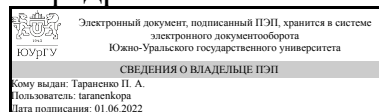


УТВЕРЖДАЮ:  
Заведующий выпускающей  
кафедрой



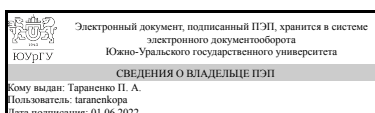
П. А. Тараненко

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.Ф.М1.12.01 Деформационные свойства материалов при неупругом циклическом деформировании  
**для направления** 15.04.03 Прикладная механика  
**уровень** Магистратура  
**магистерская программа** Цифровое производство высокотехнологичных изделий из новых материалов  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Техническая механика

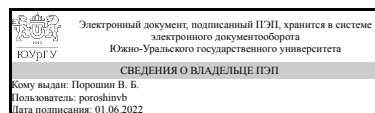
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 15.04.03 Прикладная механика, утверждённым приказом Минобрнауки от 09.08.2021 № 731

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



П. А. Тараненко

Разработчик программы,  
к.техн.н., доц., доцент



В. Б. Порошин

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель: Знание теоретических основ и закономерностей поведения металлических конструкционных материалов при повторно-переменном, в том числе, циклическом, неупругом термомеханическом нагружении. Задачи: Владение классическими и прогрессивными математическими моделями для описания деформационных свойств металлических конструкционных материалов при повторно-переменном (циклическом) неупругом термомеханическом нагружении. Умение применять эти модели и соответствующие процедуры реализации, в том числе, численные методы для расчета напряженно-деформированного состояния элементов конструкций и деталей машин в названных условиях.

## Краткое содержание дисциплины

Анализ традиционных теорий и математических моделей для описания деформирования металлических конструкционных материалов при повторно-переменном, в том числе, циклическом, неупругом термомеханическом нагружении. Понятие структурной модели упруго-вязко-пластической среды в варианте Гохфельда-Садакова и вытекающий из нее Обобщенный принцип подобия (ОПП). Описание на основе ОПП процессов неупругого деформирования в жестком и мягком цикле при нормальной и повышенной температуре на основе моделей упруго-пластической, вязко-упругой и упруго-вязко-пластической сред.

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

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
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: основные эффекты, методы и испытательное оборудование для их экспериментального изучения, а также существующие математические модели теории пластичности и ползучести, применимые в условиях монотонного и циклического нагружения при нормальной и повышенной температуре Умеет: проводить экспериментальные исследования и применять математические модели деформирования неупругого материала для анализа напряженно-деформированного состояния элементов конструкций в условиях монотонного и циклического нагружения при нормальной и повышенной температуре Имеет практический опыт: проведения экспериментальных исследований и расчетов, а также навыки использования пакетов прикладных программ для оценки напряженно-деформированного состояния элементов конструкций с учетом ползучести при монотонном и циклическом нагружении
ПК-3 Способен для решения профессиональных задач осваивать и применять современные	Знает: современные подходы, в том числе, математические модели, к анализу напряженно-

<p>теории, физико-математические и вычислительные методы, а также новые системы компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга (CAD/CAE-системы)</p>	<p>деформированного состояния конструкционных материалов за пределами упругости с учетом вязкой составляющей в условиях монотонного и циклического нагружения при нормальной и повышенной температуре</p> <p>Умеет: применять в профессиональной деятельности современные теории, физико-математические и численные методы исследования закономерностей деформирования металлических конструкционных материалов, элементов конструкций в условиях монотонного и циклического нагружения</p> <p>Имеет практический опыт: использования пакетов прикладных программ, а также новых систем компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга для оценки прочности и жесткости элементов конструкций; выполнения интерпретации и представления полученных результатов</p>
--	--

### 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
Мониторинг состояния конструкций	Численное моделирование разрушения, Компьютерное моделирование в Ansys Workbench, Производственная практика, преддипломная практика (4 семестр)

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

Дисциплина	Требования
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</p> <p>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</p>

	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
--	---

#### 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	
Подготовка к зачету	12,75	12.75	
Подготовка и самостоятельное решение задач, связанных с анализом неупругого деформирования с помощью обобщенного принципа подобия	23	23	
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	Классические теории и математические модели пластичности и ползучести	6	2	4	0
2	Структурные модели неупругих сред. Особенности структурной модели в варианте Гохфельда-Садакова	6	4	2	0
3	Обобщенный принцип подобия как частный случай структурной модели Гохфельда-Садакова	16	8	8	0
4	Применение обобщенного принципа подобия для описания кинетики повреждаемости при циклическом неупругом	4	2	2	0

деформировании с выдержками				
-----------------------------	--	--	--	--

## 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Анализ адекватности классических теорий и математических моделей пластичности и ползучести применительно к повторно-переменному неупругому деформированию с выдержками	2
2, 3	2	Особенности структурных моделей неупругих сред. Структурная модель упруговязкопластической среды в варианте Гохфельда-Садакова	4
4, 5	3	Связь внутренних параметров состояния структурной модели с макропараметрами состояния среды. Обобщенный принцип подобия как модель структурной модели. Правила "памяти" среды о предыстории нагружения	4
6, 7	3	Модели упругопластической, вязкоупругой и упруговязкопластической сред для описания напряженно-деформированного состояния при изотермическом и неизотермическом циклическом неупругом деформировании с выдержками	4
8	4	Использование макропараметров состояния при формулировании кинетической модели накопления усталостного повреждения	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1, 2	1	Применение классических теорий и математических моделей пластичности и ползучести к расчету напряженно-деформированного состояния при повторно-переменном неупругом деформировании с выдержками	4
3	2	Получение определяющих функций конкретного материала (диаграммы деформирования и реологической функции) структурной модели в варианте Гохфельда-Садакова	2
4, 5	3	Уравнения состояния в функции макроскопических параметров, определяющие обобщенный принцип подобия. Правила запоминания и забывания поворотных моментов предыстории. Варианты моделей различных сред -- упругопластической, вязкоупругой и упруговязкопластической	4
6, 7	3	Применение обобщенного принципа подобия в варианте моделей упругопластической, вязкоупругой и упруговязкопластической среды для описания напряженно-деформированного состояния при изотермическом и неизотермическом циклическом неупругом деформировании с выдержками. Естественные ограничения каждой из этих моделей	4
8	4	Применение кинетической модели накопления усталостного повреждения для оценки долговечности элементов теплонапряженных конструкций	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 зачету	Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении: справочник / Д.А. Гохфельд, Л.Б. Гецов, К.М. Кононов и др. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. с. 147–237	2	12,75
Подготовка и самостоятельное решение задач, связанных с анализом неупругого деформирования с помощью обобщенного принципа подобия	1. Гохфельд, Д. А. Пластичность и ползучесть элементов конструкций при повторных нагружениях. - М.: Машиностроение, 1984. - 256 с. 2. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении: справочник / Д.А. Гохфельд, Л.Б. Гецов, К.М. Кононов и др. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. – 409 с.	2	23

## 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	Задача 1. Получение определяющих функций заданного материала (диаграммы деформирования и реологической функции)	0,1	5	5 баллов - определяющие функции получены верно; 4 балла - определяющие функции получены с незначительными ошибками; 3 балла - определяющие функции получены с непринципиальными ошибками; 0 баллов - определяющие функции получены неверно	зачет
2	2	Текущий контроль	Задача 2. Построение диаграммы циклического деформирования (петли неупругого гистерезиса) с помощью обобщенного принципа подобия (ОПП) на основе модели упругопластической среды	0,1	5	5 баллов - диаграмма деформирования построена верно; 4 балла - диаграмма деформирования построена с незначительными ошибками; 3 балла - диаграмма деформирования построена с непринципиальными ошибками; 0 баллов - диаграмма деформирования построена неверно	зачет
3	2	Текущий	Задача 3. Построение	0,2	5	5 баллов - диаграмма	зачет

		контроль	диаграммы циклического деформирования (петли неупругого гистерезиса) с помощью ОПП на основе модели вязкоупругой среды			деформирования построена верно; 4 балла - диаграмма деформирования построена с незначительными ошибками; 3 балла - диаграмма деформирования построена с принципиальными ошибками; 0 баллов - диаграмма деформирования построена неверно	
4	2	Текущий контроль	Задача 4. Построение диаграммы циклического деформирования (петли неупругого гистерезиса) с помощью ОПП на основе модели вязкоупругопластической среды	0,2	5	5 баллов - диаграмма деформирования построена верно; 4 балла - диаграмма деформирования построена с незначительными ошибками; 3 балла - диаграмма деформирования построена с принципиальными ошибками; 0 баллов - диаграмма деформирования построена неверно	зачет
5	2	Промежуточная аттестация	Зачет	-	5	Критерий получения зачета Зачтено - в результате ответов на вопросы набрано не менее 65 % норматива. Не зачтено - в результате ответов на вопросы набрано менее 65 % норматива	зачет

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	К зачету допускаются студенты, выполнившие задачи 1-4 не менее, чем на 3 балла каждую. Зачет проводится в виде собеседования, в ходе которого студент должен ответить как на вопросы по задачам 1-4, так и на вопросы из перечня контрольных вопросов. Каждому вопросу присвоена определенная "стоимость" в баллах, принимаемая в качестве норматива. Критерий получения зачета приведен в графе "Порядок начисления баллов"	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

## 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ				
		1	2	3	4	5
ПК-1	Знает: основные эффекты, методы и испытательное оборудование для их экспериментального изучения, а также существующие математические модели теории пластичности и ползучести, применимые в условиях монотонного и циклического нагружения при нормальной и повышенной температуре					+
ПК-1	Умеет: проводить экспериментальные исследования и применять математические модели деформирования неупругого материала для анализа					+

	напряженно-деформированного состояния элементов конструкций в условиях монотонного и циклического нагружения при нормальной и повышенной температуре					
ПК-1	Имеет практический опыт: проведения экспериментальных исследований и расчетов, а также навыки использования пакетов прикладных программ для оценки напряженно-деформированного состояния элементов конструкций с учетом ползучести при монотонном и циклическом нагружении					+
ПК-3	Знает: современные подходы, в том числе, математические модели, к анализу напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов за пределами упругости с учетом вязкой составляющей в условиях монотонного и циклического нагружения при нормальной и повышенной температуре	+	+	+	+	+
ПК-3	Умеет: применять в профессиональной деятельности современные теории, физико-математические и численные методы исследования закономерностей деформирования металлических конструкционных материалов, элементов конструкций в условиях монотонного и циклического нагружения	+	+	+	+	+
ПК-3	Имеет практический опыт: использования пакетов прикладных программ, а также новых систем компьютерного проектирования и компьютерного инжиниринга для оценки прочности и жесткости элементов конструкций; выполнения интерпретации и представления полученных результатов	+	+	+	+	+

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. Малинин, Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести Учеб. для студентов вузов Н. Н. Малинин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1975. - 400 с. ил.

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

Не предусмотрены

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

1. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении: справочник / Д.А. Гохфельд, Л.Б. Гецов, К.М. Кононов и др. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. – 409 с.

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

1. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении: справочник / Д.А. Гохфельд, Л.Б. Гецов, К.М. Кононов и др. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1996. – 409 с.



## Электронная учебно-методическая документация

Нет

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Office(бессрочно)
2. PTC-MathCAD(бессрочно)
3. ANSYS-ANSYS Academic Multiphysics Campus Solution (Mechanical, Fluent, CFX, Workbench, Maxwell, HFSS, Simplorer, 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
Самостоятельная работа студента	334 (2)	Основное оборудование, компьютеры с предустановленным программным обеспечением
Практические занятия и семинары	319 (2)	Основное оборудование, компьютер с предустановленным программным обеспечением, проектор
Лекции	319 (2)	Основное оборудование, компьютер с предустановленным программным обеспечением, проектор