения их прочности, устойчивости, долговечности и безопасности, обеспечения надежности и износостойкости узлов и деталей машин		знать: - математическую постановку геометрически-нелинейных задач механики; - математическую постановку физически-нелинейных задач механики сплошной среды (на примерах пластического деформирования металлов, бетона, грунтов, ползучести металлов, нелинейной упругости); - основы теории прочности физически-нелинейных сред. уметь: - создавать компьютерные геометрически-нелинейные модели элементов конструкций, проводить расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS; - применять для расчета нормативные

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		<p>документы (своды правил), создавать компьютерные модели элементов конструкций в состоянии физически-нелинейного деформирования, проводить расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS;</p> <p>- применять классические методы оценки прочности физически-нелинейных моделей для простых расчетных схем.</p>

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока дисциплин основной профессиональной образовательной программе Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры (далее – ОПОП), направления подготовки 15.04.03 Прикладная механика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать основные положения теории пластичности и ползучести, освоенные при изучении дисциплины "Теория пластичности и ползучести"
- знать основы механики материалов и конструкций, теорию прочности, теорию упругости, материаловедение
- уметь создавать конечно-элементные модели в ANSYS и проводить их расчет на прочность

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания	
				Контактная работа							СР				
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль		
КПР	ГК	ИККП	ТК												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Введение	10	2	4	-	2	-	-	-	-	-	4	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> [1] гл.1, стр.13-20, [2] гл.1, стр.10-23, [3] гл.2, стр.44-105, гл.3, стр. 118-138</p> <p><u>Подготовка курсовой работы:</u> Работа над заданием 1 курсовой работы</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> [1] гл.1, стр. 28-36, [2] гл.10, стр. 292-341, гл.11, стр. 343-365, гл.3, стр. 118-138, [3] гл.5, стр.178-215, [4] гл.1, стр.10-30,</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], 37-89 [4], 230-249 [5], 34-68</p>	
1.1	Введение	10		4	-	2	-	-	-	-	-	4	-		
2	Модели и состояния сплошной среды	28		8	-	8	-	-	-	-	-	-	12		-
2.1	Модели и состояния сплошной среды	28		8	-	8	-	-	-	-	-	-	12		-
3	Геометрически нелинейные задачи	18		2	-	4	-	-	-	-	-	-	12		-
3.1	Геометрически нелинейные задачи	18		2	-	4	-	-	-	-	-	-	12		-
4	Постановка нелинейных задач механики сплошной среды	16	2	-	2	-	-	-	-	-	-	12	-	<p><u>Подготовка курсовой работы:</u> Работа над оформлением курсовой работы</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> [1] гл.2, стр.</p>	

4.1	Постановка нелинейных задач механики сплошной среды	16		2	-	2	-	-	-	-	-	12	-	54-114 <i><u>Изучение материалов литературных источников:</u></i> [1], 16-187
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Курсовая работа (КР)	36.0		-	-	-	16	-	4	-	0.3	15.7	-	
	Всего за семестр	144.0		16	-	16	16	2	4	-	0.8	55.7	33.5	
	Итого за семестр	144.0		16	-	16	18		4		0.8	89.2		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Введение

1.1. Введение

Основные положения механики сплошной среды. Напряжения. Деформации. Тензоры напряжений и деформаций и их инварианты. Интенсивности напряжений и деформаций. Скорости деформаций..

2. Модели и состояния сплошной среды

2.1. Модели и состояния сплошной среды

Упругость и классификация упругих материалов. Пластичность. Идеальная пластичность. Условие текучести. Упрочнение. Закон Баушингера. Изотропное и кинематическое упрочнение. Соотношения между напряжениями и деформациями при теории пластичности. Теория пластического течения. Ассоциированный закон течения. Деформационная теория. Разгрузка. Постановка задач теории пластичности. Физически-нелинейные модели в ANSYS. Вязкие среды. Ползучесть. Установившаяся ползучесть лопаток паровых и газовых турбин. Бетон и железобетон. Основные физико-механические свойства бетона и арматуры. Теории прочности бетона. Расчет бетонных и железобетонных элементов конструкций по СП 52-101-2003. Модель бетона и железобетона в ANSYS. Механика грунтов. Основные понятия и определения. Механические характеристики грунтов. Закон Кулона для грунтов. Прочность грунтов. Критерии Мора-Кулона и Друккера-Прагера..

3. Геометрически нелинейные задачи

3.1. Геометрически нелинейные задачи

Тензор Коши-Грина. Тензор Грина-Лагранжа. Градиент деформаций. Тензор напряжений Пиолы-Кирхгофа. Уравнение равновесия с учетом конечных перемещений..

4. Постановка нелинейных задач механики сплошной среды

4.1. Постановка нелинейных задач механики сплошной среды

Классификация нелинейных задач. Постановка задачи нелинейного деформирования. Общая схема решения нелинейных задач. Методы решения нелинейных краевых задач. Нелинейные задачи и МКЭ. Два подхода к физически- и геометрически нелинейному анализу: формулировки Лагранжа и Эйлера. Основные положения. Классификация вариантов нелинейного анализа..

3.3. Темы практических занятий

1. Линейное напряженное состояние. Пластичность, упрочнение, разгрузка.;
2. Плоское и объемное напряженное состояние при пластическом деформировании;
3. Упруго-пластический изгиб балки под сосредоточенной и распределенной нагрузкой. Постановка краевой задачи;
4. Ползучесть болтов фланцевого соединения. Установившаяся ползучесть лопаток паровых и газовых турбин;
5. Геометрически-нелинейная балка. Постановка краевой задачи. Вариационная постановка задачи и ее решение.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Выдача заданий на курсовое проектирование, обсуждение порядка выполнения и оформления курсового проекта
2. Обсуждение первого задания курсового проекта, особенностей расчета по нормам, построения проверочной конечно-элементной модели конструкции
3. Обсуждение второго задания курсового проекта, плана численного исследования, вариантов конечно-элементной модели конструкции
4. Заключительные консультации по курсовому проектированию

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

2 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Расчет на прочность железобетонной подкрановой балки.
- Верификация элемента бетона в ПК ANSYS.
- Анализ НДС стальной балки при запроектных нагрузках.
- Оценка несущей способности грунтового основания.

График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 4	5 - 8	9 - 12	13 - 15	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	2, 3	4	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	25	25	25	25	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	25	50	75	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	Раздел 1 (задача 1 п.1)
2	Раздел 2 (задача 1 п.2,3)
3	Раздел 3 (задача 2 п.1)
4	Раздел 4 (задача 2 п.2, оформление отчета по курсовой работе)

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
основы моделирования и расчета на прочность элементов конструкций, находящихся в стадии нелинейного деформирования при запроектных нагрузках, в том числе в специализированных программных комплексах	ОПК-2(Компетенция)				+	Контрольная работа/КМ-3. Контрольная работа №2
основы теории прочности физически-нелинейных сред	ПК-14(Компетенция)	+				Тестирование/КМ-1. Тест «Нелинейные модели и состояния в механике сплошной среды»
математическую постановку физически-нелинейных задач механики сплошной среды (на примерах пластического деформирования металлов, бетона, грунтов, ползучести металлов, нелинейной упругости)	ПК-14(Компетенция)		+			Контрольная работа/КМ-2. Контрольная работа №1
математическую постановку геометрически-нелинейных задач механики	ПК-14(Компетенция)			+		Контрольная работа/КМ-3. Контрольная работа №2
Уметь:						
получать, анализировать и представлять решения (в том числе численные) нелинейных задач механики	ОПК-2(Компетенция)				+	Контрольная работа/КМ-3. Контрольная работа №2 Решение задач/КМ-3 КР. Контроль выполнения раздела 3 КР Решение задач/КМ-4 КР. Контроль выполнения раздела 4 КР
применять классические методы оценки прочности физически-нелинейных моделей для простых расчетных схем	ПК-14(Компетенция)	+				Тестирование/КМ-1. Тест «Нелинейные модели и

					состояния в механике сплошной среды»
применять для расчета нормативные документы (своды правил), создавать компьютерные модели элементов конструкций в состоянии физически-нелинейного деформирования, проводить расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS	ПК-14(Компетенция)		+		Решение задач/КМ-1 КР. Контроль выполнения раздела 1 КР Контрольная работа/КМ-2. Контрольная работа №1
создавать компьютерные геометрически-нелинейные модели элементов конструкций, проводить расчет на прочность методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS	ПК-14(Компетенция)			+	Решение задач/КМ-2 КР. Контроль выполнения раздела 2 КР

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. КМ-1. Тест «Нелинейные модели и состояния в механике сплошной среды» (Тестирование)
2. КМ-2. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
3. КМ-3. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. КМ-1 КР. Контроль выполнения раздела 1 КР (Решение задач)
2. КМ-2 КР. Контроль выполнения раздела 2 КР (Решение задач)
3. КМ-3 КР. Контроль выполнения раздела 3 КР (Решение задач)
4. КМ-4 КР. Контроль выполнения раздела 4 КР (Решение задач)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

Курсовая работа (КР) (Семестр №2)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Петров В. В.- "Нелинейная инкрементальная строительная механика", (3-е изд., перераб. и доп.), Издательство: "Инфра-Инженерия", Вологда, 2020 - (484 с.)
<https://e.lanbook.com/book/148421>;
2. Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности : учебник для строительных специальностей вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов . – М. : Высшая школа, 1990 . – 400 с. - ISBN 5-06-000053-2 .;
3. Ильюшин, А. А. Механика сплошной среды : учебник для университетов по специальности "Механика" / А. А. Ильюшин . – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГУ, 1990 . – 310 с.;
4. А. А. Ильюшин- "Труды", Издательство: "Физматлит", Москва, 2007 - (286 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457782>;

5. Далматов Б. И.- "Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии)", (6-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (416 с.)

<https://e.lanbook.com/book/154379>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Ansys / CAE Fidesys;
2. University MD FEA Bundle.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Б-112, Лаборатория вычислительной механики	стол, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Б-112, Лаборатория вычислительной механики	стол, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Б-412, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
	Б-411, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Б-110/1, Кабинет сотрудников каф. "РМДиПМ"	кресло рабочее, стол, стул, шкаф, компьютер персональный
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Б-06а, Учебная лаборатория	стеллаж для хранения книг

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Нелинейные задачи механики сплошной среды

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 КМ-1. Тест «Нелинейные модели и состояния в механике сплошной среды»
(Тестирование)
КМ-2 КМ-2. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
КМ-3 КМ-3. Контрольная работа №2 (Контрольная работа)
КМ-4 КМ-1 КР. Контроль выполнения раздела 1 КР (Решение задач)
КМ-5 КМ-2 КР. Контроль выполнения раздела 2 КР (Решение задач)
КМ-6 КМ-3 КР. Контроль выполнения раздела 3 КР (Решение задач)
КМ-7 КМ-4 КР. Контроль выполнения раздела 4 КР (Решение задач)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	4	8	12	4	8	12	15
1	Введение								
1.1	Введение		+						
2	Модели и состояния сплошной среды								
2.1	Модели и состояния сплошной среды			+		+			
3	Геометрически нелинейные задачи								
3.1	Геометрически нелинейные задачи				+		+		
4	Постановка нелинейных задач механики сплошной среды								
4.1	Постановка нелинейных задач механики сплошной среды				+			+	+
Вес КМ, %:			20	40	40	0	0	0	0

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА
КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Нелинейные задачи механики сплошной среды

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:

КМ-1 КМ-1 КР. Контроль выполнения раздела 1 КР

КМ-2 КМ-2 КР. Контроль выполнения раздела 2 КР

КМ-3 КМ-3 КР. Контроль выполнения раздела 3 КР

КМ-4 КМ-4 КР. Контроль выполнения раздела 4 КР

Вид промежуточной аттестации – защита КР.

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	Раздел 1 (задача 1 п.1)		+			
2	Раздел 2 (задача 1 п.2,3)			+	+	
3	Раздел 3 (задача 2 п.1)				+	
4	Раздел 4 (задача 2 п.2, оформление отчета по курсовой работе)					+
Вес КМ, %:			25	25	25	25