

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра вычислительной и экспериментальной механики**

Авторы-составители: **Аптуков Валерий Нагимович**

Рабочая программа дисциплины

**НЕУПРУГИЕ МОДЕЛИ ДЕФОРМИРУЕМЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

Код УМК 82490

Утверждено  
Протокол №6  
от «16» июня 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Неупругие модели деформируемых твердых тел

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление подготовки: **01.03.03** Механика и математическое моделирование  
направленность Программа широкого профиля

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Неупругие модели деформируемых твердых тел** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**01.03.03** Механика и математическое моделирование (направленность : Программа широкого профиля)

**ПК.1** Способен решать профессиональные задачи, возникающие при проведении научных и прикладных исследований

#### **Индикаторы**

**ПК.1.1** Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований

**ПК.1.2** Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	01.03.03 Механика и математическое моделирование (направленность: Программа широкого профиля)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	11
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	42
<b>Проведение лекционных занятий</b>	28
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	14
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	0
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (11 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Неупругие модели деформируемых твердых тел**

Напряженное состояние в точке. Деформированное состояние в точке. Скорости деформации.

#### **Введение**

Диаграмма деформирования металлов. Предел упругости. Предел текучести. Наклеп. Эффект Баушингера.

#### **Механические свойства металлов**

Простое и сложное нагружение. Теорема Ильюшина А.А. о простом нагружении. Гипотеза единой кривой. Основные соотношения

#### **Деформационная теория пластичности**

Простое и сложное нагружение. Теорема Ильюшина А.А. о простом нагружении. Поверхность нагружения. Гипотеза единой кривой. Основные положения деформационной теории пластичности .

#### **Теория течения**

Уравнения Прандтля-Рейса. Теория пластичности Сен-Венана - Мизеса. Ассоциированный закон течения. Пластический потенциал. Постулат Друкера.

#### **Экстремальные принципы в теории пластичности**

Минимальные принципы в деформационной теории пластичности. Экстремальные принципы для жесткопластического тела. Обобщение на разрывные поля.

#### **Примеры решения задач. Остаточные напряжения**

Остаточные деформации и напряжения. Упруго-пластический изгиб балки с последующей разгрузкой. Цилиндр под действием внутреннего давления с последующей разгрузкой.

#### **Контрольное мероприятие № 1**

Проверяется усвоение основных понятий, положений и допущений теории упругости.

#### **Контрольное мероприятие № 2**

Контролируется усвоение теории тензоров деформаций, умение применять закон Гука для различных задач.

#### **Контрольное мероприятие № 3**

Контролируется умение определять плоскую задачу теории упругости, знание постановки задачи.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Терпугов В. Н., Вертгейм И. И. Современные численные методы механики деформируемого твердого тела. Основы технологии метода конечных элементов: учебно-методическое пособие / В. Н. Терпугов, И. И. Вертгейм. - Пермь, 2012, ISBN 978-5-7944-1909-2, 2-е изд., -1. <https://elis.psu.ru/node/189715>
2. Горшков А. Г., Рабинский Л. Н., Тарлаковский Д. В. Основы тензорного анализа и механика сплошной среды: учебник / А. Г. Горшков, Л. Н. Рабинский, Д. В. Тарлаковский ; ред. Д. М. Климов. - Москва: Наука, 2000, ISBN 5-02-002494-5. - 214.
3. Аврамов К. В. Нелинейная динамика упругих систем Т. 2. Приложения / К. В. Аврамов, Ю. В. Михлин. - Москва ; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2015, ISBN 978-5-4344-0301-6. - 699. - Библиогр.: с. 673-699 (385 назв.)

### Дополнительная:

1. Малинин, Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести : учебник для бакалавриата и магистратуры / Н. Н. Малинин. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 402 с. — (Бакалавр и магистр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-05330-2. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. <https://www.urait.ru/bcode/438959>

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu>      Электронные ресурсы для ПГНИУ  
<http://window.edu.ru/>      Единое окно доступа к образовательным ресурсам

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Образовательный процесс по дисциплине **Неупругие модели деформируемых твердых тел** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);

- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Необходимое лицензионное и (или) свободно распространяемое программное обеспечение:

- приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC»;

- офисный пакет приложений «LibreOffice», Alt Linux;

При освоении материала и выполнении заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Для лекционных занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) и.или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными



компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Неупругие модели деформируемых твердых тел**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ПК.1**

**Способен решать профессиональные задачи, возникающие при проведении научных и прикладных исследований**

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p><b>ПК.1.1</b> Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>В результате обучения у студента должны быть сформированные систематические знания теоретических основ, умение применить их на практике, показывать успешное применение навыков мыслительной деятельности.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> Необходимые знания для освоения предмета отсутствуют. Студент не знает теоретических основ дисциплины, необходимых для формирования компетенции. Нет навыков выполнения расчетов.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> Общие, но не структурированные знания основных понятий предмета. Владение техникой выполнения конкретно поставленной задачи, но с большим количеством недочетов.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b> В целом сформированные, но содержащие небольшие пробелы, знания теоретических основ. Владение техникой выполнения конкретно поставленной задачи, но с небольшими погрешностями при интерпретации результатов</p> <p align="center"><b>Отлично</b> Студент показывает сформированные систематические знания теоретических основ, умение применить их на практике. Показывает успешное применение навыков мыслительной деятельности.</p>
<p><b>ПК.1.2</b> Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p>	<p>В результате обучения студент должен знать закономерности предметной области, уметь решать прикладные задачи, владеть навыками анализа полученного результата.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> Студент не знает закономерности предметной области, не умеет решать прикладные задачи, не владеет навыками анализа полученного результата.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> Студент знает закономерности предметной области, умеет решать прикладные задачи.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b> Студент знает закономерности предметной</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>области, умеет решать прикладные задачи, испытывает затруднения при анализе полученного результата.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Студент знает закономерности предметной области, умеет решать прикладные задачи, владеет навыками анализа полученного результата.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ПК.1.2</b> Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований <b>ПК.1.1</b> Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	Контрольное мероприятие № 1 <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Проверка знаний по темам Механические свойства металлов и Деформационная теория пластичности
<b>ПК.1.2</b> Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований <b>ПК.1.1</b> Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	Контрольное мероприятие № 2 <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Проверка знаний по теме теории течения

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Мероприятие текущего контроля</b>	<b>Контролируемые элементы результатов обучения</b>
<b>ПК.1.2</b> Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований <b>ПК.1.1</b> Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	Контрольное мероприятие № 3 <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Проверка знаний по теме Экстремальные принципы в теории пластичности

### **Спецификация мероприятий текущего контроля**

#### **Контрольное мероприятие № 1**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Напряженное состояние в точке. Главные напряжения. Инварианты тензора напряжений.	10
Экстремальные принципы для жестко пластического тела. Обобщение на разрывные поля. Пример.	10
Минимальные принципы в деформационной теории пластичности.	10

#### **Контрольное мероприятие № 2**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Механические свойства твердых тел. Предел пропорциональности и текучести.	10
оверхность текучести. Условие текучести Треска. Условие текучести Мизеса.	10
Остаточные деформации и напряжения. Упруго-пластический изгиб балки.	10

#### **Контрольное мероприятие № 3**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Ассоциированный закон течения. Пластический потенциал.	10

Теория пластического течения. Уравнения Прандтля-Рейса.	10
Деформационная теория пластичности (теория малых упруго пластических деформаций Ильюшина).	10
Теорема Ильюшина о простом нагружении.	10