

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 13 » февраля 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Теория прочности  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 108 (3)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 01.04.02 Прикладная математика и информатика  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Математическое моделирование физико-механических процессов  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины:

Формирование комплекса знаний, умений и навыков в области исследования прочности материалов. Изучение ключевых механизмов деформирования и разрушения, разработка на их основе моделей реакции твердого тела с использованием экспериментальных результатов.

Задачи учебной дисциплины:

- формирование знаний  
ключевых механизмов неупругого деформирования и разрушения металлов и керамик; базовых моделей механики трещин; экспериментальных методик исследования поведения твердого тела при различных типах нагружения;  
- формирование умений  
правильного применения существующих теорий деформирования и разрушения при разработке модели; получать и использовать экспериментальные данные для верификации модели;  
- формирование навыков  
решения задач, связанных с исследованием прочности материалов в широком интервале скоростей нагружения.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- ключевые понятия механики деформирования и разрушения;  
- основные модели механики трещин;  
- современные экспериментальные методы исследования поведения материалов;  
- современные теоретические и модельные представления при изучении реакции твердых тел на различные типы воздействий.

### 1.3. Входные требования

Освоенные дисциплины Математический анализ, Функциональный анализ, Тензорный анализ, Механика сплошных сред, Теория определяющих соотношений в рамках программы бакалавриата по направлению 01.03.02 Прикладная математика и информатика профиль программы бакалавриата "Математическое моделирование".

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знание: – механизмов деформирования и разрушения; – основных моделей механики трещин; – экспериментальных методов исследования поведения материалов	Знает особенности и границы применимости современных моделей материалов, аналитических и численных методов решения задач физики и механики сплошных сред, знает методы построения новых математических моделей для решения прикладных задач моделирования физико-механических процессов.	Отчёт по практическом у занятию
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	применять существующие теории и модели для исследования поведения материалов; – разрабатывать на их основе концептуальные и теоретические модели; – идентифицировать и верифицировать разработанные модели по данным экспериментов	Умеет обосновывать выбор и применять современные математические модели материалов, разрабатывать новые математические модели сплошных сред для решения междисциплинарных прикладных и фундаментальных научных задач, анализировать результаты их решения и идентифицировать параметры математических моделей по экспериментальным данным, умеет модифицировать и развивать методы решения прикладных задач физики и механики сплошных сред	Отчёт по практическом у занятию
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	Владение теоретической базой об основных видах дефектов в кристаллах, физических законах возникновения, движения и взаимодействия краевых дислокаций, ключевых механизмах зарождения и развития трещин, сценариях разрушения материалов; способность применять основные критерии распространения трещин	Владеет навыками технологией разработки новых математических моделей сложных сред и имеет опыт решения современных междисциплинарных физико-механических задач с использованием известных и модифицированных подходов и методов физики и механики сплошных сред, опытом	Дифференцированный зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		для решения прикладных задач из области деформирования и разрушения материалов. Владение навыками решения задач из области деформирования и разрушения материалов	применения на практике результатов их решения	

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		3	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	34	34	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	54	54	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
3-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Физические механизмы пластичности	6	0	0	10
Тема 1. Дефекты кристаллической решетки. Точечные дефекты, вакансии. «Вакансионная» модель течения кристалла (модель Лифшица). Дислокации. Тема 2. Движение дислокаций как механизм пластичности. Скольжение как результат движения дислокации. Консервативное движение дислокаций. Тема 3. Взаимодействие прямолинейных дислокаций. Силы, действующие на дислокацию. Энергия дислокации. Аннигиляция дислокаций. Тема 4. Дислокация как источник кривизны решетки. Тема 5. Источники дислокаций. Тема 6. Неконсервативное движение дислокации.				
Физическая природа разрушения материалов	12	0	34	44
Тема 7. Механизм зарождения трещин и пор. Тема 8. Теория Гриффитса. Тема 9. Теория Ирвина. Коэффициент интенсивности напряжения. Тема 10. Модель Баренблатта. Тема 11. Модель Дагдейла. Тема 12. О практическом применении механики трещин. Тема 13. Критическое значение коэффициента интенсивности напряжения. Тема 14. Распространение усталостных трещин. Тема 15. Накопление повреждений. Внезапное разрушение. Тема 16. Фронты разрушения. Тема 17. Сценарий формирования волны разрушения. Тема 18. Уравнение энергии. Тема 19. Потенциальная энергия тела с трещиной. Тема 20. Независимый от пути интегрирования J-интеграл.				
ИТОГО по 3-му семестру	18	0	34	54
ИТОГО по дисциплине	18	0	34	54

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Исследование долговечности металлов при усталостном (много- и гигацикловом) нагружении.
2	Применение метода акустической эмиссии для исследования стадийности накопления повреждений.

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
3	Исследование закономерностей структурного скейлинга поверхностей разрушения.
4	Исследование деформационных свойств материалов при динамическом нагружении (установка Гопкинсона-Кольского) и при ударно-волновом нагружении.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся - не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации.

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь - вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Винтайкин Б. Е. Физика твердого тела : учебное пособие для вузов / Б. Е. Винтайкин. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008.	2

2	Зуев Л. Б. Физические основы прочности материалов : учебное пособие для вузов / Л. Б. Зуев, В. И. Данилов. - Долгопрудный: Интеллект, 2013.	2
3	Пестриков В. М. Механика разрушения : курс лекций / В. М. Пестриков, Е. М. Морозов. - Санкт-Петербург: Профессия, 2012.	3
4	Пестриков В. М. Механика разрушения твердых тел : курс лекций / В. М. Пестриков, Е. М. Морозов. - СПб: Профессия, 2002.	50
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Бернштейн М. Л. Структура и механические свойства металлов : учебник для вузов / М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский. - Москва: Металлургия, 1970.	4
2	Владимиров В. И. Физическая природа разрушения металлов / В. И. Владимиров. - Москва: Металлургия, 1984.	3
3	Деформация и разрушение. - М.: , Машиностроение, 1974. - (Механические свойства металлов : в 2 ч.; Ч. 1).	4
4	Косевич А. М. Основы механики кристаллической решетки / А. М. Косевич. - Москва: Наука, Физматлит, 1972.	2
5	Орлов А. Н. Введение в теорию дефектов в кристаллах : учебное пособие для вузов / А. Н. Орлов. - Москва: Высш. шк., 1983.	9
6	Теория упругости / Е. М. Лифшиц, А. М. Косевич, Л. П. Питаевский. - М.: , Наука, Физматлит, 1987. - (Теоретическая физика : учебное пособие для вузов : в 10 т.; Т. 7).	8
7	Фридель Ж. Дислокации : пер. с англ / Ж. Фридель. - Москва: Мир, 1967.	5
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Введение в математическое моделирование : учебное пособие / В. Н. Ашихмин [и др.]. - М: Логос, 2007.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks118312">http://elib.pstu.ru/Record/RUPSTUbooks118312</a>	сеть Интернет; свободный доступ

### **6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.

### **6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Видеопроектор	1
Лекция	Ноутбук	1
Практическое занятие	Персональные компьютеры (локальная компьютерная сеть)	10

### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

(Описан в отдельном документе)
--------------------------------



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

«Теория прочности»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	01.04.02 Прикладная математика и информатика
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	Математическое моделирование физико-механических процессов
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Магистр»
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Математическое моделирование систем и процессов
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Курс: 2</b>	<b>Семестр: 3</b>
<b>Трудоёмкость:</b>	
Кредитов по рабочему учебному плану:	3 ЗЕ
Часов по рабочему учебному плану:	108 ч.
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>	
Дифференцированный зачет:	3 семестр

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

## **1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД, освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (3-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля		
	Текущий	Рубежный	Промежуточный
	ТО/ПЗ	РКР	Дифференцированный зачет
<b>Усвоенные знания</b>			
<b>З.1</b> механизмы деформирования и разрушения;	ТО, ПЗ	РКР	ТВ, ПЗ
<b>З.2</b> основные модели механики трещин;	ТО, ПЗ	РКР	ТВ, ПЗ
<b>З.3</b> экспериментальные методики исследования поведения материалов	ТО, ПЗ		ТВ, ПЗ
<b>Освоенные умения</b>			
<b>У.1</b> применять существующие теории и модели для исследования поведения материалов	ПЗ	РКР	ТВ, ПЗ
<b>У.2</b> разрабатывать на их основе концептуальные и теоретические модели	ПЗ	РКР	ТВ, ПЗ
<b>У.3</b> идентифицировать и верифицировать разработанные модели по данным экспериментов	ПЗ	РКР	ТВ, ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>			
<b>В.1</b> навыки решения задач, связанных с исследованием деформирования и разрушения материалов.	ПЗ		ТВ, ПЗ

*ТО – теоретический опрос; РКР – рубежная контрольная работа; КР – курсовая работа; ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание;*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета,

проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль для оценивания знаниевого компонента дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится в форме теоретического опроса по материалам предыдущих лекций («летучки» продолжительностью 15-20 мин.), а также путем оценки работы студента на лекционных и практических занятиях в рамках рейтинговой системы.

### **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

#### **2.2.1. Рубежная контрольная работа**

В соответствии с РПД предполагается проведение 2-х рубежных контрольных работ (РКР) по итогам освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая РКР – по модулю 1 «Физические механизмы пластичности»,

вторая РКР – по модулю 2 «Механика трещин».

**Типовые задания первой РКР:**

Дефекты кристаллической решетки. Точечные дефекты, вакансии. «Вакансионная» модель течения кристалла (модель Лифшица). Дислокации.

**Типовые задания второй РКР:**

Механизм зарождения трещин и пор.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

**2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска является выполнение всех заданий практических занятий

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде дифференцированного зачета по дисциплине и осуществляется устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний и практические задания (ПЗ) для проверки освоенных умений.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных дисциплинарных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС магистерской программы.

**2.3.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине**

**Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

Предмет физики прочности и пластичности.

**Типовые вопросы и практические задания для контроля освоенных умений:**

Исследование долговечности металлов при усталостном (много- и гигацикловом) нагружении

**2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на дифференцированном зачете**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

**3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

**3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в*

*билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС образовательной программы.