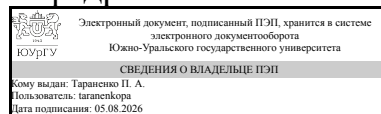


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



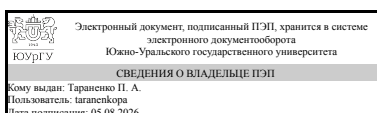
П. А. Тараненко

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.М0.03 Компьютерное моделирование в механике  
для направления 15.04.03 Прикладная механика  
уровень Магистратура  
магистерская программа Компьютерное моделирование высокотехнологичных конструкций  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Техническая механика

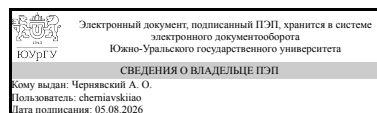
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 731

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

Цель - углубленное изучение теоретических основ и технологий численного моделирования поведения механических систем. Задачи: - изучение технологий сведения задач механики деформируемого твердого тела к дискретным компьютерным моделям; анализ возможных ошибок и погрешностей; - изучение технологий сведения задач механики жидкости к дискретным компьютерным моделям; - изучение технологий решения задач с взаимодействием физических полей разной природы.

## Краткое содержание дисциплины

Курс предполагает изучение методов создания и программной реализации математических моделей механических систем. Для понимания деталей работы методов, ограничений и возможных ошибок часть примеров выполняется с помощью общеинженерного программного обеспечения. Рассматривается также реализация соответствующих методов в современных специализированных программных комплексах.

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

| Планируемые результаты освоения<br>ОП ВО (компетенции)                                                                                                                                                                                                                                     | Планируемые результаты<br>обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-6 Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки                                                                                                                                                           | Знает: роль компьютерного моделирования в общей системе расчетно-экспериментального изучения прочности конструкций; способы построения профессиональной траектории с учетом накопленного опыта и динамично изменяющихся требований рынка труда<br>Умеет: искать информацию о развивающихся возможностях систем математического (численного) моделирования поведения конструкций, осваивать и применять их на практике<br>Имеет практический опыт: сравнения различных возможных подходов к решению задач прочности конкретных конструкций |
| ПК-1 Способность выявлять сущность научно-технических проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат, вычислительные методы и компьютерные технологии, а также экспериментальные методы исследований | Знает: основной набор расчетно-теоретических и экспериментальных методов исследования задач прочности конструкций<br>Умеет: выбирать методы и средства компьютерного моделирования с учетом основных особенностей рассматриваемой задачи<br>Имеет практический опыт: применения вычислительных технологий в задачах описания повторно-переменного неизотермического неупругого деформирования и разрушения конструкций                                                                                                                    |
| ПК-3 Способен для решения профессиональных задач осваивать и применять современные теории, физико-математические и вычислительные методы, а также новые системы                                                                                                                            | Знает: возможности современных систем компьютерного инжиниринга (CAE)<br>Умеет: применять CAE-системы для решения профессиональных задач                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |

|                                                                            |                                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга (CAD/CAE-системы) | Имеет практический опыт: расчетов напряженно-деформированного состояния и разрушения конструкций с помощью современных пакетов программ |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

| Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана        | Перечень последующих дисциплин, видов работ                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мониторинг состояния конструкций,<br>Механика композитных материалов | Численное моделирование разрушения,<br>Компьютерное моделирование в Ansys Workbench,<br>Производственная практика (преддипломная) (4 семестр) |

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

| Дисциплина                      | Требования                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Механика композитных материалов | <p>Знает: 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, особенности структуры и свойств 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</p> <p>Умеет: 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, применять методы математического и компьютерного моделирования в теоретических и расчетно-экспериментальных исследованиях композитных материалов и конструкций; оценивать эффективность и результативность выбранных методов, применять современные</p> |

|                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                  | <p>коммуникативные технологии, понимать технические тексты на иностранном языке Имеет практический опыт: применения физико-математического аппарата, методов математического и компьютерного моделирования для разработки компьютерной модели композитного материала, 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</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| Мониторинг состояния конструкций | <p>Знает: методы и средства технического диагностирования как средства повышения экономичности и надежности конструкции в процессе проектирования и эксплуатации, современные автоматизированные системы технической диагностики объектов, методы технической диагностики, особенности оценки технического состояния диагностируемых систем, алгоритмы и техническое обеспечение систем диагностики Умеет: пользоваться методикой оценки остаточного ресурса оборудования и поиска неисправностей на основе данных мониторинга; формулировать задачу и способ ее решения, пользоваться методами и средствами технической диагностики для проведения научно-исследовательских, расчетных и экспериментальных работ по динамике, прочности и надежности машин и приборов., оценивать эффективность автоматизированных системам технической диагностики в общей структуре АСУ ТП Имеет практический опыт: по выбору метода и средств мониторинга состояния объекта; выбор диагностических параметров и критериев работоспособности, использования новых современных методов и средств проведения диагностики объектов в области прикладной механики и обобщать результаты мониторинга, использования современных средств измерений, программных продуктов, предназначенных для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга</p> |

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч., 78,75 ч. контактной работы

| Вид учебной работы                                                         | Всего часов | Распределение по семестрам в часах |         |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------------------|---------|
|                                                                            |             | Номер семестра                     |         |
|                                                                            |             | 2                                  | 3       |
| Общая трудоёмкость дисциплины                                              | 216         | 108                                | 108     |
| <i>Аудиторные занятия:</i>                                                 | 64          | 32                                 | 32      |
| Лекции (Л)                                                                 | 32          | 16                                 | 16      |
| Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ) | 32          | 16                                 | 16      |
| Лабораторные работы (ЛР)                                                   | 0           | 0                                  | 0       |
| <i>Самостоятельная работа (СРС)</i>                                        | 137,25      | 69,75                              | 67,5    |
| Подготовка к экзамену                                                      | 21,5        | 0                                  | 21,5    |
| Решение задач, разобранных на практических занятиях                        | 102         | 56                                 | 46      |
| Подготовка к зачету                                                        | 13,75       | 13,75                              | 0       |
| Консультации и промежуточная аттестация                                    | 14,75       | 6,25                               | 8,5     |
| Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)                                   | -           | зачет                              | экзамен |

## 5. Содержание дисциплины

| № раздела | Наименование разделов дисциплины                        | Объем аудиторных занятий по видам в часах |   |    |    |
|-----------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---|----|----|
|           |                                                         | Всего                                     | Л | ПЗ | ЛР |
| 1         | Технологии численного моделирования механических систем | 16                                        | 8 | 8  | 0  |
| 2         | Моделирование нескольких стадий жизненного цикла        | 16                                        | 8 | 8  | 0  |
| 3         | Связанные задачи                                        | 10                                        | 6 | 4  | 0  |
| 4         | Моделирование разрушения                                | 12                                        | 4 | 8  | 0  |
| 5         | Учет несовершенств и робастное проектирование           | 10                                        | 6 | 4  | 0  |

### 5.1. Лекции

| № лекции | № раздела | Наименование или краткое содержание лекционного занятия                                                                                                     | Кол-во часов |
|----------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1        | 1         | Метод Рунге и метод Бундмана-Галеркина.                                                                                                                     | 2            |
| 2        | 1         | Методы явного и неявного интегрирования уравнений движения.                                                                                                 | 2            |
| 3        | 1         | Подход Лагранжа и подход Эйлера.                                                                                                                            | 2            |
| 4        | 1         | Методы частиц (SPH, DES). Бессеточные методы (EFG)                                                                                                          | 2            |
| 5        | 2         | Влияние технологической истории на свойства (деформационное и циклическое упрочнение, остаточные напряжения)                                                | 2            |
| 6-7      | 2         | Моделирование штамповки. Модели материалов. Технологии численного моделирования. Оценка достижимости результатов (FLD). Возможность учета фазовых переходов | 4            |
| 8        | 2         | Остаточные напряжения и пружинение. Обрезка. Передача информации об остаточных напряжениях и деформациях в расчеты на стадии эксплуатации                   | 2            |
| 9        | 3         | Задачи мультифизики и связанные задачи                                                                                                                      | 2            |
| 10       | 3         | Решение мультифизических задач с помощью набора элементов разных типов                                                                                      | 2            |
| 11       | 3         | Решение связанных задач с помощью элементов с достаточным набором свойств                                                                                   | 2            |

|       |   |                                                                                                                                           |   |
|-------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 12-13 | 4 | Моделирование вязкого разрушения. Моделирование хрупкого разрушения: квазистатическое и динамическое развитие трещин, усталостные трещины | 4 |
| 14    | 5 | Допуски и разбросы. Размеры, свойства материала, нагрузки                                                                                 | 2 |
| 15-16 | 5 | Подходы "Reliability Based Design Optimization" и «Robust Parameter Design»                                                               | 4 |

## 5.2. Практические занятия, семинары

| № занятия | № раздела | Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара                                              | Кол-во часов |
|-----------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1_1       | 1         | Решение задач о балках и пластинах с помощью методов Ритца и Бубнова-Галеркина. Оценка погрешности.              | 2            |
| 1_3       | 1         | Использование подхода Эйлера для моделирования течения жидкости. Связывание решений на сетках Эйлера и Лагранжа  | 2            |
| 1_2       | 1         | Моделирование распространения волны в стержне с помощью уравнений динамики в явной и неявной форме               | 2            |
| 1_4       | 1         | Применение методов SPH (smoothed particle hydrodynamics) и EFG (element-free Galerkin)                           | 2            |
| 2_2       | 2         | Листовая штамповка. Оценка результатов (FLD, остаточные напряжения и деформации, пружинение, обрезка)            | 2            |
| 2_4       | 2         | Передача информации об остаточных напряжениях и деформациях в расчеты на стадии эксплуатации                     | 2            |
| 2_3       | 2         | Моделирование объемной штамповки (модели материалов, контактные взаимодействия, динамическое перестроение сетки) | 2            |
| 2_1       | 2         | Моделирование листовой штамповки (модели материалов, контактные взаимодействия, динамическое перестроение сетки) | 2            |
| 3_2       | 3         | Связанные задачи: деформирование и тепловое состояние. Диффузия, дилатация и напряженное состояние               | 2            |
| 3_1       | 3         | Мультифизика: задача о нестационарных тепловых напряжениях                                                       | 2            |
| 4_2       | 4         | Моделирование разрушения удалением элементов (ANSYS, программируемые критерии разрушения)                        | 2            |
| 4_1       | 4         | Моделирование разрушения удалением элементов (LS-DYNA, предустановленные критерии разрушения)                    | 2            |
| 4_3       | 4         | Описание разрушения с использованием SPH и преобразования Ларанжевых элементов в SPH                             | 2            |
| 4_4       | 4         | Механика разрушения и XFEM                                                                                       | 2            |
| 5_2       | 5         | Подходы "Reliability Based Design Optimization" и "Robust Parameter Design"                                      | 2            |
| 5_1       | 5         | Стохастические постановки задач и метод Монте-Карло                                                              | 2            |

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

| Выполнение СРС                |                                                                            |         |              |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------|--------------|
| Подвид СРС                    | Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс | Семестр | Кол-во часов |
| Подготовка к экзамену         | LS-DYNA user manual, vol.1, vol.2, vol.3<br>ANSYS user manual              | 3       | 21,5         |
| Решение задач, разобранных на | LS-DYNA user manual, vol.1, vol.2, vol.3                                   | 2       | 56           |

|                                                     |                                                               |   |       |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---|-------|
| практических занятиях                               | ANSYS user manual                                             |   |       |
| Решение задач, разобранных на практических занятиях | LS-DYNA user manual, vol.1, vol.2, vol.3<br>ANSYS user manual | 3 | 46    |
| Подготовка к зачету                                 | LS-DYNA user manual, vol.1, vol.2, vol.3<br>ANSYS user manual | 2 | 13,75 |

## 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 по теме 1           | 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 по теме 2           | 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        | 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            |
| 4    | 3        | Текущий контроль         | Решение задач по теме 3           | 1   | 3          | 3 - верное решение с доказательством корректности, 2 - отсутствуют доказательства корректности, 1 - потребовалась помощь преподавателя, 0 - отсутствие решения или принципиально неверное решение | экзамен          |
| 5    | 3        | Текущий контроль         | Решение задач по теме 4           | 1   | 3          | 3 - верное решение с доказательством корректности, 2 - отсутствуют доказательства корректности, 1 - потребовалась помощь преподавателя, 0 - отсутствие решения или принципиально неверное решение | экзамен          |
| 6    | 3        | Текущий контроль         | Решение задач по теме 5           | 1   | 3          | 3 - верное решение с доказательством корректности, 2 - отсутствуют доказательства корректности, 1 - потребовалась помощь преподавателя, 0 - отсутствие решения или принципиально                  | экзамен          |

|   |   |                          |         |   |   |                                                                                                                                                                                                                      |         |
|---|---|--------------------------|---------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|   |   |                          |         |   |   | неверное решение                                                                                                                                                                                                     |         |
| 7 | 3 | Промежуточная аттестация | экзамен | - | 3 | Решение задачи.<br>3 - верное решение с доказательством корректности, 2 - отсутствуют доказательства корректности, 1 - потребовалась помощь преподавателя, 0 - отсутствие решения или принципиально неверное решение | экзамен |

## 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 |
| экзамен                      | 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 | 5 | 6 | 7 |
| УК-6        | Знает: роль компьютерного моделирования в общей системе расчетно-экспериментального изучения прочности конструкций; способы построения профессиональной траектории с учетом накопленного опыта и динамично изменяющихся требований рынка труда | +    |   | + |   |   |   | + |
| УК-6        | Умеет: искать информацию о развивающихся возможностях систем математического (численного) моделирования поведения конструкций, осваивать и применять их на практике                                                                            | +    |   | + |   |   |   | + |
| УК-6        | Имеет практический опыт: сравнения различных возможных подходов к решению задач прочности конкретных конструкций                                                                                                                               | +    |   | + |   |   |   | + |
| ПК-1        | Знает: основной набор расчетно-теоретических и экспериментальных методов исследования задач прочности конструкций                                                                                                                              |      | + | + |   |   |   | + |
| ПК-1        | Умеет: выбирать методы и средства компьютерного моделирования с учетом основных особенностей рассматриваемой задачи                                                                                                                            |      | + | + |   |   |   | + |
| ПК-1        | Имеет практический опыт: применения вычислительных технологий в задачах описания повторно-переменного неизотермического неупругого деформирования и разрушения конструкций                                                                     |      | + | + |   |   |   | + |
| ПК-3        | Знает: возможности современных систем компьютерного инжиниринга (CAE)                                                                                                                                                                          |      |   |   | + | + | + |   |
| ПК-3        | Умеет: применять CAE-системы для решения профессиональных задач                                                                                                                                                                                |      |   |   | + | + | + |   |
| ПК-3        | Имеет практический опыт: расчетов напряженно-деформированного состояния и разрушения конструкций с помощью современных пакетов программ                                                                                                        |      |   |   | + | + | + |   |

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

## **Печатная учебно-методическая документация**

### *а) основная литература:*

1. Каплун А. Б. Ansys в руках инженера : практ. рук. / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева ; предисл. А. С. Шадского. - Изд. стер.. - М. : URSS : ЛИБРОКОМ, 2014. - 269 с. : ил.

### *б) дополнительная литература:*

Не предусмотрена

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

Не предусмотрены

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

1. Чернявский А.О. Нелинейные и связанные задачи в методе конечных элементов. Учебное пособие - Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ. – 2021. – 62 с.

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

1. Чернявский А.О. Нелинейные и связанные задачи в методе конечных элементов. Учебное пособие - Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ. – 2021. – 62 с.

## **Электронная учебно-методическая документация**

Нет

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Не предусмотрено