

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 обязательную часть Блока « С.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Специальность: **01.05.01** Фундаментальные математика и механика
направленность Программа широкого профиля

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

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

01.05.01 Фундаментальные математика и механика (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

Направления подготовки	01.05.01 Фундаментальные математика и механика (направленность: Программа широкого профиля)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	13
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	36
Проведение лекционных занятий	24
Проведение практических занятий, семинаров	12
Самостоятельная работа (ак.час.)	72
Формы текущего контроля	Защищаемое контрольное мероприятие (2) Итоговое контрольное мероприятие (1)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (13 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).

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**

ПК.1

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

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p>	<p>Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p>	<p align="center">Неудовлетворител 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">Удовлетворительн 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">Хорошо 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">Отлично 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>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</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,</p>	<p align="center">Неудовлетворител 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">Удовлетворительн</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	<p>владеть навыками решения предложенных задач.</p>	<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Имеет представление о постановках задач теории упругости, теории пластичности, модели теории прочности и формулирует основные гипотезы МСС, используемые при постановке задач МСС.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>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 style="text-align: center;">Отлично</p> <p>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>

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
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	ЛИНЕЙНАЯ МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ Защищаемое контрольное мероприятие	Модели линейной механики разрушения
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	МЕХАНИКА РАЗРУШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ Защищаемое контрольное мероприятие	Упруго-пластическое разрушение материалов.

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	МЕХАНИКА УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ Итоговое контрольное мероприятие	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