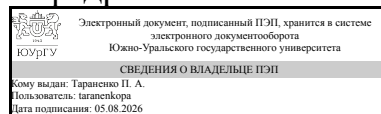


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



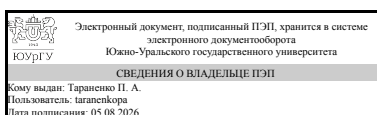
П. А. Тараненко

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины 1.Ф.М0.07 Пределные неупругие состояния конструкций  
для направления 15.04.03 Прикладная механика  
уровень Магистратура  
магистерская программа Компьютерное моделирование высокотехнологичных  
конструкций  
форма обучения очная  
кафедра-разработчик Техническая механика**

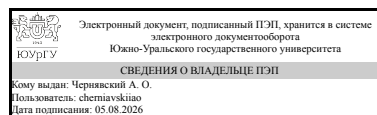
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 731

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 - обучение расчетам конструкций, работающих за пределами упругости.

Задачи: - изучение свойств материала и способов их схематизации; - изучение роли предельного анализа в оценке прочности конструкций и методов определения предельных нагрузок; - изучение особенностей поведения конструкций при циклическом неупругом деформировании и методов расчета; - использование методов предельного анализа в оценке прочности и долговечности конструкций.

## Краткое содержание дисциплины

- Диаграммы деформирования пластичных материалов и их описание. Условная и истинная диаграмма. Схематизация диаграммы и границы применимости модели идеально упруго-пластического материала. - Предельное равновесие стержневых конструкций (фермы, балки, рамы). Определение предельной нагрузки. - Предельное равновесие оболочечных конструкций. - Типы деформирования при циклическом нагружении. Свойства материалов при деформировании разных типов. Определение типа (аналитические и численные подходы), оценка прочности и долговечности.

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

| Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Планируемые результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-3 Способен для решения профессиональных задач осваивать и применять современные теории, физико-математические и вычислительные методы, а также новые системы компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга (CAD/CAE-системы)                                                                                                                                                                              | Знает: особенности поведения высоконагруженных конструкций при циклическом неупругом нагружении; экспериментальные данные о поведении материалов в соответствующих условиях; способы описания этих экспериментальных данных<br>Умеет: оценивать возможные типы деформирования конструкций и выбирать соответствующие экспериментальные данные о поведении материалов<br>Имеет практический опыт: определения запасов прочности конструкций при повторно-переменном неупругом деформировании (по различным предельным состояниям) |
| ПК-4 Способен выполнять научные исследования в области прикладной механики для различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня) | Знает: типовые и индивидуальные предельные состояния элементов конструкций в различных отраслях промышленности<br>Умеет: строить расчетные модели, учитывающие особенности поведения конструкций при циклическом нагружении за пределами упругости<br>Имеет практический опыт: применения аналитических и/или численных (компьютерных) методов решения рассматриваемых задач                                                                                                                                                     |

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

| Перечень предшествующих дисциплин,<br>видов работ учебного плана                              | Перечень последующих дисциплин,<br>видов работ                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Теория надежности,<br>Надежность технических систем,<br>Цифровые двойники динамических систем | Численное моделирование разрушения,<br>Компьютерное моделирование в Ansys Workbench,<br>Оптимальное проектирование,<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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Цифровые двойники динамических систем | Знает: основные расчетные и экспериментальные методы исследования динамических свойств изделий, критерии подтверждения (проверки) адекватности создаваемой модальной математической модели Умеет: определять динамические свойства изделий при виброиспытаниях и экспериментальном модальном анализе, создавать математическую модель динамической системы, верифицированную результатами модальных испытаний Имеет практический опыт: современной аппаратурой и программным обеспечением для проведения и обработки результатов модальных и вибропрочностных испытаний, методами корректировки (уточнения) расчетной модальной математической модели по экспериментальным данным |
| Теория надежности                     | Знает: основы теории надежности, методы испытаний в области оценки надежности конструкции Умеет: применять теорию надежности при решении профессиональных задач, определять опытным путем характеристики надежности конструкции Имеет практический опыт: расчетов вероятности разрушения конструкции, получения из эксперимента характеристик надежности                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Надежность технических систем         | Знает: классификацию и основные виды испытаний на надежность; методы ускоренных испытаний, основные понятия и определения теории надежности; методы моделирования состояния сложных технических систем на основе марковских процессов Умеет: определять характеристики надежности по результатам испытаний партии изделий, составлять графы, описывающие состояние технической системы Имеет практический опыт: получения усталостных характеристик материалов по результатам ускоренных испытаний, расчетов вероятностей нахождения системы в различных состояниях и получения оценок характеристик                                                                              |

|  |                    |
|--|--------------------|
|  | надежности системы |
|--|--------------------|

#### 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                              |
| Решение задач на применение МКЭ при однократном и повторном нагружении за пределами упругости | 16          | 16                                 |
| Решение задач по определению предельной нагрузки                                              | 10          | 10                                 |
| Подготовка к зачету                                                                           | 9,75        | 9.75                               |
| 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         | Схематизация свойств материалов за пределами упругости | 2                                         | 2 | 0  | 0  |
| 2         | Предельное равновесие                                  | 14                                        | 6 | 8  | 0  |
| 3         | Неупругое деформирование при циклическом нагружении    | 16                                        | 8 | 8  | 0  |

##### 5.1. Лекции

| № лекции | № раздела | Наименование или краткое содержание лекционного занятия                                                                                                                                                                                                                                                    | Кол-во часов |
|----------|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1        | 1         | Условная и истинная диаграмма деформирования. Схематизация диаграммы - идеально упруго-пластический материал, материал с деформационным упрочнением. Кинематическое и изотропное упрочнение при циклическом нагружении. Свойства, влияющие на построение схематизации (ползучесть, циклическое упрочнение) | 2            |
| 2-3      | 2         | Стержневые системы. Расчет кинетики деформирования за пределами упругости. Предельная нагрузка. Статическая и кинематическая теорема теории предельного равновесия.                                                                                                                                        | 4            |
| 4        | 2         | Пластинки и оболочки. Определение предельной нагрузки с помощью                                                                                                                                                                                                                                            | 2            |

|   |   |                                                                                                               |   |
|---|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
|   |   | статической и кинематической теорем. Применение МКЭ.                                                          |   |
| 5 | 3 | Типы деформирования. Свойства материалов, отвечающие разным типам.                                            | 2 |
| 6 | 3 | Упругое деформирование, приспособляемость и знакопеременное течение. Простейшие примеры. Формулировки теорем. | 2 |
| 7 | 3 | Прогрессирующее формоизменение. Формулировки теорем. Комбинированное деформирование.                          | 2 |
| 8 | 3 | Применение МКЭ. Особенности реальных конструкций (геометрическая нелинейность, упрочняющиеся материалы).      | 2 |

## 5.2. Практические занятия, семинары

| № занятия | № раздела | Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара                                          | Кол-во часов |
|-----------|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1         | 2         | Предельное равновесие. Фермы. Сравнение с решением в пределах упругости (метод сил).                         | 2            |
| 2         | 2         | Предельное равновесие. Балки и рамы.                                                                         | 2            |
| 3         | 2         | Предельное равновесие. Пластинки и оболочки (аналитические решения).                                         | 2            |
| 4         | 2         | Предельное равновесие. Пластинки и оболочки. МКЭ.                                                            | 2            |
| 5         | 3         | Знакопеременное течение и прогрессирующее накопление деформаций. Демонстрация на стержневой системе (ферма). | 2            |
| 6-7       | 3         | Задача Бри. Применение МКЭ для расчета кинетики деформирования и прямые оценки.                              | 4            |
| 8         | 3         | Поведение конструкции из упрочняющегося материала. МКЭ.                                                      | 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 |
| Решение задач на применение МКЭ при однократном и повторном нагружении за пределами упругости | Чернявский А.О. Нелинейные и связанные задачи в методе конечных элементов: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2021. – 62 с. с. 35-54                                                                                                                                                                                                                          | 2       | 16           |
| Решение задач по определению предельной нагрузки                                              | Сопротивление материалов. Контрольные задания для расчетно-графических работ Ч. 2 учеб. пособие для машиностроит. направлений А. В. Понькин и др.; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Теорет. механика ; ЮУрГУ<br><a href="http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&amp;key=000570703">http://www.lib.susu.ac.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&amp;key=000570703</a><br>с. 100-127 | 2       | 10           |
| Подготовка к зачету                                                                           | Гохфельд Д.А., Чернявский О.Ф. Несущая способность конструкций при повторных нагружениях - М.: Машиностроение, 1979г. - 263с.                                                                                                                                                                                                                                          | 2       | 9,75         |

## 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         | Контроль решения задач на определение предельной нагрузки (аналитические методы)             | 1   | 5          | 5 - 2 самостоятельно решенные задачи, 4 - 1, 0 - ни одна задача не решена | зачет            |
| 2    | 2        | Текущий контроль         | Контроль решения задач на определение предельной нагрузки (МКЭ)                              | 1   | 5          | 5 - 2 самостоятельно решенные задачи, 4 - 1, 0 - ни одна задача не решена | зачет            |
| 3    | 2        | Текущий контроль         | Контроль решения задач на определение условий приспособляемости и типов деформирования (МКЭ) | 1   | 0          | 5 - 2 самостоятельно решенные задачи, 4 - 1, 0 - ни одна задача не решена | зачет            |
| 4    | 2        | Промежуточная аттестация | зачет                                                                                        | -   | 5          | В соответствии с ответами на вопросы билета                               | 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 |
| ПК-3        | Знает: особенности поведения высоконагруженных конструкций при циклическом неупругом нагружении; экспериментальные данные о поведении материалов в соответствующих условиях; способы описания этих экспериментальных данных |      |   | ++ |   |

|      |                                                                                                                                                          |   |    |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|----|
| ПК-3 | Умеет: оценивать возможные типы деформирования конструкций и выбирать соответствующие экспериментальные данные о поведении материалов                    | + |    | ++ |
| ПК-3 | Имеет практический опыт: определения запасов прочности конструкций при повторно-переменном неупругом деформировании (по различным предельным состояниям) | + |    | ++ |
| ПК-4 | Знает: типовые и индивидуальные предельные состояния элементов конструкций в различных отраслях промышленности                                           |   |    | ++ |
| ПК-4 | Умеет: строить расчетные модели, учитывающие особенности поведения конструкций при циклическом нагружении за пределами упругости                         |   | ++ | +  |
| ПК-4 | Имеет практический опыт: применения аналитических и/или численных (компьютерных) методов решения рассматриваемых задач                                   |   | ++ | +  |

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

1. Гохфельд Д. А. Несущая способность конструкций при повторных нагружениях / Редкол. сер.: С. Д. Пономарев (пред.) и др.. - М. : Машиностроение, 1979. - 263 с. : ил.
2. Гохфельд Д. А. Пластичность и ползучесть элементов конструкций при повторных нагружениях. - М. : Машиностроение, 1984. - 256 с. : ил.

#### б) дополнительная литература:

1. Гохфельд Д. А. Несущая способность конструкций при повторных нагружениях / Редкол. сер.: С. Д. Пономарев (пред.) и др.. - М. : Машиностроение, 1979. - 263 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. Нелинейные и связанные задачи в методе конечных элементов: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2021. – 62 с.
2. Чернявский О.Ф. Предельные неупругие состояния конструкций. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2003. – 96 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-во ЮУрГУ, 2021. – 62 с.
2. Чернявский О.Ф. Предельные неупругие состояния конструкций. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2003. – 96 с.

### Электронная учебно-методическая документация

Нет

Перечень используемого программного обеспечения:

1. PTC-MathCAD(бессрочно)
2. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simploter, Designer, PowerArtist, RedHawk)(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Вид занятий                     | № ауд.     | Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий |
|---------------------------------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Практические занятия и семинары | 332<br>(2) | Компьютерный класс                                                                                                                               |
| Лекции                          | 336<br>(2) | Компьютер, проектор, экран                                                                                                                       |