

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

**Кафедра вычислительной и экспериментальной механики**

Авторы-составители: **Скачков Андрей Павлович  
Плехов Олег Анатольевич**

Рабочая программа дисциплины

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД**

Код УМК 92362

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

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Дополнительные главы механики сплошных сред

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

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

Направление: **01.04.03** Механика и математическое моделирование  
направленность Фундаментальная и прикладная механика

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

В результате освоения дисциплины **Дополнительные главы механики сплошных сред** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**01.04.03** Механика и математическое моделирование (направленность : Фундаментальная и прикладная механика)

**ОПК.1** Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики

#### **Индикаторы**

**ОПК.1.1** Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области

**ОПК.1.2** Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	01.04.03 Механика и математическое моделирование (направленность: Фундаментальная и прикладная механика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	1
<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>	36
<b>Проведение лекционных занятий</b>	24
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	12
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	72
<b>Формы текущего контроля</b>	Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Экзамен (1 триместр)

## 5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

### Дополнительные главы механики сплошных сред. Первый семестр

#### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ

1.1. Предмет механики разрушения. Возникновение механики разрушения: причины и истоки. Теоретическая и реальная прочность твердых тел. Первая модель тела с трещиной (трещина Гриффитса). Катастрофические разрушения 40-50 годов.

Практика 1.

Работа А. Гриффитса «Явление разрушения и течения твердого тела».

Практика 2. Распределение напряжений и перемещений у вершины полубесконечной трещины для трещин нормального отрыва, продольного и поперечного сдвига.

#### ЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ

2.1. Напряженное состояние у вершины трещины. Принцип «микроскопа». Полубесконечная трещина. Метод комплексных потенциалов. Три типа трещин. Коэффициенты интенсивности напряжений.

2.2. Методы расчетов коэффициентов интенсивности напряжений в упругих телах при различных условиях нагружения. Принцип суперпозиции решений. Коэффициент интенсивности напряжений в ДКБ-образце.

2.3. Динамические задачи механики хрупкого разрушения. Локальное стационарное поле.

Установившиеся колебания у вершины неподвижной трещины. Ударные нагрузки.

2.4. Силовой критерий локального разрушения. Вязкость разрушения (трещиностойкость) материала.

Поток энергии в вершину трещины. Энергетический критерий локального разрушения.

Эквивалентность силового и энергетического критериев. Устойчивость и неустойчивость роста трещин.

Практика 3. Коэффициенты интенсивности напряжений для изолированной прямолинейной трещины в бесконечной упругой плоскости.

Практика 4. Трещина обобщенного нормального отрыва. Траектория развития трещины.

Практика 5. Трещины вблизи концентраторов напряжений (плоская задача). Трещины в круговой пластине или цилиндре.

Практика 6. Метод годографа в задачах антиплоского сдвига. Структура конца полубесконечной трещины для упруго-идеальнопластического материала.

#### МЕХАНИКА УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ

3.1. Структура конца полубесконечной упруго-идеальнопластической трещины. Концепция квазихрупкого разрушения. Поправка Ирвина на пластическую деформацию. Другие критерии локального разрушения.

Практика 4. Трещина обобщенного нормального отрыва. Траектория развития трещины.

3.2. Силы сцепления. Модель трещины Христиановича-Баренблата. Модель

Леонова-Панасюка-Дагдейла. Модификация в модели Дагдейла.

3.3. Влияние упрочнения (сингулярное решение Черепанова и Хатчинсона-Райса-Розенгрена).

Распределение напряжений у вершины трещины в упругопластическом материале со степенным упрочнением. Инвариантный J-интеграл Эшелби-Черепанова-Райса.

3.4. Экспериментальные методы определения вязкости разрушения (трещиностойкости) материала.

Двухпараметрические критерии разрушения. Предел трещиностойкости материала. Современные критерии разрешения.

Практика 7. Напряженное состояние у вершины наклонной трещины в случае упругопластического материала со степенным упрочнением

Практика 8. Взаимосвязь J-интеграла и величины раскрытия в вершине трещины. Докритический рост трещины. R-кривая.

## **МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ**

- 4.1. Особенности процесса ползучести, накопления поврежденности и развития трещин в условиях ползучести. Параметр поврежденности (сплошности). Модель Качанова-Работнова. Определяющие соотношения связанной и несвязанной постановок краевых задач в теории ползучести с поврежденностью.
- 4.2. Асимптотика напряжений у вершины стационарной трещины в нелинейно вязком и упруго-нелинейно вязком теле. Инвариантный  $S^*$ -интеграл теории установившейся ползучести и  $S(t)$ -интеграл теории неустановившейся ползучести.
- 4.3. Асимптотическое исследование полей напряжений у вершины растущей трещины в условиях установившейся и неустановившейся ползучести. Модель роста трещины в несвязанной постановке теории ползучести с поврежденностью.
- 4.4. Влияние поврежденности материала на напряженно-деформированное состояние в окрестности вершины трещины при связанной постановке теории ползучести с поврежденностью. Автомодельная постановка задачи о трещине в среде с поврежденностью. Модель роста трещины в связанной постановке теории ползучести с поврежденностью.
- Практика 9. Длительная прочность элементов конструкций, работающих в условиях ползучести. Метод годографа в задачах антиплоского сдвига.
- Практика 10. Структура конца полубесконечной трещины в случае установившейся ползучести с дробно-линейным законом ползучести. Автомодельная задача о трещине антиплоского сдвига в среде с поврежденностью (связанная постановка задачи ползучести с поврежденностью).

## **МЕХАНИКА КОРРОЗИОННОГО РАЗРУШЕНИЯ**

- 5.1. Особенности коррозионного растрескивания и коррозионного роста трещин в металлах. Модели коррозионного растрескивания (диффузионная модель, феноменологическая модель).
- 5.2. Математическая модель коррозионного роста трещин. Экспериментальные исследования коррозионного роста трещин. Пороговый коэффициент интенсивности напряжений.
- Практика 11. Диффузионная модель роста трещины при водородном охрупчивании. Электрохимический механизм роста трещин при коррозионном разрушении. Поверхностное взаимодействие твердого тела со средой. Адсорбционный эффект.
- Практика 12. Решения ряда задач усталостной долговечности для тел с трещинами.

## **МЕХАНИКА УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ**

- 6.1. Особенности усталостного деформирования и разрушения. Многоцикловая и малоцикловая усталость. Рост трещин при циклическом нагружении. Эмпирическая формула Париса. Теоретические зависимости роста усталостных трещин. Усталостная долговечность.
- 6.2. Пластические зоны у вершины трещины при перегрузке и частичной разгрузке. Ускорение и торможение роста усталостных трещин. Влияние ползучести на рост усталостных трещин.
- Наименование темы практического занятия
- Практика 13. Расчет допустимых размеров усталостной трещины для реальных конструкций.
- Практика 14. Влияние усталости на рост трещин ползучести.

## **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. Седов Л. И. Механика сплошной среды. учебник для университетов и вузов Т. 1/Л. И. Седов. -4-е изд., испр. и доп.-Москва:Наука,1983.-528.-Библиогр.: с. 491-492. - Предм. указ.: с. 521-528
2. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов Т. 7. Теория упругости/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский.-5-е изд., стер.-Москва:ФИЗМАТЛИТ,2003, ISBN 5-9221-0122-6.-264

### Дополнительная:

1. Константинова С. А., Аптуков В. Н. Теоретические и экспериментальные методы оценки прочности и надежности: учебно-методическое пособие/С. А. Константинова, В. Н. Аптуков.-Пермь,2012, ISBN 978-5-7944-1959-7,2-е изд.-1. <https://elis.psu.ru/node/34302>
2. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности/пер. с англ. В. В. Кобелева, А. П. Сейраняна; под ред. Н. В. Баничука.-М.:Мир,1987.-542.-Библиогр.: с. 509-531



## 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 **Дополнительные главы механики сплошных сред** 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](http://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) 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 компьютерами 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  
Дополнительные главы механики сплошных сред**

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

**ОПК.1**

**Способен находить, формулировать и решать актуальные проблемы механики и математики**

Индикатор	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области</p>	<p>В результате обучения студент должен знать постановку задач теории упругости, теории пластичности, модели теории прочности, уметь формулировать основные гипотезы МСС, используемые при постановке задач МСС, владеть навыками решения предложенных задач.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> Не знает постановку задач теории упругости, теории пластичности, модели теории прочности. Не умеет формулировать основные гипотезы МСС, используемые при постановке задач МСС. Не владеет навыками решения предложенных задач.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> Имеет представление о постановках задач теории упругости, теории пластичности, модели теории прочности и формулирует основные гипотезы МСС, используемые при постановке задач МСС.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b> Знает постановку основных задач теории упругости, теории пластичности, модели теории прочности. Может формулировать отдельные гипотезы МСС, используемые при постановке задач МСС. Владеет базовыми навыками решения предложенных задач.</p> <p align="center"><b>Отлично</b> Знает постановку задач теории упругости, теории пластичности, модели теории прочности. Умеет формулировать основные гипотезы МСС, используемые при постановке задач МСС. Владеет навыками решения предложенных задач.</p>
<p><b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат</p>	<p>В результате обучения студент должен уметь выбирать метод решения предложенной задачи и проанализировать полученный результат</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b> Студент неверно выбирал метод решения предложенной задачи и не смог проанализировать полученный результат.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b> Студент верно выбирал метод решения предложенной задачи.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p>

<b>Индикатор</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
		<p data-bbox="1149 254 1268 285" style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p data-bbox="906 289 1442 432">Студент верно выбирал метод решения предложенной задачи и испытывал затруднения при анализе полученного результата.</p> <p data-bbox="1149 443 1268 474" style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p data-bbox="906 478 1458 573">Студент верно выбирал метод решения предложенной задачи и правильно проанализировал полученный результат.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Экзамен

**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 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат <b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	ЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Модели линейной механики разрушения
<b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат <b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Упруго-пластическое разрушение материалов.
<b>ОПК.1.2</b> Выбирает метод решения поставленной задачи, анализирует полученный результат <b>ОПК.1.1</b> Определяет и формулирует задачу, пользуется языком предметной области	МЕХАНИКА УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Коррозионное и усталостное разрушения.

## Спецификация мероприятий текущего контроля

### ЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Решение задачи линейной механики разрушения.	13
Описание механизмов разрушения.	7
Постановка задачи линейной механики разрушения.	7
Формулировка гипотез линейной механики разрушения.	3

### МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Решение задачи упруго-пластического разрушения.	13
Постановка задачи упруго-пластического разрушения.	7
Механизмы упруго-пластического разрушения.	7
Формулировка гипотез упруго-пластического разрушения.	3

### МЕХАНИКА УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

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

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

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Решение задачи коррозионного разрушения.	10
Решение задачи усталостного разрушения.	10
Механизмы коррозионного разрушения.	7
Механизмы усталостного разрушения.	7
Гипотезы коррозионного разрушения.	3
Гипотезы усталостного разрушения.	3