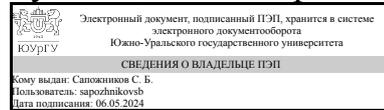


УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель направления



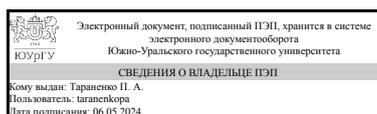
С. Б. Сапожников

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины ФД.02 Теоретические основы метода конечных элементов и его инженерные приложения  
для направления 15.04.03 Прикладная механика  
уровень Магистратура  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Техническая механика

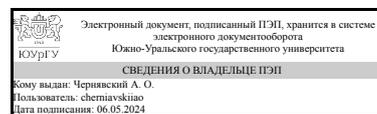
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 731

Зав.кафедрой разработчика,  
к.техн.н., доц.



П. А. Тараненко

Разработчик программы,  
д.техн.н., проф., профессор



А. О. Чернявский

## 1. Цели и задачи дисциплины

изучение теоретических основ компьютерных методов расчета напряжений и деформаций в конструкциях: - вариационные формулировки задач механики деформируемого твердого тела; - нелинейные задачи и методы их решения; - задачи динамики и методы численного интегрирования уравнений движения; - большие перемещения, формулировки Лагранжа и Эйлера, бессеточные методы.

## Краткое содержание дисциплины

В курсе излагаются теоретические основы методов, реализованных в современных программных комплексах расчета на прочность.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-3 Способен организовывать работу по совершенствованию, модернизации и унификации выпускаемых изделий и их элементов	Знает: базовые понятия метода конечных элементов Умеет: применять МКЭ для модернизации и унификации выпускаемых изделий и их элементов Имеет практический опыт: инженерными подходами КЭ анализа изделий и их элементов
ОПК-5 Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов	Знает: основные численные методы, применяемые в расчётах МКЭ элементов конструкций машин, приводов, оборудования, механических систем Умеет: выполнять численное моделирование моделей деталей машин, приводов, оборудования, механических систем Имеет практический опыт: численного моделирования при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, механических систем

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.О.10 Теории пластичности и ползучести, 1.О.06 Механика композитных материалов	1.О.12 Управление жизненным циклом изделия, ФД.01 Автоматизированное проектирование композитных конструкций, 1.О.08 Проектирование умных конструкций

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
1.О.06 Механика композитных материалов	Знает: особенности структуры и свойств

	<p>композитных материалов по сравнению с традиционными конструкционными материалами; современные методы математического моделирования в области использования композитных материалов и конструкций на микро-, мезо- и макроуровне рассмотрения неоднородностей структуры и свойств, современные коммуникативные технологии; основные принципы подготовки доклада и презентации, вычислительные методы и компьютерные технологии для решения научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, общие принципы и методы математического компьютерного моделирования в области композитных материалов и конструкций; современные технологии производства композитных материалов и конструкций; методы испытаний композитов</p> <p>Умеет: применять методы математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях композитных материалов и конструкций; оценивать эффективность и результативность выбранных методов, применять современные коммуникативные технологии, понимать технические тексты на иностранном языке, уметь выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат, применять физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии в профессиональной деятельности для описания свойств композитных материалов и конструкций</p> <p>Имеет практический опыт: использования методов математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях композитных материалов и конструкций, подготовки доклада на заданную тему и презентации; восприятия видео по тематике курса на иностранном языке; чтения технических текстов на иностранном языке, применения физико-математического аппарата, методов математического и компьютерного моделирования для разработки компьютерной модели композитного материала</p>
1.О.10 Теории пластичности и ползучести	<p>Знает: основные положения и принципы теории пластичности и ползучести; виды и этапы разработки математической модели материала; векторную форму записи тензоров напряжений и деформаций; основные деформационные свойства материалов, основные понятия и положения реологии, методы математического и компьютерного построения реологических</p>

	<p>моделей материала и конструкции, классические теории (модели) пластичности и ползучести, а также особенности их реализации в математических пакетах прикладных программ</p> <p>Умеет: выбирать для решения конкретных инженерных задач реологические модели, привлекая для этого методы математического и компьютерного моделирования, идентифицировать параметры этих моделей, применять теории (модели) пластичности и теории ползучести в практических задачах; составлять матричную модель МКЭ неупругой конструкции; понимать и объяснять феноменологические модели неупругой среды на основе принятых допущений</p> <p>Имеет практический опыт: применения физико-математического аппарата, теоретических, расчетных и экспериментальных методов исследований, методов математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности; составления физико-механических математических компьютерных моделей неупругой конструкции, составления матричной модели МКЭ неупругой конструкции</p>
--	---

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 36,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		2	
Общая трудоёмкость дисциплины	72	72	
<i>Аудиторные занятия:</i>	32	32	
Лекции (Л)	16	16	
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16	
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	35,75	35,75	
Самостоятельное решение задач	27,75	27,75	
Подготовка к зачету	8	8	
Консультации и промежуточная аттестация	4,25	4,25	
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-		зачет

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР

1	Вариационные методы в задачах МДТТ	2	2	0	0
2	Нелинейные задачи	8	4	4	0
3	Интегрирование уравнений движения	8	4	4	0
4	Сетки Эйлера	8	4	4	0
5	Бессеточные методы	6	2	4	0

### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Вариационные методы в задачах МДТТ как основа метода конечных элементов	2
2	2	Группы уравнений, описывающих деформируемое твердое тело. Физически нелинейные задачи. Геометрически нелинейные задачи. Методы решения нелинейных уравнений. Программная реализация методов в пакете ANSYS.	4
3	3	Методы явного и неявного интегрирования уравнений динамики и их численная реализация	4
4	4	Сеточная схематизация Лагранжа и Эйлера. Решение задач механики деформируемого тела на сетке Эйлера. Смешанная формулировка (Arbitrary Lagrange-Eulerian formukation)	4
5	5	Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH), Discrete Element Method (DEM), Element Free Galerkin (EFG)	2

### 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	2	Нелинейные уравнения равновесия. Методы решения нелинейных систем уравнений	2
2	2	Нелинейные уравнения физического закона. Методы решения систем уравнений и нестрогих неравенств. Нелинейные уравнения совместности деформаций (случай больших деформаций). Особенности решения и возможные погрешности	2
3	3	Явное и неявное интегрирование. Общая характеристика методов. Конечно-элементные и конечно-разностные схемы. Примеры решения задач динамики деформируемого твердого тела.	2
4	3	Контрольная работа №1	2
5	4	Моделирование движения на сетке Эйлера. Адвекция	2
6	4	Взаимодействие частей конструкции, описанных в сетках Эйлера и Лагранжа	2
7	5	Контрольная работа №2	2
8	5	Методы SPH, DEM, EFG	2

### 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

### 5.4. Самостоятельная работа студента

Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Самостоятельное решение задач	Чернявский А.О. Нелинейные и связанные задачи в методе конечных элементов	2	27,75
Подготовка к зачету	Зенкевич, И. Чанг Метод конечных элементов в теории сооружений и в механике сплошных сред Каплун А.Б., Морозов Е.М., Шамраева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство LS-DYNA. Theory manual	2	8

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	2	Текущий контроль	Решение задач с использованием КЭ Лагранжа	1	3	3 - верное решение с доказательством корректности, 2 - отсутствуют доказательства корректности, 1 - потребовалась помощь преподавателя, 0 - отсутствие решения или принципиально неверное решение	зачет
2	2	Текущий контроль	Решение задач с использованием КЭ Эйлера	1	3	3 - верное решение с доказательством корректности, 2 - отсутствуют доказательства корректности, 1 - потребовалась помощь преподавателя, 0 - отсутствие решения или принципиально неверное решение	зачет
3	2	Текущий контроль	Решение задач с использованием бессеточных методов	1	3	3 - верное решение с доказательством корректности, 2 - отсутствуют доказательства корректности, 1 - потребовалась помощь преподавателя, 0 - отсутствие решения или принципиально неверное решение	зачет
4	2	Промежуточная аттестация	зачет	-	3	3 - верное решение с доказательством корректности, 2 - отсутствуют доказательства корректности, 1 - потребовалась помощь преподавателя, 0 - отсутствие решения или принципиально неверное решение	зачет

### 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	В соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе в ЮУрГУ, введенной приказом ректора от 24.05.2019 №179 с изменениями, введенными приказом от 10.03.2022 №25-13/09	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ			
		1	2	3	4
ОПК-3	Знает: базовые понятия метода конечных элементов	+			+
ОПК-3	Умеет: применять МКЭ для модернизации и унификации выпускаемых изделий и их элементов	+			+
ОПК-3	Имеет практический опыт: инженерными подходами КЭ анализа изделий и их элементов	+			+
ОПК-5	Знает: основные численные методы, применяемые в расчётах МКЭ элементов конструкций машин, приводов, оборудования, механических систем			+	+
ОПК-5	Умеет: выполнять численное моделирование моделей деталей машин, приводов, оборудования, механических систем			+	+
ОПК-5	Имеет практический опыт: численного моделирования при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, механических систем			+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация О. Зенкевич, К. Морган; Пер. с англ. Б. И. Квасова; Под ред. Н. С. Бахвалова. - М.: Мир, 1986. - 318 с. ил.

#### б) дополнительная литература:

1. Морозов, Е. М. Метод конечных элементов в механике разрушения. - М.: Наука, 1980. - 254 с. ил.

#### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

Не предусмотрены

#### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Чернявский А.О. Метод конечных элементов. Основы практического применения

#### из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Чернявский А.О. Метод конечных элементов. Основы практического применения

## Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Методические пособия для самостоятельной работы студента	Электронный каталог ЮУрГУ	Чернявский А.О. Нелинейные и связанные задачи в методе конечных элементов - Челябинск : Издательский Центр ЮУрГУ, 2021, 67 с. <a href="http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&amp;key=000570115">http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&amp;key=000570115</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Не предусмотрено