

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**

Нелинейные задачи механики деформируемых твердых тел

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
01.04.03 - Механика и математическое моделирование

---

Направленность образовательной программы  
Информационное и программное обеспечение. Инженерия

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.14 Нелинейные задачи механики деформируемых твердых тел относится к обязательной части 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
УК-3: Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели	УК-3.1: Знать основные принципы управления командой проекта УК-3.2: Уметь вырабатывать командную стратегию при выполнении проекта УК-3.3: Владеть методами мотивации команды на достижение поставленной цели	УК-3.1: Знать основные принципы управления группой при подготовке задания.  УК-3.2: Уметь вырабатывать командную стратегию при подготовке задания в группе.  УК-3.3: Владеть методами мотивации членов группы при подготовке задания.	Собеседование	Зачёт: Отчет по лабораторным работам
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 ОПК-1.2: Умеет формулировать, анализировать и решать профессиональные задачи с применением фундаментальных знаний математики, физики и других естественных наук ОПК-1.3: Имеет практический опыт постановки и решения актуальных задач математики и механики	ОПК-1.1: Знает специализированные разделы механики деформируемого твердого тела и смежных дисциплин, необходимые при создании моделей реальных тел и конструкций.  ОПК-1.2: Умеет применять и модифицировать известные модели реальных тел и конструкций.  ОПК-1.3: Имеет опыт разработки и применения методов численного решения	Собеседование	Зачёт: Отчет по лабораторным работам

		нелинейных краевых задач МДТТ.		
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 ОПК-4.2: Умеет использовать знания, полученные в области компьютерных наук ОПК-4.3: Имеет практический опыт использования информационных технологий, а также создания программных средств для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-4.1: Знает основной набор современных методов и алгоритмов математического моделирования нелинейного деформирования твердых тел и конструкций.  ОПК-4.2: Умеет осознанно выбрать оптимальные методы при анализе исследовательских и практических задач нелинейного деформирования твердых тел.  ОПК-4.3: Имеет опыт использования методов и алгоритмов математического моделирования нелинейного деформирования твердых тел, в частности, средствами программного комплекса ANSYS.	Собеседование	Зачёт: Отчет по лабораторным работам

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 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/ лабора торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение. Классификация нелинейных задач МДТТ. Основные средства и инструменты решения нелинейных задач в ANSYS.	4		2	2	2
Геометрически нелинейные задачи МДТТ.	14		8	8	6
Физически нелинейные задачи МДТТ.	12		8	8	4
Контактные нелинейные задачи МДТТ.	14		8	8	6
Высокопроизводительные вычисления и особенности распараллеливания решения задач в системе ANSYS.	0		6	0	4
Решение комплексных нелинейных задач в ANSYS	12		6	6	6
Выполнение итоговой лабораторной работы	15			0	15
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	72	0	32	33	39

### Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Классификация нелинейных задач МДТТ. Основные средства и инструменты решения нелинейных задач в ANSYS.
2. Геометрически нелинейные задачи МДТТ.
3. Физически нелинейные задачи МДТТ.
4. Контактные нелинейные задачи МДТТ.
5. Высокопроизводительные вычисления и особенности распараллеливания решения задач в системе ANSYS.
6. Решение комплексных нелинейных задач в ANSYS
7. Выполнение итоговой лабораторной работы

### 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 соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде лабораторной (в специализированной аудитории - терминал-классе) и самостоятельной работы студентов.

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их

выполнения, форма контроля):

- самостоятельная теоретическая подготовка к занятиям лабораторного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях),
  - подготовка и отчет по выполненным в специализированной аудитории лабораторным работам.
- Формами контроля самостоятельной работы студентов, соответственно, являются:
- сдача теоретического допуска к лабораторной работе (может проходить как в письменной форме, так и в форме устного собеседования)
  - защита отчета о выполненной лабораторной работе – в виде собеседования.
  - самостоятельное выполнение итоговой лабораторной работы с индивидуальным заданием.

## **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 - Собеседование) для оценки сформированности компетенции УК-3:**

1. Выполнить моделирование деформирования балки при условии малых деформаций, но конечных перемещений. Материал балки принять упругим.
2. Выполнить моделирование потери устойчивости и закритического поведения сжатого консольного стержня (задача Эйлера). Материал балки принять упругим.
3. Выполнить моделирование растяжение пластины из гиперупругого материала
4. Выполнить моделирование изгиба балки из упругопластического материала.
5. Выполнить моделирование образования пластического шарнира при изгибе балки
6. Выполнить моделирование задачи Герца о контактом деформировании двух одинаковых шаров

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-1:**

1. Выполнить моделирование деформирования балки при условии малых деформаций, но конечных перемещений. Материал балки принять упругим.
2. Выполнить моделирование потери устойчивости и закритического поведения сжатого консольного стержня (задача Эйлера). Материал балки принять упругим.
3. Выполнить моделирование растяжение пластины из гиперупругого материала.
4. Выполнить моделирование изгиба балки из упругопластического материала.
5. Выполнить моделирование образования пластического шарнира при изгибе балки.
6. Выполнить моделирование задачи Герца о контактом деформировании двух одинаковых шаров.

#### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ОПК-4:**

1. Продемонстрировать способы графического представления решения нелинейных задач в ANSYS
2. Продемонстрировать способы добавления и изменения критериев сходимости при решении нелинейных задач в ANSYS
3. Продемонстрировать способы «борьбы» с расходимостью решения нелинейных задач в ANSYS

4. Продемонстрировать применение алгоритма «arc length – длины дуги» при решении нелинейных задач в ANSYS

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

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 не существенные 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 не существенных 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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнен	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

				недочетами		ы все задания в полном объеме	
<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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	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»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	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 - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции УК-3

1. Записать соотношения деформации – перемещения для случая малых деформаций, но конечных перемещений.
2. Установить, какие варианты соотношений деформации – перемещения подходят для моделирования задачи потери устойчивости упругих систем.
3. Какие варианты соотношений деформации – напряжения подходят для моделирования задачи закритического поведения деформируемых систем.

4. Гиперупругие материалы. Примеры соотношений. Задание свойств.
5. Модели пластического деформирования.
6. Изотропное и кинематическое упрочнение.
7. Пластического шарнира при изгибе балки. Условие образования.
8. В чем заключается нелинейность контактных задач.

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

1. Записать соотношения деформации – перемещения для случая малых деформаций, но конечных перемещений.
2. Установить, какие варианты соотношений деформации – перемещения подходят для моделирования задачи потери устойчивости упругих систем.
3. Какие варианты соотношений деформации – напряжения подходят для моделирования задачи закритического поведения деформируемых систем.
4. Гиперупругие материалы. Примеры соотношений. Задание свойств.
5. Модели пластического деформирования.
6. Изотропное и кинематическое упрочнение.
7. Пластического шарнира при изгибе балки. Условие образования.
8. В чем заключается нелинейность контактных задач.

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ОПК-4

1. Особенности контактного алгоритма в ANSYS.
2. Метод Ньютона-Рафсона в ANSYS.
3. Метод длины дуги «arc length». В каких задачах применим.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	По итогам успешной сдачи итоговой лабораторной работы при условии успешной сдачи всех запланированных на семестр работ.
не зачтено	Отсутствует итоговая лабораторная работа или какие-то из запланированных за семестр работ.

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

Основная литература:

1. Леонтьев Николай Васильевич. Нелинейные задачи механики деформируемого твердого тела : практикум / Н. В. Леонтьев ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2015. - 71 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=850171&idb=0>.
2. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред / пер. с англ. А. М. Васильева ; под ред. Э. И. Григолюка. - М. : Мир, 1976. - 464 с. - 2.14., 2 экз.
3. Васидзу Кюнтиро. Вариационные методы в теории упругости и пластичности / пер. с англ. В. В. Кобелева, А. П. Сейраняна ; под ред. Н. В. Баничука. - М. : Мир, 1987. - 542 с. : ил. - 50.00., 4 экз.



4. Жидков А. В. Моделирование поведения гиперупругих материалов : учебно-методическое пособие / Жидков А. В., Леонтьев Н. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2019. - 55 с. - Рекомендовано методической комиссией института информационных технологий, математики и механики для студентов ННГУ, обучающихся по специальности 01.05.01 «Фундаментальные математика и механика», направлениям подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика», 01.04.03 «Механика и математическое моделирование». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Математика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=709395&idb=0>.
5. Жидков Александр Васильевич. Моделирование поведения гиперупругих материалов : учебно-методическое пособие. Ч. 2. Применение ANSYS / А. В. Жидков, Н. В. Леонтьев ; ННГУ им. Н. И. Лобачевского. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2020. - 32 с. - Текст : электронный., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=794619&idb=0>.
6. Жидков А. В. Моделирование композитов в среде ansys с помощью пространственного слоистого конечного элемента : учебно-методическое пособие / Жидков А. В., Леонтьев Н. В. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. - 35 с. - Рекомендовано научно-методическим советом исследовательской школы «Компьютерная и экспериментальная механика» для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 01.05.01 «Фундаментальные математика и механика», 01.03.03 «Механика и математическое моделирование». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=783255&idb=0>.

#### Дополнительная литература:

1. Александров Виктор Михайлович. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками / под ред. Н. Х. Арутюняна. - М. : Наука, 1983. - 487 с. : ил. - 5.40., 3 экз.
2. Лурье Анатолий Исакович. Нелинейная теория упругости. - М. : Наука, 1980. - 512 с. - 5.20., 2 экз.
3. Биргер Исаак Аронович. Сопротивление материалов : [учеб. пособие для машиностроит. и авиац. вузов]. - М. : Наука, 1986. - 560 с. : ил. - 1.50., 2 экз.

#### Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm>
2. <http://www.cadfem-cis.ru/>
3. <https://www.facebook.com/cadfemcis>
4. <http://www.youtube.com/user/CADFEM>
5. <http://www.cae-club.ru/forum>
6. Научно-образовательный центр при МИАН – <http://www.mi.ras.ru/>
7. Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ –
8. <http://lib.mexmat.ru/>
9. электронная библиотека - <http://www.hi-edu.ru>
10. электронные поисковые системы Yandex, Google и т.д.
- 11.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

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 01.04.03 - Механика и математическое моделирование.

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.